

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2023

**DMITRII
SINGKHAL**



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Singkhal** Jméno: **Dmitrii** Osobní číslo: **483209**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**
 Studijní program: **Strojírenství**
 Studijní obor: **Energetika a procesní technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh ohřevu teplé vody pro rodinný dům

Název bakalářské práce anglicky:

Design of water heating for a family house

Pokyny pro vypracování:

Pro zvolený rodinný dům navrhnete a porovnáte řešení pro přípravu teplé vody solárním, elektrickým a plynovým ohřevem.
 Dílčí cíle:

- 1) Zpracujte rešerši možných způsobů a technického řešení přípravy TV s využitím solární energie, elektřiny a plynu
- 2) Vyhodnoťte spotřebu TV pro zvolený rodinný dům
- 3) Zpracujte bilanci solárního záření ve zvolené lokalitě pro období 1 roku na denní bázi, vyhodnoťte roční energetický zisk navržených solárních systémů pro ohřev TV
- 4) Odhadněte cenu navržených systémů a vyhodnoťte roční náklady na ohřev TV, systémy ekonomicky porovnejte, optimalizujte výkon solárních systémů
- 5) Zpracujte citlivostní analýzu pro změnu investičních nákladů a změnu ceny nakupované elektřiny a plynu, doporučte konečné řešení

Seznam doporučené literatury:

dle doporučení vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc. ústav energetiky FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **24.10.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **09.01.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2023**

prof. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Návrh ohřevu teplé vody pro rodinný dům“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a článků uvedených v seznamu informačních zdrojů této práce.

V Praze dne 08.01.2023

.....

Dmitrii Singkhal

Anotační list

Jméno autora:	Dmitrii Singkhal
Název BP:	Návrh ohřevu teplé vody pro rodinný dům
Anglický název:	Design of water heating for a family house
Akademický rok:	2022/2023
Ústav/Odbor:	Ústav energetiky/Energetika a procesní technika
Vedoucí BP:	prof. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 79 Počet obrázků: 54 Počet tabulek: 31 Počet příloh: 8
Klíčová slova:	ohřev teplé vody, solární záření, plynový průtokový ohřívač, elektrický bojler, solární kolektor, fotovoltaický panel, bilancování energetických zisků solárních zdrojů, optimalizace výkonu solárních systémů
Keywords:	water heating, solar radiation, instantaneous gas water heater, electric boiler, solar collector, photovoltaic panel, balance of solar energy, optimization of solar system performance
Anotace:	Práce se zabývá nejlepším řešením v oblasti ohřevu teplé vody pro rodinný dům z výběru technologií plynového, elektrického a solárního ohřevu v době psaní bakalářské práce a v blízké budoucnosti.
Abstract:	This bachelor thesis deals with the best solution in the field of hot water heating for a family house from a selection of gas, electric and solar heating technologies at the present time and in the near future.

Poděkování

Rád bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Tomáši Dlouhému, CSc. za čas věnovaný konzultacím a kontrole práce, za velmi cenné rady a podporu. A zvláštní poděkování patří mé rodině, která po celou dobu mě podporovala a motivovala jen k lepšímu.

Obsah

I. Úvod	11
II. Průtokový a zásobníkový ohřev TUV	12
Průtokový plynový ohříváč	12
Elektrický bojler	13
Dimenzování zařízení pro ohřev vody	13
III. Solární ohřev TUV	15
Solární energie.....	15
Solární kolektory.....	16
Typy solárních kolektorů	17
Způsoby zapojení kapalinových solárních kolektorů.....	19
Rizika provozu solárních kolektorů.....	20
Účinnost solárního kolektoru	21
Fotovoltaické panely	22
Fotovoltaický jev.....	22
Fotovoltaický článěk.....	22
Typy solárních článků	23
Způsoby propojení fotovoltaických článků a panelů.....	24
Konfigurace solárního panelu.....	24
Charakteristiky solárního článku a sledování výkonového maxima u FV panelu.....	24
Součástí fotovoltaického systému pro ohřev TUV a jeho způsob zapojení.....	26
Účinnost fotovoltaického modulu.....	27
IV. Metodika bilancování energetického zisku pro ohřev TUV	29
Celková potřeba tepla	29
Solární technologie ohřevu	29
Teoreticky využitelné zisky solárního kolektoru.....	29
Teoreticky využitelné zisky fotovoltaického systému	30
Solární pokrytí	30
Dodatková energie	30
Přebytková energie	30
Průtočný plynový ohříváč a elektrický bojler	30
V. Metodika vyhodnocení a porovnání systémů ohřevu TUV	31
VI. Postup ekonomického hodnocení systémů pro ohřev TUV	31
Cena elektrické energie a plynu pro ohřev TUV.....	32
Nová zelená úsporám.....	32
VII. Koncepční návrh a vyhodnocení systémů pro ohřev TUV	33

Vstupní parametry.....	33
Lokalita a popis objektu.....	33
Výpočet denní potřeby tepla pro přípravu TUV	33
Návrh a vyhodnocení průtokového plynového ohřívače TUV	34
Vyhodnocení plynového zdroje TUV	34
Návrh a vyhodnocení elektrického bojleru	37
Vyhodnocení elektrického zdroje TUV	38
Návrh a vyhodnocení solárních systémů ohřevu TUV.....	40
Denní dávka slunečního ozáření nakloněné plochy ve zvolené lokalitě	40
Užitečná plocha, resp. špičkový výkon solární soustavy	41
Solární zásobníky	41
Dvouokruhový kapalinový solární systém s dodatkovým elektrickým topným tělesem	42
Fotovoltaický systém s dodatkovým elektrickým topným tělesem	49
VIII. Porovnání systémů pro ohřev TUV pro rodinný domek	67
Porovnání systémů pro ohřev TUV v aktuální době.....	67
Citlivostní analýza	68
Citlivostní analýza – ceny energií	68
Citlivostní analýza – cena pořízení solárních systémů	71
IX. Závěr	74
X. Zdroje.....	75
XI. Seznam příloh.....	79

Seznam symbolů, indexu a zkratk

Zkratky

CF_k – kumulovaný tok hotovosti (Kč)

CAPEX – pořizovací náklady (Kč)

CF – tok hotovosti, anglicky Cash Flow (Kč)

ETS – Evropský systém pro obchodování s emisemi

EZO – elektrický zásobníkový ohřivač

FV – fotovoltaický/-é, fotovoltaický systém

MIS – solární články se strukturou kov-izolátor-polovodič

MPP – maximální možný výkon panelu, anglicky Maximum Power Point (W_p)

NOCT – jmenovitá provozní teplota článku, uvádí se podle výrobce, pro obvod otevřený (°C)

NT – nízký tarif

NZÚ – Nová Zelená Úsporám

OPEX – provozní náklady (Kč)

PID – Potential induced degradation

PPO – průtokový plynový ohřivač

PUR – polyuretan

PV-GIS – Photovoltaic Geographical Information Systém

SK – solární kolektor

SOL – solární termický ohřev, dvouokruhový kapalinový solární systém

TUV – teplá užitková voda

Symboly

$t_{e,s}$ – průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu (°C)

\dot{Q}_k – výkon kolektoru (W)

\dot{Q}_S – celkový úhrn slunečního záření (W)

a_1 – lineární součinitel tepelných ztrát solárního kolektoru (W/m²K)

a_2 – kvadratický součinitel tepelných ztrát solárního kolektoru (W/m²K²)

A_{FV} – užitečná celková plocha fotovoltaické soustavy (m²)

A_k – užitečná plocha kolektoru (m²)

c_e – cena elektrické energie (Kč)

c_p – cena plynu (Kč)

c_{tm} – měrná tepelná kapacita teplotnosného média (kJ/kgK)

G_{ref} – referenční ozáření (W/m²)

$G_{T,m}$ – střední denní sluneční ozáření pro daný sklon a orientaci kolektoru ve zvolené lokaci za předpokladu jasného dne (W/m²)

$H_{T,den}$ – skutečná denní dávka slunečního ozáření plochy (kWh/m²)

L_{min} – vzájemný odstup řad panelů (m)

\dot{M} – hmotnostní tok teplotnosného média (kg/s)

P_p – jmenovitý příkon plynového kotle (kW)

$Q_{b,u}$ – teoreticky využitelné zisky elektrického bojleru (kWh)

$Q_{d,i}$ – roční vstupy dodatkové energie (kWh)

$Q_{e,d}$ – denní vstupy energie pro elektrický zdroj (kWh)

$Q_{p,c}$ – celková denní potřeba tepla (kWh)

$Q_{p,d}$ – denní vstupy energie pro plynový zdroj (kWh)

$Q_{pl,u}$ – teoreticky využitelné zisky průtokového plynového ohřivače (kWh)

$Q_{TV,d,e}$ – denní potřeba tepla pro elektrický ohřev (kWh)

t_{FV} – teplota FV článku (°C)

$t_{k,m}$ – průměr teplot na vstupu a na výstupu solárního kolektoru během dne (°C)

t_k – teplota vystupujícího z kolektoru ohřátého média ($^{\circ}\text{C}$)

t_o – teplota vstupujícího do kolektoru chlazeného média ($^{\circ}\text{C}$)

t_{ref} – referenční teplota článku ($= 25^{\circ}\text{C}$)

V_{os} – denní (24 hod.) spotřeba teplé vody osobou (m^3/den)

Z_e – tepelné ztráty elektrického bojleru (kWh)

η_e – účinnost elektrického ohřevu (-)

$\eta_{\text{FV,G}}$ – účinnost fotovoltaického modulu, která je vztažena na velikost slunečního ozáření (-)

$\eta_{\text{FV,t}}$ – účinnost fotovoltaického modulu, která je vztažena na teplotu jeho článků (-)

η_{FV} – celková měsíční účinnost fotovoltaického modulu (-)

η_p – účinnost plynového kotle (-)

η_{ref} – referenční účinnost za normových zkušebních podmínkách (-)

P_{pk} – špičkový výkon fotovoltaického systému (Wp)

n_V – počet výtokových zařízení (-)

q_V – výkon přítoku jednoho výtokového zařízení (kW)

η_0 – optická účinnost solárního kolektoru (-)

$\Delta Q_{\text{max}}, \Delta Q$ – maximální rozdíl mezi dodávkou a odběrem teplé vody během dne (kWh)

c – měrná tepelná kapacita vody (kJ/kgK)

E_{FV} – teoreticky využitelné zisky fotovoltaických panelů (kWh)

f – solární pokrytí (-)

G – intenzita slunečního záření (W/m^2)

G_b – přímé sluneční záření (W/m^2)

G_d – difuzní sluneční záření (W/m^2)

G_T – celkové dopadající sluneční záření (W/m^2)

i – množství panelů (ks)

I_{MPP} – optimální hodnota proudu panelu (A)

I_{sc} – proud na krátko (A)

k – součinitel pro daný fotovoltaický modul, který ukazuje, jak se relativně mění účinnost FV modulu s hodnotou ozáření (-)

n – počet osob bydlících v rodinném domku (-)

P – jmenovitý výkon plynového kotle (kW)

p – paušální procentní srážka tepelných ztrát solární soustavy (-)

$P_{2\text{max}}$ – maximální tepelný výkon odběru (kW)

P_z – potřebný tepelný výkon zdroje tepla pro ohřev vody (kW)

$p_{z,\text{FV}}$ – cena fotovoltaického ohřivače (Kč)

Q_1^* – denní dodávka teplé vody zásobníkovým ohřivačem při nepřetržitém provozu (kWh)

Q_1^{**} – denní dodávka teplé vody zásobníkovým ohřivačem při přerušovaném provozu (kWh)

Q_1^{***} – denní dodávka teplé vody průtokovým ohřivačem (kWh)

Q_2 – odběr teplé vody (kWh)

Q_{ak} – akumulované solární přebytky z předchozího dne (kWh)

$Q_{k,u}$ – teoreticky využitelných zisků solárních kolektorů (kWh)

$Q_{\text{ss,u}}$ – skutečně využitě zisky solární soustavy (kWh)

$Q_{\text{TV,d}}$ – denní potřeba tepla (kWh)

t_{sv} – teplota studené vody ($^{\circ}\text{C}$)

t_t – bod tuhnutí ($^{\circ}\text{C}$)

t_{rv} – teplota teplé vody ($^{\circ}\text{C}$)

t_v – bod varu ($^{\circ}\text{C}$)

U – velikost tepelných ztrát fotovoltaického modulu do okolí ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

U_{MPP} – optimální hodnota napětí panelu (V)

U_{oc} – napětí naprázdno (V)

V_p – celková denní potřeba teplé vody (l)

V_z – potřebný objem zásobníku teplé vody (m^3)

x – délka panelu (m)

z – přírážka z tepelných ztrát (-)

α – nejmenší úhel osvitu ($^\circ$)

α – pohltivost slunečního záření (-)

γ – teplotní součinitel výkonu ($\%/K$)

ε – tepelná emisivita (-)

λ – součinitel tepelné vodivosti (W/mK)

ρ – hustota vody (kg/m^3)

ω – úhel sklonu panelu ($^\circ$)

s – součinitel současnosti (-)

ρ – odrazivost (-)

τ – doba trvání slunečního svitu (hod)

I. Úvod

K tomu, aby člověk mohl existovat, potřebuje nejen jíst, pít a spát, ale potřebuje i normální vnější podmínky, tzn. je třeba zajistit člověku teplo. Teplo vždy bylo a zůstává základní lidskou potřebou. Jednou ze spotřebovávaných forem tepla je teplá užitková voda (zkr. TUV), která je nezbytná pro splnění hygienických požadavků a pro zajištění domácích potřeb. Využití teplé vody významně přispívá k zajištění vysokého komfortu bydlení.

Po celou dobu existence lidstva se objevovaly a zdokonalovaly různé metody ohřevu teplé vody. Avšak v dnešní době v souvislosti s prevencí globálních klimatických problémů je věnována velká pozornost procesům lidského života na planetě, a většina technologií ohřevu TUV nesplňuje nové požadavky. Lidstvo usiluje o efektivní využití energií a snížení produkce látek škodlivých lidskému zdraví a také chemických sloučenin, které katalyzují procesy klimatických krizí. V tomto ohledu se ve všech oblastech lidské činnosti zkoumají různé alternativní „zelené“ možnosti, které jsou bezpečné pro životní prostředí. Obdobná analýza se provádí i v domácnosti.

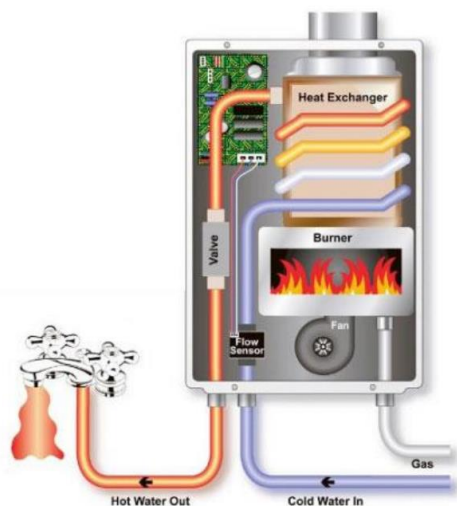
Problematika technologií ohřevu TUV je dneska velmi důležitá, neboť v posledních stoletích potřebné teplo se tradičně vyrábí spalováním fosilních paliv. Nedávno se začaly rozvíjet alternativní „zelené“ technologie ohřevu teplé vody. Jejich postupné zavádění umožní částečně nebo úplně opustit metody, které nevyhovují dnešním požadavkům. Přesto zůstávají klíčové faktory při výběru technologie stejné – spolehlivost a cena.

Tato práce se zabývá analýzou a porovnáním různých způsobů ohřevu teplé užitkové vody pro rodinný domek. Hlavním jejím cílem je určit to nejlepší řešení ze známých technologií ohřevu teplé vody v současné době, mezi nimi jsou plynový, elektrický a solární ohřev. První varianta bude uvažována v podobě průtokového plynového ohřivače, druhá – elektrický bojler a třetí představuje dvě možné technologie výroby tepla ze solárního záření, a to buď prostřednictvím solárních kolektorů, nebo fotovoltaických panelů.

II. Průtokový a zásobníkový ohřev TUV

Z uvažovaných technologií ohřevu teplé vody jsou za základní považovány nejběžnější (tradiční), jako průtokový ohřev vody a zásobníkový ohřev vody topným elektrickým tělesem, napájeným z rozvodné sítě. Zdrojem energie je v obou případech chemická energie ve formě fosilních paliv, která se uvolňuje během termického procesu (spalování).

Průtokový plynový ohříváč



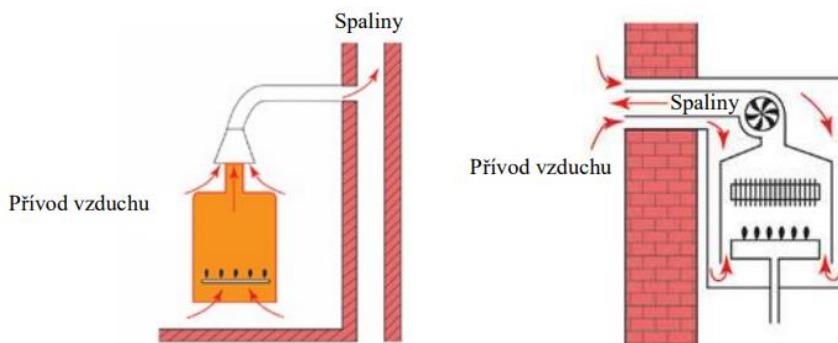
Obrázek 1 Průtočný plynový ohříváč [1]

Průtokový plynový ohříváč vody je jeden z běžných způsobů ohřevu TUV pro rodinný domek. Jde o klasický rekuperační výměník tepla, kde spaliny zemního plynu nebo propanu jsou ohřívajícím médiem (viz. Obr. 1). Zařízení má dost velký topný výkon, což je zajištěno spalováním poměrně velkého množství plynu, ale jen krátce po dobu spotřeby teplé vody.

Takovýto způsob je mnohem ekonomičtější na rozdíl od ohřevu vody zásobníkovým ohříváčem, nicméně celé zařízení má složitou konstrukci a vysoké požadavky na řízení. Souvisí to s tím, že pro pravidelné provozování je třeba zajistit systémy přívodu spalovací směsi (spalovací vzduch a plyn), odvod spalin z výměníku a dokonalou řídicí

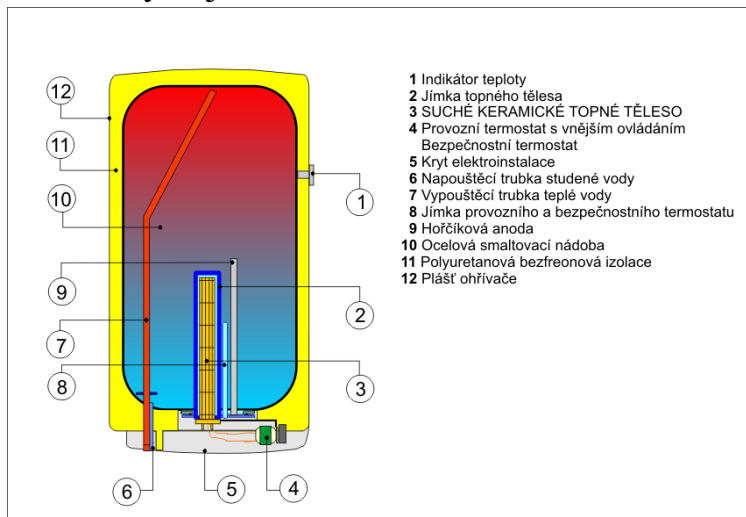
jednotku pro celou soustavu.

Existují různé varianty pro přívod spalovacího média a odvod spalin, hlavními určujícími faktory jsou výkon a míra složitosti konstrukce. Nejjednodušším je zařízení bez odtahu spalin. Pro takový typ je třeba zajistit velký nebytový i samostatný prostor s dobrým přístupem čerstvého vzduchu. Nevýhodou dané konfigurace je omezený výkon. Zařízení s odtahem spalin lze rozdělit podle způsobu na přirozený a nucený. Nucený způsob přívodu spalovacího vzduchu vytvořením podtlaku v komoře a odtahu spalin odsáváním je zajištěn spalínovým ventilátorem na rozdíl od přirozeného, kde celý proces probíhá klasicky spalovací komora-výměník-komín díky rozdílu teplot na vstupu a výstupu vzducho-spalovacího traktu (viz. Obr. 2). Nuceným přívodem vzduchu a odtahem spalin lze dosáhnout vyšší účinnosti při použití koaxiálního potrubí, kde spalovací vzduch je ohříván vystupujícími z ohříváče spalinami.



Obrázek 2 Přirozený (zleva) a nucený (zprava) odtah spalin [2]

Elektrický bojler



Obrázek 3 Elektrický bojler [3]

Elektrický bojler je dalším běžným řešením pro ohřev TUV při nedostatku možnosti dodávky teplé vody z dálkového ohřevu.

Jde o zásobníkový ohřivač vody, který má podobu tlakové nádoby z oceli opatřené ochranným nátěrem (smaltem) před korozi.

Uvnitř nádoba vybavena topným tělesem (vodivé prostředí). Průchodem elektrického proudu vzniká teplo (tzv. elektrické odporové teplo), které je převáděno vodě. Přeměna elektrické energie v teplo je dána Joulovým zákonem. Další

komponenty bojleru jsou jímka na termostat, napouštěcí trubka studené vody, vypouštěcí trubka teplé vody, dvě přípojovací armatury na přívod a odvod vody (viz. Obr. 3). Často se používá i anodová tyč, která slouží k omezení elektrochemické koroze. Pro minimalizaci tepelných ztrát je celá nádoba pokryta izolační vrstvou skelné vaty nebo polyuretanové pěny.

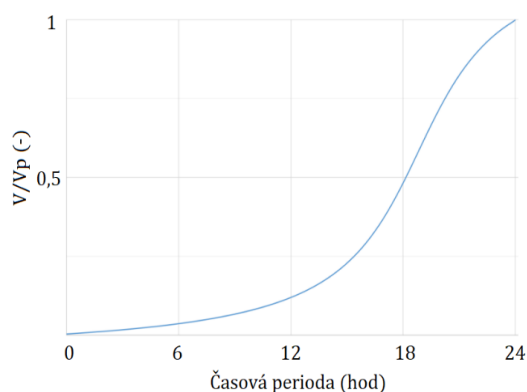
Pro bezpečný provoz bojler musí být vybaven speciálními prvky, jako tepelná pojistka a pojistný ventil. Pojistka má pevně nastavenou vypínací teplotu. V případě poruchy termostatu dosáhne-li teplota vody nad určitou mez, pojistka automaticky vypne zařízení. Pojistný ventil slouží pro upouštění, resp. odpuštění přebytečného tlaku v případě běžného provozu, resp. selhání termostatu a tepelné pojistky.

Elektrický bojler lze zapojit do rozvodné sítě nebo do lokálního zdroje elektrické energie (např. dieselový generátor nebo fotovoltaické panely). Obě možnosti budou zváženy.

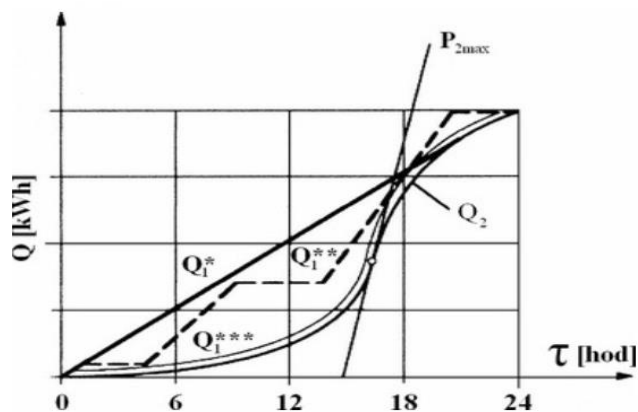
Dimenzování zařízení pro ohřev vody

Velikost a tepelný výkon průtokového a zásobníkového ohřivače vody lze stanovit ze znalosti denního odběru TUV. Normou ČSN 06 0320 je uvedeno jeho průměrné rozložení (viz. Obr. 4):

- od 5 do 17 hodin = 35 % z celkového množství teplé vody (zn. V_p);
- od 17 do 20 hodin = 50 % z celkového množství teplé vody;
- od 20 do 24 hodin = 15 % z celkového množství teplé vody. ^[4]



Obrázek 4 Závislost odběru TUV v čase [4]



Obrázek 5 Příklad křivek dodávek a odběru tepla při ohřevu TUV [5]

Porovnáme-li denní odběr a dodávku tepla při ohřevu TUV (viz. Obr.5), křivka odběru tepla Q_2 odpovídá výše znázorněnému rozložení. Závislost dodávky na čase se liší podle typu režimu provozu ohřivačů. Jak již bylo zmíněno, průtokový typ ohřivače funguje s dostatečným výkonem krátce po dobu spotřeby teplé vody, jinými slovy v režimu krátkodobých odběrových špiček. Z tohoto důvodu jeho křivka denní dodávky tepla (Q_1^{***}) je velice podobná odběru. V zásobníkovém typu ohřivače na rozdíl od průtokového jde o akumulaci teplé vody během určitého časového období. Takový ohřivač může dodávat teplo s nepřetržitým provozem (Q_1^*) nebo s přerušovaným (Q_1^{**}).

Z tohoto grafu lze následně odečíst maximální tepelný výkon odběru (P_{2max}) a stanovit potřebný tepelný výkon zdroje tepla se zásobníkem:

$$P_z = \left(\frac{\Delta Q_s}{\tau} \right)_{max} (kW) \quad (1)$$

Tento poměr vyjadřuje maximální sklon tečny k časové ose. V případě nepřetržitého resp. přerušovaného provozu je $\Delta Q_s = Q_1^*$ resp. se rovná maximální hodnotě dodávky mezi všemi časovými úseky.

Potřebný objem zásobníku se stanoví z maximálního rozdílu dodávky a odběru tepla (ΔQ_{max} , kWh) po celou dobu periody (24 hodin):

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{\rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})} 3,6 \cdot 10^6 (m^3) \quad (2)$$

Tepelný výkon průtokového ohřivače lze stanovit podle normy ČSN 06 0320: [4]

$$P_z = \sum (n_V \cdot q_V) \cdot s (kW) \quad (3)$$

kde n_V je počet výtokových zařízení (-), q_V je výkon přítoku jednoho výtokového zařízení (kW), s je součinitel současnosti (-). Součinitel současnosti $s = 1$ dle normy pro rodinný domek. Výkon přítoku výtokového zařízení se liší podle jeho typu (viz. Tab. 1).

Tabulka 1 Typy výtokového zařízení a jejich výkon přítoku [4]

q_V , kW			
umyvadlo	7,3	sprcha	12
dřez	15,7 až 24,4	vana	24,6

III. Solární ohřev TUV

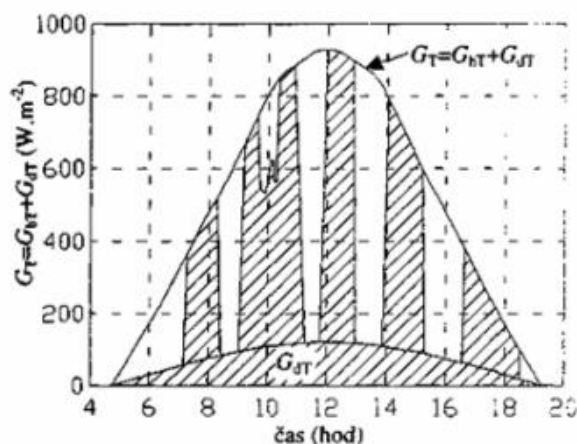
Jako alternativní řešení jsou zvoleny technologie ohřevu teplé vody, jako jsou solární kolektory a fotovoltaické panely. Sluneční záření je možno přeměnit na užitkovou formu buď výrobou tepla pohlcováním záření tmavým povrchem nebo výrobou elektřiny zachycením fotonů podle fotoelektrického jevu v polovodičích.

Solární energie

Slunce je hlavním zdrojem energie pro naši planetu. Jeho energie je absorbována všemi živými organismy planety ve formě chemické energie a po delší době se následně používá jako palivo. Slunce má přímý dopad i na naši atmosféru. Nerovnoměrně jej zahřívá, což způsobuje pohyb vzdušných hmot a srážení. V důsledku toho se vítr a voda stávají dalšími zdroji energie. Původní sluneční záření lze použít i přímo k přeměně na elektrickou nebo tepelnou energii. Na rozdíl od fosilních paliv tento zdroj je prakticky nekonečný, ale jeho dodávka energie je časově omezená a nerovnoměrná během celého roku.

Sluneční energie se zpočátku uvolňuje v obrovském množství z nitra v důsledku termojaderných procesů, tzv. vodíkový cyklus. Jde o přeměnu jádra vodíku na jádra hélia za vysokých teplot, na konci s produkty reakce vystupuje i energie, která se dále šíří ve formě elektromagnetického záření jako „proud“ částic energie – fotonů. Většina vyzářené energie, která se do Země dostane, je viditelné světlo (cca 60 %), další je dlouhovlnné tepelné záření (cca 30 %), menší část připadá na krátkovlnné ultrafialové a rentgenové záření, od kterých nás chrání zemská atmosféra. ^{[6][7]}

Celkové sluneční záření lze rozdělit do dvou složek. První je přímé sluneční záření (G_b), které přímo dopadá na zemský povrch bez pohlcení ani odrazení od atmosféry Země. Další je difúzní sluneční záření (G_d). Toto záření dopadá na plochu po rozptylu přímého slunečního záření částicemi látek v atmosféře (vzduch, kapičky vody atd). Podíl každého z nich se v průběhu dne neustále mění v závislosti na čistotě atmosféry a na tom, zda je obloha zatažená mraky nebo jasná v konkrétním místě, načež má celkové dopadající sluneční záření (G_T) podobný se měnící charakter (viz. Obr. 6).



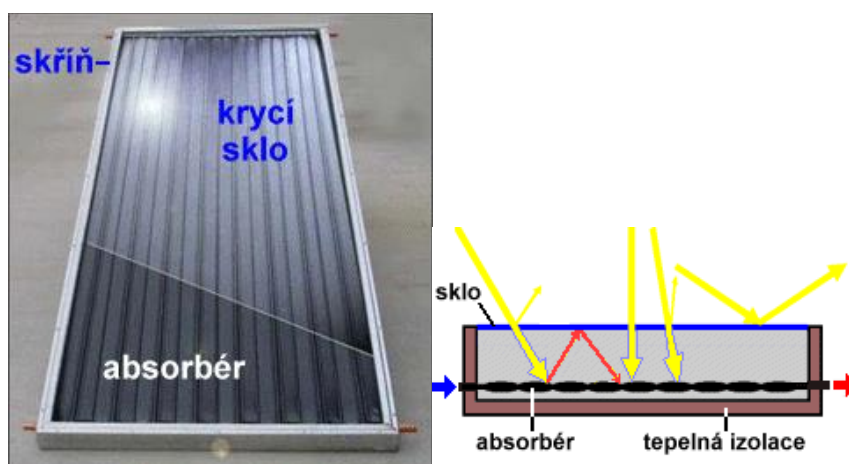
Obrázek 6 Intenzita slunečního záření během dne [8]

Je také důležité vzít v úvahu, že sluneční paprsky dopadají nerovnoměrně na zemský povrch za určitý časový interval. Je to dáno rotací kolem vlastní osy a kolem Slunce v naší planetární soustavě, a, co je nejdůležitější, sférickým tvarem i úhlem sklonu osy planety. Na rovníku sluneční paprsky dopadají svisle a velmi ohřívají Zemi. Čím dále od rovníku, tím je menší úhel dopadu paprsku, a v důsledku toho tato lokalita přijímá méně tepla. Navíc paprsky dopadající pod menším úhlem než na rovník a pronikají-li do atmosféry, procházejí delší dráhu, v důsledku čehož část slunečních paprsků se rozptýlí a nedostane se na zemský povrch.

Solární kolektory

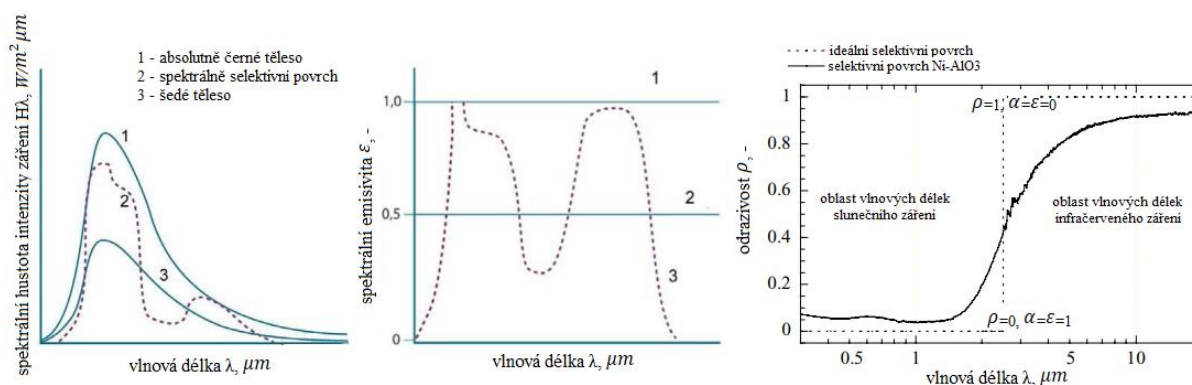
Solární kolektory shromažďují sluneční záření, pohlcují a přemění na tepelnou energii, která je pak absorbována látkou (teplonosná), protékající kolektorem. Rozlišujeme několik typů kolektorů podle teplonosného média, ty jsou kolektory teplovzdušné, kapalinové a kombinované (viz. Třídění solárních kolektorů podle teplonosného média). Z důvodu, že kapaliny mají lepší termofyzikální vlastnosti než plyny, kolektory kapalinové jsou nejběžnějším typem pro ohřev TUV.

Klasický solární kolektor (viz. Obr. 7) se skládá z absorpční plochy (absorbéru), skříň (rám kolektoru), tepelné izolace a zasklení.



Obrázek 7 Konstrukce solárního a aplikace kolektoru [9]

Absorbér plní hlavní funkci kolektoru – pohlcení slunečního záření a doprava tepla, proto jsou absorbéry nejčastěji vyrobeny z mědi ($\lambda = 320$ až 350 W/mK) nebo hliníku ($\lambda = 220$ až 250 W/mK). Skládá se z trubkového registru a plechu. Pro zajištění maximálního pohlcení záření jeho povrch je upraven matnou černou barvou nebo zpracován na selektivní elektrochemickým či galvanickým způsobem (porézní vrstva), napařováním (keramicko-kovové vrstvy) nebo nátěrem (silikonové vrstvy).^[9] Spektrálně selektivní povrch slouží k dosažení maximální absorpce užitečného slunečního záření (viz. Obr. 8). Tato vlastnost tělesa je popsána fyzickými veličinami jako pohltivost slunečního záření (α), tepelná emisivita (ε) a odrazivost (ρ). Ideálním případem je absolutně černé těleso (v přírodě nelze najít), pro všechny vlnové délky pro ně platí $\alpha = \varepsilon = 1$ a $\rho = 0$. Spektrálně selektivní povrch má výhodu i v tom, že jeho radiační vlastnosti jsou proměnlivé v celém rozsahu vlnových délek. Uděláno to tak, aby povrch pohlcovал co nejvíce energie v oblasti vlnových délek slunečního záření a minimalizoval tepelné ztráty sáláním v oblasti vlnových délek infračerveného záření (viz. Obr. 8).^[10]



Obrázek 8 Porovnání radiačních vlastností těles [11]

Skříní kolektoru se nazývá konstrukce (vana) pro uložení absorberu a zapínání kolektoru na určité ploše (např. střecha). Vyrobit se z kovu, dřeva nebo plastu. Skříní a její zapínací prvky musejí odpovídat pevnostním požadavkům souvisejícím s okolními podmínkami prostředí (poryvy větru, sníh apod.).

Dalším komponentem kolektoru je tepelná izolace. Nepropouští teplo ven a brání kolektor od vlhkosti okolí. Nejběžnější tepelné izolace jsou vyrobeny z minerálních vln (skleněná i kamenná vlna) nebo z polyuretanu (PUR).^[12]

Posledním stavebním prvkem kolektoru je krycí sklo. Kromě tepelné izolace a propustnosti užitečného slunečního záření kolektoru plní také funkci skleníku. Nepropouští odražející zpátky dlouhovlnné záření z kolektoru ven, čím zvyšuje teplotu uvnitř kolektoru a současně i teplotu teplotnosného média. Lze rozlišovat dva druhy zasklení. Jednoduché zasklení zahrnuje solární sklo s nízkým obsahem oxidu železa FeO_3 , což snižuje pohltivost materiálu zasklení, a možnost antireflexního povlakování pro snížení odrazivosti rozhraní sklo-vzduch. Dvojitě zasklení obvykle je realizováno kombinací solárního skla a napjaté teflonové fólie. Má mnohem lepší izolační vlastnosti, ale horší propustnost.^[12]

Typy solárních kolektorů

Solární kolektory lze rozdělit podle teplotnosného média na SK teplotovzdušné a kapalinové.

- SK teplotovzdušné:

Jak název napovídá, u teplotovzdušných solárních kolektorů jako teplotnosné médium se používá vzduch. Slouží k větrání, k vytápění či k odvlhčování. Ohřev TUV teplotovzdušným kolektorem nelze použít z důvodu extrémně nízkých termofyzikálních vlastností (tepelná kapacita je několikrát menší oproti vodě).

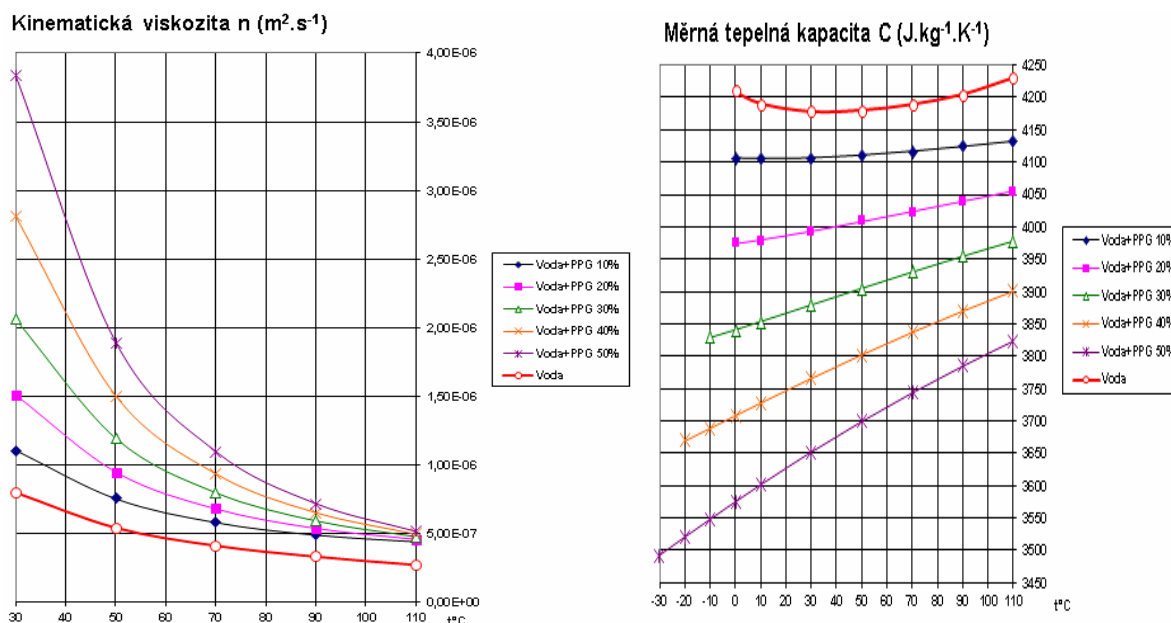
- SK kapalinové:

U kapalinových solárních kolektorů jako teplotnosné médium se běžně používá voda pro sezónní účely nebo nemrznoucí směsi (propylenglykol + voda) pro celoroční využití.

Voda, jako teplotnosné médium, je netoxická, nehořlavá a lehko dostupná látka, která má vynikající vlastnosti pro přenos tepla a proudění potrubím (vysoká tepelná kapacita a tepelná vodivost, relativně nízké viskozity, viz. Obr. 9). Nevýhodou vody pro užití v solárních systémech je poměrně malý rozsah teplot mezi pevným a plynným skupenství (má relativně vysoký bod tuhnutí $t_t = 0 \text{ °C}$ i relativně nízký bod varu $t_v = 100 \text{ °C}$ za normálních podmínek), obsah kyslíků a dalších rozpuštěných chemických látek je příčinou vzniku koroze, kvalita vody, jinými slovy stupeň čistoty vody od minerálních látek, má vliv na vznik usazenin v potrubí solárního systému.

Nemrznoucí směsi propylenglykolu na rozdíl od vody mají pohyblivý bod tuhnutí pomocí regulace koncentrace glykolu ve směsi, což umožňují využívat solární kolektor během celého roku. Nevýhodou oproti vodě jsou horší termofyzikální vlastnosti a vyšší korozivita.

Glykolové směsi mají několikrát vyšší viskozitu s výraznou teplotní závislostí, což má za následek vyšší nároky napájecího čerpadla. Tepelná kapacita je zhruba o čtvrt' nižší oproti vodě, tzn. horší schopnost k ohřevu a sdílení tepla. Porovnání těchto parametrů je znázorněno na Obr. 9. Navíc glykolová směs má poměrně vysokou způsobilost ke vzniku koroze. Pro ochranu potrubí se ke směsi přidávají inhibitory, které vytvářejí na povrchu ochrannou vrstvu.^[13]



Obrázek 9 Porovnání závislosti kinematické viskozity/měrné tepelné kapacity vody a glykolových směsí na teplotě [14]

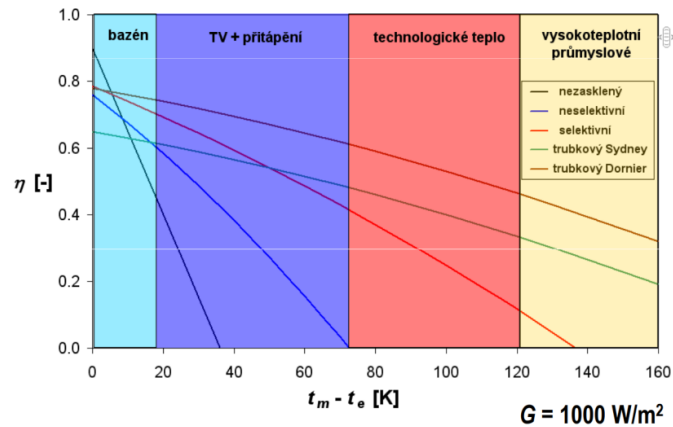
Dále lze klasifikovat solární kolektory podle konstrukce na kolektory ploché a trubkové.

- Ploché solární kolektory:

K plochým solárním kolektorům pro ohřev TUV patří dvě různé skupiny kolektorů, které se liší hlavně podle konstrukce a jsou používány buď jen v sezóně nebo v průběhu celého roku. Nezasklená plastová rohož či zasklený deskový kolektor s kovovým absorberem se spektrálně neselektivním povlakem mají poměrně velké tepelné ztráty a nízkou efektivitu kvůli svojí konstrukci, nízké pohltivosti slunečního záření a tepelné emisivity. Proto jsou aplikovány většinou pro ohřev vody do bazény (viz. Obr.10). Pro celoroční ohřev TUV se běžně používají zasklený deskový kolektor s kovovým absorberem se spektrálně selektivním povlakem nebo jeho zlepšená modifikace s nižším tlakem uvnitř kolektoru oproti okolí, tzv. vakuový. Díky mnohem lepší tepelné izolaci mají nízké tepelné ztráty a jsou schopny zajišťovat provozní teploty až 100°C (viz. Obr.10).^[15]

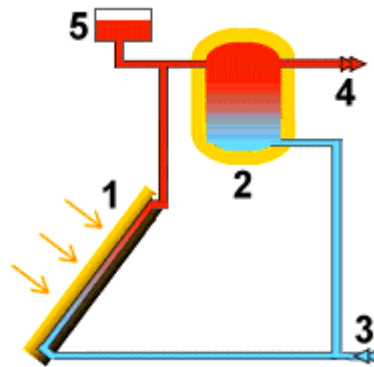
- Trubkové vakuové kolektory:

Trubkové vakuové kolektory se rozdělují na jednostěnné a dvoustěnné. Jsou podobné v tom, že absorber je umístěn ve skleněné vakuové trubici, uvnitř které je dosaženo tlaku mnohonásobně nižšího než u plochých vakuových kolektorů. Z tohoto důvodu mají mnohem nižší tepelné ztráty a jsou schopné pracovat při vyšších provozních teplotách. Jejich rozdílem je tvar absorberu. Uvnitř jednostěnného trubkového kolektoru (Dornier) je umístěn plochý absorber se spektrálně selektivním povlakem, uvnitř dvoustěnného (Sydney) – válcový spektrálně selektivní absorber. Trubkové vakuové kolektory jsou známy jako účinnější kolektory pro poměrně vysoké teploty a nejčastěji se používají pro průmyslové aplikace kvůli požadovaným teplotám a z ekonomických důvodů (viz. Obr.10).



Obrázek 10 Aplikace solárních kolektorů [16]

Způsoby zapojení kapalinových solárních kolektorů

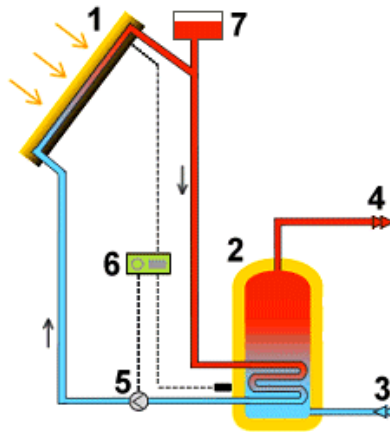


Obrázek 11 Jednookruhový kapalinový solární systém [9]

Existují různé způsoby zapojení solárních kolektorů. Jednookruhový kapalinový solární systém je nejjednodušší, ale jeho využití je omezeno obdobím, proto se také nazývá sezónním. Jako teplotnosné médium se běžně používá voda.

Napájecí voda se přivádí do cyklu otevřením regulačního ventilu (3), následně prochází solárním kolektorem (1), kde odebírá teplo a končí v zásobníku s tepelnou izolací (2), odkud část teplé vody pak odchází do uživatele (4), zbytek se ochlazuje a vrátí se do cyklu. Expanzní nádoba (5) chrání celý systém od nebezpečného přetlaku v důsledku ohřevu proudícího teplotnosného média.

Konstrukce tohoto zapojení je velmi zjednodušená a lehká, systém využívá dostupnou a levnou teplotnosnou látku s vynikajícími termofyzikálními vlastnostmi a z tohoto pohledu je ekonomicky výhodnější než ostatní systémy, ale jeho funkčnost je omezená ročním obdobím a okolními podmínkami.



Obrázek 12 Dvouokruhový kapalinový solární systém [9]

Dvouokruhový kapalinový solární systém na rozdíl od jednookruhového je schopen fungovat během celého roku díky proudící nemrznoucí teplotně odolné kapalině (vodní směs propylenglykolu), která, jak již bylo zmíněno, má pohyblivý bod tuhnutí regulovaný koncentrací propylenglykolu ve směsi. Hlavním rozdílem oproti jednookruhového systému je proudění v okruzích dvou různých kapalin (v 1. okruhu je glykolová směs, ve 2. je užitková voda) a nucená cirkulace, která je zajištěna napájecím čerpadlem (5).

Teplotně odolná kapalina je pohaněna přes solární kolektor (1), kde se odebrá teplo, a přenáší ho do tepelného výměníku (ohřívák, propylenglykol-voda) uvnitř zásobníku s tepelnou izolací (2). Po tepelné výměně ochlazený propylenglykol se vrátí do 1. okruhu. 2. okruh zajišťuje odběr ohřáté vody ze zásobníku do uživatele a dodávku napájecí vody (3). Expanzní nádoba (7) stejně jako u jednookruhového systému chrání od nebezpečného přetlaku. Celý cyklus je regulován automatickým regulačním řízením (6).

Tato konstrukce je komplikovanější a vyžaduje regulační systém, což má za následek vyšší investiční náklady.

Rizika provozu solárních kolektorů

Během provozu solárních kolektorů za podmínky vysokých výkonů (většinou v letním období, a to je především v důsledku delšího slunečního svitu a relativně větší hodnoty ozáření) a žádného odběru TUV se může nastat přehřátí celé solární soustavy, tzv. stagnace. Dochází k varu teplotně odolného média, v důsledku čehož se vzniká pára o vysoké teplotě a tlaku. Dalším přehříváním kolektoru se podíl páry narůstá a může se dojít i do situace, kdy se veškeré teplotně odolné médium vypaří, což je zvláště nebezpečná situace. Tlak a teplota produkované páry způsobují největší zatížení prvků systému a mohou i překročit mezní hodnoty používaných materiálů a tím dojde k jejich opotřebení nebo dokonce zničení.

Zabezpečení systému proti stagnaci lze zajistit instalací pojistných prvků i návrhem vhodného teplotně odolného média s vyšší stagnační teplotou do primárního okruhu.

Mezi pojistnými prvky patří především expanzní nádoba. Vyrovnává změny objemu kapaliny způsobených změnami její teploty a udrží tlak v soustavě v předepsaném rozmezí. Návrh vhodné velikosti expanzní nádoby je stanoven podle objemu celé solární soustavy, její maximální provozní teploty, maximálního přípustného a minimálního tlaku v okruhu.

Pojistný ventil je dalším nezbytným ochranným prvkem systému, který se otevírá tlakem se blížícím k maximálně přípustnému v soustavě, a tím chrání celý systém od nebezpečného zatížení. Maximální dovolený tlak je stanovený s ohledem na tlakovou odolnost nejslabšího konstrukčního prvku okruhu.

Často solární systémy bývají také vybaveny konstrukčními prvky, jako zpětná klapka či zpětný ventil, které zajišťují průtok média jedním směrem a jsou schopny velice omezit proniknutí pár do okruhu při stagnaci.

Kromě pojistných prvků lze systém zachránit dobrou vyprazdňovací schopností kolektoru. Pravidelné hydraulické zapojení trubkového registru absorberu umožní vytlačení zbylého objemu teplotonosného média z kolektoru při stagnaci. V případě špatné vyprazdňovací schopnosti, množství vytlačené kapaliny je pak velmi omezené.

Účinnost solárního kolektoru

Základním parametrem pro vyhodnocení činnosti jakéhokoliv solárního kolektoru je jeho účinnost. Neuvažujeme-li tepelné ztráty (neboli jsou nulové) se počítá jako

$$\eta_0 = \frac{\dot{Q}_k}{\dot{Q}_s} = \frac{\dot{M} \cdot c_{tm} \cdot (t_k - t_o)}{G \cdot A_k} \quad (-) \quad (4)$$

kde \dot{Q}_k je výkon kolektoru (W), \dot{Q}_s je celkový úhrn slunečního záření (W), \dot{M} je hmotnostní tok teplotonosného média (kg/s), c_{tm} je jeho měrná tepelná kapacita (kJ/kgK), t_o je teplota vstupujícího do kolektoru chlazeného média ($^{\circ}\text{C}$), t_k je teplota vystupujícího z kolektoru ohřátého média ($^{\circ}\text{C}$), G je intenzita slunečního záření (W/m^2), A_k je užitečná plocha kolektoru (m^2).

Použití účinnosti kolektoru bez úvahy tepelných ztrát si lze představit především pro rychlé orientační ocenění kolektoru v určité aplikaci, nikoli pro konkrétní návrh solárního systému. Souvisí to s tím, že tepelné ztráty kolektoru mají velký vliv na velikosti skutečných energetických zisků. Z provedených zkoušek dle ČSN EN 12975 je patrné, že skutečná účinnost má tvar regresní paraboly (viz. Obr.10) a je závislostí na venkovních klimatických podmínkách (sluneční ozáření G , teplota okolí t_e) a provozních podmínkách (střední teplota teplotonosného média t_k).^[17] Vzhledem k tomu, že parametry funkce jsou veličiny se měnící během celého roku, uvažuje se takzvaná Střední denní účinnost solárního kolektoru η_k :

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \quad (-) \quad (5)$$

kde a_1 je lineární součinitel tepelných ztrát ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), a_2 je kvadratický součinitel tepelných ztrát ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}^2$), $t_{k,m}$ je průměr teplot na vstupu a na výstupu solárního kolektoru během dne ($^{\circ}\text{C}$), $t_{e,s}$ je průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu ($^{\circ}\text{C}$), $G_{T,m}$ střední denní sluneční ozáření pro daný sklon a orientaci ve zvolené lokaci za předpokladu jasného dne (W/m^2).

Parametry η_0, a_1, a_2 (parabolické konstanty) udává výrobce (viz. Tab. 2), denní průměrné hodnoty $G_{T,m}, t_{e,s}$ lze odečíst ze solárního modelu PV-GIS pro zvolenou lokalitu. $t_{k,m}$ jsou standardizované dle normy TNI 73 0302, stanoví se podle typu a velikosti solárního systému.

Tabulka 2 Typické parametry účinnosti solárních kolektorů dle TNI 73 0302[18]

Typy SK	$\eta_0, (-)$	$a_1, (-)$	$a_2, (-)$
Plochý neselektivní	75 %	6,50	0,03
Plochý selektivní	78 %	4,20	0,02
Trubkový vakuový jednostěnný	75 %	1,50	0,01
Trubkový vakuový dvojtěnný	65 %	1,50	0,01

Fotovoltaické panely

Jinou vhodnou možností pro ohřev TUV je ohřev elektrickým topným tělesem, které je zapojeno do fotovoltaického systému.

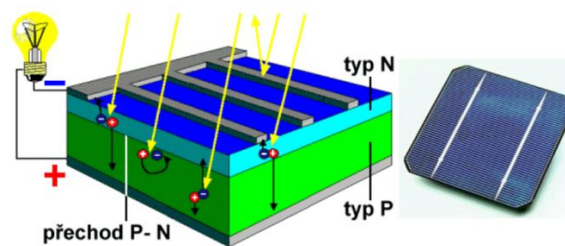
Ohřev je zajištěn přeměnou elektrické energie do tepla, tzv. Jouleovo teplo. To je teplo, které vzniká v elektrickém vodiči předáváním částí kinetické energie elektronů částicím, které se elektrického proudu nezúčastní (iontům).

Fotovoltaický jev

Přeměna slunečního záření do elektrické energie vzniká díky fotovoltaickému jevu v polovodičích. Polovodič je kombinací vlastností vodiče a izolantů. Krystalová mřížka polovodiče má proměnlivé vlastnosti v závislosti na určitých podmínkách, jako jsou teplota okolí a stupeň osvětlení. Za nízkých teplotách a žádném osvětlení se polovodič chová jako izolant, tzn. nemá žádné volné elektrony ve krystalové mřížce, které by mohly vytvořit elektrický proud. Při dodávání energie polovodiči ve formě záření (teplo nebo osvětlení) dochází k tepelnému kmitání atomů mřížky, následkem čehož je uvolnění některých valenčních elektronů. V důsledku toho vznikají místa s chybějícím záporným nábojem, které se pak projeví jako kladný náboj, tzv. „díry“. Během zahřátí nebo osvětlení polovodiče pohyb uvolněných elektronů krystalové mřížky připomíná hru Na babu, kde elektrony se snaží vzájemně dohnat skákáním přes buňky („díry“). Jakmile polovodič bude pod elektrickým napětím, celý chaotický pohyb elektronů a „děr“ bude uspořádán a tím vznikne elektrický proud.

Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek je v podstatě elementární jednotkou fotovoltaického zařízení. Je zároveň modifikací klasického (čistého) polovodiče a skládá se ze dvou polovodičů různého typu vodivosti. Krystalová mřížka polovodiče typu N zahrnuje atomy vhodných příměsí (např. fosfor), které mají větší počet vázaných elektronů. Elektrony, které se nezúčastňují v chemických vazbách, mají mnohem větší šance k uvolnění a tvoří elektronovou vodivost polovodiče při vzniku elektrického napětí. Krystalová mřížka polovodiče typu P naopak zahrnuje atomy příměsí (např. Indium), které mají menší počet valenčních elektronů a tím se zvyšuje počet míst s chybějícím záporným nábojem („děr“). Vznik vnějšího elektrického napětí vytvoří uspořádaný pohyb „děr“ – děrovou vodivost.



Obrázek 13 Fotovoltaický článek [19]

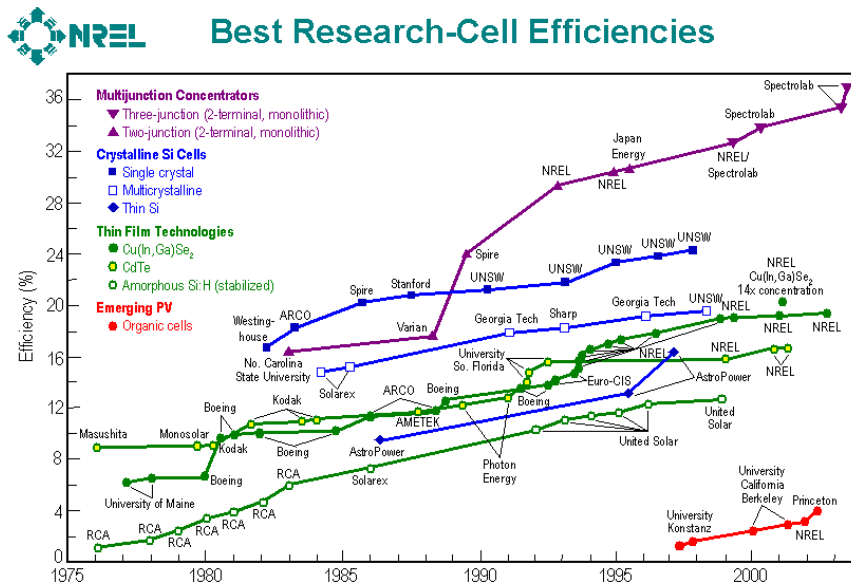
Stykem dvou polovodičů různých typů vodivosti (přechod PN) dochází k usměrňovacímu účinku a zapojíme-li článek do elektrického obvodu, tímto obvodem začne protékat jednosměrný elektrický proud (viz. Obr. 13).

Velikost vzniklého elektrického proudu a elektrického napětí je závislá na materiálu a typu článků, způsobu jejich zapojení (sériově nebo paralelně) a velikosti osvětlované plochy.

Typy solárních článků

Fotovoltaické články lze rozdělit do pěti skupin podle metody výroby, materiálu a aplikace na klasické, tenkovrstvé, MIS, vícevrstvé solární články a PN sloučeniny:

- **Klasické solární články:**
Pro výrobu se používá buď krystalický (monokrystalický, polykrystalický), anebo amorfni křemík. Z důvodu, že monokrystalické články se vyrábějí z homogenního kusu krystalického křemíku, mají přednost většinou při přímém slunečním osvětlení. Polykrystalické články oproti předchozímu typu se vyrábějí lisováním rozemletého křemíku a díky tomu jsou schopny pobírat světlo z většího intervalu úhlu dopadu, resp. pracují více s difuzním zářením. Tento rozdíl ale při dostatečně malém výkonu je nepatrný. Při optimálním úhlu dopadu slunečních paprsků a s jasnou oblohou účinnost monokrystalického článku může dosahovat 18-20 %, polykrystalické články reprezentují účinnost až 13 % při difuzním záření.^[18]
Druhá podskupina klasických solárních článků je vyrobena z amorfniho křemíku. Má výhodu v tom, že stejná vrstva amorfniho křemíku na rozdíl od krystalického absorbuje více elektromagnetického záření a umožňuje zajišťovat větší napětí naprázdno, to je způsobeno jeho strukturou – atomy nejsou rozloženy uspořádaně. Nicméně dosahovaná účinnost je menší než u krystalických článků, resp. kolem 7 %.^[18]
- **Tenkovrstvé solární články:**
Amorfni křemík má aplikaci i pro výrobu tenkovrstvých článků, díky čemuž mají mnohem menší tloušťku než klasické solární články (jednotky mikrometru oproti 2-3 stovkám), resp. menší ekonomické náklady na výrobu. Vyrábějí se vysokoteplotním napařením vrstvy amorfniho křemíku na skleněnou, plastovou či kovovou plochu. Mají účinnost kolem 14 % a jsou méně závislé na kolísání teplot na rozdíl od klasických článků.^[20]
- **MIS solární články:**
Dalším typem jsou MIS (kov-izolátor-polovodič) články s inverzní vrstvou je modifikací klasických solárních článků. Hlavní výhodou je indukovaný PN přechod s inverzní vrstvou typu N. Účinnost těchto článků může dosahovat 15 %.
- **PN sloučeniny:**
Do čtvrté skupiny jsou řazeny solární články z PN sloučenin. Příklady takových jsou sloučeniny Arsenidu galia (GaAs) a Sulfidu kadmátového (CdS). Hlavní jejich výhodou jsou mnohem lepší účinnost, někdy i poměrně nízké závislosti výkonu na kolísání teplot.
- **Vícevrstvé solární články:**
Tato skupina je představena moderními solárními články, které jsou schopny zachycovat větší spektrum slunečního záření, resp. větší počet fotonů různých energetických úrovní. Jak již název napovídá, jejich hlavním znakem je vícevrstvá struktura (dvoj- nebo trojvrstvé), ze které každá konkrétní vrstva (sub-struktura P-I-N) pohlcuje specifické spektrum záření. Materiálem jednotlivých vrstev může sloužit například amorfni nebo mikrokrystalický křemík.^[21]



Obrázek 14 Účinnosti různých typů solárních článků [22]

Způsoby propojení fotovoltaických článků a panelů

Zapojení FV článků/panelů do celého solárního systému má velký význam na velikosti výstupních hodnot elektrického napětí a proudu. Sériovým zapojením lze zvyšovat výstupní napětí a zachovávat výstupní proud ekvivalentní vznikajícímu proudu v jednotlivém článku/panelu. Paralelní zapojení naopak umožňuje zvyšovat výstupní elektrický proud se zachováním stejného napětí na výstupu. Kombinací obou způsobů je možné dosáhnout požadovaných velikostí elektrického proudu a napětí na výstupu.

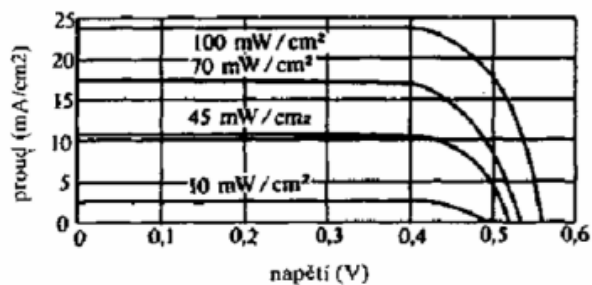
Obecně FV články jsou zapojeny sériově do jednotlivého panelu pro zajištění dostatečně velkého výstupního napětí. Následné zapojení jednotlivých panelů do solárního systému je závislé na jeho režimu. Pro grid-on systém (výroba a přenos elektrické energie do rozvodné sítě) je požadované napětí až 230 V/240 V, proto je třeba zapojit solární panely přednostně v sérii. Pro grid-off systém (lokální výroba, tzv. ostrovní režim) naopak stačí jen zajistit napětí 12–24 V pro lokální spotřebiče, vzhledem k tomu, zapojení je realizováno většinou paralelně.

Konfigurace solárního panelu

Optimální konfigurací solárního panelu je propojení 36 nebo 72 solárních článků s výstupním napětím 20 V, resp. 30 V. ^[23] Pro lokální spotřebu je pak možné zajistit i požadované výstupní napětí (12 V a vyšší), což je provedeno napojením na měnič či střídač. Taková konfigurace je schopna dodat elektrický výkon až 100-200 W.

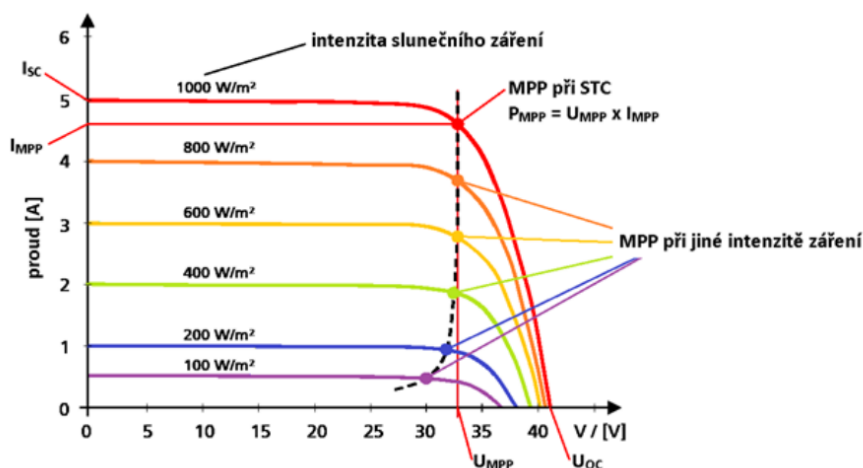
Charakteristiky solárního článku a sledování výkonového maxima u FV panelu

Voltampérová charakteristika je základem pro sledování činnosti fotovoltaického prvku. Pro každý solární článek se uvádějí velikosti získaného proudu a napětí naprázdno v závislosti na intenzitě dopadajícího záření (viz. Obr.15).



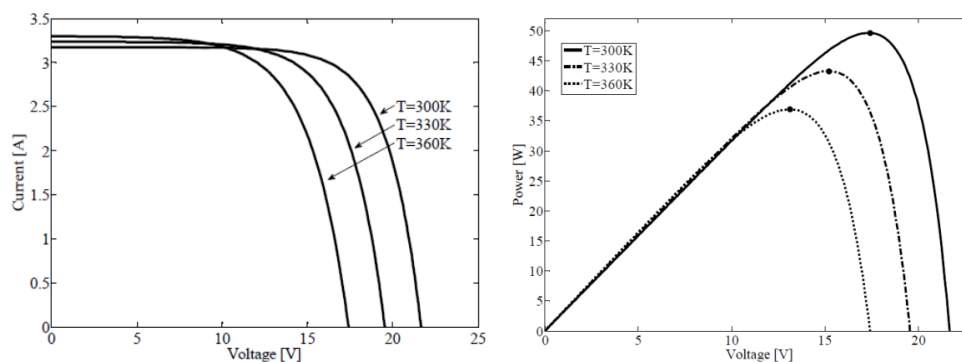
Obrázek 15 Příklad voltampérové charakteristiky FV článku [8]

Stejným způsobem se sestavuje charakteristika i pro celý solární panel (viz. Obr.16). Z této charakteristiky se pak stanovují základní parametry FV panelu jako napětí naprázdno (U_{oc}), proud na krátko (I_{sc}) a odečítají se jejich optimální hodnoty (U_{MPP} a I_{MPP}) pro maximální možný výkon panelu (W_p), tzv. MPP – Maximum Power Point.



Obrázek 16 VA charakteristika FV panelu a sledování MPP [24]

Výsledkový výkon solárního panelu je závislý nejen na intenzitě záření, ale i na teplotě a úhlu dopadajícího světla. S rostoucí teplotou klesá napětí, což je ovlivněno polovodičovou strukturou solárního článku. Následkem je i pokles elektrického výkonu (viz. Obr. 17). Dalším ovlivňujícím parametrem, jak již bylo uvedeno, je úhel dopadu slunečních paprsků. Pro zajištění maximálního výkonu je třeba stanovit optimální úhel sklonu panelu a jeho orientace. V České republice v letním období se zvažuje optimální úhel sklonu velikosti cca 35°, v zimě, kdy slunce je více na obzoru, je vhodné zvolit úhel cca 60° a vždy je orientováno na jih.

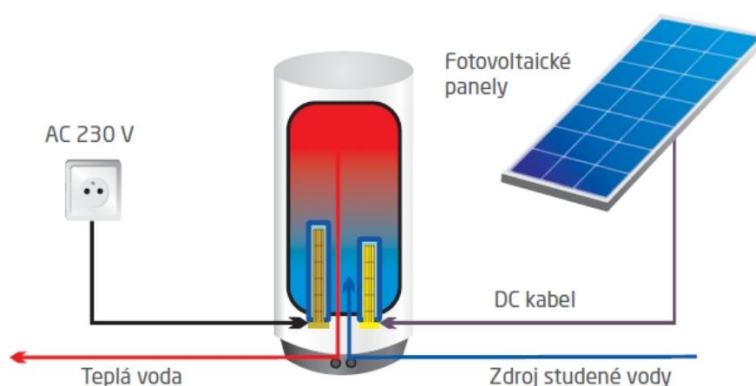


Obrázek 17 Závislost elektrického výkonu na teplotě [25]

Součástí fotovoltaického systému pro ohřev TUV a jeho způsob zapojení

Nejjednodušší systém pro ohřev TUV zahrnuje jen:

- fotovoltaické pole, které je složeno z přednostně paralelně zapojených FV panelů, které jsou schopny v celku dodat výkon v řádě jednotek kWp. Takový systém se většinou instaluje na střeše domu;
- spotřebič, resp. elektrický bojler pro ohřev TUV, který je vybaven dvěma topnými tělesy, jeden na režim „ostrovní“ přímo z fotovoltaických panelů (=DC), druhý se používá v případě dodatku energie ze lokálního distribučního uzlu (230 V~AC/50 Hz).
- vodiče – kabely pro zapojení celého systému.



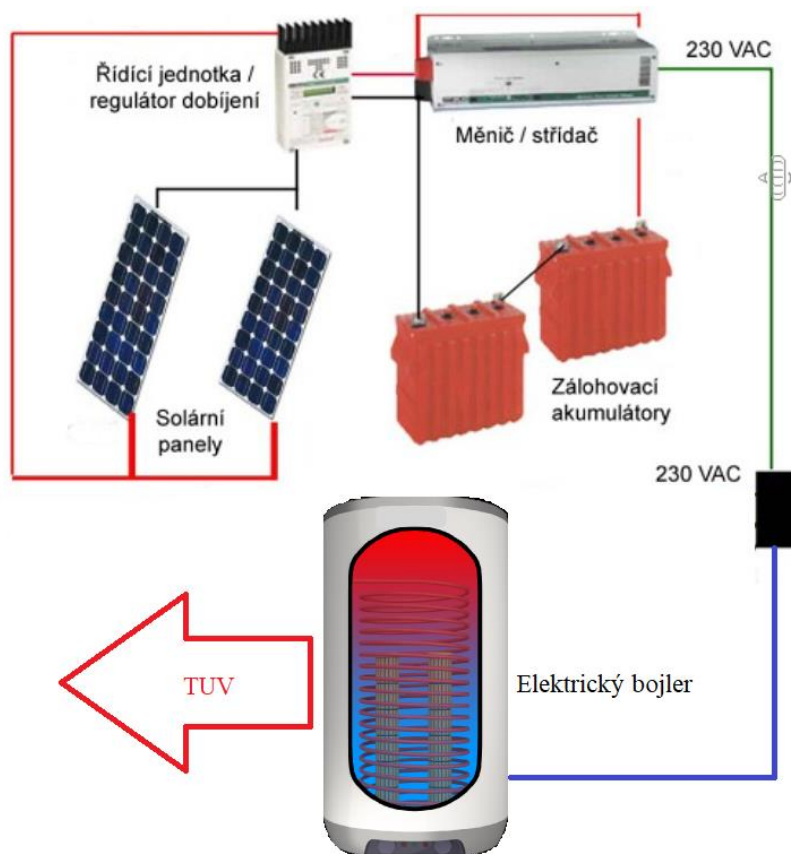
Obrázek 18 Jednoduché zapojení fotovoltaického systému na ohřev TUV [26]

Podobné zapojení je vhodné, pokud systém byl zpočátku navrhován pro částečné pokrytí potřeby tepla během celého roku (ostrovní režim). Problém přebytku lze řešit jen automatickým odpojením systému. Výhodou jsou pak jednoduchost konstrukce a nízké náklady na realizaci. Na druhou stranu takové řešení implikuje nákup elektřiny pro pokrytí potřeby tepla během období, kdy jsou energetické zisky dostatečně malé.

V případě systému, který většinou nebo vždycky pokrývá potřebu tepla, musí být vybaveným zálohovacím zařízením, které řeší problém přebytkové energie během období špičkových výkonů a v okamžiku, kdy ji už nelze naakumulovat pouze fotovoltaickým zásobníkem (podrobněji o režimu provozu a akumulačních schopnostech solárních zásobníků viz. odstavec Solární zásobníky níže). To je obvykle představeno zálohovacími akumulátory na 12 nebo 24 V a regulačním prvkem. Mezi další modifikací patří:

- měnič DC-DC/střídač DC-AC napětí, který zajišťuje požadovanou velikost a typ elektrického napětí na výstupu (např. 230 V ~AC);
- sledovač (Maximum Power Point Tracker), kterým je obvykle sestava doplněna, umožňuje výrobu elektrické energie z FV panelů udržet na maximální produkci během proměnlivých klimatických podmínek. U systému bez použití MPPT je napětí na FV panelech závislé na generovaném proudu a zátěži. Neřízenou zátěží se FV panel v provozu dostává mimo optimální bod výkonového maxima a celková produkce elektrické energie je nižší než při použití MPPT.^[27]

Takový způsob zapojení (viz. Obr. 19) je dobrý pro stabilizaci energetické výroby systému, jehož hlavním zdrojem je zdroj časově nespolehlivý, ale je konstrukčně složitější a mnohem dražší.



Obrázek 19 Sestava pro „ostrovní“ ohřev TUV fotovoltaikou [28]

Účinnost fotovoltaického modulu

Účinnost fotovoltaického modulu primárně je funkcí teploty FV článků i velikosti slunečního záření. Jak již bylo zmíněno, s rostoucí teplotou výkon, resp. účinnost lineárně klesá:

$$\eta_{FV,t} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (t_{FV} - t_{ref}) \right) (-) \quad (6)$$

kde η_{ref} je referenční účinnost za normových zkušebních podmínkách¹ (-), t_{FV} je teplota FV článku (°C), t_{ref} je referenční teplota článku (25 °C), γ je teplotní součinitel výkonu (%/K) a udává se výrobcem pro určitý panel.

Teplota FV článku je proměnlivá během roku a závisí hlavně na střední denní teplotě okolí $t_{e,s}$ (°C), na velikosti slunečního ozáření G (W/m²), pohltivosti FV panelu α (-), velikosti tepelných ztrát do okolí U (W/m²K) a zpětně na celkové elektrické účinnosti modulu η_{FV} (-), což naznačuje použití iterační metody. Teplotu FV článku lze stanovit dle vztahu:

$$t_{FV} = \frac{G \cdot (\alpha - \eta_{FV})}{U} + t_{e,s} (°C) \quad (7)$$

Součinitel tepelných ztrát do okolí U se určí za jmenovitých podmínek provozu článku:

$$U = \frac{G_j \cdot \alpha}{NOCT - t_{e,j}} (°C) \quad (8)$$

¹1000 W/m², 25 °C

kde $NOCT$ je jmenovitá provozní teplota článku, uvádí se podle výrobce, pro obvod otevřený (žádný odběr elektrické energie, resp. elektrická účinnost je nulová) platí $t_{FV} = NOCT$. Dosazením do vztahu (7) teplota FV článku se počítá jako:

$$t_{FV} = \frac{G \cdot (\alpha - \eta_{FV})}{G_j \cdot \alpha} \cdot (NOCT - t_{e,j}) + t_{e,s} \text{ (} ^\circ\text{C)} \quad (9)$$

Elektrická účinnosti FV modulu se zvětšením hodnoty slunečního ozáření na rozdíl od teplotní závislosti má logaritmicky rostoucí charakter:

$$\eta_{FV,G} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + k \cdot \ln \frac{G}{G_{ref}} \right) (-) \quad (10)$$

kde η_{ref} je referenční účinnost za normových zkušebních podmínek²(-), G je sluneční ozáření (W/m^2), G_{ref} je referenční ozáření (W/m^2), k je součinitel pro daný modul (-), který ukazuje, jak se relativně mění účinnost FV modulu s hodnotou ozáření, udává se výrobcem.

Celkovou měsíční účinnost lze pak vyjádřit podle vztahu:

$$\eta_{FV} = \frac{\eta_{FV,t} \cdot \eta_{FV,G}}{\eta_{ref}} (-) \quad (11)$$

²1000 W/m^2 , 25 $^\circ\text{C}$

IV. Metodika bilancování energetického zisku pro ohřev TUV

Pro vyhodnocení činnosti a specifiky každé technologie je třeba provádět energetickou analýzu, která zahrnuje stanovení energetických přínosů s přihlédnutím k spotřebě tepla zvoleného objektu a tepelným ztrátám, posouzení základních parametrů zvoleného systému (např. orientace a sklon solárního zařízení, provozní teploty, dimenzování systému) a energetického potenciálu zvolené lokace (např. intenzita slunečního záření, průměrné denní teploty okolí).

Celková potřeba tepla

Denní potřeba tepla $Q_{TV,d}$ pro ohřev TUV v rodinném domku se stanoví za předpokladů, že:

1. během roku bude konstantní, tzn. nebudou zohledněna období, kdy rodina žijící v domku je dlouhodobě nepřítomná, například z důvodu dovolené;
2. teplota studené vody je hodnota stálá

a dle normy ČSN EN 12831-3:

$$Q_{TV,d} = \frac{n \cdot V_{os} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \cdot 10^6} \text{ (kWh)} \quad (12)$$

kde n je počet osob (-), V_{os} je denní (24 hod.) spotřeba teplé vody osobou (m^3/den), ρ je hustota vody (kg/m^3), c je měrná tepelná kapacita vody (J/kgK), t_{TV} je požadovaná teplota teplé vody ($^{\circ}\text{C}$), t_{SV} je teplota studené vody ($^{\circ}\text{C}$).^[29]

Uvažujeme-li tepelné ztráty způsobené rozvodem TUV a samotným zásobníkem tepla (přirážka z tepelných ztrát z (-)), celková denní potřeba tepla se určí podle vztahu:

$$Q_{p,c} = (1 + z) \cdot Q_{TV,d} \text{ (kWh)} \quad (13)$$

Solární technologie ohřevu

Zjednodušený výpočtový postup energetického hodnocení (energetické bilancování) solárních systémů pro každý měsíc je stanoven technickou normou TNI 73 0302.^[30] Na základě tohoto postupu je dále předložena jeho modifikace, která je nutná pro řešení zadaného úkolu této práce. Jde o metodu denního energetického bilancování solárních systémů. Na rozdíl od původní metody zahrnuje možnost akumulace přebytečné solární energie pro další využití. Skutečně využité zisky solární soustavy ($Q_{ss,u}$, kWh) pak budou stanoveny na základě porovnání teoreticky využitelných zisků solárních kolektorů neboli fotovoltaických panelů ($Q_{k,u}$, kWh neboli E_{FV} , kWh) vč. akumulovaného solárního přebytku z předchozího dne (Q_{ak} , kWh) a celkové denní potřeby tepla ($Q_{p,c}$, Wh), která má být kryta:

$$Q_{ss,u,k} = \min(Q_{k,u} + Q_{ak}; Q_{p,c}) \text{ (kWh)} \quad (14)$$

$$Q_{ss,u,FV} = \min(E_{FV} + Q_{ak}; Q_{p,c}) \text{ (kWh)} \quad (15)$$

Teoreticky využitelné zisky solárního kolektoru

Teoreticky využitelné tepelné zisky solárních kolektorů závisí na:

- denní účinnosti solárního kolektoru η_k (-) (viz. Kapitola Účinnost solárního kolektoru);
- skutečné denní dávce slunečního ozáření plochy kolektoru $H_{T,den}$ (kWh/m^2);
- užitečné celkové ploše solární soustavy A_k (m^2);
- tepelných ztrátách solární soustavy, které zahrnuje paušální procentní srážka p (-) (lze odečíst z tabulek dle TNI 73 0302 podle typu a velikosti solárního systému).

V jednotlivých dnech se stanoví podle vztahu:

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,den} \cdot A_k \cdot (1 - p) \text{ (kWh)} \quad (16)$$

Teoreticky využitelné zisky fotovoltaického systému

Za předpokladu žádných energetických ztrát během přeměny z elektřiny na teplo, lze tvrdit, že využitelné elektrické zisky fotovoltaického systému se rovnají tepelným. Teoretická denní produkce elektrické energie FV systému lze stanovit podle vztahu:

$$\begin{aligned} E_{FV} &= 0,9 \cdot \eta_{FV} \cdot H_{T,den} \cdot A_{FV} \cdot (1 - p) \\ &= 0,9 \cdot \frac{\eta_{FV}}{\eta_{ref}} \cdot H_{T,den} \cdot \frac{P_{pk}}{G_{ref}} \cdot (1 - p) (kWh) \end{aligned} \quad (17)$$

kde η_{FV} , resp. η_{ref} je celková měsíční, resp. referenční účinnost fotovoltaického panelu (-) (viz. Účinnost fotovoltaického modulu), $H_{T,den}$ je skuteční denní dávka slunečního ozáření plochy panelu (kWh/m^2), A_{FV} je užitečná celková plocha solární soustavy (m^2), P_{pk} je špičkový výkon systému (Wp), G_{ref} je referenční ozáření (W/m^2), p je paušální procentní srážka elektrických ztrát solární soustavy, která zahrnuje např. ztráty na DC a AC vedení.

Solární pokrytí

Zda je systém schopen pokrývat denní potřebu tepla během roku, lze určit pomocí faktoru f (solární pokrytí), který je vyjádřen podílem skutečně využitelných ročních zisků k celkové roční potřebě tepla:

$$f = \frac{\sum Q_{ss,u,i}}{\sum Q_{p,c}} (-) \in \langle 0; 1 \rangle \quad (18)$$

Dodatková energie

Solární systém není spolehlivý zdroj energie a vždycky se navrhuje v kombinaci s dalším zdrojem, též. dodatkovým. Nejčastěji jde o zdroj ve tvaru topné patrony uvnitř solárního zásobníku připojeného k elektrické síti. Slouží k přehřevu a dohřevu vody ve dnech minimálního slunečního svítu. Množství dodatkové energie nelze přímo určit, závisí vždycky na konkrétním solárním systému a stanovuje se na základě jeho energetických zisků.

Přebytková energie

- Solární kolektor
U solárních systémů během roku se může nastat situace, kdy dojde ke vzniku přebytečného množství energie, přičemž jeho výskyt je přímo závislý na instalovaném výkonu U správně dimenzovaných soustav z hlediska jejich bezpečnosti přebytky lze dále efektivně využít jejich akumulováním v zásobníku. Pokud ale kolektorový systém má příliš velký instalovaný výkon, mu hrozí nebezpečný výskyt stagnace během špičkového období. Aby se této situaci dalo vyhnout, je nutně předdimenzovaný solární systém chladit. Jeden ze způsobů, jak dobře využít přebytečné teplo, je zajištění absorpčního chladicího zařízení v rodinném domku. Touto cestou lze uskutečnit vhodnou klimatizaci během horkého období. Nevýhodou je poměrně drahé zařízení. Dalším způsobem pro odvod přebytku tepla může být například i ohřev vody v bazénu.
- Fotovoltaika
Problém přebytků solární energie u fotovoltaického systému, které nelze naakumulovat v zásobníku, lze řešit buď zapojením zálohovacího zařízení – akumulátorů, které jsou regulovány na dobíjení a vybíjení, nebo zapojením do lokální domové sítě spotřebičů. Takové řešení problému zřejmě vyvolává další finanční náklady.

Průtokový plynový ohříváč a elektrický bojler

Vzhledem k tomu, že průtokový a zásobníkový ohříváč vody je spolehlivější než solární technologie ohřevu TUV, jejich teoreticky využitelné zisky jsou konstantní po dobu celého roku a odpovídají denní potřebě tepla:

$$Q_{pl,u} = Q_{b,u} = Q_{p,c} (kWh) \quad (20)$$

Ve skutečnosti denní tepelné zisky u průtočného plynového ohřivače, vzhledem k jeho režimu provozu, jsou skoro stejné jako denní potřeba tepla objektu. Elektrický bojler ale je určený k akumulaci TUV po určité časové období, a má větší tepelné ztráty, proto jeho skutečné energetické zisky jsou o určitou hodnotu větší.

V. Metodika vyhodnocení a porovnání systémů ohřevu TUV

Hlavním cílem této práce je porovnání systémů ohřevu TUV a volba konečného řešení pro zvolený rodinný domek. K tomu je třeba nejprve každý systém zbilancovat na denní energetické zisky. Tohle nám umožní ocenit jejich schopnost k pokrytí požadované potřeby tepla a na základě zjištěných energetických zisků provést odhad ročních provozních nákladů, resp. nákladů pro nákup dodatkové energie. Připočteme-li k tomu pořizovací náklady pro realizaci každého systému a pro jeho údržbu, dostaneme jeho ekonomické zhodnocení. Poslední nám umožní zvolené systémy mezi sebou porovnat jak z pohledu efektivity, tak z pohledu ekonomické náročnosti uvažovaných technologií v dnešní době.

VI. Postup ekonomického hodnocení systémů pro ohřev TUV

Ekonomický prospěch systémů ohřevu TUV se dá vyjádřit a porovnat mezi sebou pomocí konkrétního ekonomického faktoru. Jeden z možných je kumulovaný tok hotovosti. Je součtem všech ročních toků hotovosti (anglicky Cash flow zkratka *CF*) při předpokládaném pořízení a provozu zvoleného systému za dobu jeho životnosti nebo jinak stanoveného období.

Analýza každého systému se zpravidla provádí po celou dobu životního cyklu. Vzhledem k tomu, že solární systémy mají delší životnost (obecně 25 let) než průtokový plynový ohřivač a elektrický bojler (jde o cca 15 let), pro kompletní porovnání poslední dva systémy budou zhodnoceny na dobu 25 let s ohledem na další investice pro výměnu a uvedení do provozu nových jednotek. Pro výpočet se sbírají údaje o roční potřebě dodatkové energie na ohřev vody dle metodiky bilancování energetického zisku systému. Takový druh nákladů se nazývá provozní náklady (zkratka *OPEX*). Dále se předpokládá, že počáteční investice (zkratka *CAPEX*) na pořízení jednotky budou provedeny v nultém roce uvažovaného období. Z těchto údajů lze pak snadně stanovit roční tok hotovosti pro solární systémy v nultém (21) a v následujících rocích (22):

$$CF_0 = -OPEX - CAPEX \text{ (Kč/rok)} \quad (21)$$

$$CF = -OPEX \text{ (Kč/rok)} \quad (22)$$

V případě plynového a elektrického způsobů ohřevu se bude počítat podobným způsobem, jenže se v roce odstavení a pořízení nové jednotky kromě provozních nákladů (*OPEX*) budou uvažovat další investice.

Z ročních toků hotovosti *CF* vychází kumulovaný tok hotovosti za stanovené období (n_s) jako konečný ekonomický i porovnávací faktor systému ohřevu TUV:

$$\sum_{n=0}^{n_s} CF_n = CF_k \text{ (Kč/25 let)} \quad (23)$$

Cena elektrické energie a plynu pro ohřev TUV

Pro celkové ekonomické vyhodnocení, konkrétně pro odhad nákladů na zajištění dodatkové energie, velmi důležitým vstupním parametrem je cena elektrické energie, resp. cena plynu pro ohřev TUV. Pro daný účel spotřeby elektřiny je zavedena distribuční sazba D25d, též akumulární ohřev vody. Cena za 1 kWh pro sazbu D25d (nízký tarif zkratka NT pro dodávku a distribuce elektřiny na ohřev vody na dobu 8 hodin denně) kraj Jihočeský je 6,468 Kč (platnosti od 01/01/2023, viz. Příloha č. 1) bez uvažování stálých plateb, ty budou zahrnuty do výpočtů během u analytické části práce.^[31] Cena zemního plynu dle tarifu distributora EG. D, a.s. je 3,48 Kč/MWh (platnosti od 01/01/2023, viz. Příloha č. 2).^[32] Vzhledem k nestabilitě cen na energetickém trhu je pro přesnější ekonomické posouzení energetických zdrojů nutné prozkoumat několik možných scénářů, provést tzv. citlivostní analýzu. Podle ní bude zohledněn rozsah cen elektřiny a plynu $\pm 50\%$ aktuální ceny.

Nová zelená úsporám

Nová zelená úsporám je obnovený program, který platí od srpna 2013 roku a poskytuje dotace pro energetické úspory z prostředků získaných z prodeje emisních povolenek v rámci Evropského systému pro obchodování s emisemi (zkratka ETS). Mezi energetické úspory patří i využití v domácnosti pro ohřev vody obnovitelných zdrojů energie jako solární systémy. Výše podpory je závislá na typu opatření (viz. Tab. 11).

Tabulka 3 Výše dotací pro solární systémy ohřevu TUV [33]

Označení podporovaných opatření	Podporovaná opatření	Výše podpory [Kč]
SOL	Solární termický ohřev vody	45 000
SOL+	Solární termický ohřev vody s přitápěním	60 000
FV	Solární fotovoltaický ohřev vody	45 000
TČ-V	Tepelné čerpadlo pro ohřev vody	45 000

Pro získání dotace je nutné splnit určité podmínky:^[33]

- Podporované solární termické systémy musí být sestaveny pouze z kolektorů splňujících minimální hodnotu účinnosti η_{sk} dle vyhlášky č. 441/2012 Sb., o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie.
- Podporované fotovoltaické systémy musí být odděleny od distribuční soustavy el. energie a vnitřních rozvodů propojených s distribuční soustavou. Musí používat technologii pro účinnou optimalizaci systému v závislosti na zátěži – sledování maximálního bodu výkonu „MPPT“.
- Jako využitelný zisk lze započítat pouze energii dodanou do systému ohřevu teplé vody a vytápění. Nelze započítat energii využitou mimo budovu.
- Podmínkou pro poskytnutí dotace je dosažení parametrů: celkový využitelný zisk solární sestavy SOL a FV musí být minimálně 1400 kWh/rok; minimální měrný objem akumulárního zásobníku tepla vztahený k celkové ploše apertury, resp. instalovanému výkonu fotovoltaického systému minimálně je 45 l/m², resp. 80 l/kWp.

VII. Konceptní návrh a vyhodnocení systémů pro ohřev TUV

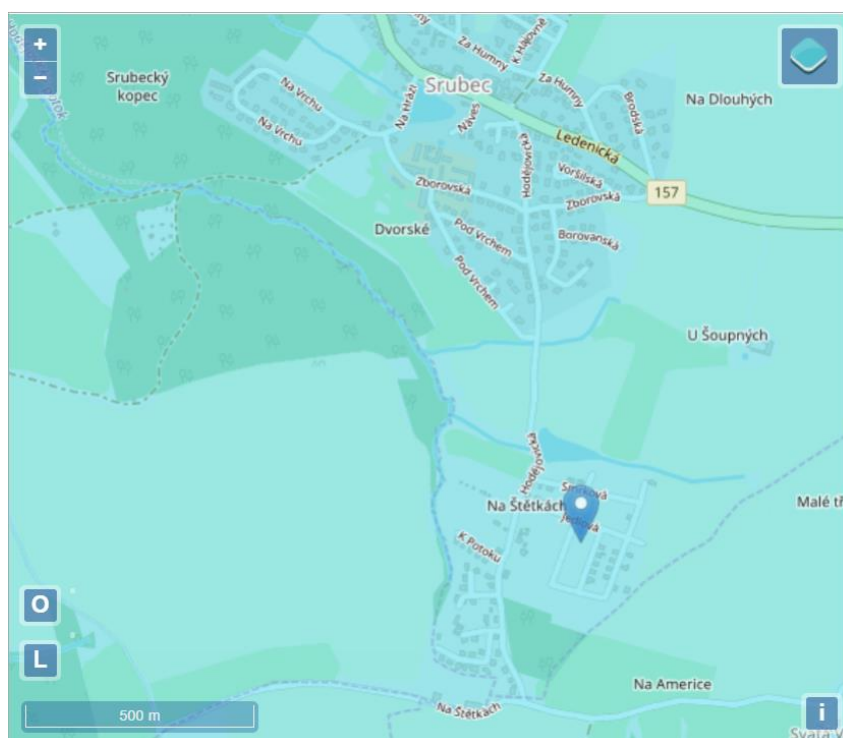
Vstupní parametry

Pro přehlednější srovnání způsobů ohřevu TUV pro rodinný domek budou zváženy konfigurace systémů, které nevyžadují dost vysoké investiční náklady:

- průtokový plynový ohřivač na zemní plyn s přirozeným odtahem spalin;
- elektrický bojler zapojený do elektrické sítě;
- dvouokruhový kapalinový solární systém s dodatkovým elektrickým topným tělesem;
- fotovoltaický systém s dodatkovým elektrickým topným tělesem.

Lokalita a popis objektu

Pro provedení analýzy jsem zvolil dvoupodlažní rodinný domek v obci Srubec v okrese České Budějovice (Lat/Lon: 48,939; 14,545). Podle předpokladu nemovitost obývá pětičlenná rodina a zahrnuje pozemek o výměře 500 m² a plochou střechu 110 m².



Obrázek 20 Lokalita objektu [34]

Výpočet denní potřeby tepla pro přípravu TUV

Teoretickou denní potřebu tepla se dá stanovit podle vztahu (13), kde vstupními parametry jsou:

- počet obyvatelů: $n = 5$ osob;
- denní potřeba teplé užitkové vody na osobu dle ČSN EN 12831-3: 36 až 67 litrů $\xrightarrow{\text{průměr}} V_{Os} = 0,052 \text{ m}^3/\text{osoba}$;
- teploty teplé a studené vody jsou dány normou ČSN EN 806-2: $t_{TV} = 50^\circ\text{C}$, $t_{SV} = 10^\circ\text{C}$;
- hustota vody: $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$;
- měrná tepelná kapacita vody: $c = 4187 \text{ J/kgK}$;
- hodnota přírážky z tepelných ztrát bez zohlednění ztrát rozvodu u systému se zásobníkovým ohřevem vychází různá v závislosti na velikosti zásobníku a provozních teplotách, proto bude dále uvažována u každého případu zvlášť, zatímco u systému s průtokovým ohřevem se blíží k nule.

- Referenční denní potřeba tepla pro přípravu teplé vody vychází:

$$Q_{rv,d,z} = \frac{5 \text{ osob} \cdot 0,052 \frac{\text{m}^3}{\text{osoba}} \cdot 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4187 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (50 - 10)\text{K}}{3,6 \cdot 10^6} = 12,07 \text{ kWh.}$$

Návrh a vyhodnocení průtokového plynového ohřivače TUV

Vzhledem k tomu, že průtokový plynový ohřivač (zkratka PPO) musí zajistit potřebné množství energie na ohřev vody v každém okamžiku, je třeba navrhovat jej výkon s ohledem na maximální možný odběr teplé vody, jak to uvádí norma ČSN 06 0320 (podrobně viz. Průtokový a zásobníkový ohřivač vody, Dimenzování zařízení pro ohřev TUV). Velikost maximálního okamžikového odběru lze zjistit z údajů o výtokových zařízení ve zvoleném objektu a výkonu jejich přítoku (viz. Tab. 4).

Tabulka 4 Informace o výtokových zařízení [vlastní zdroj]

Výtokové zařízení	Počet výt. zař., n_v ,	Výkon přítoku výt. zař., q_v , kW	Souč. současnosti, s ,
Umyvadlo	2	7,3	1
Dřez	1	20,05	
Sprcha	1	12	
Vana	1	24,6	

Z tabulky je patrné, že energeticky nejnáročnější zařízení je vana. Podle vztahu (3) se požadovaný tepelný výkon průtokového ohřivače pak rovná

$$P_z = 1 \cdot 24,6 \cdot 1 = 24,6 \text{ (kW)}.$$

S ohledem na provedený výpočet **MORATOP VEGA16** o jmenovitém výkonu 26,4 kW je vhodnou variantou pro návrh ohřivače. Jedná se o závěsný průtokový ohřivač vody na zemní plyn s přirozeným odtahem spalin, podrobnější informace o zdroje naleznete v Příloze č. 3 dle katalogu výrobce.

Jak již bylo výše zmíněno u průtokového způsobu ohřevu dodávka tepla plynule sleduje křivku odběru, z tohoto důvodu problematiku externího zásobníku teplé vody v tomto případě není třeba řešit.

Vyhodnocení plynového zdroje TUV

Z bilancování energetických zisků navrženého kotle plyne, že veškerá potřeba tepla během celého roku bude pouze tímto zdrojem pokryta. Přebytky v průběhu okamžitého ohřevu jsou nepatrné a jejich problematiku není třeba řešit. Pro konečné zhodnocení PPO je pak nutně stanovit provozní a pořizovací náklady.

Provozní náklady PPO

Výše finančních prostředků na ohřev teplé vody je přímo závislá na potřebě zemního plynu, resp. na denní vstupu energie PPO.

Denní vstupy energie

Pro odhad denní spotřeby zemního plynu je třeba znát denní potřebu tepla a účinnost zvoleného kotle. Poslední lze určit ze znalosti jmenovitého výkonu a příkonu kotle (viz. Tab. 5) podle vztahu:

$$\eta_p = \frac{P}{P_p} = \frac{26,4 \text{ kW}}{30,5 \text{ kW}} = 0,865$$

Tabulka 5 Technické údaje kotle MORATOP VEGA16 dle výrobce [35]

Jmenovitý výkon kotle	kW	26,4
Jmenovitý příkon kotle	kW	30,5

Na základě konstantní denní potřeby tepla pro ohřev TUV ($Q_{TV,d}$, kWh), stanovené účinnosti kotle (η_p , -) lze zjistit denní vstupy energie pro plynový zdroj teplé vody:

$$Q_{p,d} = \frac{Q_{TV,d}}{\eta_p} = \frac{12,07 \text{ kWh}}{0,865} = 13,95 \text{ kWh}_p/\text{den}$$

Údržba PPO

Pro pravidelný a bezpečný provoz plynového zdroje teplé vody je nutné jednou ročně provádět certifikovanou kontrolu stavu systému. Tu lze objednat u odborného pracovníka a, zřejmě, bude vyžadovat další náklady. Jejich výše lze na základě různých internetových zdrojů odhadnout na 1700,00 Kč ročně. Jakékoliv další náklady související s opravou jednotky je docela těžké odhadnout, proto ty nebudou ve vyhodnocení zohledněny.

Dle aktuální ceny plynu c_p (viz. kapitola Ekonomické vyhodnocení systémů pro ohřev TUV) následně lze spočítat roční finanční prostředky na nákup paliva. S ohledem na náklady na jeho údržbu, **roční provozní náklady** pak vyjdou:

$$OPEX_{PPO} = Q_{p,d} \cdot c_p \cdot 365 + C_{servis} = 21\,763,72 \text{ Kč/rok}$$

Pořizovací náklady PPO

Pro pořízení PPO je nutno především zajistit místo pro ohřívač, které odpovídá bezpečnostním předpisům, a systém odtahu spalin v rodinném domku. Jak pro instalaci PPO, tak pro realizaci systému odtahu je třeba kontaktovat odborné firmy oprávněné provádět takovéto práce, z čeho vyplývají další pořizovací náklady.

S přihlédnutím k výše uvedeným požadavkům a ceně zařízení je možné vypracovat odhad investičního plánu (viz. Tab. 6) pro prvotní instalaci jednotky. Vzhledem k tomu, že za stanovené období vyhodnocení (25 let) dojde k výměně jednotky po vypršení doby životnosti (cca 15 let), je třeba uvažovat investice i pro sekundární instalaci systému. Na rozdíl od prvotní nezahrnuje náklady na vytvoření místa pro ohřívač a systému přirozeného odtahu spalin.

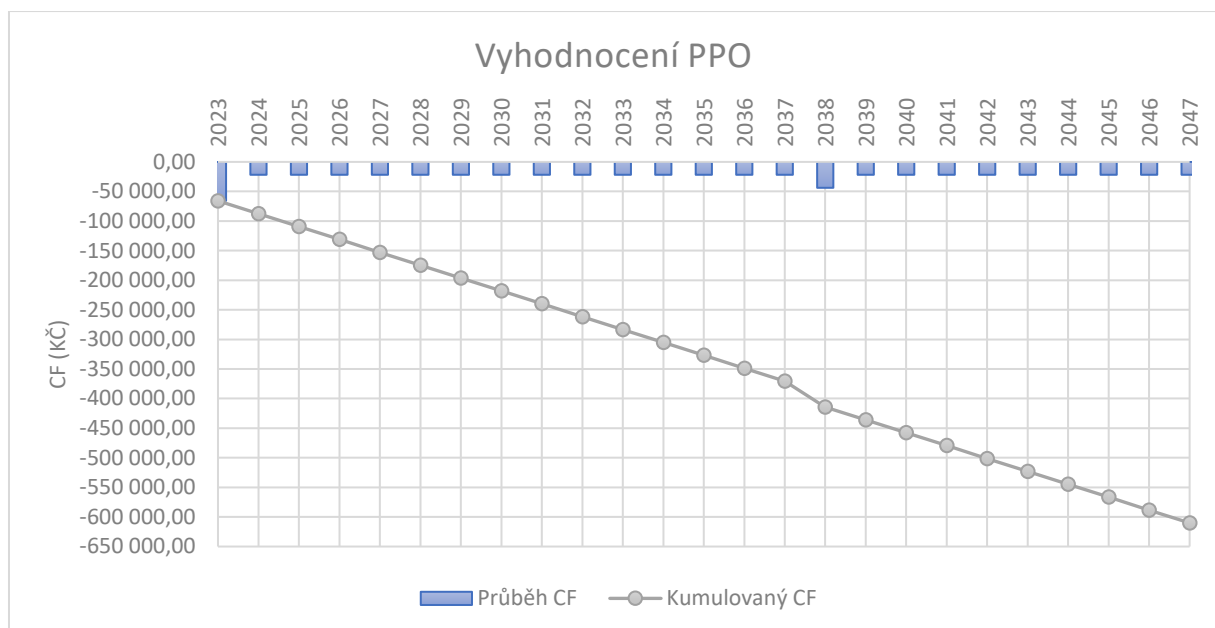
Ze součtu veškerých pořizovacích a provozních finančních složek vyplývá **kumulovaný CF PPO** dle vztahu (23):

$$\sum_{n=0}^{n_s} CF_n = -610\,093,03 \text{ Kč/25 let}$$

Konečné vyhodnocení systému PPO během 25 let lze pak dobře zohlednit pomocí grafu, viz. Obr. 21.

Tabulka 6 Odhad investiční plán průtokového plynového ohříváče TUV [vlastní zdroj]

Investice PPO			
CAPEX(Kč) pro prvotní instalaci			
Plynový průtokový ohříváč	MORATOP VEGA16E.N022	Kč	14 000,00
System odtahu spalin	Odhad dle tržních nabídek	Kč	10 000,00
Instalace	Montáž ohříváče, systému odtahu spalin, uvedení do provozu	Kč	20 000,00
CAPEX		Kč	44000,00
CAPEX (Kč) pro sekundární a další instalaci			
Plynový průtokový ohříváč	MORATOP VEGA16E.N022	Kč	14 000,00
Instalace	Montáž ohříváče, uvedení do provozu	Kč	8 000,00
CAPEX		Kč	22 000,00



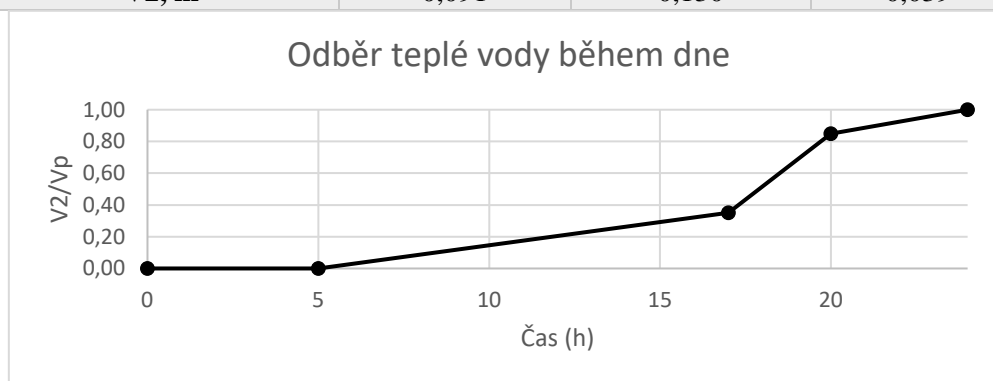
Obrázek 21 Vyhodnocení PPO [vlastní zdroj]

Návrh a vyhodnocení elektrického bojleru

Pro dimenzování elektrického zásobníkového ohříváče (zkratka EZO) je třeba především stanovit denní toky energie, mezi nimi jsou denní dodávka a denní odběr teplé vody (podrobně viz. kapitola Průtokový a zásobníkový ohřev TUV, Dimenzování zařízení pro ohřev vody). Poslední je referenční křivkou pro návrh vhodného zdroje, její časové rozložení je definováno normou ČSN 06 0320, viz. Tab. 7. a Obr. 22.

Tabulka 7 Odběr TUV během dne [vlastní zdroj]

Denní období	5:00 => 17:00	17:00 => 20:00	20:00 => 24:00
Rozložení potřeby TUV	35 %	50 %	15 %
Q ₂ , kWh	5,49	7,85	2,35
V ₂ , m ³	0,091	0,130	0,039



Obrázek 22 Odběr TUV během dne [vlastní zdroj]

V závislosti na režimu dodávky teplé vody, resp. na výkonu ohřevu i na době jeho trvání, a na požadované teplotě teplé vody potřebná velikost zásobníku se může lišit. U navržené koncepce elektrického bojleru zapojeného do rozvodné sítě je dodávka tepla regulovaná termostatem a časově řízená tak, aby spotřeba elektřiny probíhala během doby distribuce dle nízkého tarifu (8 hodin denně).

Pro návrh vhodného elektrického ohříváče vody je třeba nejprve provést odhad potřebného objemu zásobníku, a následně odhad profilu dodávky tepla pro zvolený zásobník za předpokladu, že zvolený elektrický bojler bude vybaven topným tělesem TJ 6/4" o příkonu 3,75 kW (tento parametr definuje rychlost dodávky tepla neboli směrnici ohřevu na odpovídajícím časovém úseku).

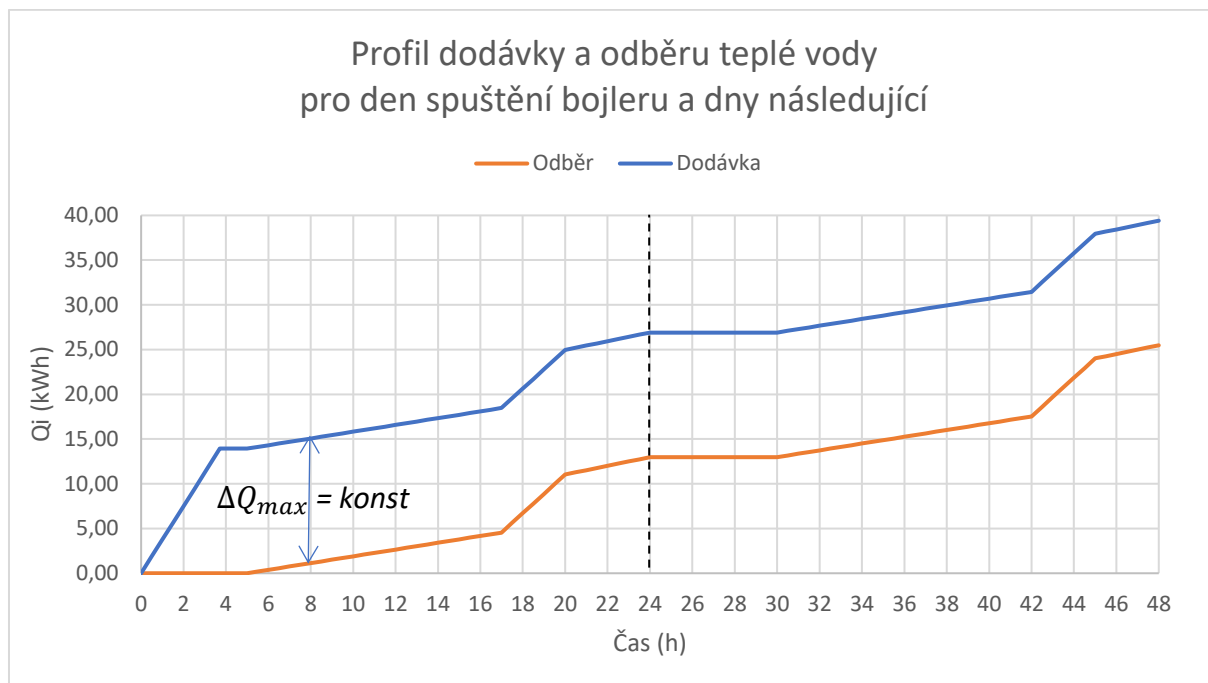
Výpočet vychází z metody stanovení potřebného objemu zásobníkového ohříváče (viz. Dimenzování zařízení pro ohřev vody) a podmínky, že elektrický bojler musí produkovat dost tepla na přípravu teplé vody o požadované teplotě 50 °C. Bez uvažování tepelných ztrát zásobníku pak by rozdíl mezi dodávkou a odběrem teplé vody měl odpovídat hodnotě referenční denní potřeby tepla, a potřebný objem elektrického ohříváče podle vztahu (2) vychází:

$$V_{ze} = \frac{12,07 \text{ kWh}}{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4187 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (50 \text{ °C} - 10 \text{ °C})} \cdot 3,6 \cdot 10^6 \cong 0,260 \text{ (m}^3\text{)}$$

⇒ po průzkumu trhu vhodnou variantou bude bojler **Dražice OKCE 300 S** o objemu 300 l (viz. Příloha 4). Z parametrů uvedených výrobcem lze stanovit denní tepelné ztráty tohoto zásobníku za podmínky, že teplota vnitřní bude během dne stálých 50 °C a teplota okolí bude 20 °C, vycházejí 0,91 kWh/den. Z toho plyne, že denní potřeba tepla pro elektrický ohřev vyjde:

$$Q_{TV,d,e} = Q_{TV,d,z} + Z_e = 12,98 \text{ kWh}$$

Na základě toho lze provést odhad profilu dodávky teplé vody (viz. Obr. 23). V den spuštění bojleru (nalevo od přerušované čáry) se voda bude v noci ohřívát na teplotu 50 °C, potom během tohoto dne a dnů následujících bude dodávka tepla regulována pomocí termostatu. Zde je důležité upozornit na to, že na obrázku profil dodávky tepla je představen jako jeho průměr. Skutečný profil má stupňovitý tvar odpovídající zapnutí a vypnutí elektrického topného tělesa, jeho režim provozu lze popsat časově v první den 7,18 hodin, resp. v dny následující 3,46 hodin denně.



Obrázek 23 Denní toky TUV [vlastní zdroj]

Vyhodnocení elektrického zdroje TUV

Z bilancování energetických zisků systému EZO je patrné, že je schopen pokryt celou potřebu teplé vody bez požadavku na dodatečný zdroj, s žádnou nadvýrobou tepla díky vestavěnému v bojler regulujícímu článku, též termostatu. Pro konečné zhodnocení EZO postupují analogickým způsobem jako u PPO.

Provozní náklady EZO

Výše finančních prostředků na ohřev teplé vody přímo závisí na potřebě elektřiny, resp. na denní vstupy energie EZO.

Denní vstupy energie

Denní vstupy energie pro elektrický zásobníkový zdroj teplé vody lze stanovit na základě denní potřeby tepla pro ohřev TUV ($Q_{TV,d,e}$, kWh) a účinnosti elektrického ohřevu (η_e , -):

$$Q_{e,d} = \frac{Q_{TV,d,e}}{\eta_e} = \frac{12,98 \text{ kWh}}{0,99} = 13,11 \text{ kWh/den}$$

Údržba EZO

Vzhledem k tomu, že EZO na rozdíl od plynového zdroje má výrazně zjednodušenou konstrukci, má skoro žádné požadavky na bezpečnost provozu a nebude vyžadovat jakékoliv periodické kontroly stavu a související s tím náklady.

Dle aktuální ceny elektřiny c_e (viz. kapitola Ekonomické vyhodnocení systémů pro ohřev TUV) následně lze spočítat roční finanční prostředky na nákup elektřiny včetně nákladů na jeho údržbu. **Roční provozní náklady** pak vyjdou:

$$OPEX_{EZO} = Q_{e,d} \cdot c_e \cdot 365 + C_{servis} = 34\,417,42 \text{ Kč/rok}$$

Pořizovací náklady EZO

Díky prosté konstrukci systému a jednoduchým pokynům pro instalaci systému i uvedení ho do provozu běžný uživatel je schopen samostatně tyto úkony realizovat. Vzhledem k tomu, že za stanovené období vyhodnocení (25 let) dojde k výměně jednotky po vypršení doby životnosti (cca 15 let), je třeba uvažovat investice i pro sekundární instalaci systému. Odhad investičního plánu EZO je uveden do Tab.8.

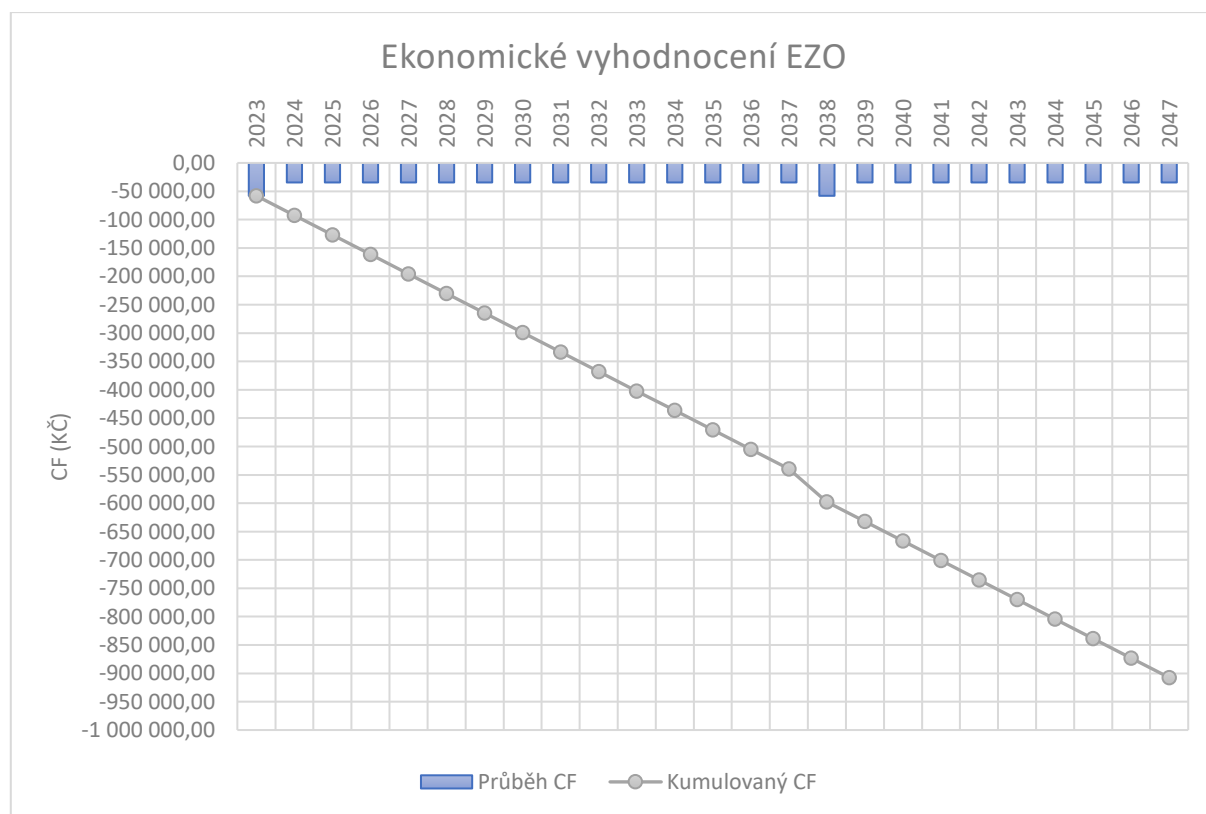
Ze součtu veškerých pořizovacích a provozních finančních složek vyplývá **kumulovaný CF EZO** dle vztahu (23):

$$\sum_{n=0}^{n_s} CF_n = -907\,435,40 \text{ Kč/25 let}$$

Konečné vyhodnocení systému EZO během 25 let lze pak dobře zohlednit pomocí grafu, viz. Obr. 24.

Tabulka 8 Odhad investiční plán elektrického zásobníkového ohříváče TUV [vlastní zdroj]

Investice EZO			
CAPEX (Kč) pro prvotní instalaci			
Elektrický bojler	Dražice OKCE 160 S	Kč	23 500,00
CAPEX		Kč	23 500,00
CAPEX (Kč) pro sekundární a další instalace			
Elektrický bojler	Dražice OKCE 160 S	Kč	23 500,00
CAPEX		Kč	23 500,00



Obrázek 24 Vyhodnocení EZO [vlastní zdroj]

Návrh a vyhodnocení solárních systémů ohřevu TUV

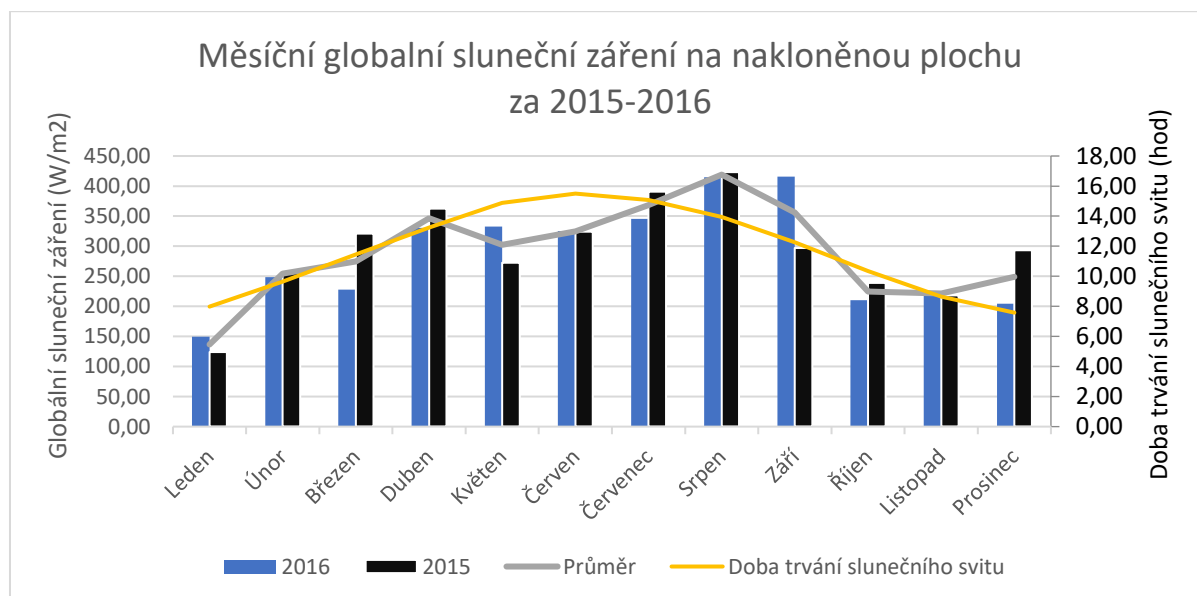
Denní dávka slunečního ozáření nakloněné plochy ve zvolené lokalitě

Pro zvolenou lokalitu byla stanovena optimální konfigurace sklonu a orientace panelů solární soustavy a následně odečítány denní hodnoty intenzity globálního slunečního záření (G_T) a doba trvání slunečního svitu (τ) za roky 2015/16 z databáze PV-GIS. Jejich průměrizací byly zjištěny hodnoty, které pravděpodobněji splní prognózy na další roky. Samozřejmě pro přesnější hodnoty je nutný rozbor z většího počtu let.

Pro lepší přehled jsou data znázorněna v grafu (viz. Obr. 25) jako průměrné měsíční hodnoty a jsou uvedeny v tabulce (viz. Tab. 10).

Tabulka 9 Měsíční intenzity celkového slunečního záření [36]

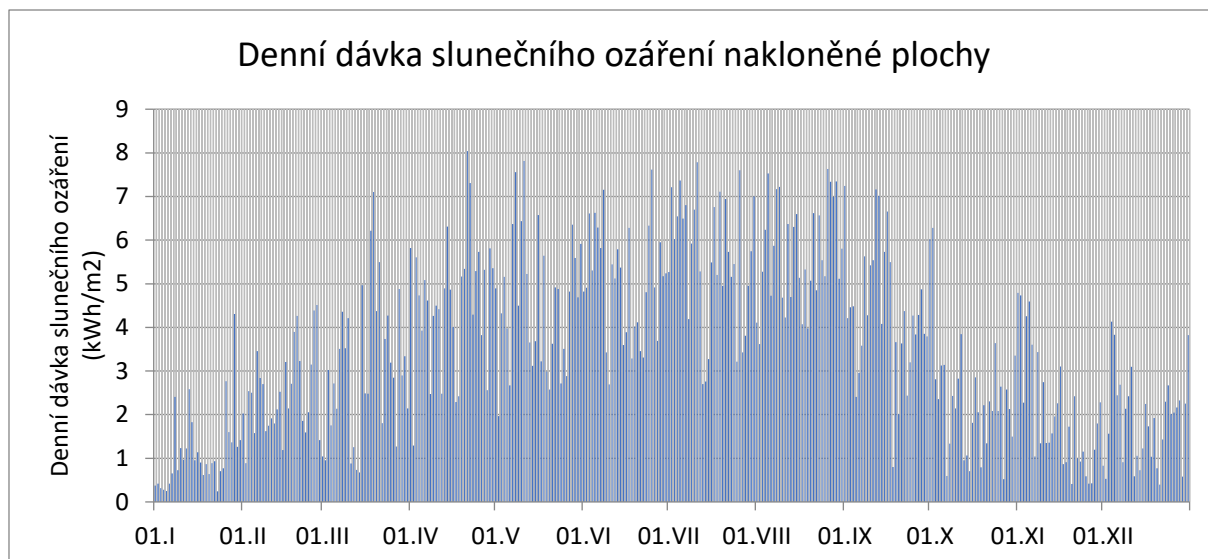
Měsíc	$G_T(W/m^2)$	$\tau_{\text{denní}}$	Úhel sklonu, °	Orientace, °
Leden	136.61	7.98	36	-1
Únor	254.20	9.65		
Březen	274.47	11.45		
Duben	346.47	13.25		
Květen	302.55	14.89		
Červen	324.59	15.50		
Červenec	368.12	15.08		
Srpen	419.08	13.94		
Září	356.22	12.27		
Říjen	224.74	10.35		
Listopad	221.54	8.65		
Prosinec	248.89	7.58		



Obrázek 25 Měsíční globální sluneční záření na nakloněnou plochu za 2015-2016 [36]

Ze znalosti denních intenzit a doby trvání slunečního svitu lze pak stanovit denní dávku slunečního ozáření jednotkové nakloněné plochy (viz. Obr. 26) podle vztahu:

$$H_{T,den} = G_{T,den} \cdot \tau_{den} (kWh/m^2) \quad (21)$$



Obrázek 26 Denní dávka slunečního ozáření nakloněné plochy [37]

Užitečná plocha, resp. špičkový výkon solární soustavy

Hlavní otázkou, kterou je třeba řešit při návrhu solární soustavy, je její užitečná plocha A_K (m²). Z důvodu, že systém uvažujeme jako jeden celek, který nelze částečně rozdělit (v příp. solárního kolektoru i odpojit) v provozním režimu, jeho užitečná plocha je konstantní během roku. Zatímco denní dávky slunečního ozáření se během roku liší. V letním období budou energetické zisky solárního systému dosahovat maxima, v zimním – minima. Vzhledem k tomu, že u solárních kolektorů v důsledku vysokých výkonů existuje riziko stagnace, velikost užitečné plochy musí být zvolena z hlediska bezpečnosti a teprve poté finanční výhody. U fotovoltaického systému, který funguje v ostrovním režimu, problém přebytků se řeší automatickým odpojovacím/zapojovacím systémem (též termostat). Díky tomu velikost užitečné plochy, resp. špičkový výkon lze navrhovat bez omezení. Hlavní otázkou pak bude ekonomický prospěch návrhu.

Solární zásobníky

Při návrhu a následujícím vyhodnocení solárních systému je nutné si brát v úvahu specifiku práce solárních zásobníku. Ty jsou vybaveny buď jednou topnou patronou s termostatem jako u kolektorového ohřívače nebo dvěma topnými patronami (fotovoltaickou a elektrickou dodatkovou) s dvěma příslušnými termostaty v případě fotovoltaického ohřívače. Díky nim je definován režim provozu zásobníku.

Základní roli v tom z pohledu spolehlivosti vždycky hraje elektrický dodatkový zdroj. Dokud teplota vody nedosáhne 45 °C, je topná patrona elektrického zdroje připojena k síti. Jakmile je této úrovně dosaženo, termostat jej odpojí od sítě. To se děje především v noci, kdy je zásobník energeticky vyčerpán. Dále během dne voda je ohřívána solárním zdrojem. V okamžiku, kdy solární zdroj nevyrábí potřebné množství energie a teplota vody klesne pod 45 °C, elektrický zdroj se opět zapne.

Během provozu je nutné také regulovat špičkovou teplotu vody v akumulacím zásobníku. Fotovoltaický ohřívač je pro tento účel opatřen druhým termostatem u topné patrony připojené k panelům. Ve většině případů maximální dovolená teplota při akumulaci tepla je nastavena na 70÷75 °C. [38] U kolektorového ohřívače na rozdíl od fotovoltaického regulace maximálních teplot je zajištěna pojistným zařízením (pojistným ventilem se zpětnou klapkou). Maximální dosažená teplota v kolektorovém zásobníku je závislá na konkrétním zařízení a může dosahovat až 90 °C. [39] V případě dosažení vysokých teplot (nad 60-70 °C) zásobník musí být také opatřen směšovacím ventilem vody na výstupu.

Pro další posouzení při návrhu solárních systémy budou zvažovány kolektorové ohřivače řady OKC NTRR SOL od společnosti Dražice o objemech 200, 242, 275 litrů (viz. Příloha č. 5) a fotovoltaické ohřivače řady ACDC/M+K XXX A, B, C od společnosti LOGITEX o objemech 147 a 195 litrů (viz. Příloha č. 6).

Dvouokruhový kapalinový solární systém s dodatkovým elektrickým topným tělesem
Dvouokruhový kapalinový solární systém zkratka SOL (viz. Kapitola Solární kolektory, Způsoby zapojení kapalinových solárních kolektorů) pro ohřev TUV lze navrhnout buď s plochým typem absorberu, nebo s trubkovým. Zásadním parametrem je účinnost a rozměry systému. Toto dále naznačí, do jaké míry je systém schopen pokrýt potřebu tepla na ohřev teplé vody a jak velké množství energie je třeba k tomu ještě dodat z dalšího zdroje.

Dimenzování systému

Vzhledem k bezpečnosti systému, velikost užitečné plochy systému solárních kolektorů, jak již bylo zmíněno, je velmi důležitou otázkou při jeho návrhu. Proto je třeba nejprve definovat podmínky, při kterých je zajištěn stav bezpečného provozu. Ten je stanoven maximální provozní teplotou zásobníku, což je cca 80 ° C (tomu odpovídá maximální provozní teplota ve výměníku, cca 110 °C), a maximální nastavenou teplotou teplé vody pro činnost pojistného zařízení, jde obecně o 90 ° C. Z toho plyne, že navržená velikost solárního systému nesmí vyvolávat pravidelný výskyt dosažených teplot vody v zásobníku nad 80 ° C. S ohledem na tuto podmínku bude dále posouzena velikost užitečné plochy u všech možných konfigurací kolektorového systému pro řešení problému ohřevu TUV pro rodinný domek, a na základě toho bude zvolena nejlepší z nich.

Návrh SOL

Před konkrétním návrhem konfigurace systému je třeba prozkoumat trh solárních kolektorů, zhodnotit a porovnat nabídky mezi sebou z hlediska ceny i efektivity a zvolit nejlepší variantu. V Tab. 10 jsou uvedeny nalezené modely pro každý z druhů solárních kolektorů pro ohřev TUV. Jejich cenový porovnávací faktor je vyjádřen měrnou cenou vztaženou na jednotku absorpční plochy. Efektivitu zvolených kolektorů lze popsat pomocí průměrné roční účinnosti, která se určí z denních účinností na základě parametrů uvedených výrobcem podle vztahu (5).

Tabulka 10 Modely solárních kolektorů [40][41][42][43]

Typy SK	Název	Absorpční plocha, m ²	Cena, Kč/ks	Měrná cena, Kč/m ²	Účinnost ³ , %
Plochý neselektivní	MEGASUN N 2000	1,8	11800	6555,56	74
Plochý selektivní	KSG 21 PREMIUM GT	1,94	12700	6546,39	82
Trubkový vakuový jednostěnný	Vitosol 300-TM	1,26	28500	22619,05	79
Trubkový vakuový dvojstěnný	Regulus KTU 10	0,813	20000	24600,25	89

Z hlediska efektivity a ceny (viz. Tab. 10) pro ohřev TUV lépe zvolit systém s plochým selektivním kolektorem KSG 21 PREMIUM GT (viz. Příloha č. 7). Technické parametry křivky účinnosti kolektoru jsou uvedeny do Tab. 11.

³průměrná roční účinnost kolektorů, která byla stanovena na základě technických parametrů křivky účinnosti každého modelu kolektoru

Tabulka 11 Technické parametry KSG 21 PREMIUM GT [41]

Technické parametry	$\eta_0, (-)$	$a_1, (-)$	$a_2, (-)$
KSG 21 PREMIUM GT	82,9 %	3,8	0,012

Optimální velikost absorpční plochy neboli množství kolektorů bude zvolena na základě zvláštní analýzy s ohledem na podmínku bezpečného provozu. Analýza zvažuje několik možných konfigurací s velikostí absorpční plochy v rozmezí 1,94÷5,82 m² (neboli zapojení 1÷3 kolektorů) a se zapojením kolektorových ohřivačů o různých objemech v rozmezí 200÷275 litrů. Jde o 5 variantech, které jsou znázorněny v Tab. 12.

Tabulka 12 Popis zvažovaných konfigurací kolektorového systému [vlastní zdroj]

Popis variant					
	I. Varianta	II. Varianta	III. Varianta	IV. Varianta	V. Varianta
Zvolený objem zásobníku, (l)	200	200	242	275	275
Množství kolektorů, (ks)	1	2	2	2	3
Zvolená absorpční plocha, (m²)	1,94	3,88	3,88	3,88	5,82

Cílem analýzy je provést denní bilancování energetických zisků každé konfigurace a následně stanovit maximální dosažené teploty v zásobníku během roku. Na základě technických parametrů křivky účinnosti (viz. Tab. 11) a dle vztahu (5) nejprve stanovím denní účinnosti kolektoru KSG 21 PREMIUM GT ve zvolené lokalitě. Jejich dosažením i dosažením ostatních parametrů jako užitečná plocha (viz. Tab. 12) a skuteční denní dávka slunečního ozáření plochy kolektoru (viz. Obr. 26) do vztahu (16) pak určím denní teoretické zisky solárního systému.

Vzhledem k tomu, že od okamžiku spuštění systému a po většinu roku bude předeřev vody zajišťován elektrickým dodatkovým topným tělesem na teplotní úroveň 45 °C převážně v noci a že veškerá energie přijatá ze slunečního záření připadá na den, bude docházet ke vzniku přebytků. To si vyžádá optimalizaci využití přebytků vzniklých v ukončený den namísto potřebné elektřiny v den následující, a to jak na předeřev vody, tak na její dohřev během tohoto dne. Společné denní bilancování solárních energetických zisků a zisků z dodatkového zdroje následně provádím dle vztahu (14) pro každou konfiguraci s ohledem na možnost akumulace přebytků pro jejich další využití v následující den. Tenhle výpočet provádím za pomoci vlastního matematického modelu, který popisuje denní dodávku a odběr teplé vody na základě zjištěných energetických zisků solárního systému a stanovených teplotních podmínek pro provoz zásobníku a jeho ochranu. Okamžik dosažení teplot na horní hranici 90 °C a poklesu na hranici dolní 45 °C je kontrolován během výpočtu pomocí vztahu (2) v upraveném tvaru:

$$t_{TV} = \frac{\Delta Q \cdot 3,6 \cdot 10^6}{V_z \cdot \rho \cdot c} + t_{SV} (^\circ\text{C})$$

kde ΔQ je rozdíl dodávky a odběru tepla ve konkrétním zvoleném okamžiku během dne.

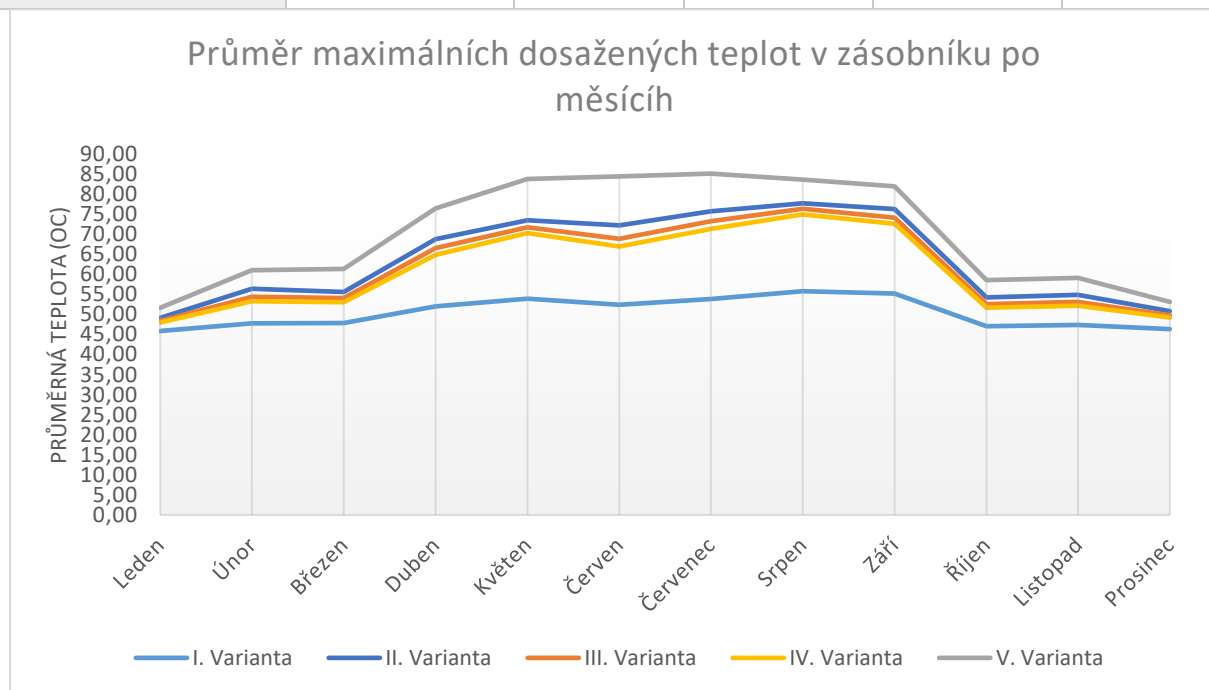
Z určitého denního energetického zisku a na základě profilu odběrové křivky (viz. Obr. 22 a Tab. 7) pak zjišťuji hodnoty maximálních denních rozdílů dodávky a odběru teplé vody. To mi pak umožní stanovit maximální dosažené teploty v zásobníku na základě zvolených objemů solárních zásobníků a podle nedávno zmíněného vztahu (2) v upraveném tvaru:

$$t_{max} = \frac{\Delta Q_{max} \cdot 3,6 \cdot 10^6}{V_z \cdot \rho \cdot c} + t_{SV} (^\circ\text{C})$$

Pro lepší přehled byly výsledky přepočteny na měsíční průměry (viz. Tab. 13 a Obr. 27).

Tabulka 13 Výsledky analýzy maximálních dosažených teplot v zásobníku pro pět možných konfigurací [vlastní zdroj]

	I. Varianta	II. Varianta	III. Varianta	IV. Varianta	V. Varianta
Zvolený objem zásobníku, (l)	200	200	242	275	275
Množství kolektorů	1	2	2	2	3
Zvolená absorpční plocha, (m²)	1,94	3,88	3,88	3,88	5,82
Měsíc	Průměr maximálních dosažených teplot v zásobníku, (° C)				
Leden	45,87	49,13	48,39	47,99	51,65
Únor	47,78	56,40	54,37	53,26	61,05
Březen	47,84	55,63	54,07	53,01	61,37
Duben	51,99	68,77	66,57	64,83	76,41
Květen	53,96	73,44	71,74	70,26	83,81
Červen	52,43	72,19	68,87	66,97	84,39
Červenec	53,83	75,68	73,24	71,30	85,11
Srpen	55,79	77,71	76,34	74,93	83,62
Září	55,17	76,27	74,12	72,60	81,91
Říjen	47,02	54,25	52,59	51,70	58,52
Listopad	47,41	54,91	53,14	52,18	59,11
Prosinec	46,37	50,79	49,76	49,20	53,10
	Solární pokrytí, (-)				
	28,42 %	54,36 %	54,79 %	55,36 %	70,15 %
	Maxima dosažených teplot za podmínky opatření zásobníku TUV pojistným ventilem, (° C)				
	66,65	90,00	90,00	90,00	90,00
	Výskyt teplot nad 80 ° C v procentuálním poměru k celkovému počtu dnů v roce, (-)				
	0 %	25 %	18 %	16 %	41 %



Obrázek 27 Průměr maximálních dosažených teplot v zásobníku po měsících [vlastní zdroj]

Z hlediska bezpečnosti nejlepší je I. varianta. Jde o zapojení jednoho kolektoru a solárního zásobníku o objemu 200 litrů. Maximální teplota teplé vody v zásobníku během roku nestoupá nad 80 ° C, průměrná hodnota se během roku drží na úrovni 50 ° C. To je však dáno tím, že jeden kolektor v kombinaci s elektrickým zdrojem nevytvoří denně obrovské množství solárních energetických přebytků pro další využití, resp. nevytvoří nadměrné maximální rozdíly dodávky a odběru teplé vody. Většina energie tím způsobem je získávána z doplňkového elektrického zdroje a solární zdroj tvoří 28 % pokrytí potřeby teplé vody. Další v řadě je konfigurace dvou kolektorů a solárního zásobníku o objemu 275 litrů, viz. IV. varianta. Z hlediska bezpečnosti u této varianty se nepředpokládá, že by teplota bez pojistného ventilu stoupla nad 90 stupňů, z výpočtů taková situace může reálně zřídka nastat (cca 6,8 % dní v roce). Očekává se, že výskyt teplot teplé vody nad 80 stupňů bude vzácný, z výsledků tvoří 16 % dní v roce a zejména v létě. Tato varianta na rozdíl od I. varianty při minimálním výskytu teplot nad provozní má téměř dvakrát větší solární pokrytí, což by mělo odpovídat poměrně vysokým úsporám při nákupu elektrické energie.

Na základě výsledků analýzy považuji za správné vyhodnotit první dvě konfigurace v řadě, jde o první a čtvrtou variantu, viz. Tab. 14.

Tabulka 14 Koncepční návrh SOL [vlastní zdroj]

Koncepční návrh SOL		
Varianta A SOL		
Název zařízení		Množství, ks
Kolektor	KSG 21 PREMIUM GT	1
Solární zásobník	Dražice OKC 200 NTRR/SOL	1
Varianta B SOL		
Název zařízení		Množství, ks
Kolektor	KSG 21 PREMIUM GT	2
Solární zásobník	Dražice OKC 300 NTRR/SOL	1

Vyhodnocení SOL

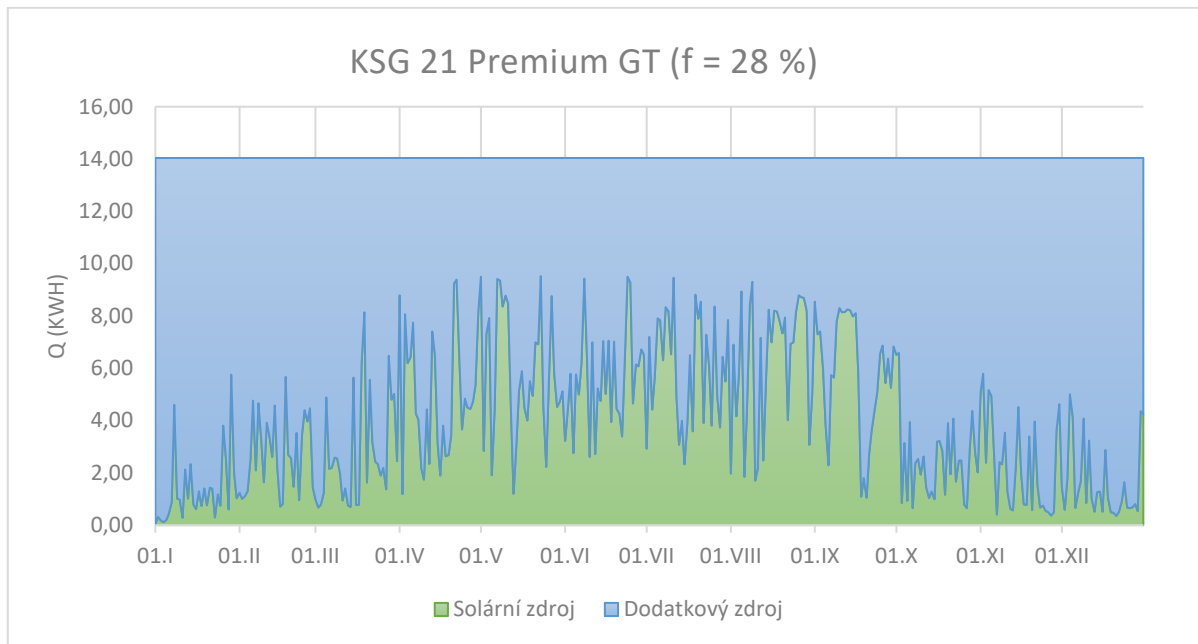
Z denního bilancování energetického zisku zvolených solárních systémů (viz. Obr. 28 a Obr. 29) je patrné, že kolektorový systém konfigurace A je schopen sám pokrýt 28 % potřeby teplé vody, resp. 55 % u konfigurace B a k pokrytí zbývající části slouží dodatečný zdroj ve tvaru topné elektrické jednotky TJ 6/4“ o výkonu 3,75 kW uvnitř solárního zásobníku Dražice OKC 200 NTRR/SOL, resp. Dražice OKC 300 NTRR/SOL. Elektřina na pokrytí zbývající potřeby teplé vody je zajištěna ze vnější sítě během dne v čase nízkého tarifu.

Přehled ročního bilancování je pak uveden do Tab. 15.

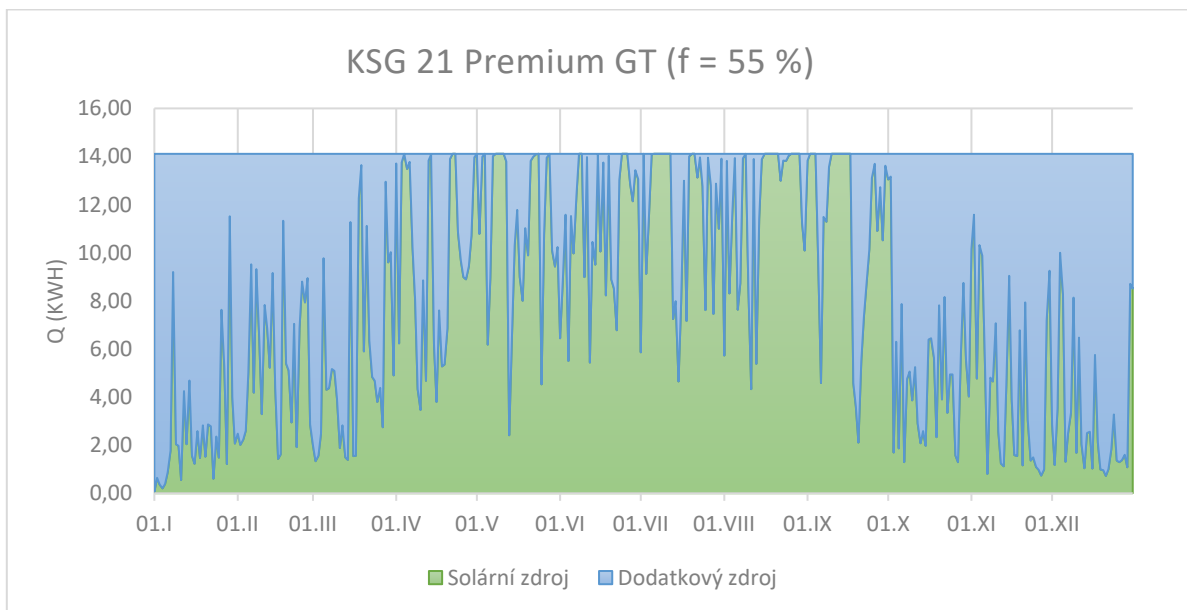
Tabulka 15 Výsledky ročního bilancování energetického zisku SOL [vlastní zdroj]

Roční potřeba tepla na ohřev TUV (kWh) ⁴	Produkováná energie kolektorového systému na pokrytí potřeby tepla (kWh)	Roční dodávka el energie (kWh)
Varianta A SOL		
5124,45	1456,37	3668,07
Varianta B SOL		
5150,73	2851,29	2299,44

⁴ s ohledem na tepelné ztráty každého zásobníku (jde o 1,968 kWh/den u 200 l, resp. 2,04 kWh/den u 275 l)



Obrázek 28 Bilancování energetického zisku A SOL [vlastní zdroj]



Obrázek 29 Bilancování energetického zisku A SOL [vlastní zdroj]

Pro konečné zhodnocení SOL dále stanovím jak provozní, tak pořizovací náklady.

Provozní náklady SOL

Výše finančních prostředků na ohřev teplé vody je přímo závislá na potřebě dodatkové energie, též. elektřiny.

Roční vstupy dodatkové energie

Odhad ročního vstupu dodatkové energie lze odečíst z provedeného bilancování energetického zisku solárního systému. Jde o $Q_{d,A} = 3668,07 \text{ kWh za rok}$ pro Variantu A, resp. $Q_{d,B} = 2299,44 \text{ kWh za rok}$ pro Variantu B.

Údržba SOL

Pro pravidelný provoz solárního systému je zapotřebí jednou ročně provádět kontrolu stavu systému. Kontrolují se tlak v solární soustavě, teplotní čidla, tlak v expanzní nádobě, stav nemrznoucí kapaliny a provádí se čištění kolektorové plochy. Tyto postupy může provádět jak majitel systému pomocí pomocné literatury, tak i speciální služba. Náklady související s údržbou a opravou jednotky je docela těžké odhadnout, proto ty nebudou ve vyhodnocení zohledněny.

Dle aktuální ceny elektřiny c_e (viz. kapitola Ekonomické vyhodnocení systémů pro ohřev TUV) následně lze spočítat roční finanční prostředky na nákup elektřiny. **Roční provozní náklady** pro obě varianty pak vyjdou:

$$OPEX_{SOL,A} = Q_{d,A} \cdot c_e + C_{servis} = 27186,08 \text{ Kč/rok}$$

$$OPEX_{SOL,B} = Q_{d,B} \cdot c_e + C_{servis} = 18334,14 \text{ Kč/rok}$$

Pořizovací náklady SOL

Systém se skládá ze zapojených mezi sebou solárních kolektorů (u Varianty A jde o jednotlivý kolektor) a nainstalovaných na rovnou střechu objektu pomocí nosné konstrukce s požadovaným sklonem (36°) a orientací na jih. Kolektorová soustava je pak zapojena s místem akumulace a spotřeby, též solárním zásobníkem, pomocí rozvodů potrubí. S ohledem na poměrně vysoké provozní teploty teplotnosného média a tlaky mají být vyrobeny z kovu (buď z mědi, nebo z oceli). Z důvodu teplotní dilatace, potrubí je třeba taky vybavit jedním dilatačním prvkem (smyčky, ohyby, kompenzátory) na každé 10-15 metrů. Celý primární okruh je opatřen cirkulujícím čerpadlem, expanzní nádobou, uzavírací armaturou a zpětnou klapkou.

Dle katalogů pro solární kolektory jsou následně pro obě varianty zvoleny montážní prvky na rovnou střechu, solární čerpadlová jednotka, řídicí systém, expanzní nádoba, teplotnosná kapalina (propylenglykol) pro kolektory a potrubí.

Podmínky pro získání dotací v rámci NZÚ jsou splněny vč. podmínky (d) – 103,09 l/m² u Varianty A, resp. 70,88 l/m² u Varianty B proti minimálním 45 l/m² (viz. kapitola Ekonomické vyhodnocení systémů pro ohřev TUV). Díky tomu celkové investiční náklady v případech obou konfigurací lze snížit o částku dotací ve výši **45 000,00 Kč**.

Odhad investičního plánu je uveden do Tab. 16.

Tabulka 16 Odhad investičního plánu pro Variantu A a B [vlastní zdroj]

Investice SOL A		
CAPEX (Kč)		
Solární kolektor (x1)	KSG 21 PREMIUM GT	12 700,00
Solární zásobník	OKC 200 NTRR/SOL	20 000,00
Solární čerpadlová jednotka	SSTX25/2E	10 900,00
Expanzní nádoba	Řada AG	1 050,00
Řídicí jednotka	STRG C Omega	4 200,00
Potrubí	DN16-IZ (50 m)	14 750,00
Teplotnosná kapalina	FSK10 (10 l)	1 400,00
Montážní sada	Sada KSG 21 PREMIUM GT	3 000,00
Dotace		- 45 000,00
CAPEX		23 000,00

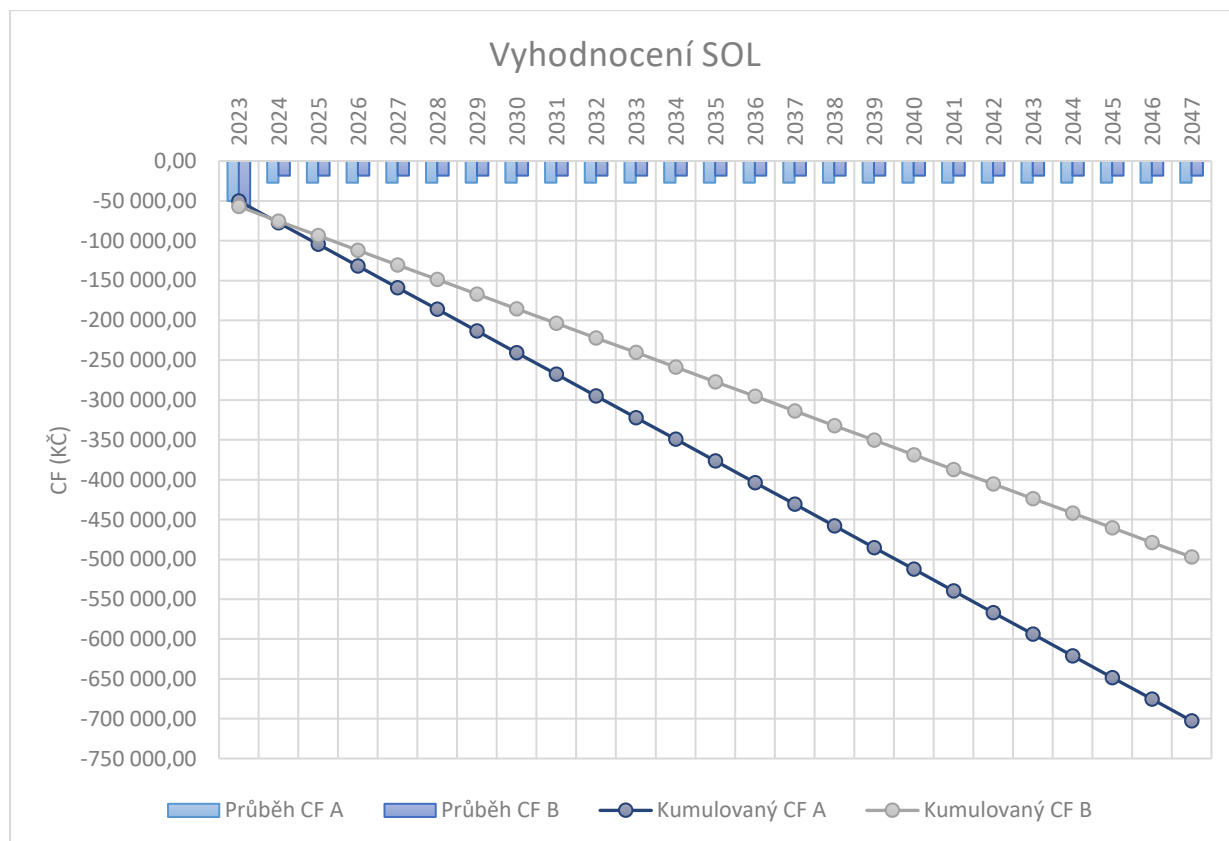
Investice SOL B		
CAPEX (Kč)		
Solární kolektor (x1)	KSG 21 PREMIUM GT	25 400,00
Solární zásobník	OKC 300 NTRR/SOL	20 000,00
Solární čerpadlová jednotka	SSTX25/2E	10 900,00
Expanzní nádoba	Řada AG	1 050,00
Řídicí jednotka	STRG C Omega	4 200,00
Potrubí	DN16-IZ (50 m)	14 750,00
Teplonosná kapalina	FSK10 (10 l)	1 400,00
Montážní sada	Sada KSG 21 PREMIUM GT	6 000,00
Dotace		- 45 000,00
CAPEX		38 700,00

Ze součtu veškerých pořizovacích a provozních finančních složek vyplývá **kumulovaný CF SOL** dle vztahu (23):

$$\sum_{n=0}^{n_s} CF_{n,A} = -702\,651,91 \text{ Kč/25 let}$$

$$\sum_{n=0}^{n_s} CF_{n,B} = -497\,053,45 \text{ Kč/25 let}$$

Konečné vyhodnocení systémů SOL A a SOL B během 25 let lze pak zohlednit pomocí grafů, viz. Obr. 30.



Obrázek 30 Vyhodnocení SOL [vlastní zdroj]

Fotovoltaický systém s dodatkovým elektrickým topným tělesem

Na rozdíl od solárních kolektorů návrh fotovoltaického systému (zkratka FV) není omezen na velikost špičkového výkonu z hlediska rizika přetížení systému. Jeho lze odpojit v jakýkoliv okamžik, resp. v době přebytků, proto se bezpečnosti provozu fotovoltaického ohříváče v tomto případě nevěnuje taková pozornost jako u solárních kolektorů. Rozměry systému však mohou být omezeny velikostí užitečné plochy střechy pro instalaci (viz. odstavec Lokalita a popis objektu), a při konkrétním návrhu je to třeba zkontrolovat.

Hlavním cílem je navrhnout co nejefektivnější a jednodušší FV systém, resp. systém schopný pokrýt co nejvíce potřeby teplé vody za co nejnižší náklady během doby životnosti (obecně 25 let).

Koncepční návrh FV

Tímto návrhem FV se uvažuje jednoduché zapojení systému bez bateriového uložení (viz. Obr. 18). Jedinou možností akumulace části přebytkové energie, v některých případech i veškeré, je akumulační zásobník teplé vody, podobně jako u kolektorového systému. Takový systém tvoří zapojení tzv. fotovoltaického ohříváče s FV panely z jedné strany pomocí AC kabelu a zvláštní připojení s elektrizační soustavou pomocí DC kabelu z druhé strany. Úkolem návrhu zvolit vhodný typ fotovoltaického panelu, příslušný fotovoltaický ohříváč a dimenzovat systém tak, aby došlo k co největšímu podílu využití solárních zisků při kombinované výrobě teplé vody s dodatkovým elektrickým zdrojem, resp. stanovit optimální výkon FV systému.

Při výběru konkrétního typu fotovoltaického panelu je třeba zvažovat špičkový výkon panelu, režim jeho provozu (buď celoroční nebo sezonní) a cenu. Polykrystalický typ fotovoltaického systému je obecně vhodný pro celoroční ohřev TUV i když má menší střední účinnost než panely monokrystalické. Souvisí to s tím, že díky své struktuře polykrystalické panely dokážou mnohem lépe zachytit difúzní záření než monokrystalické. Rozdíl výkonu ale není patrný (řádově 1-2 %). Další jsou tenkovrstvé (amorfní) panely. Mají sice poloviční účinnost, ale mnohem lépe zachycují rozptýlené záření než polykrystalické. Díky tomu mají přednost při sezonním provozu fotovoltaického systému. ^[44]

Po průzkumu trhu fotovoltaických panelů jsou do Tab. 16 přidány některé z nejlepších variant.

Tabulka 17 Tržní nabídky FV panelů [45][46][47]

Typ FV panelu	Název	Špičkový výkon, Wp	Cena, Kč/ks	Měrná cena, Kč/W
Monokrystalický křemík (mono)	AMERI SOLAR AS-6M120-HC	370	4900	11,89
Polykrystalický křemík (poly)	ELERIX 290Wp poly	290	3750	12,93
Tenkovrstvý CIS	Solar Frontier SF175-S	175	4500	25,71

Na základě uvedených výrobcem parametrů a dle vztahu (11) byly nejprve stanoveny jejich měsíční účinnosti a následně průměrné roční účinnosti η_r ve zvolené lokalitě (viz. Tab.18).

Tabulka 18 Parametry panelů a jejich průměrné roční účinnosti [45][46][47]

Parametry	$\eta_0, \%$	$\gamma, \%/K$	NOCT, °C	$\alpha^5, -$	$t_{ej}, ^\circ C$	$G_j, W/m^2$	$\eta_r, \%$
Amerisolar AS-6M120-HC	20,28	-0,36	43,00	0,8	20,00	800,00	20,00
ELERIX 290Wp poly	17,82	-0,41	45,00	0,8	20,00	800,00	17,58
Solar Frontier SF175-S	14,2	-0,31	47,00	0,8	20,00	800,00	13,88

Fotovoltaické monokrystalické panely značky AMERI SOLAR (viz. Příloha č. 8) jsou vzhledem k ceně, účinnosti a velikosti špičkového výkonu jednoho panelu (viz. Tab. 17 a 18) tím nejlepším řešením pro návrh FV systému pro ohřev TUV.

Dále je potřeba zvolit vhodný fotovoltaický ohřivač, který používá proud střídavý z elektrické sítě pro předehřev i dohřev teplé vody v případě nedostačujících solárních zisků a proud stejnosměrný na dohřev vody fotovoltaikou (podrobněji o režimu provozu FV ohřivačů viz. odstavec Solární zásobníky). Na trhu lze nalézt takový ohřivač v různých objemech od 95 do 195 litrů značky LOGITEX. K ohřevu a využití teplé vody pro pětičlennou rodinu jsou vhodné pro další posouzení ohřivače o objemu 147, 195 litrů a jejich kombinace 147x147 o objemu 294 litrů, resp. 195x195 o objemu 390 litrů (tyto kombinace jsou představeny zapojením ohřivačů o stejné velikosti pro zajištění rovnoměrného ohřevu vody během provozu a bez potřeby dalších regulujících součástí okruhu systému).

Optimální výkon FV

Hlavní faktory pro stanovení optimálního výkonu FV systému pro ohřev TUV jsou jeho míra schopnosti k pokrytí potřeby tepla a hospodárnost od okamžiku jeho pořízení a po celou dobu životnosti. Otázkou je, jak jsou na sobě závislé. Tuto závislost lze určit krokovou metodou. Spočívá se ve zkoumání investičních a provozních nákladů při postupném zvyšování výkonu systému. Instalace více panelů si samozřejmě vyžádá větší investice, ale vzhledem k větší produkci energie a tím k většímu solárnímu pokrytí budou potřeba nižší provozní náklady. Výkonový bod, ve kterém FV systém přinese největší finanční užitek než ostatní výkonové konfigurace, bude optimálním.

Vzhledem k tomu, že akumulace tepla z FV a tím míra potřeby nákladů na nákup elektřiny závisí na velikosti FV ohřivače, optimální výkon bude stanoven pro čtyři varianty zapojení FV systému s fotovoltaickým ohřivačem o různém objemu. **Variantu FV A** tvoří zapojení se zásobníkem LX ACDC/M+K 160 A, B, C o objemu 147 litrů, LX ACDC/M+K 200 A, B, C o objemu 195 litrů má **Varianta FV B**, **Variantu FV C** tvoří zapojení dvou ohřivačů LX ACDC/M+K 160 A, B, C o celkovém objemu 294 litrů a kombinace dvou zásobníků LX ACDC/M+K 200 A, B, C o celkovém objemu 390 litrů patří k **Variantě D**.

Investiční náklady FV systému jsou určeny finančními prostředky na nákup FV panelů, fotovoltaického ohřivače, montážních sad, solárních kabelů a konektorů MC4. Do Tab. 19 jsou uvedeny odhady potřebných nákladů na instalaci jednoho solárního panelu. Vynásobíme-li je počtem panelů konkrétní výkonové konfigurace a připočteme-li k tomu cenu fotovoltaického ohřivače dostaneme pro tuto zvolenou konfiguraci odhad pořizovacích nákladů dle vztahu:

$$CAPEX_i = i \cdot \Sigma + p_{z,FV} \text{ (Kč)}$$

kde i (ks) je množství panelů, $p_{z,FV}$ je cena FV ohřivače.

Výsledky jsou uvedeny pro každou zvolenou konfiguraci do Tab. 20, Tab. 21, Tab. 22 a Tab. 23. V každém případě bude zvážena i možnost získat dotace ve výši 45 000 Kč v rámci NZÚ, to závisí hlavně

⁵ pohltivost panelů byla zvolena na základě odrazivosti u křemíku, která je kolem 30 %, díky povrchově úpravě ji lze snížit až na 20 %.

na podmínce (d). V případě nároku na jejich získání bude potřeba instalovat MPPT regulátor pro splnění podmínky (b). V případě jeho pořízení se volí na základě VA charakteristiky konkrétního FV systému, jeho cenu lze odhadnout na základě špičkového výkonu systému. Z tržních nabídek vyplývá, že výkonům 2 – 10 kWp odpovídá cena regulátoru 7500 – 27000 Kč.

Tabulka 19 Měrné náklady na komponenty na jeden solární panel [45][48][49][50]

Název	Cena, Kč/panel
AMERI SOLAR AS-6M120-HC 370Wp	4900,00
Solární kabely	100,00
Konektory MC4	250,00
Montážní sada	2500,00
Σ	7750,00
$p_{z,FV A}$, Kč	24 000,00
$p_{z,FV B}$, Kč	30 000,00
$p_{z,FV C}$, Kč	48 000,00
$p_{z,FV D}$, Kč	60 000,00

Provozní náklady pro každý případ stanovím na základě roční potřeby dodatkové energie. Tu určím z denního bilancování energetického zisku každé výkonové konfigurace dle vztahu (15). Jde o kombinovanou výrobu teplé vody za určitých podmínek režimu provozu. Předehřev vody a také její dohřev na teplotní úroveň 45 °C se obecně provádí dodatkovým elektrickým zdrojem. Následný ohřev vody je zajištěn fotovoltaikou. Teplá voda v případě solárních přebytků může být ohřata až na teplotu 75 °C, díky čemuž po ukončení dne nebude nutně nebo bude nutně částečně její znovu ohřívání elektrickým zdrojem. Proto je třeba vytvořit matematickou simulaci podobnou té u systému SOL pro bilancování dodávky a odběru teplé vody během každého dne v závislosti na denních solárních ziscích FV systému dle vztahu (17). Okamžik dosažení teplot na horní hranici 75 °C a poklesu na hranici dolní 45 °C je kontrolován během výpočtu pomocí vztahu (2) v upraveném tvaru:

$$t_{TV} = \frac{\Delta Q \cdot 3,6 \cdot 10^6}{V_z \cdot \rho \cdot c} + t_{SV} (^{\circ}\text{C})$$

kde ΔQ je rozdíl dodávky a odběru tepla ve konkrétním zvoleném okamžiku během dne.

Na základě výsledků matematické simulace jsou dále pro každou zvolenou konfiguraci FV systému uvedeny do Tab. 20, Tab. 21, Tab. 22 a do Tab. 23 její roční produkci teplé vody, potřebné množství elektrické energie a jemu odpovídající provozní náklady⁶. Zde je také důležité připomenout zvláštnost fotovoltaických panelů, které časem ztrácejí svůj špičkový výkon v důsledku PID degradace. Jde o 0,56 % roční pokles výkonu u panelu, resp. o stejné procento ročně se sníží produkce teplé vody a zvýší se provozní náklady. Tato skutečnost však neovlivňuje porovnání mezivýsledků krokové metody, protože při uvažování reálných čísel proběhnou změny u každé konfigurace úplně stejně, a v tomto ohledu nebude pro zjednodušení zatím zohledněna.

V provedených výpočtech se uvažují denní tepelné ztráty zásobníků: 1,39; 1,4; 2,78; 2,8 kWh – 147; 195; 294; 390 litrů.

⁶ dle aktuální ceny elektřiny (viz. kapitola Ekonomické vyhodnocení systémů pro ohřev TUV)

Tabulka 20 Investice a výsledky ročního bilancování každé výkonové konfigurace pro Variantu FV A [vlastní zdroj]

Špičkový výkon systému. (Wp)	Investiční náklady na FV panely a jejich příslušenství (Kč)	Roční produkce teplé vody na pokrytí potřeby (kWh)	Roční dodávka elektrické energie (kWh)	Provozní náklady FV (Kč/rok)
2220	70 500,00	2 085,34	2 828,14	21 753,63
2590	78 250,00	2 255,84	2 657,64	20 650,86
2960	86 000,00	2 388,33	2 525,15	19 793,98
3330	93 750,00	2 492,60	2 420,88	19 119,55
3700	101 500,00	2 579,91	2 333,57	18 554,86
4070	109 250,00	2 656,73	2 256,75	18 058,01
4440	117 000,00	2 724,60	2 188,87	17 619,02
4810	124 750,00	2 783,88	2 129,60	17 235,67
5180	132 500,00	2 834,48	2 079,00	16 908,42
5550	140 250,00	2 880,15	2 033,33	16 613,03
5920	148 000,00	2 920,42	1 993,06	16 352,58
6290	155 750,00	2 957,61	1 955,87	16 112,04
6660	163 500,00	2 991,95	1 921,53	15 889,89
7030	171 250,00	3 024,23	1 889,25	15 681,14

Tabulka 21 Investice a výsledky ročního bilancování každé výkonové konfigurace pro Variantu FV B [vlastní zdroj]

Špičkový výkon systému. (Wp)	Investiční náklady na FV panely a jejich příslušenství (Kč)	Roční produkce teplé vody na pokrytí potřeby (kWh)	Roční dodávka elektrické energie (kWh)	Provozní náklady FV (Kč/rok)
2220	39 000,00	2 219,62	2 697,50	20 908,71
2590	84 250,00	2 447,73	2 469,40	19 433,38
2960	92 000,00	2 627,97	2 289,16	18 267,66
3330	99 750,00	2 770,16	2 146,97	17 347,99
3700	107 500,00	2 886,21	2 030,92	16 597,42
4070	115 250,00	2 982,27	1 934,86	15 976,16
4440	123 000,00	3 065,83	1 851,30	15 435,68
4810	130 750,00	3 141,21	1 775,92	14 948,14
5180	138 500,00	3 209,99	1 707,14	14 503,31
5550	146 250,00	3 271,68	1 645,45	14 104,30
5920	154 000,00	3 325,45	1 591,68	13 756,54
6290	161 750,00	3 372,72	1 544,41	13 450,80
6660	169 500,00	3 416,31	1 500,82	13 168,91
7030	177 250,00	3 455,78	1 461,35	12 913,59
7400	185 000,00	3 492,34	1 424,79	12 677,14
7770	192 750,00	3 526,20	1 390,93	12 458,12
8140	200 500,00	3 558,68	1 358,45	12 248,09
8510	208 250,00	3 589,75	1 327,38	12 047,11
8880	216 000,00	3 618,50	1 298,63	11 861,16

Tabulka 22 Investice a výsledky ročního bilancování každé výkonové konfigurace pro Variantu FV C [vlastní zdroj]

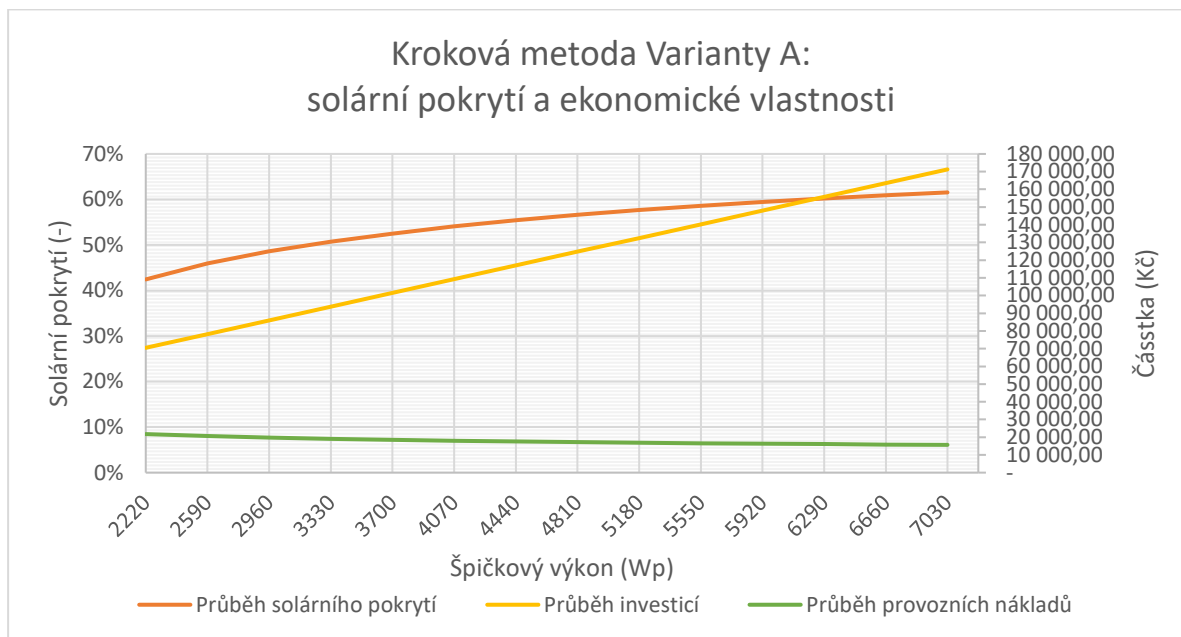
Špičkový výkon systému. (Wp)	Investiční náklady na FV panely a jejich příslušenství (Kč)	Roční produkce teplé vody na pokrytí potřeby (kWh)	Roční dodávka elektrické energie (kWh)	Provozní náklady FV (Kč/rok)
2220	57 000,00	2 322,59	3 098,24	23 500,56
2590	64 750,00	2 679,47	2 741,36	21 192,36
2960	72 500,00	2 961,04	2 459,79	19 371,24
3330	80 250,00	3 193,78	2 227,05	17 865,92
3700	88 000,00	3 389,90	2 030,93	16 597,47
4070	95 750,00	3 550,84	1 869,99	15 556,54
4440	103 500,00	3 684,13	1 736,70	14 694,47
4810	111 250,00	3 796,89	1 623,93	13 965,16
5180	119 000,00	3 892,63	1 528,20	13 345,95
5550	126 750,00	3 975,36	1 445,47	12 810,89
5920	134 500,00	4 049,89	1 370,94	12 328,87
6290	142 250,00	4 119,40	1 301,43	11 879,28
6660	150 000,00	4 185,85	1 234,98	11 449,50
7030	157 750,00	4 245,84	1 174,99	11 061,53
7400	165 500,00	4 300,27	1 120,56	10 709,44
7770	173 250,00	4 349,49	1 071,34	10 391,14
8140	181 000,00	4 393,93	1 026,90	10 103,69
8510	188 750,00	4 432,97	987,86	9 851,21
8880	196 500,00	4 469,55	951,28	9 614,59

Tabulka 23 Investice a výsledky ročního bilancování každé výkonové konfigurace pro Variantu FV D [vlastní zdroj]

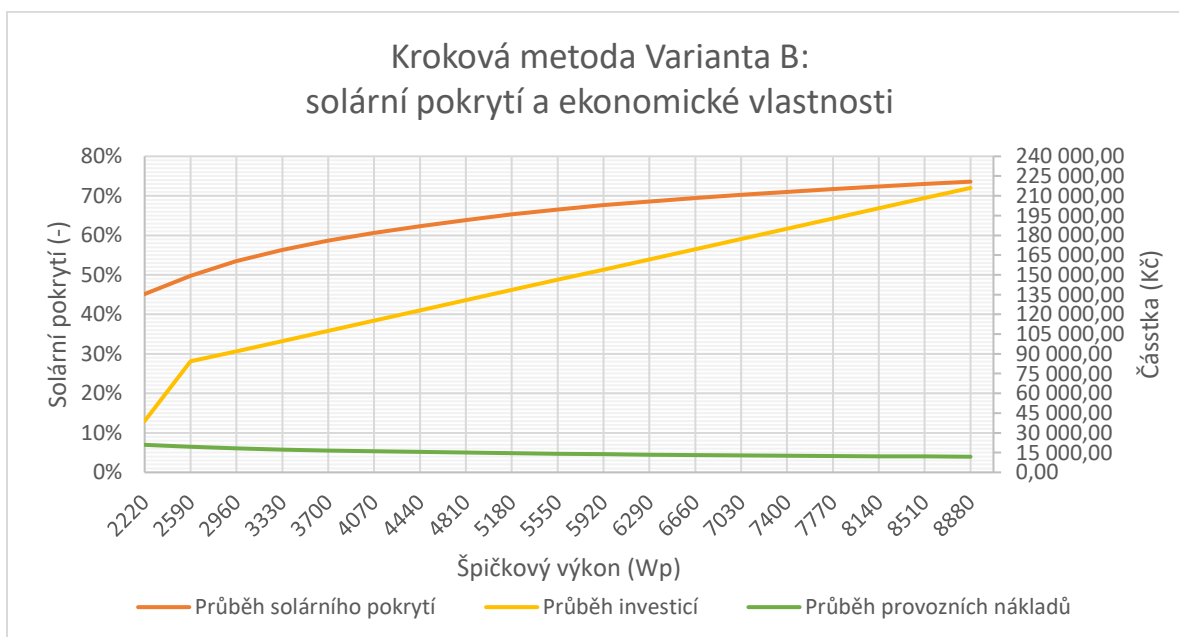
Špičkový výkon systému. (Wp)	Investiční náklady na FV panely a jejich příslušenství (Kč)	Roční produkce teplé vody na pokrytí potřeby (kWh)	Roční dodávka elektrické energie (kWh)	Provozní náklady FV (Kč/rok)
2220	69 000,00	2 322,72	3 105,41	23 546,94
2590	76 750,00	2 705,38	2 722,74	21 071,95
2960	84 500,00	3 028,10	2 400,03	18 984,69
3330	92 250,00	3 285,03	2 143,10	17 322,97
3700	100 000,00	3 504,45	1 923,68	15 903,79
4070	107 750,00	3 682,51	1 745,62	14 752,20
4440	115 500,00	3 828,12	1 600,00	13 810,38
4810	123 250,00	3 949,75	1 478,37	13 023,71
5180	131 000,00	4 049,49	1 378,64	12 378,66
5550	138 750,00	4 140,52	1 287,61	11 789,89
5920	146 500,00	4 222,47	1 205,66	11 259,89
6290	154 250,00	4 293,32	1 134,80	10 801,60
6660	162 000,00	4 358,46	1 069,67	10 380,32
7030	169 750,00	4 415,95	1 012,18	10 008,49
7400	177 500,00	4 468,71	959,42	9 667,27
7770	185 250,00	4 517,11	911,01	9 354,19

8140	193 000,00	4 561,69	866,43	9 065,85
8510	200 750,00	4 603,42	824,71	8 796,00
8880	208 500,00	4 640,09	788,04	8 558,82

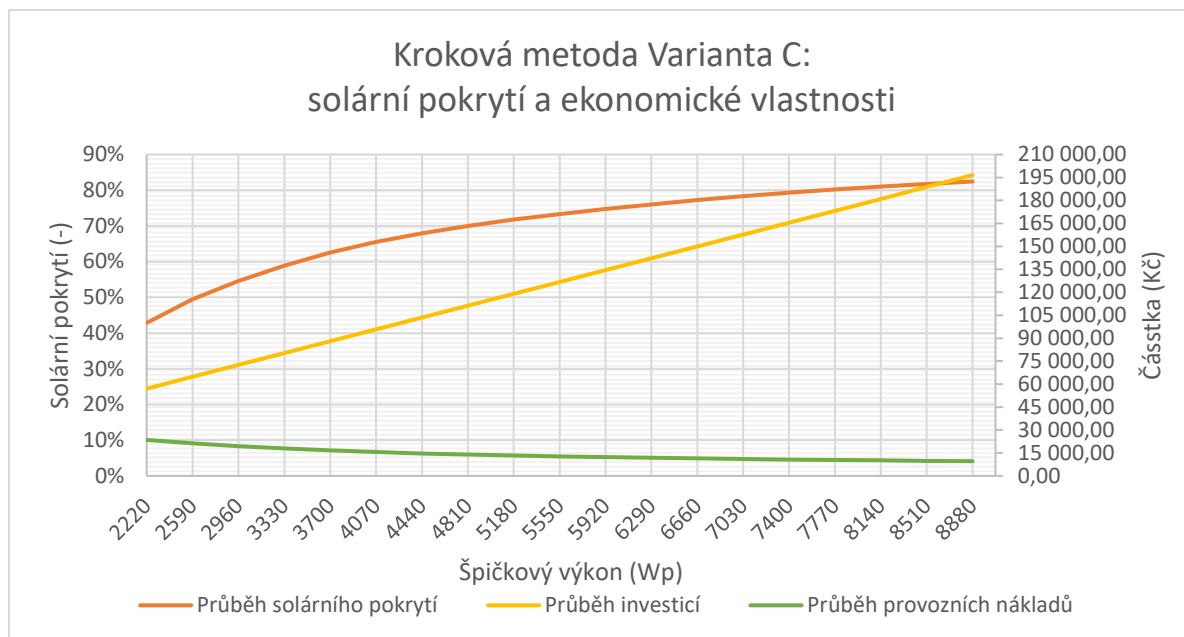
Z výsledků je krásně vidět, jak se zvýšením výkonu se mění hospodárnost systému. Zvyšuje se solární pokrytí a tím se snižují provozní náklady, to se však neděje lineárně. V důsledku nerovnoměrného rozložení přijímaného panelem slunečního záření v průběhu roku solární pokrytí se zvýšením výkonu neúměrně roste. Výsledkem jsou vyšší investice za menší pokles provozních nákladů (viz. Obr. 31, Obr. 32, Obr. 33 a Obr. 34). Vyhodnocení kumulovaného CF pomůže v tom pak zjistit, jak velké úspory po dobu 25 let u každé konfigurace oproti ostatním vzniknout a která z nich bude tou nejlepší.



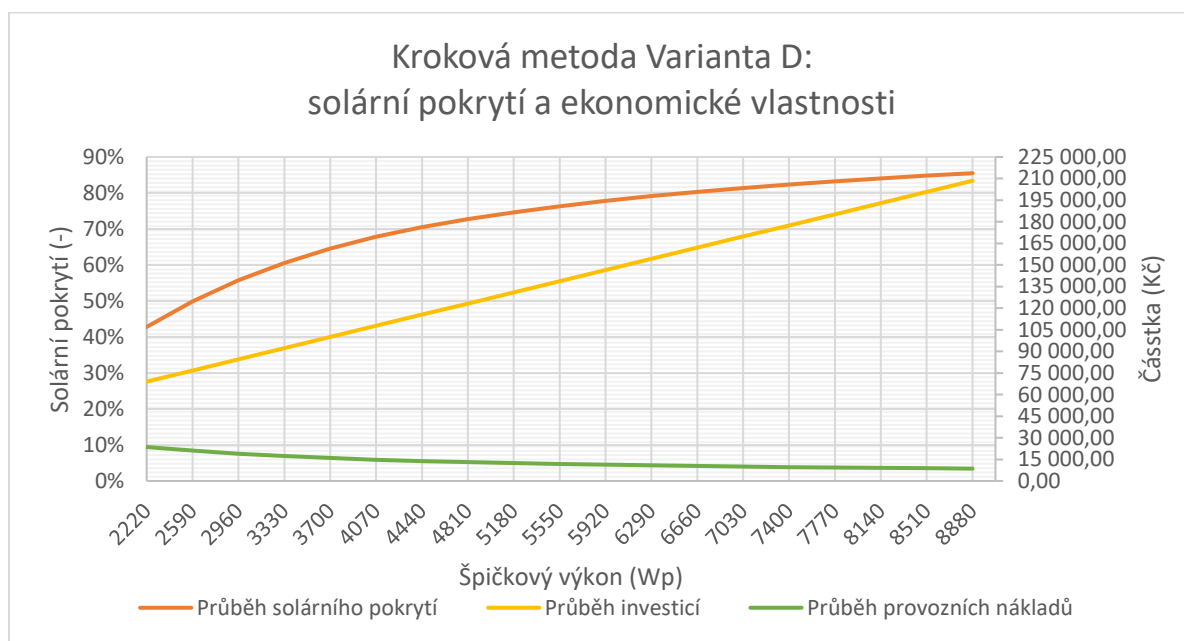
Obrázek 31 Kroková metoda Varianty A: solární pokrytí a ekonomické vlastnosti [vlastní zdroj]



Obrázek 32 Kroková metoda Varianty B: solární pokrytí a ekonomické vlastnosti [vlastní zdroj]

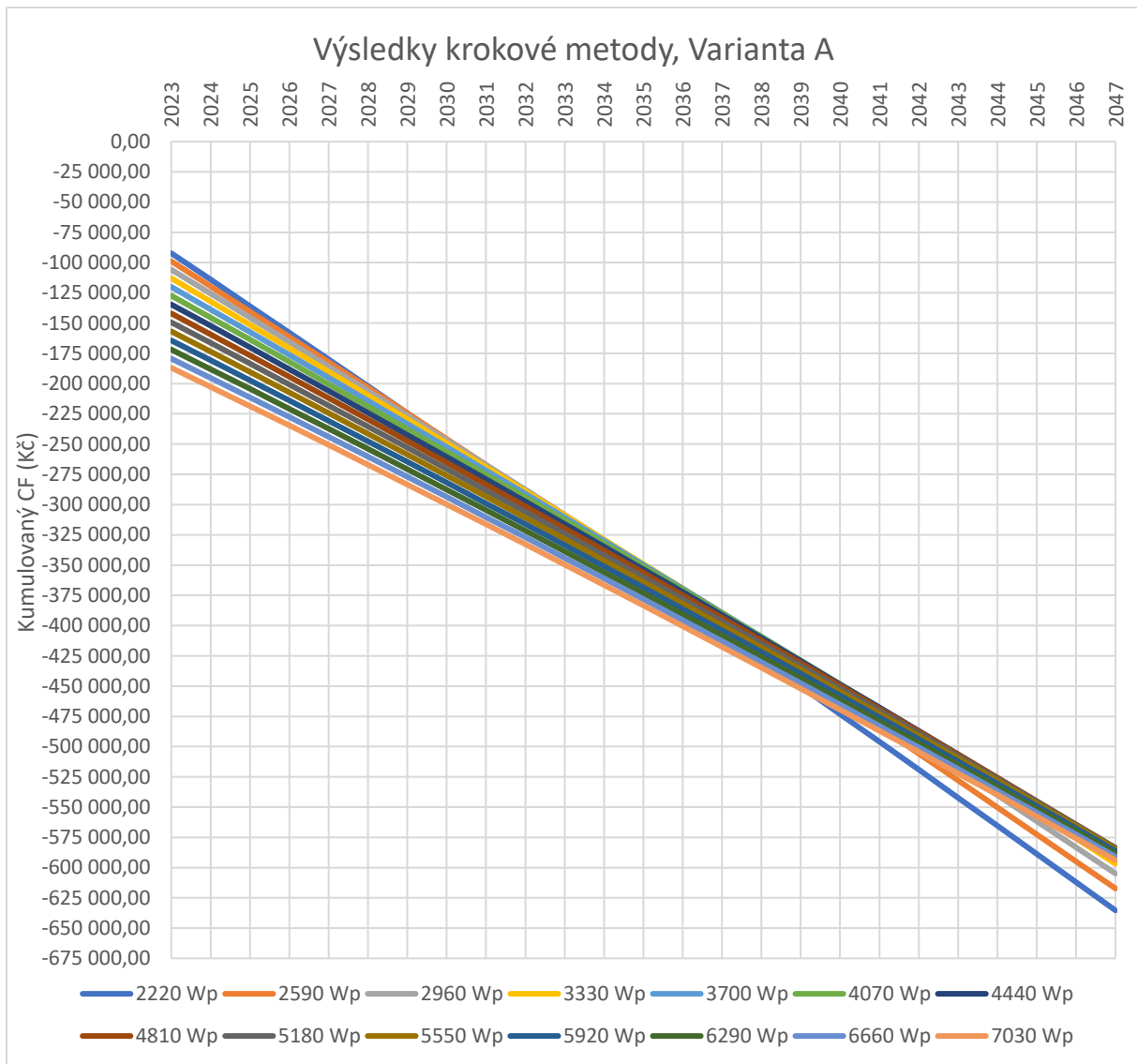


Obrázek 33 Kroková metoda Varianty C: solární pokrytí a ekonomické vlastnosti [vlastní zdroj]

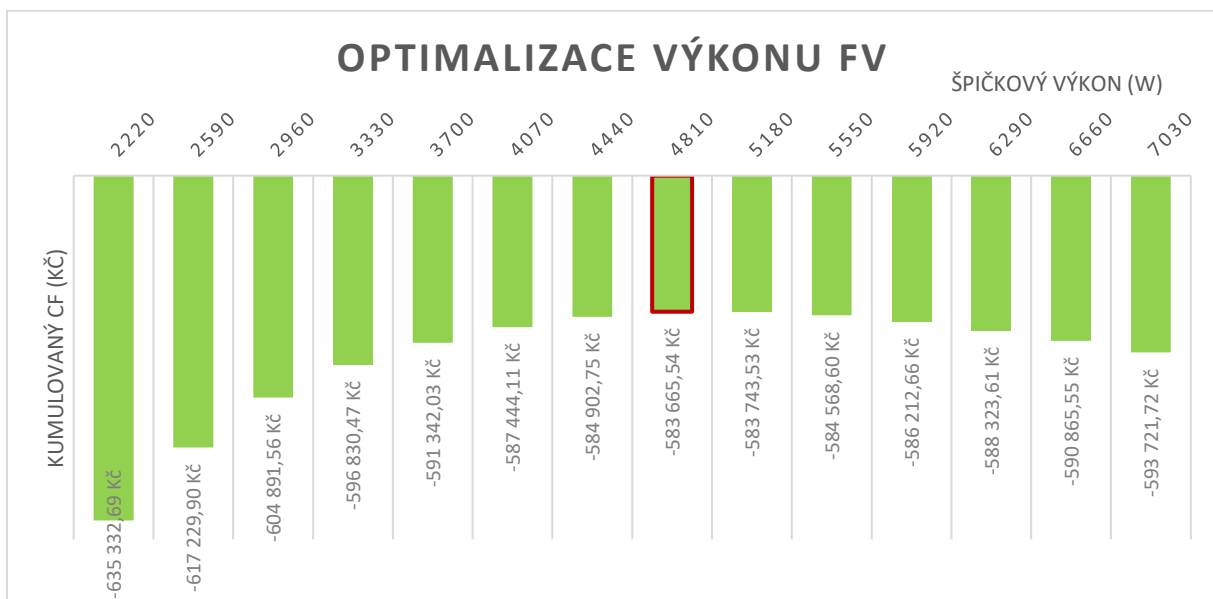


Obrázek 34 Kroková metoda Varianty D: solární pokrytí a ekonomické vlastnosti [vlastní zdroj]

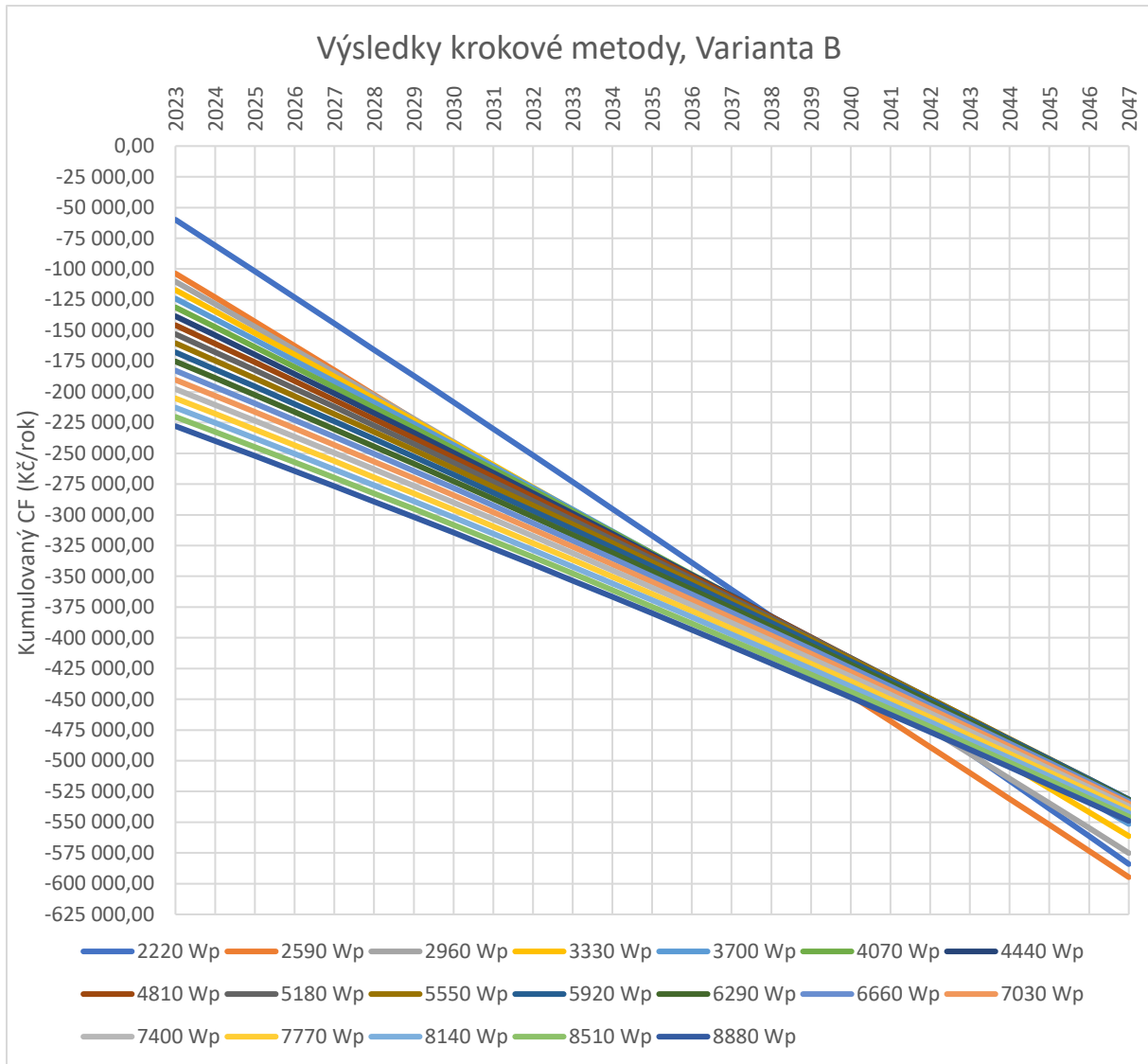
Dle vztahu (23) pak vyjdou průběhy kumulovaného CF pro každou z variant (2220 W_p ÷ 7030 W_p u Varianty A, 2220 W_p ÷ 8880 W_p u Varianty B, C a D, s ohledem na PID degradaci FV panelů), viz. Obr. 35, Obr. 37, Obr. 39 a Obr. 41, a pro lepší přehled jejich konečné hodnoty zvláště, viz. Obr. 36, Obr. 38, Obr. 40 a Obr. 42.



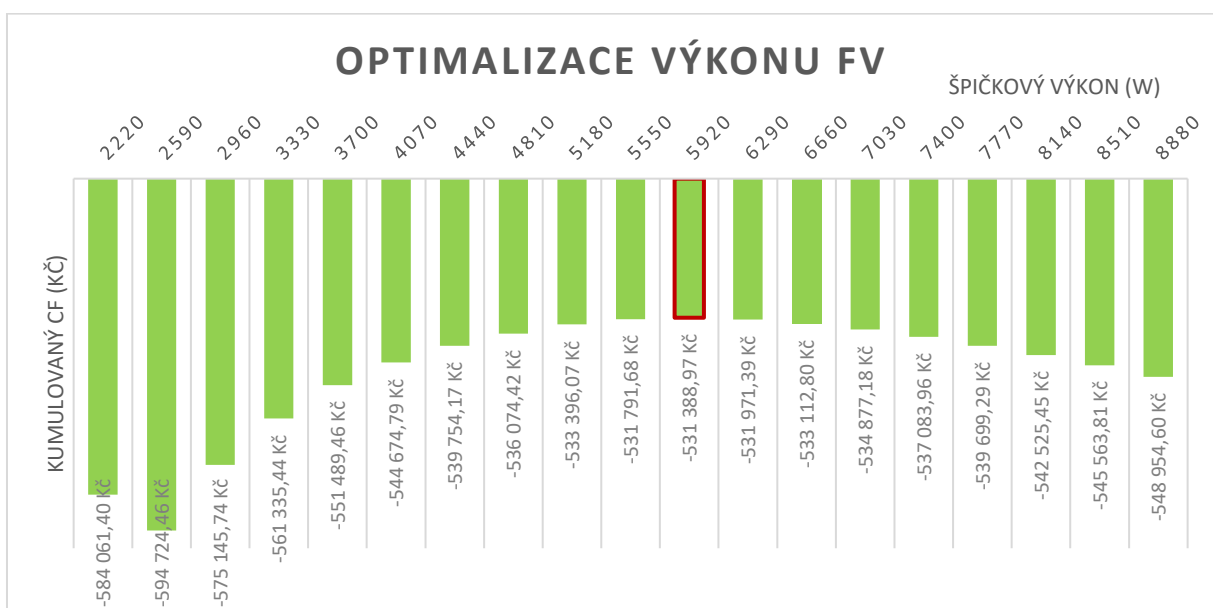
Obrázek 35 Výsledky krokové metody, Varianta A [vlastní zdroj]



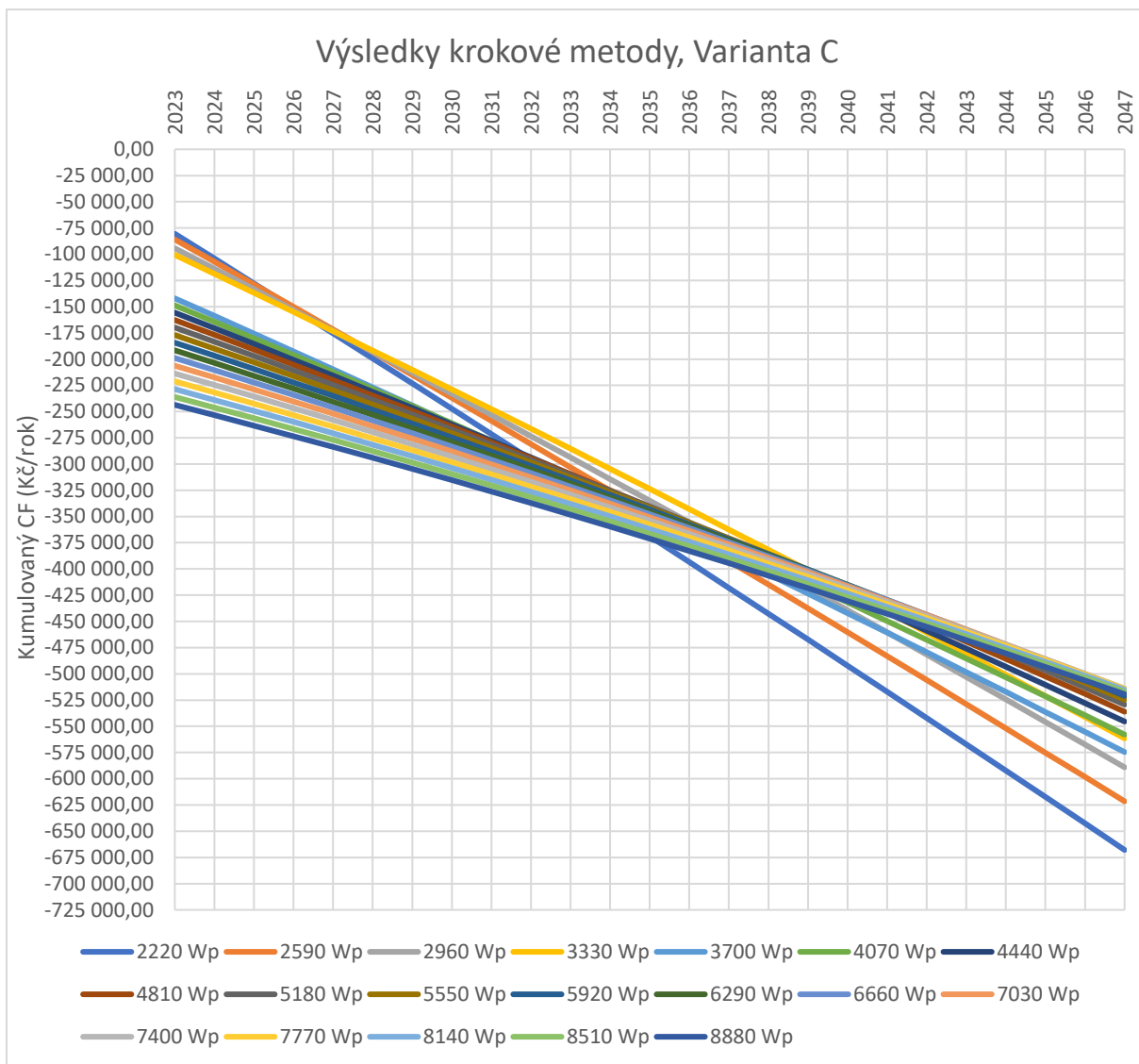
Obrázek 36 Výsledky krokové metody, Varianta A [vlastní zdroj]



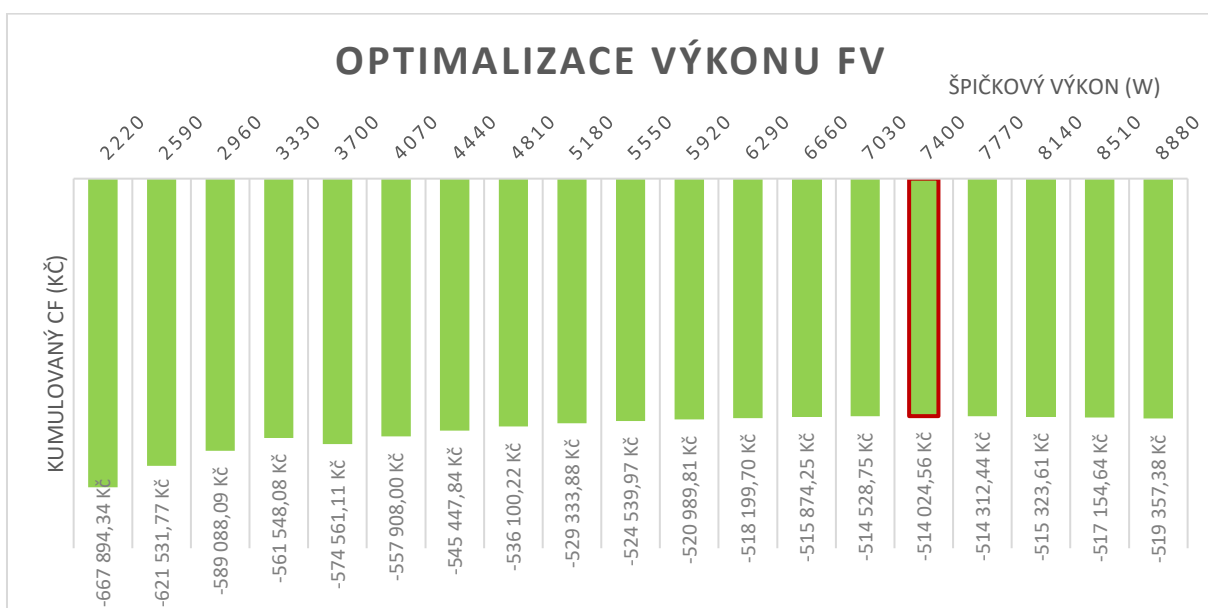
Obrázek 37 Výsledky krokové metody, Varianta B [vlastní zdroj]



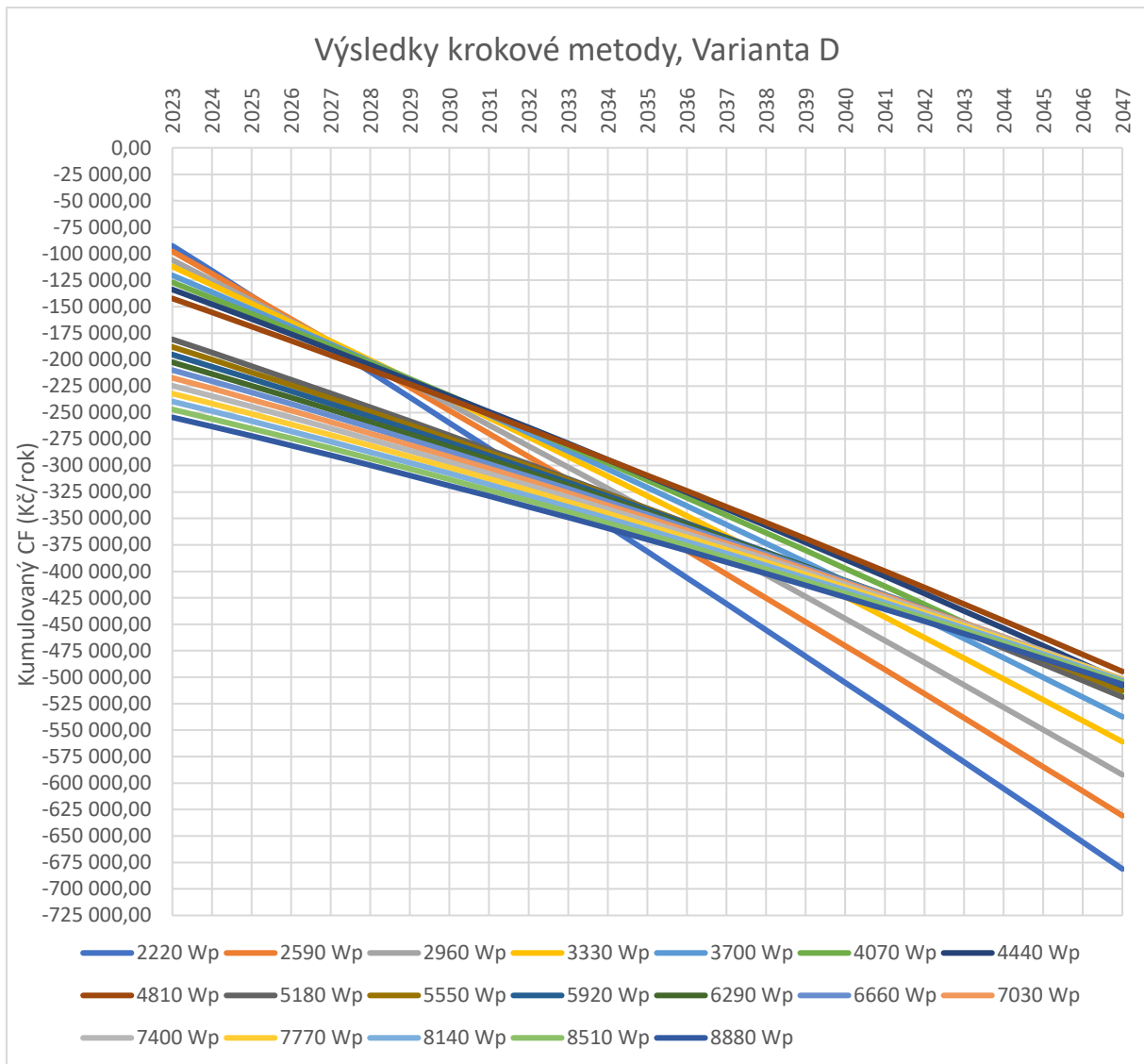
Obrázek 38 Výsledky krokové metody, Varianta B [vlastní zdroj]



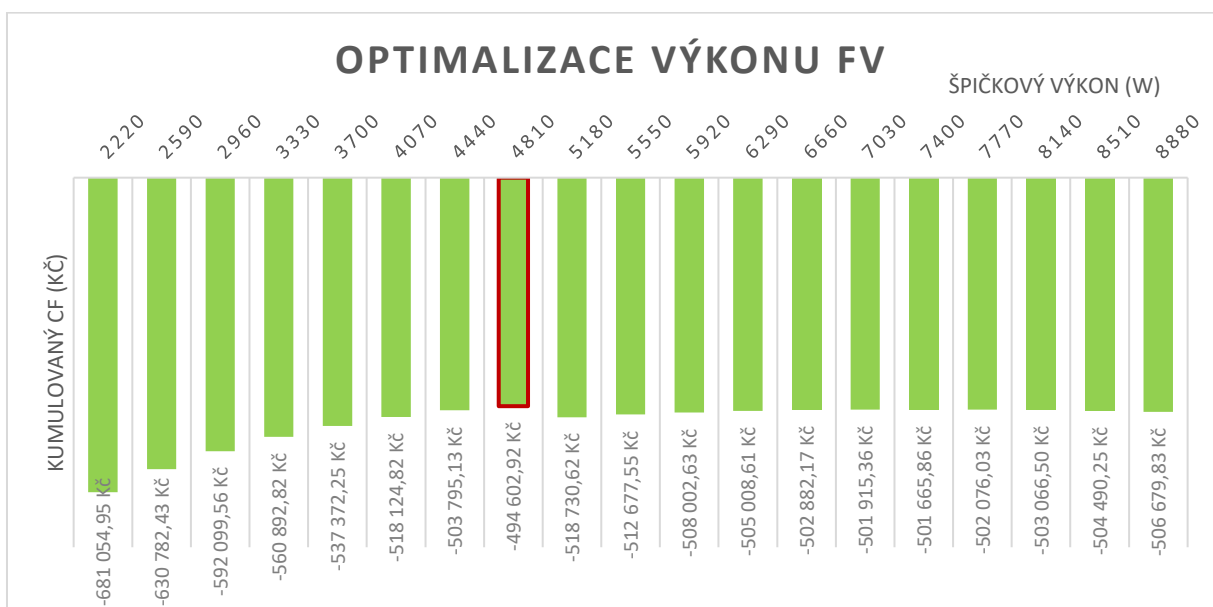
Obrázek 39 Výsledky krokové metody, Varianta C [vlastní zdroj]



Obrázek 40 Výsledky krokové metody, Varianta C [vlastní zdroj]



Obrázek 41 Výsledky krokové metody, Varianta D [vlastní zdroj]



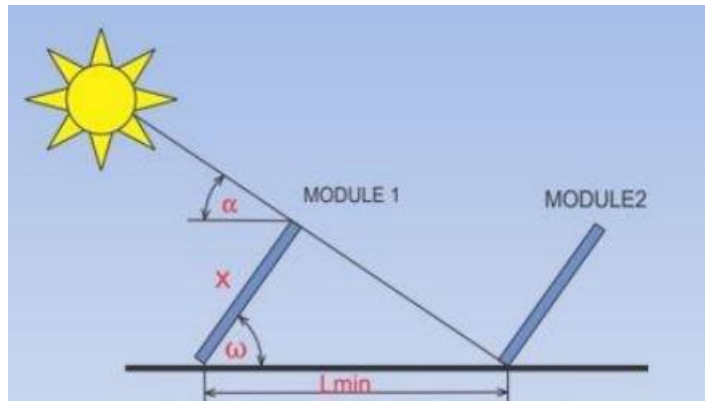
Obrázek 42 Výsledky krokové metody, Varianta D [vlastní zdroj]

Z výsledků krokové metody vyplývá, že nejlepším řešením pro Variantu A je zapojení 13 panelů se špičkovým výkonem 4810 Wp, pro Variantu B je 16 panelů se špičkovým výkonem 5920 Wp, nakonec pro variantu C 20 panelů, resp. D 13 panelů o špičkovém výkonu 7400 Wp, resp. 4810 Wp, přičemž u Varianty D se podařilo splnit všechny podmínky pro získání dotací v rámci NZÚ.

Požadavek na instalační plochu

Dále je třeba odhadnout potřebnou instalační plochu na rovné střeše. To se počítá s ohledem na vzájemný odstup řad panelů a jejich velikost (viz. Obr. 43), který lze stanovit podle vztahu:

$$L_{min} = x \cdot \left(\frac{\sin \omega}{\tan \alpha} + \cos \omega \right) = 1756 \text{ mm} \cdot \left(\frac{\sin 36^\circ}{\tan 17^\circ} + \cos 36^\circ \right) = 4,8 \text{ m}$$



Obrázek 43 Požadovaný odstup L_{min} řad panelů, kde úhel α je nejmenší úhel osvitů, ω je úhel sklonu panelu, x je jeho délka [8]

Z toho pak lze dopočítat odhad potřebované plochy pro instalaci. Pokud panely Varianty A a D budou nainstalovány ve 2 řadech po 7 panelů (ačkoli v jedné ze řad bude 6 panelů) (šířka panelu je 1039 mm), plocha je:

$$(L_{min} \cdot 2 + x \cdot \cos 36^\circ) \cdot (\text{width}_{panelu} \cdot 7 \text{ panelů}) < 80,15 \text{ m}^2;$$

budou-li panely Varianty B rozmístěny ve 2 řadech po 8 panelů, plocha je:

$$(L_{min} \cdot 2 + x \cdot \cos 36^\circ) \cdot (\text{width}_{panelu} \cdot 8 \text{ panelů}) = 91,6 \text{ m}^2;$$

budou-li panely Varianty C rozmístěny ve 2 řadech po 10 panelů, plocha je:

$$(L_{min} \cdot 2 + x \cdot \cos 36^\circ) \cdot (\text{width}_{panelu} \cdot 10 \text{ panelů}) = 114,5 \text{ m}^2$$

Za předpokladu, že střecha domku o ploše 110 m² je vhodně orientována pro instalaci panelů, teoreticky takové množství panelů u Varianty A, B a D je možné na ni umístit. U varianty C je třeba buď stavební úpravou rozšířit užitečnou plochu střechy, nebo rozmístit panely ve vhodném místě na pozemku rodinného domu (jde o cca 500 m²).

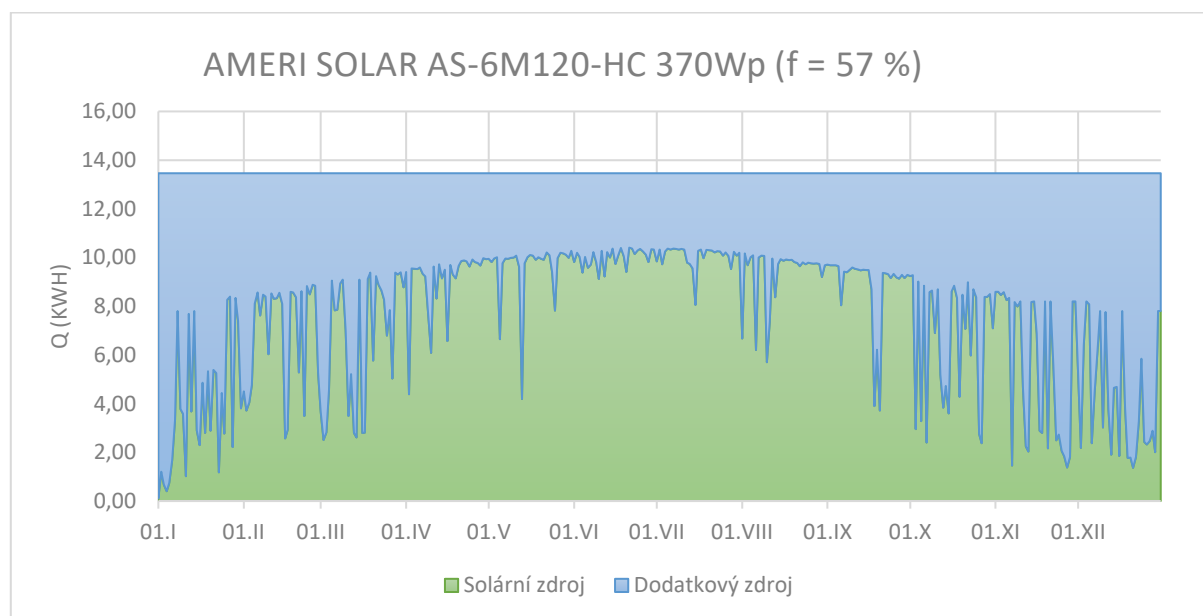
Konečný návrh fotovoltaického systému pro ohřev TUV bez zálohovacího zařízení s možností dodávky elektrické energie ze vnější sítě ve čtyřech variantech je uveden do Tab. 24.

Tabulka 24 Koncepční návrh FV [vlastní zdroj]

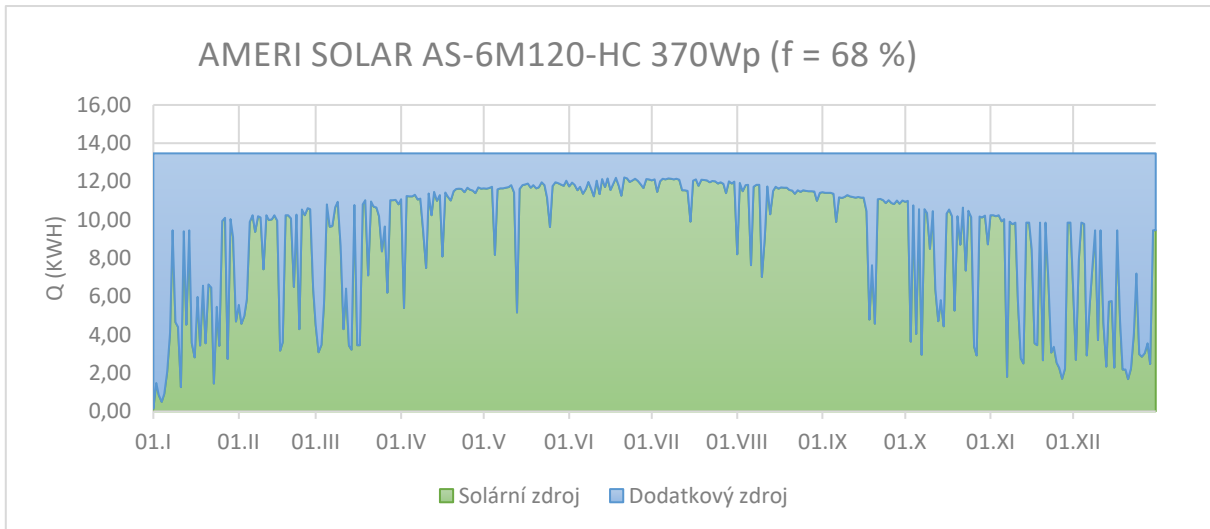
Koncepční návrh FV		
Varianta FV A		
	Název zařízení	Množství, ks
FV panel	AMERI SOLAR AS-6M120-HC 370Wp	13
FV ohřivač	LX ACDC/M+K 160 A, B, C	1
Varianta FV B		
	Název zařízení	Množství, ks
FV panel	AMERI SOLAR AS-6M120-HC 370Wp	16
FV ohřivač	LX ACDC/M+K 200 A, B, C	1
Varianta FV C		
	Název zařízení	Množství, ks
FV panel	AMERI SOLAR AS-6M120-HC 370Wp	20
FV ohřivač	LX ACDC/M+K 160 A, B, C	2
Varianta FV D		
	Název zařízení	Množství, ks
FV panel	AMERI SOLAR AS-6M120-HC 370Wp	13
FV ohřivač	LX ACDC/M+K 200 A, B, C	2

Vyhodnocení FV

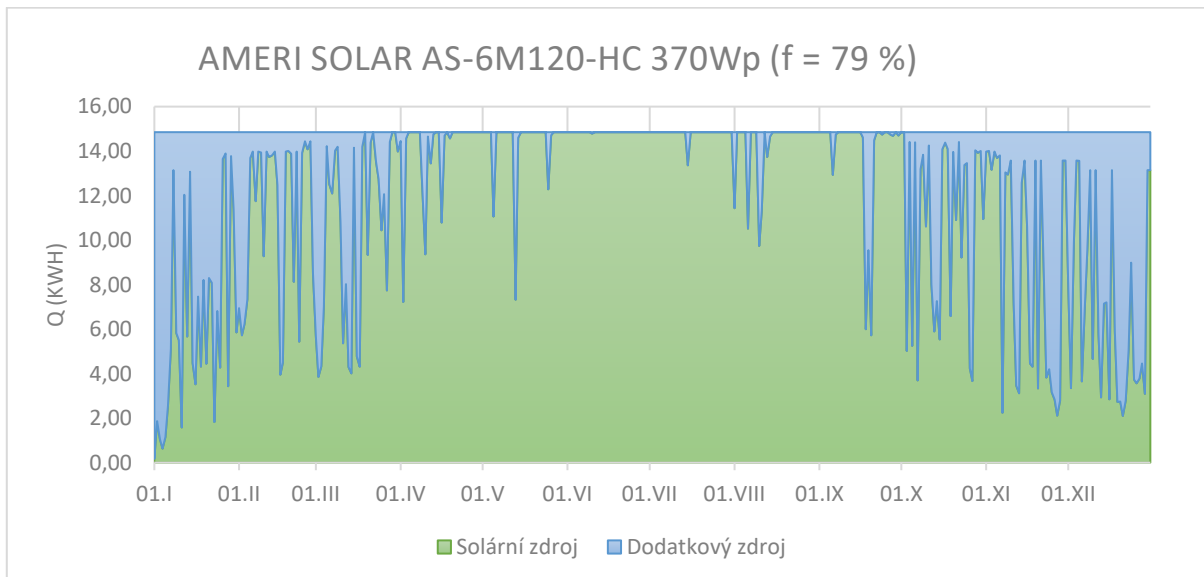
Z denního bilancování energetického zisku FV systému (viz. Obr. 44, Obr. 45, Obr. 46 a Obr. 47) podle vztahů (15) je patrné, že systém FV A, resp. FV B, resp. FV C, resp. FV D je schopen pokrýt 57 %, resp. 68 %, resp. 79 %, resp. 73 % potřeby tepla na ohřev TUV sám a k pokrytí zbývající části využije dodatečný zdroj, tj. topná elektrická topná o příkonu 3,75 kW. Elektřina na pokrytí zbývající potřeby teplé vody je zajištěna ze vnější sítě během dne převážně v čase nízkého tarifu.



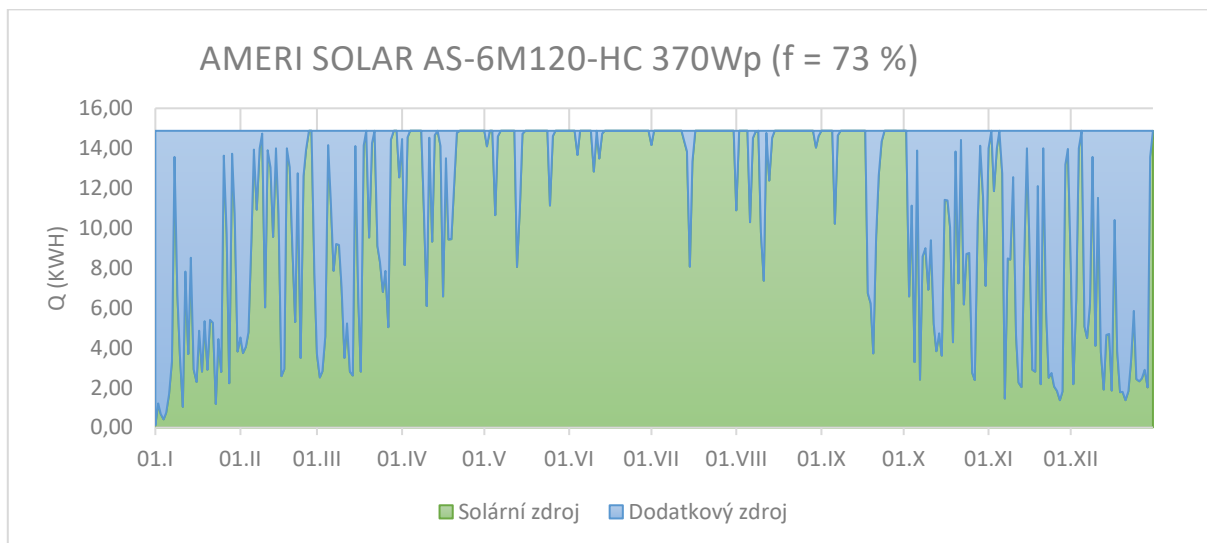
Obrázek 44 Bilancování energetického zisku FV A [vlastní zdroj]



Obrázek 45 Bilancování energetického zisku FV B [vlastní zdroj]



Obrázek 46 Bilancování energetického zisku FV C [vlastní zdroj]



Obrázek 47 Bilancování energetického zisku FV D [vlastní zdroj]

Přehled ročního bilancování v počátečním roce provozu systému je pak uveden do Tab. 25.

Tabulka 25 Výsledky ročního bilancování energetického zisku SOL [vlastní zdroj]

Roční potřeba tepla na ohřev TUV (kWh)	Produkováná energie kolektorového systému na pokrytí potřeby tepla (kWh)	Roční dodávka el energie (kWh)
Varianta FV A		
4913,48	2783,88	2129,60
Varianta FV B		
4917,13	3325,45	1591,68
Varianta FV C		
5420,83	4300,27	1120,56
Varianta FV D		
5428,13	3949,75	1478,37

Pro konečné zhodnocení FV dále stanovím jak provozní, tak pořizovací náklady.

Provozní náklady FV

Výše finančních prostředků na ohřev teplé vody je přímo závislá na potřebě dodatečné energie, též. elektřiny. Toto číslo však v průběhu času není konstantní kvůli PID degradaci a každý následující rok bude o 0,56 % větší.

Roční vstupy dodatečné energie

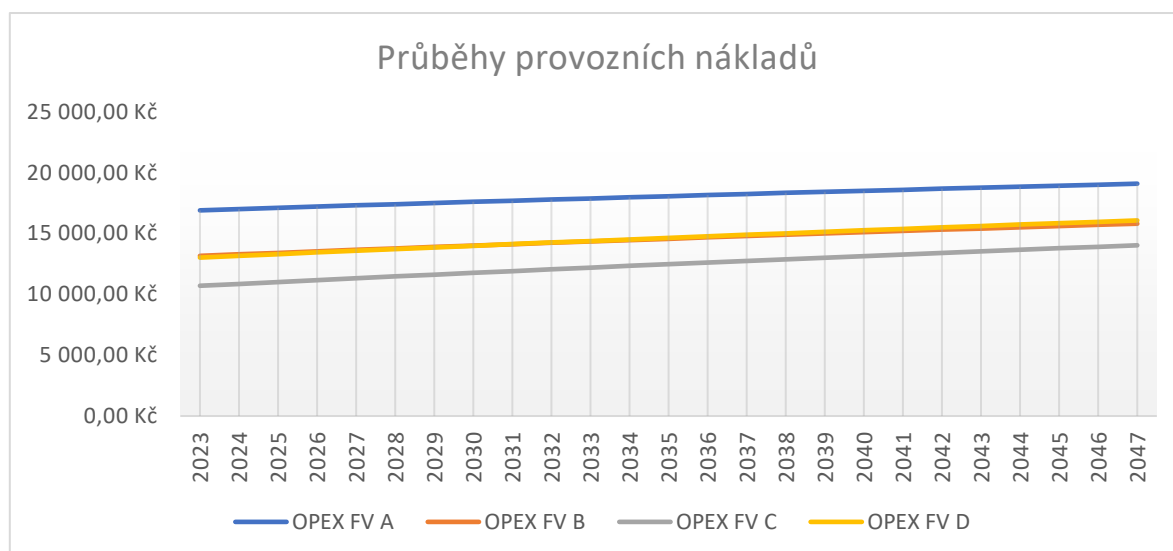
Odhad ročních vstupů dodatečné energie lze odečíst z provedeného bilancování energetického zisku solárního systému. S ohledem na PID degradaci jde o $Q_{d,i,A} = 2129,60 + (E_{FV,365,A,i=0} \cdot 0,0056 \cdot i)$ kWh za *i*-tý rok pro Variantu A, resp. o $Q_{d,i,B} = 1591,68 + (E_{FV,365,B,i=0} \cdot 0,0056 \cdot i)$ kWh za *i*-tý rok pro Variantu B, resp. o $Q_{d,i,C} = 1120,56 + (E_{FV,365,C,i=0} \cdot 0,0056 \cdot i)$ kWh za *i*-tý rok pro Variantu C, resp. o $Q_{d,i,D} = 1478,37 + (E_{FV,365,D,i=0} \cdot 0,0056 \cdot i)$ kWh za *i*-tý rok pro Variantu D.

Údržba FV

Pro pravidelný provoz solárního systému je zapotřebí jednou-dvakrát ročně provádět čištění FV panelů a preventivní prohlídku za účelem detekce poškození i kontroly stavu systému pomocí speciálních měřících přístrojů. Čištění může provádět majitel systému, ale prohlídku by měli vykonávat specialisté, též odborná služba. Náklady související s údržbou a opravou jednotky je docela těžké odhadnout, proto ty nebudou ve vyhodnocení zohledněny.

Dle aktuální ceny elektřiny c_e (viz. kapitola Ekonomické vyhodnocení systémů pro ohřev TUV) následně lze spočítat roční finanční prostředky na nákup elektřiny. **Provozní náklady** s ohledem na PID degradaci za *i*-tý rok pak vyjdou:

$$OPEX_{FV,i} = Q_{d,i} \cdot c_e + C_{servis}$$



Obrázek 48 Průběh provozních nákladů [vlastní zdroj]

Pořizovací náklady FV

FV systém pro ohřev TUV se skládá především z fotovoltaického pole, panely jsou upevněny do nosné konstrukce pro rovnou střechu se sklonem (36 °C) a orientací na jih. Fotovoltaické panely jsou zapojeny mezi sebou solárními kabely s konektory MC4 a následně připojeny k topné DC patroně fotovoltaického ohříváče.

Dle katalogů příslušenství pro fotovoltaické panely jsou následně zvoleny montážní prvky na rovnou střechu, solární kabely a příslušné konektory MC4.

Podmínky (d) a (b) pro získání dotace v rámci NZÚ jsou splněny pouze u Varianty D – 81,08 l/kW_p, proti minimálním 80 l/kW_p (viz. kapitola Ekonomické vyhodnocení systémů pro ohřev TUV). Díky tomu lze investice snížit o částku dotace ve výši 45 000,00 Kč.

Odhad celkových investic pro realizaci FV systému pak uveden do Tab. 26.

Tabulka 26 Odhad investičního plánu fotovoltaického systému [vlastní zdroj]

Investice FV A			
CAPEX (Kč)			
Fotovoltaický panel	13 x AMERI SOLAR AS-6M120-HC 370Wp	Kč	63 700,00
Fotovoltaický ohříváč	LX ACDC/M+K 160 A, B, C	Kč	24 000,00
Instalační a spojovací materiál	Kabely, konektory (MC4), kleště	Kč	4 550,00
Nosná konstrukce	Montážní konstrukce pro rovnou střechu	Kč	32 500,00
CAPEX			Kč 124 750,00
Investice FV B			
CAPEX (Kč)			
Fotovoltaický panel	16 x AMERI SOLAR AS-6M120-HC 370Wp	Kč	78 400,00
Fotovoltaický ohříváč	LX ACDC/M+K 200 A, B, C	Kč	30 000,00
Instalační a spojovací materiál	Kabely, konektory (MC4), kleště	Kč	5 600,00
Nosná konstrukce	Montážní konstrukce pro rovnou střechu	Kč	40 000,00
CAPEX			Kč 154 000,00

Investice FV C			
CAPEX (Kč)			
Fotovoltaický panel	20 x AMERI SOLAR AS-6M120-HC 370Wp	Kč	98 000,00
Fotovoltaický ohřívač	2 x LX ACDC/M+K 160 A, B, C	Kč	48 000,00
Instalační a spojovací materiál	Kabely, konektory (MC4), kleště	Kč	7 000,00
Nosná konstrukce	Montážní konstrukce pro rovnou střechu	Kč	50 000,00
CAPEX		Kč	203 000,00
Investice FV D			
CAPEX (Kč)			
Fotovoltaický panel	13 x AMERI SOLAR AS-6M120-HC 370Wp	Kč	63 700,00
Fotovoltaický ohřívač	2 x LX ACDC/M+K 200 A, B, C	Kč	60 000,00
Instalační a spojovací materiál	Kabely, konektory (MC4), kleště	Kč	4 550,00
Nosná konstrukce	Montážní konstrukce pro rovnou střechu	Kč	32 500,00
Regulátor	MPPT	Kč	13 500,00
Dotace		Kč	- 45 000,00
CAPEX		Kč	129 250,00

Ze součtu veškerých pořizovacích a provozních finančních složek vyplývá pro obě varianty **kumulovaný CF FV** dle vztahu (23):

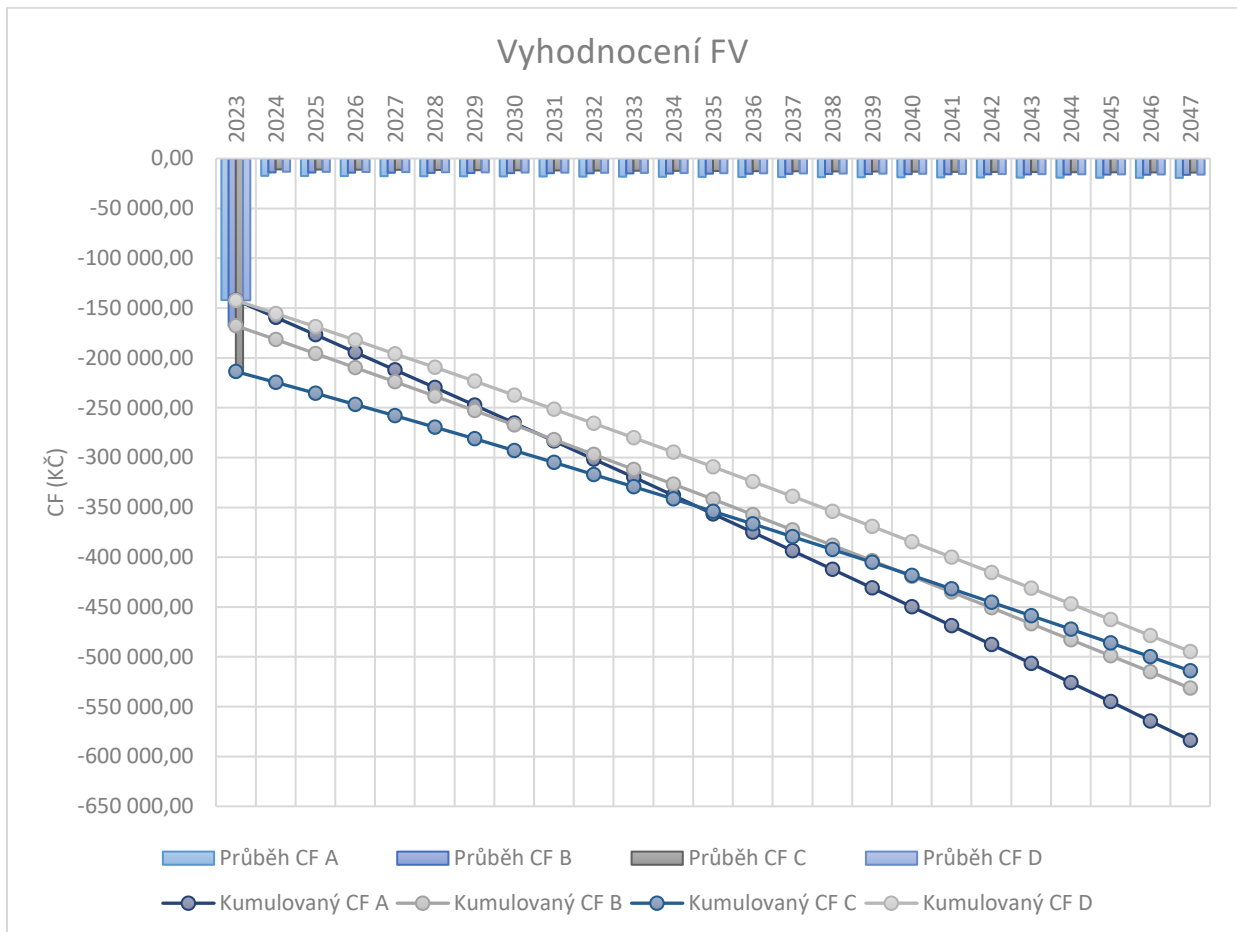
$$\sum_{n=0}^{n_s} CF_{n,A} = -583\,665,54 \text{ Kč/25 let}$$

$$\sum_{n=0}^{n_s} CF_{n,B} = -531\,388,97 \text{ Kč/25 let}$$

$$\sum_{n=0}^{n_s} CF_{n,C} = -514\,024,56 \text{ Kč/25 let}$$

$$\sum_{n=0}^{n_s} CF_{n,D} = -494\,602,92 \text{ Kč/25 let}$$

Konečné vyhodnocení systému FV během 25 let lze pak zohlednit pomocí grafu, viz. Obr. 49.



Obrázek 49 Vyhodnocení FV [vlastní zdroj]

VIII. Porovnání systémů pro ohřev TUV pro rodinný domek

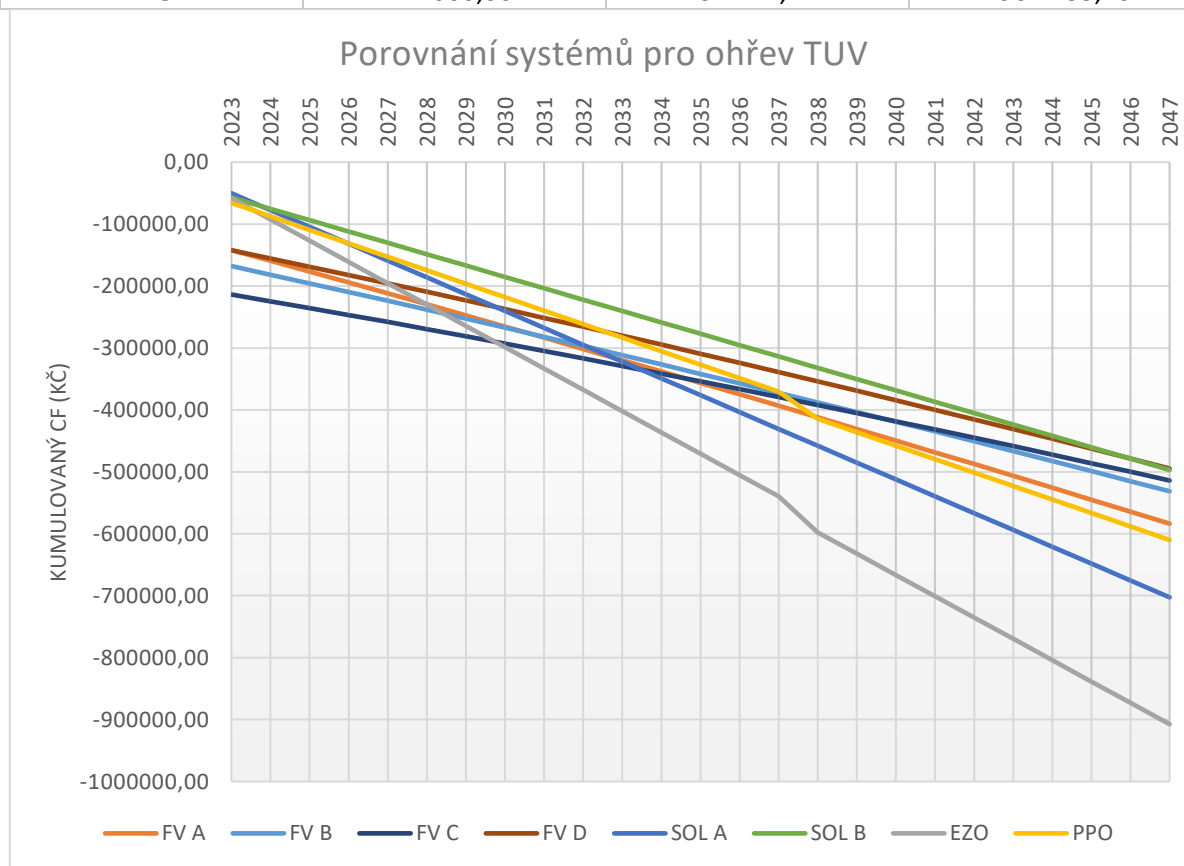
Po provedení vyhodnocení lze všechny navržené systémy pro ohřev TUV nakonec mezi sebou porovnat. Jak již bylo zmíněno, obrovskou roli při vyhodnocení hraje cena na energetické nosiče buď plynu v případě PPO nebo elektřiny v ostatních případech a výše investičních nákladů. Vyhodnocení byly provedeny na základě aktuálního ceníku energií a komponent každého systému. Vzhledem k volatilitě na trhu však stojí za zvážení i případy, kdy ceny rostou nebo klesají, a proto se mohou výsledky porovnání systémů změnit. Tím se bude zabývat citlivostní analýza.

Porovnání systémů pro ohřev TUV v aktuální době

Celkovým shrnutím vyhodnocení systémů lze je číselně a graficky porovnat. Mezi faktory pro porovnání jsou provozní, pořizovací náklady a z nich vyplývající kumulovaný CF, viz. Tab. 27.

Tabulka 27 Číselné porovnání systémů pro ohřev TUV [vlastní zdroj]

Název systému	Pořizovací náklady, Kč	Provozní náklady, Kč/rok	Kumulovaný CF, Kč/cyklus
SOL A	23 000,00	27 186,08	-702 651,91
SOL B	38 700,00	18 334,14	-497 053,45
FV A	124 750,00	18 356,62	-583 665,54
FV B	154 000,00	15 095,56	-531 388,97
FV C	203 000,00	12 440,98	-514 024,56
FV D	129 250,00	14 614,12	-494 602,92
PPO	66 000,00	21 763,72	-610 093,03
EZO	47 000,00	34 417,42	-907 435,40



Obrázek 50 Porovnání systémů pro ohřev TUV [vlastní zdroj]

Z výsledků (viz. Obr. 50 a Tab. 27) plyne, že nejlepším systémem pro ohřev TUV v současné době může být jak solární kolektorový systém varianty SOL B, tak fotovoltaický systém varianty D, a to je především díky získání dotací v rámci NZÚ. Zatímco varianta SOL A má nejhorší výsledek ze všech solárních systémů, a to je kvůli instalaci jednoho kolektoru oproti dvěma, aby bylo dosaženo nulových rizik nestabilního provozu kolektorového zásobníku ve špičkách, což nicméně vede ke skoro dvakrát menšímu solárnímu pokrytí. V důsledku toho je velkou nevýhodou malá variabilita velikosti solárních kolektorů, resp. jejich výkonu. Fotovoltaické systémy FV A, B a C pro ohřev TUV jsou podřadné kvůli poměrně velkým investicím, které nelze snížit dotacemi z důvodu určitých nesplněných podmínek pro zvolenou koncepci, ale přesto mají nejlepší ekonomické vlastnosti z hlediska ročních provozních nákladů, a proto má křivka kumulovaného CF menší sklon, též menší směrnice v každém bodě, a s delší dobou životností by FV mohl být bezpochybně nejlepším systémem v rámci tohoto studia. Mluvíme-li o nich zvlášť, pak FV D a FV C s kombinovaným zapojením ohřivačů předčí FV B a FV A díky lepší akumulaci tepla ve větších objemech za menší peněžní jednotku. Systémy produkující TUV z tradičních zdrojů energie jako PPO a EZO jsou investičně celkem příjemné, ale z důvodu vysokých cen na energetické nosiče jsou velmi nevýhodné.

Citlivostní analýza

Vyhodnocení u všech způsobů ohřevu vody mělo mnoho úvodních podmínek. Patří mezi nimi ceny klíčových komponent systému a ceny energií. Tyto podmínky mají však tu zvláštnost, že se v čase mění, neboť samy o sobě závisí na obrovském množství faktorů, které jsou opět důsledkem jevů v konkrétní zemi nebo na celém světě. Proto je správné dělat různé předpovědi o tom, co by se nakonec mohlo stát, klást si spoustu „kdyby?“. Tím je definována citlivostní analýza.

Nejlepší by bylo provést obecnou analýzu, která by zahrnovala všechny faktory. Ale ve světě jsou změny přirozené a vždy jedna z nich způsobí mnoho dalších, stejně jako padající domeček z karet. Je zřejmé, že změny jednoho faktoru budou pronásledovat další. Vzhledem k rozsahu je poměrně obtížné takový jev posoudit. Tato problematika je velmi složitá, a zaslouží si samostatný výzkum. V tomto ohledu budou změny faktorů v této analýze brány v úvahu zvlášť.

Dále bude provedena citlivostní analýza zohledňující změny cen energií, zejména elektřiny a plynu, a změny investičních nákladů na pořízení technologií ohřevu TUV. Avšak, z prvního pohledu jakékoli pozitivní změny v investičním plánu technologií PPO a EZO na pozadí provozních nákladů by měly velmi malý dopad na celkový výsledek, tak v současné době u systémů PPO a EZO činí investice 5,8 %, resp. 1,2 % celkových nákladů za uvažovanou dobu 25 let.

Citlivostní analýza – ceny energií

Vzhledem k tomu, že cena elektřiny na trhu se stanoví na základě ceny její výroby u nejdražšího zdroje, což vůči takovým zdrojům jako vítr, slunce, voda, jádro a uhlí je plyn, lze v této analýze vycházet ze předpokladu, že změny cen elektřiny jsou přímo úměrné změnám cen plynu.

Pro lepší přehled výsledků budu dále zvažovat dva scénáře. **První** odpovídá situaci, když ceny klesnou o 50 procent, **druhý** popisuje, když ceny stoupnou o 50 procent.

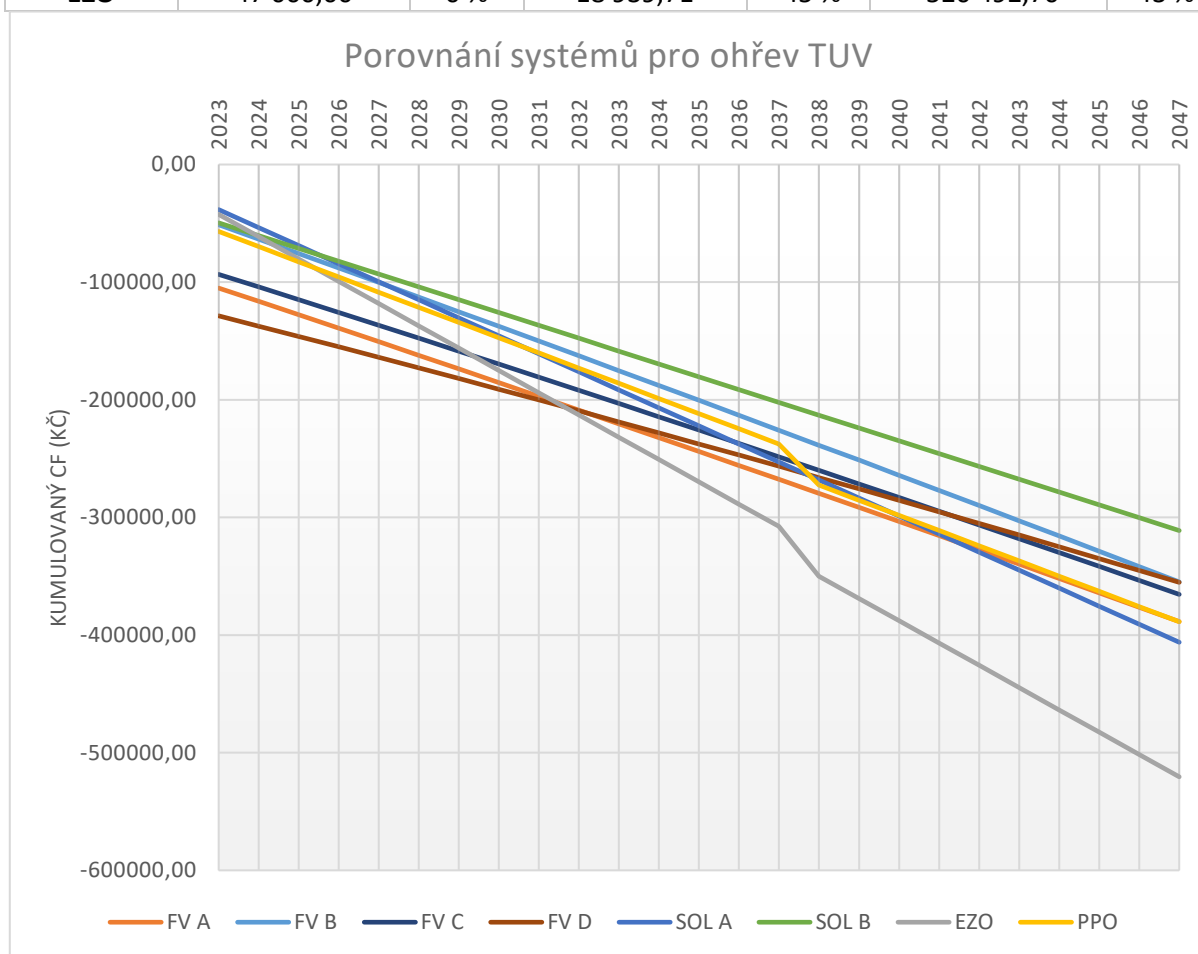
1. scénář

Před přepočtem se bude nutné vrátit k určení optimálního výkonu pro fotovoltaický systém, protože tam je cena elektřiny jedním z hlavních faktorů, a její změny mohou ovlivnit konečný návrh FV i jeho investice. Po provedení krokové metody při poklesu cen o 50 procent optimální výkon FV A, resp. FV B, resp. FV C, resp. FV D vyjde 3330 Wp, resp. 2220 Wp (nárok na dotace NZÚ), resp. 3330 Wp (nárok na dotace NZÚ), resp. 4440 Wp (nárok na dotace NZÚ).

Výsledky dále lze znázornit pomocí Tab. 28 a Obr. 51.

Tabulka 28 Číselné porovnání systémů pro ohřev TUV pro 1.scénář citlivostní analýzy⁷ [vlastní zdroj]

Název systému	Pořizovací náklady, Kč	Provozní náklady, Kč/rok	Kumulovaný CF, Kč/cyklus
SOL A	23 000,00	0 %	15 324,04 -44 %
SOL B	38 700,00	0 %	10 898,07 -41 %
FV A	93 750,00	-25 %	11 792,61 -36 %
FV B	39 000,00	-75 %	12 632,23 -16 %
FV C	82 750,00	-59 %	11 306,96 -9 %
FV D	120 000,00	-7 %	9 406,90 -36 %
PPO	66 000,00	0 %	12 905,28 -41 %
EZO	47 000,00	0 %	18 939,71 -45 %



Obrázek 51 Porovnání systémů pro ohřev TUV pro 1.scénář citlivostní analýzy [vlastní zdroj]

Z výsledku lze vidět, že pokles cen na elektřinu a plyn má velký vliv na systémy EZO a PPO. Snížení provozních nákladů o půlku je značné, díky tomu v tomto cenovém scénáři bude plynový ohřev prakticky mít převahu nad solárními systémy FV A s nejmenší akumulací kapacitou a SOL A s jednotlivým kolektorem, a obecně nebude za ostatními solárními systémy zaostávat tolik jako v předchozí situaci odpovídající současnosti. Se snížením cen na energetické nosiče tradiční zdroje nakonec mají lepší hospodárnost.

Pozice SOL byla dále posílena díky tomu, že při stejném množství nakoupené elektřiny klesly provozní náklady na polovinu. Ale pozice FV s poklesem konečných investičních a provozních nákladů kvůli

⁷ naproti číselným výsledkům jsou uvedeny relativní odchylky od zjištěných hodnot pro dobu aktuální, viz. Tab.27

levnější elektřině oproti SOL značně oslabila. Je to dáno tím, že vlivem změny ceny došlo ke snížení optimálního výkonu, což způsobilo větší nákup elektřiny, jejíž roční peněžní ekvivalent se nezměnil tak značně jako u SOLu. Z tohoto plyne, že při dalším poklesu ceny na elektřinu dojde k ještě většímu rozdílu mezi dvěma solárními technologiemi a SOL B bude mimo konkurenci jednoznačně nejlepším systémem pro ohřev TUV v domácnosti.

2. scénář

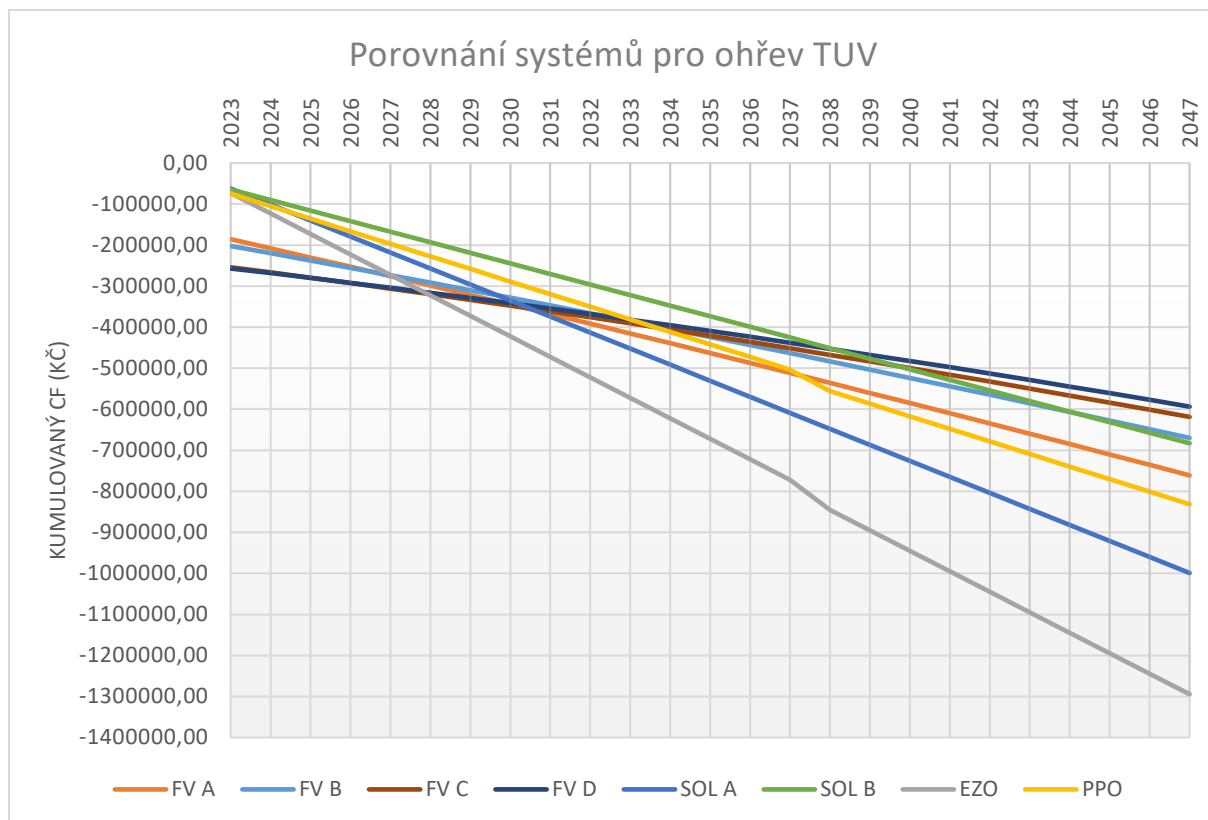
Při stoupenutí cen o 50 procent optimální výkon FV A, resp. FV B, resp. FV C, resp. FV D krokovou metodou vyjde 6660 Wp, resp. 7400 Wp, resp. 9250 Wp, resp. 8880 Wp. Následkem je zvýšení investicí a zároveň zmenšení množství kupované elektřiny.

Výsledky vyhodnocení a porovnání systémů pro ohřev TUV mezi sebou dále jsou uvedeny do Tab. 29 a znázorněny na Obr. 52.

Tabulka 29 Číselné porovnání systémů pro ohřev TUV pro 2.scénář citlivostní analýzy⁸ [vlastní zdroj]

Název systému	Pořizovací náklady, Kč		Provozní náklady, Kč/rok		Kumulovaný CF, Kč/cyklus	
SOL A	23 000,00	0 %	39 048,11	44 %	-999 202,87	42 %
SOL B	38 700,00	0 %	25 770,21	41 %	-682 955,17	37 %
FV A	163 500,00	31 %	23 910,93	30 %	-761 273,33	30 %
FV B	185 000,00	20 %	19 394,04	28 %	-669 850,93	26 %
FV C	241 750,00	19 %	15 078,32	21 %	-618 708,09	20 %
FV D	246 000,00	90 %	13 909,79	-5 %	-593 744,75	20 %
PPO	66 000,00	0 %	30 622,16	41 %	-831 554,04	36 %
EZO	47 000,00	0 %	49 895,12	45 %	-1 294 378,09	43 %

⁸ naproti číselným výsledkům jsou uvedeny relativní odchylky od zjištěných hodnot pro dobu aktuální, viz. Tab.27



Obrázek 52 Porovnání systémů pro ohřev TUV pro 2. scénář citlivostní analýzy [vlastní zdroj]

Z výsledku lze vidět, že situace u systémů EZO a PPO značně zhoršila oproti výsledkům pro dobu aktuální. U solárních systémů to dopadlo docela zajímavě. Vedoucí pozice SOLu v tomto případě je ztracena ve prospěch FV, SOL A obecně dokonce ztratila svou pozici a potenciál využití. FV D s větší akumulací kapacitou, resp. s větším využitím solárních zisků a s menším nákupem elektřiny dokázal obejít kolektorový systém. Po něm následují další dvě varianty FV B a FV C, které díky řádně menším provozním nákladům také mají převahu nad kolektorovým systémem. Z grafu je dobře vidět, jak se k průběhu SOL postupně přiblíží i FV A, ale kvůli poklesu výkonu v důsledku PID degradace panelů začal v určitém okamžiku zaostávat. Z toho předpokládám, že s dalším nárůstem ceny energií se vedoucí pozice FV systémů značně posílí v žebříčku.

Citlivostní analýza – cena pořízení solárních systémů

Úkolem této citlivostní analýzy je zjistit za jakých podmínek by došlo ke změně pozic solárních systémů mezi sebou a mezi všemi uvažovanými systémy za předpokladu, že cena energií zůstane na stejné úrovni odpovídající aktuální době. V tomto případě budou jedinou pákou pro takové změny pořizovací náklady. Lze pak zohlednit dva scénáře. **První** je, když obecně dojde ke zlevňování o 50 % všech systémů ohřevu TUV, **druhý** zahrnuje situaci, když dojde ke zdražování o 50 % všech systémů ohřevu TUV na trhu.

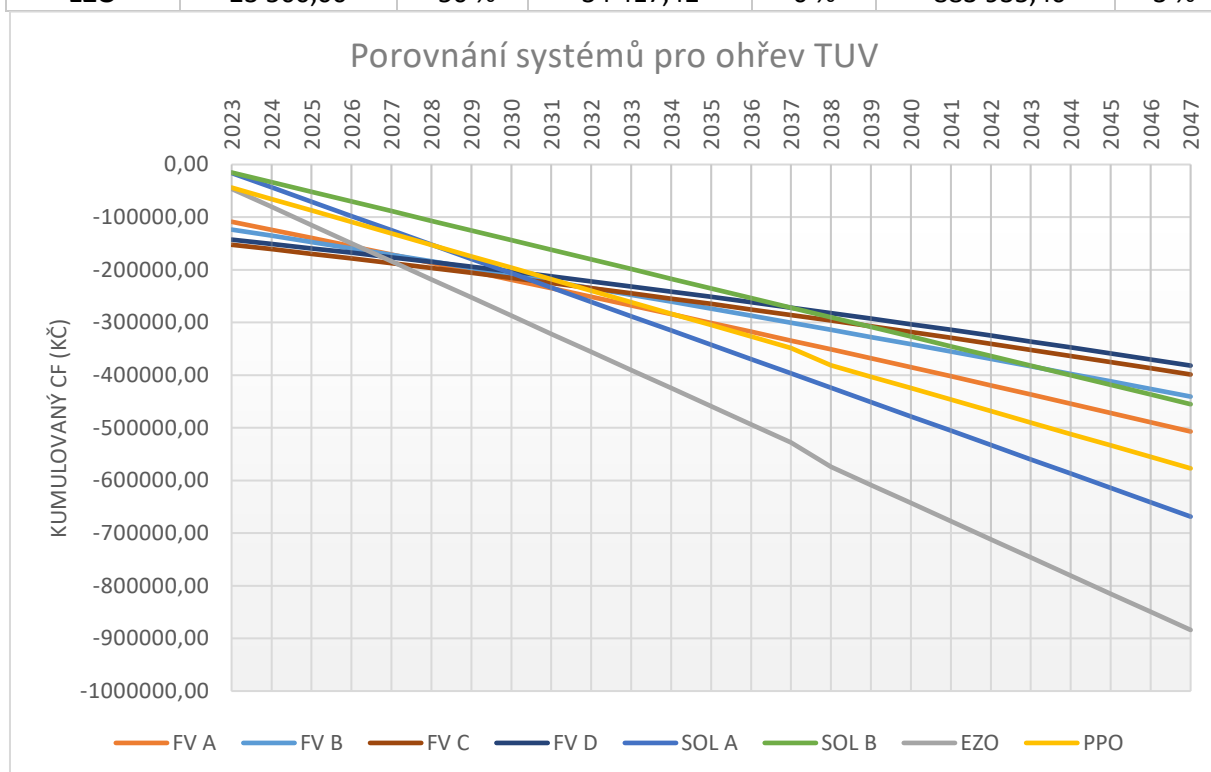
I. scénář

Změna výše investic bude především mít velký dopad na fotovoltaické systémy, tím jistě dojde ke změně optimálního výkonu u každé z variant: 7770 Wp, resp. 9250 Wp, resp. 11100 Wp, resp. 9990 Wp u Varianty A, resp. B, resp. C, resp. D. Z těchto výsledků lze okamžitě vidět, jak naléhavá je potřeba více panelů pro výrobu více energie.

Výsledky vyhodnocení a porovnání systémů pro ohřev TUV mezi sebou dále jsou uvedeny do Tab. 30 a znázorněny na Obr. 53.

Tabulka 30 Číselné porovnání systémů pro ohřev TUV pro 1.scénář citlivostní analýzy investic⁹ [vlastní zdroj]

Název systému	Pořizovací náklady, Kč		Provozní náklady, Kč/rok		Kumulovaný CF, Kč/cyklus	
SOL A	-11 000,00	-148 %	27 186,08	0 %	-668 651,91	-5 %
SOL B	-3 150,00	-108 %	18 334,14	0 %	-455 203,45	-8 %
FV A	93 375,00	-25 %	16 546,14	-10 %	-507 028,48	-13 %
FV B	111 875,00	-27 %	13 155,29	-13 %	-440 757,30	-17 %
FV C	144 125,00	-29 %	10 186,54	-18 %	-398 788,54	-22 %
FV D	134 625,00	4 %	9 890,45	-32 %	-381 886,19	-23 %
PPO	33 000,00	-50 %	21 763,72	0 %	-577 093,03	-5 %
EZO	23 500,00	-50 %	34 417,42	0 %	-883 935,40	-3 %



Obrázek 53 Porovnání systémů pro ohřev TUV pro 1.scénář citlivostní analýzy investic [vlastní zdroj]

Výsledky potvrzují silnou závislost potenciálu využití fotovoltaických panelů pro ohřev vody na ceně jejich pořízení. U kolektorových systémů jsou zpočátku malé investice v této situaci plně hrazeny dotacemi, zároveň pokles investic do FV systémů o 20-30 procent za větší optimální výkon prudce posouvá je kupředu a s větším snížením investiční cenu, jejich vedoucí postavení jen posílí.

2. scénář

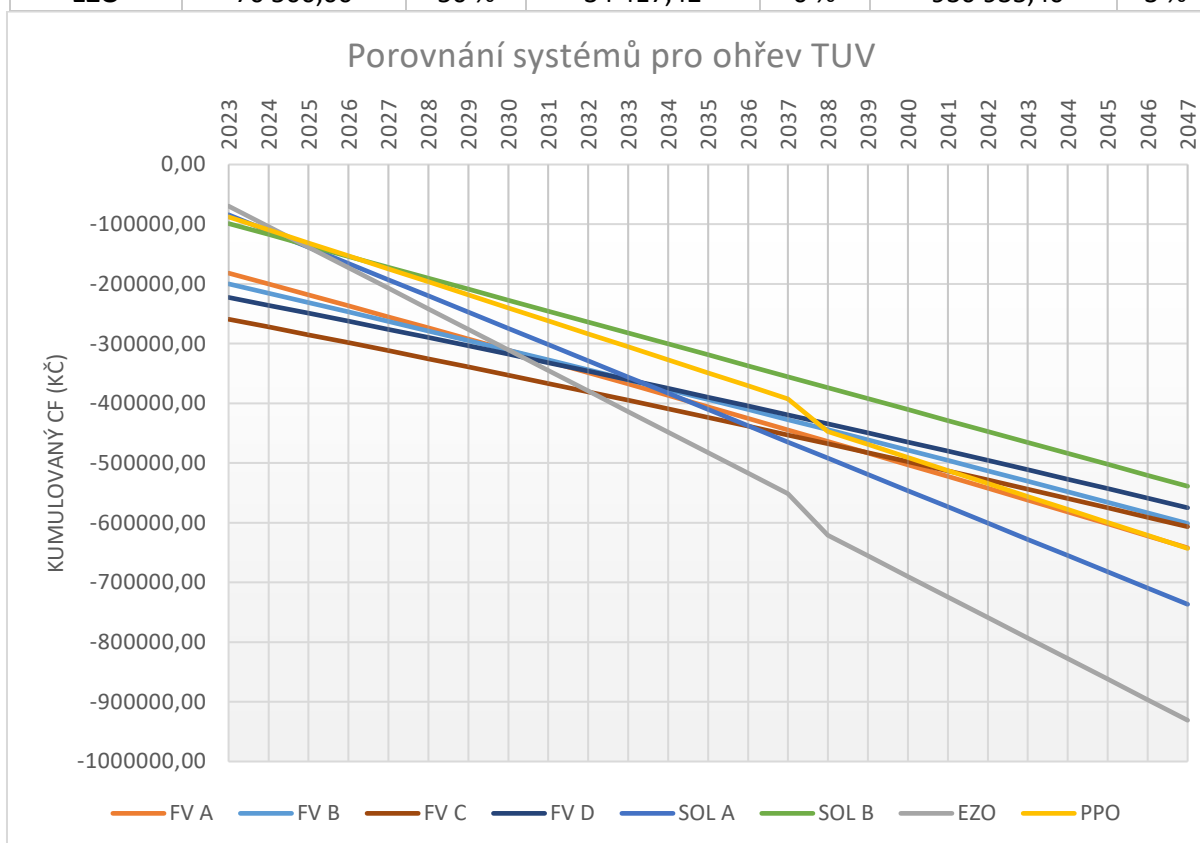
Stejně jako v prvním scénáři se změny dotknou především optimálního výkonu FV: 4070 Wp, resp. 4440 Wp, resp. 5550 Wp, resp. 4810 Wp u Varianty A, resp. B, resp. C, resp. D. A zde je jasně vidět, jak potřeba více panelů prudce klesá téměř o polovinu, větší produkce tepla ze slunečního záření se v tomto scénáři stává nesrovnatelnou s investicemi.

Výsledky vyhodnocení a porovnání systémů pro ohřev TUV mezi sebou dále jsou uvedeny do Tab. 31 a znázorněny na Obr. 54.

⁹ naproti číselným výsledkům jsou uvedeny relativní odchylky od zjištěných hodnot pro dobu aktuální, viz. Tab.27

Tabulka 31 Číselné porovnání systémů pro ohřev TUV pro 2.scénář citlivostní analýzy investic¹⁰ [vlastní zdroj]

Název systému	Požizovací náklady, Kč	Provozní náklady, Kč/rok	Kumulovaný CF, Kč/cyklus			
SOL A	57 000,00	148 %	27 186,08	0 %	-736 651,91	5 %
SOL B	80 550,00	108 %	18 334,14	0 %	-538 903,45	8 %
FV A	163 875,00	31 %	19 127,76	4 %	-642 069,11	10 %
FV B	184 500,00	20 %	16 670,17	10 %	-601 254,17	13 %
FV C	246 375,00	21 %	14 411,60	16 %	-606 664,97	18 %
FV D	209 625,00	62 %	14 614,12	0 %	-574 977,92	16 %
PPO	99 000,00	50 %	21 763,72	0 %	-643 093,03	5 %
EZO	70 500,00	50 %	34 417,42	0 %	-930 935,40	3 %



Obrázek 54 Porovnání systémů pro ohřev TUV pro 2.scénář citlivostní analýzy investic [vlastní zdroj]

Výsledky ukazují, že tempo růstu kumulovaného CF (sloupec úplně vpravo v Tab. 31) s růstem investičních cen má nejvyšší míru u fotovoltaických systémů. Je to způsobeno poklesem optimálního výkonu, což implikuje vysoké provozní náklady. S rostoucími cenami systémových komponent budou FV stále méně účinné při výběru nejlepšího řešení ohřevu vody.

Je dobré si uvědomit, že tempo růstu kumulativního CF u plynového ohříváče vody je jedenapůlkrát menší než u solárního kolektoru. Výsledky u elektrického bojleru se také příliš nemění. To naznačuje, že s dalším zvyšováním cen komponent systémů pro ohřev vody mohou tradiční zdroje energie převzít vedoucí pozice při určení nejlepšího řešení.

¹⁰ naproti číselným výsledkům jsou uvedeny relativní odchylky od zjištěných hodnot pro dobu aktuální, viz. Tab.27

IX. Závěr

Tato práce obsahuje studii 4 způsobů ohřevu teplé vody pro rodinný dům, a to plynový průtokový ohříváč, elektrický bojler, solární kolektorový a fotovoltaický systém.

Na začátku práce je uveden podrobný rozbor principů fungování jednotlivých energetických zdrojů tepla pro přípravu teplé vody. U plynového průtokového ohříváče se řeší problematika jeho návrhu, volí se vhodné zařízení pro pravidelný přívod spalovacího vzduchu a odtah spalin. V teoretické části popisu solárních systémů se projednává o jejich různých typech, nezbytných komponentech a různých možnostech jejich zapojení, jsou stanovené výhody a nevýhody každého z nich, oblasti použití systémů a podmínky pro jejich pravidelný a bezpečnostní provoz. Dále se práce zabývá metodou pro odhad energetického zisku každého ze systémů na denní bázi s ohledem na možnost jeho akumulace a řeší se v tom také problematika potřeby dodatkového zdroje. Z toho pak vyplývá výpočtový model pro energetické bilancování plynového a elektrického ohříváče, hybridního solárního kolektorového nebo fotovoltaického systému, kde hlavními otázkami jsou potřeba tepla, dimenzování systému (neboli jeho špičkový výkon) a problematika akumulace tepla. To poslední je v práci řešeno pomocí technické normy ČSN 06 0320 formou návrhu vhodného objemu zásobníku teplé vody, a to jak pro solární systémy, tak pro elektrický bojler.

V analytické části jsou nejprve stanoveny vstupní parametry pro výpočtový model bilancování energetického zisku, mezi které patří denní potřeba tepla, nebo informace o výtokových zařízeních v rodinném domě v případě plynového průtokového ohříváče, údaje o dopadajícím solárním záření během roku v lokalitě rodinného domu, ty jsou poskytnuty simulačním modelem PV-GIS vytvořeným výzkumným centrem Evropské komise. Dále se určuje metodika vyhodnocení každého energetického zdroje na základě bilancování jeho zisku a jeho ceny pořízení. Jejím výstupem je porovnávací faktor (kumulovaný tok hotovosti zkr. CF), který umožňuje vyhodnotit a porovnat efektivitu konkrétní technologie ohřevu vody z ekonomického hlediska.

Následně na základě zjištěných vstupních údajů se provádí návrhy a vyhodnocení tradičních technologií ohřevu vody – plynového průtokového ohříváče a elektrického bojleru. Po zpracování dat o dopadajícím solárním záření a podle výpočtového modelu hybridního solárního systému jsou pak předloženy různé konfigurace, které se liší instalovaným výkonem a akumulační kapacitou. Z nich se volí nejlepší varianty na základě metodiky vyhodnocení a s ohledem na dodržování podmínek bezpečnostního provozu (tohle se týče především kolektorového systému z důvodu rizika stagnačního jevu).

Z výsledků vyhodnocení technologií ohřevu vody pak vyplývá, že v současné době nejlepším řešením v oblasti ohřevu teplé vody pro rodinný dům může být jak solární kolektorový, tak fotovoltaický systém. Hlavní podmínky ale jsou dostatečně velká akumulační kapacita systému a dostatečný potenciál lokality pro využití dopadajícího slunečního záření. Při rozboru výsledků analytické části byla provedena i citlivostní analýza, která vychází ze změn cen energetických nosičů a cen samotných systémů. Výsledky ukázaly, že s ohledem na určité faktory může být každý z uvažovaných systémů tím nejlepším řešením v oblasti ohřevu vody, proto je vždy důležité určit a vycházet z okrajových podmínek.

Mluvím-li o osobních preferencích, na základě výsledků bych doporučil zvolit jako řešení ohřevu teplé vody pro rodinný domek fotovoltaický systém, a to z několika důvodů. Za prvé, výpočty ukázaly, že teoreticky je možné navrhnout ekonomicky příjemný model fotovoltaického systému. Za druhé, na rozdíl od kolektorového solárního systému má FV značně zjednodušenou samoregulaci, a díky tomu u něj nehrozí riziko stagnace v abnormálně slunečných dnech. A konečně, FV díky své jednoduchosti vyžaduje méně údržby než solární kolektorový systém.

X. Zdroje

[1] Ohřev teplé užitkové vody, plynový kotel. In: <https://www.vodari.eu/> [online]. Ekomplex marketing, 2018 [cit. 2021-12-26]. Dostupné z: <https://www.vodari.eu/wp-content/uploads/2020/01/ohrev-teple-uzitkove-vody-plynovy-kotel.jpg>

[2] Ing. BUCHTA, Jiří, CSc. Schema spotřebiče kategorie B a C. In: <https://www.tzb-info.cz/> [online]. Topinfo, 2021 [cit. 2021-12-26]. Dostupné z:

<https://vytapani.tzb-info.cz/docu/clanky/0073/007317o1.gif>

[3] Zapojení a údržba bojleru. In: <https://www.mylms.cz/> [online]. mylms.cz, 2006 - 2021, 7. 7. 2018 [cit. 2021-12-26]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/wp-content/uploads/2018/07/bojler-6.png>

[4] ČSN 06 0320 (060320). Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody - Navrhování a projektování. 09/2006. Český normalizační institut, 2006.

[5] Ing. VAVŘIČKA, Roman. Příklad křivek dodávky a odběru tepla při ohřevu TV různými časovými úseky zdrojů tepla. In: <https://www.tzb-info.cz/> [online]. Praha: Topinfo, 2021, 24. 9. 2018 [cit. 2021-12-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/docu/clanky/0179/017959o2.jpg>

[6] SLUNEČNÍ ENERGIE. ENCYKLOPEDIJE JADERNÁ ENERGIE A ENERGETIKA [online]. Simopt, 2015, 1999 [cit. 2021-10-03]. Dostupné z:

https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/slunec_en.html

[7] RNDr. KUSALA, Jaroslav. O ZÁŘENÍ. Solární energie [online]. ČEZ, 2006, 2006 [cit. 2021-10-03]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/kap1.htm>

[8] prof. Ing. HRDLIČKA, Jan, Ph.D. a Ing. HAVLÍK, Jan, Ph.D. Obnovitelné zdroje energie, přednášky a cvičení. In: Ústav energetiky Fakulty strojní ČVUT [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2021, 2020 [cit. 2021-10-03]. Dostupné z:

<https://energetika.cvut.cz/pro-studenty/podklady-ke-stazeni-2/>

[9] RNDr. KUSALA, Jaroslav. SOLÁRNÍ KOLEKTORY. Solární energie [online]. ČEZ, 2006, 2006 [cit. 2021-10-03]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/kap2.htm>

[10] KOŠEK, Marek. Posouzení vlivu spektrálně selektivních povrchů absorberů na účinnost solárních termálních kolektorů. Liberec, 2010. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Unger, CSc.

[11] doc. Ing. Ph.D. MATUŠKA, Tomáš. Selektivita povrchu absorberu. In: Solární kolektory, výuková prezentace [online]. [cit. 2021-10-03]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2020/02/AZE2_P2_solarni_kolektory_konstrukce_1cast.pdf

[12] doc. Ing. MATUŠKA, Tomáš, Ph.D. Solární kolektory - konstrukce. In: Solární kolektory, výuková prezentace [online]. [cit. 2021-10-03]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2020/02/AZE2_P2_solarni_kolektory_konstrukce_1cast.pdf

[13] MIKŠÍK, František. Nemrznoucí teplotně odolné kapaliny pro solární systémy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2010. 66 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Kotlík, CSc.

[14] RÁŽ, Jiří, DiS. Fyzikální vlastnosti nemrznoucích směsí a navrhování soustav. In: <https://www.tzb-info.cz/> [online]. Topinfo, 2021, 1. 11. 2010 [cit. 2021-10-10]. Dostupné z:

<https://vytapani.tzb-info.cz/6899-fyzikalni-vlastnosti-nemrznoucich-smesi-a-navrhovani-soustav>

- [15] doc. Ing. MATUŠKA, Tomáš, Ph.D. Typy solárních kolektorů. TŽB-info [online]. 2021, 1 [cit. 2023-10-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>
- [16] doc. Ing. MATUŠKA, Tomáš, Ph.D. Solární kolektory – aplikace. In: <https://www.solarnispolecnost.cz/> [online]. ČSSE [cit. 2021-10-05]. Dostupné z: <https://adoc.pub/jak-vybrat-solarni-kolektor.html>
- [17] doc. Ing. MATUŠKA, Tomáš, Ph.D. Komplexní vzdělávací program pro podporu environmentálně šetrných technologií ve výstavbě a provozování budov. In: <https://biom.cz/> [online]. CZ Biom, 2018 [Cit. 2021-10-21]. Dostupné z: <https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/03-solarni-tepelne-soustavy.pdf>
- [18] doc. Ing. MATUŠKA, Tomáš, Ph.D. Solární kolektory. Typické koeficienty křivky účinnosti [online]. [Cit. 24.10.2021]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P2-solarni_kolektory.pdf
- [19] RNDr. KUSALA, Jaroslav. FOTOVOLTAIKA. Solární energie [online]. ČEZ, 2006, 2006 [cit. 2021-10-15]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/kap3.htm>
- [20] TENKOVSTVÉ PANELY. <http://eshop.terms.eu/> [online]. TERMS, 2013, 2013 [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/c68831/tenkovrstve-panely.html>
- [21] Ing. CHMEL, Ladislav a Ing. HAMERNÍK, Ivo. Fotovoltaika, fototermika [online]. 2015. Brno: Code Creator, 2016 [cit. 2021-10-23]. ISBN 978-80-88058-02-1. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/Cover.html>
- [22] S. Kurtz, "Opportunities and Challenges for Development of a Mature Concentrating Photovoltaic Power Industry," U.S. National Renewable Energy laboratory, Technical Report. NREL/TP-520-43208, November 2009.
- [23] Ing. VOJÁČEK, Antonín. Jak na solární panely – stručný úvod do výroby solární energie. Elektroinstalatér [online]. ČNTL spol. s.r.o, 2020, 1. listopad 2009, (4) [cit. 2021-10-24]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/jak-na-solarni-panely-strucny-uvod-do-vyroby-solarni-energie>
- [24] Ing. BECHNÍK, Bronislav, Ph.D. Výkonové charakteristiky článků a panelů. In: <https://oze.tzb-info.cz/> [online]. Topinfo, 2021, 29. 9. 2014 [cit. 2021-10-24]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/docu/clanky/0117/011772o3.png>
- [25] doc. Ing. MATUŠKA, Tomáš, Ph.D. a Ing. ŠOUREK, Bořivoj, Ph.D. Porovnání solárního fototermického a fotovoltaického ohřevu vody. Závislost elektrického výkonu na teplotě. Výuková prezentace [online]. [Cit. 2021-10-24]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/Matuska_solarFV-FT_TV_analyza_v3.pdf
- [26] doc. Ing. MATUŠKA, Tomáš, Ph.D. a Ing. ŠOUREK, Bořivoj, Ph.D. Porovnání solárního fototermického a fotovoltaického ohřevu vody. Jednodušší zapojení FV systému na ohřev TUV. Výuková prezentace [online]. [Cit. 2021-10-24]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/Matuska_solarFV-FT_TV_analyza_v3.pdf
- [27] Ing. BECHNÍK, Bronislav, Ph.D. Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaike. In: <https://oze.tzb-info.cz/> [online]. Topinfo, 2021, 29. 9. 2014 [cit. 2021-10-24]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaike>

- [28] Ing. VOJÁČEK, Antonín. Typická sestava pro lokální výrobu solární elektřiny. In: <https://www.tzb-info.cz/> [online]. Topinfo, 2021, 23. 11. 2009 [cit. 2021-10-24]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/docu/clanky/0060/006068o2.jpg>
- [29] ČSN EN 12831-3 (060206). Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu: Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb. 12/2018. Bruesl: Evropský výbor pro normalizaci, 2018.
- [30] TNI 73 0302 (730302). Energetické hodnocení solárních tepelných soustav: Zjednodušený výpočtový postup. 07/2014. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [31] Ceník elektřiny pro domácnosti: Smlouva na dobu neurčitou (s vládním stropem) [online]. 2022. ČEZ Prodej, 2022, 3 s. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2023/moo/moo_ee_na_dobu_neurcitou_egd_01_01_23.pdf
- [32] Ceník plynu: Smlouva na dobu neurčitou (s vládním stropem) [online]. 2022. ČEZ Prodej, 2022, 3 s. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/plyn-2023/plyn_na_dobu_neurcitou_egd_01_01_23.pdf
- [33] 4.3.2.1 Výše podpory pro podoblasti C.2. In: Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory programu Nová zelená úsporám v rámci Národního plánu obnovy: RODINNÉ DOMY [online]. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2022, s. 2 [cit. 2022-07-18]. Dostupné z: https://novazelenausporam.cz/files/documents/storage/2022/06/07/1654591457_NZ%C3%9A%20RD%20Z%C3%A1vazn%C3%A9%20pokyny_01-06-2022.pdf
- [34] European Commission. PV-GIS data. Mapa [online]. [Cit. 2022-01-03]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [35] Návod k obsluze i montáži: Plynový průtokový ohřivač vody VEGA [online]. 01.03.2016. Uničov: BRANO [cit. 2022-11-01]. Dostupné z: https://www.gas.cz/download/27928/vega_navod_161004.pdf
- [36] European Commission. PV-GIS data. Měsíční globální sluneční záření na nakloněnou plochu za 2015-2016 (Lat/Lon: 48,939; 14,545) [online data]. [Cit. 2022-01-03]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [37] European Commission. PV-GIS data. Denní dávka slunečního ozáření nakloněné plochy (Lat/Lon: 48,939; 14,545) [online data]. [Cit. 2022-01-03]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [38] Návod k instalaci a obsluze: Ohřivače vody zásobníkové pro kombinovaný ohřev vody pomocí AC a DC proudu pro svislou montáž [online]. LOGITEX spol. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.solareconomic.cz/fotky7975/fotov/7975_436_7975_435_7975_434_ps_433Navod_LX_ACDC_MKW_ABC_CZ_16_8_2013.pdf
- [39] Návod k instalaci a obsluze: Ekvitermní regulátor teploty se solární regulací [online]. 2008/03. Praha: Bosch Termotechnika [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.junkersplus.cz/fotky13986/Navody/FW_500.pdf
- [40] NESELEKTIVNÍ PLOCHÉ KAPALINOVÉ KOLEKTORY MEGASUN N 2000, MEGASUN N 2500. <https://www.solarnienergie.cz/> [online]. Ostrava: Solární Energie [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.solarnienergie.cz/slunecni-kolektory-ploche-kapalinove-neselektivni/>

- [41] Solární kolektor KSG 21 Premium GT. <https://www.ohrej.se/> [online]. Neratovice: OHŘEJ SE [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.ohrej.se/solarni-kolektor-ksg-21-premium-gt-ean08-102102-skup8500000101.php>
- [42] Vitosol 300-TM. <https://www.viessmann.cz/> [online]. Chrástany: Viessmann, spol. s r.o. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/solarni-systemy/trubicove-kolektory/vitosol-300tm.html>
- [43] Sluneční kolektor KTU 10 (SVT 538). <https://www.regulus.cz/> [online]. Praha: R E G U L U S spol. s r.o. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/slunecni-kolektor-ktu-10-svt-538>
- [44] Monokrystalický nebo polykrystalický solární panel? Jaký vybrat?. <https://www.abctech.cz/> [online]. Česká Skalice: ABCtech [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.abctech.cz/default.asp?show=wm&wmpart=article&wmaid=99>
- [45] AmeriSolar AS-6M120-HC. <http://www.weamerisolar.eu/> [online]. Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., 2021 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.weamerisolar.eu/wp-content/uploads/2021/03/AS-6M120-HC-Black-Module.pdf>
- [46] Polykrystalický solární panel ELERIX Solar Panel 290Wp 60 Cells (ESP290). <https://www.bch-battery.cz/> [online]. Dřevohostice: Battery Charger CZ [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.bch-battery.cz/Polykrystalicky-solarni-panel-ELERIX-Solar-Panel-290Wp-60-Cells-ESP290-d3678.htm>
- [47] Solární amorfní panel Solar Frontier 175Wp. <https://ecoproduct.cz> [online]. Kanianka: ECO PRODUKT [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://ecoproduct.cz/p/67375-solarni-amorfni-panel-solar-frontier-175wp-8735>
- [48] <https://www.eshopelektronika.cz/> [online]. Praha: Optimus A-Trade [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://www.eshopelektronika.cz/>
- [49] Fotovoltaický ohřívač vody LX ACDC/M+K ABC 160. <https://www.solareconomic.cz/> [online]. Valašské Meziříčí: SOLAR ECONOMIC [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://www.solareconomic.cz/Fotovoltaicky-ohrivac-vody-LX-ACDC-M-K-ABC-160-d435.htm>
- [50] Fotovoltaický ohřívač LX ACDC/M+K ABC 200. <https://www.solar-eshop.cz/> [online]. Praha: SVP Solar [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/fotovoltaicky-ohrivac-lx-acdc-m-k-abc-200/>

XI. Seznam příloh

Příloha č. 1: Ceník elektřiny pro domácnosti od ČEZ Prodej, a.s., distr. území EG.D, a.s., platnosti od 01/01/2023;

Příloha č. 2: Ceník plynu pro domácnosti od ČEZ Prodej, a.s., distr. území EG.D, a.s., platnosti od 01/01/2023;

Příloha č. 3: Technické parametry plynového průtokového ohřívače vody MORATOP VEGA16;

Příloha č. 4: Technické parametry elektrického bojleru Dražice OKCE 300 S;

Příloha č. 5: Technické parametry solárního ohřívače Dražice OKC NTRR SOL;

Příloha č. 6: Technické parametry fotovoltaického ohřívače LOGITEX ACDC/M+K XXX A, B, C;

Příloha č. 7: Technické údaje plochého selektivního kolektoru KSG 21 PREMIUM GT

Příloha č. 8: Technické údaje monokrystalického fotovoltaického panelu AmeriSolar AS-6M120-HC