



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**ON-LINE KALKULAČKY PRO NÁVRH ZAŘÍZENÍ NA
VÝROBU ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ**

ON-LINE CALCULATORS FOR THE DESIGN OF RENEWABLE ENERGY INSTALLATIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Ondráček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub Linda

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. David Ondráček**
Studijní program: Energetické a termofluidní inženýrství
Studijní obor: Energetické inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jakub Linda**
Akademický rok: 2022/23

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

On-line kalkulačky pro návrh zařízení na výrobu energie z obnovitelných zdrojů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době lze na internetu nalézt řadu online kalkulaček nebo jednoduchého softwaru pro zjednodušený návrh různých zařízení na výrobu energie z obnovitelných zdrojů (OZE). V závislosti na zaměření lze nalézt kalkulačky s technickým nebo ekonomickým kontextem. Práce se zaměří na dohledání dostupných online kalkulaček a jednoduchého softwaru, kriticky zhodnotí jejich úroveň a zároveň se zaměří na použitou metodiku výpočtu. Výsledkem bude přehled kalkulaček. Součástí práce bude také vlastní výpočetní model, který se zaměří na vybraný obnovitelný zdroj energie. Výsledný model se bude chovat podobně jako dostupné online kalkulačky. Tento model bude vytvořen v prostředí MATLAB.

Cíle diplomové práce:

1. Průzkum současných online kalkulaček a dostupného softwaru pro návrh OZE.
2. Kritické zhodnocení nalezených kalkulaček a softwaru spolu s použitou metodikou.
3. Návrh vlastní zjednodušené kalkulačky pro návrh systémů OZE.

Seznam doporučené literatury:

KADRNOŽKA, Jaroslav. Energie a globální oteplování – Země v proměnách při opatřování energie, 2006. 1. vydání. Brno: VUTUM, ISBN 80-214-2919-4.

ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie, Transformační technologie, 2006-09, [last updated 2020-10-22]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/02.html>.

ŠKORPÍK, Jiří. Využití energie větru, Transformační technologie, 2006-10, [last updated 2020-10-23]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/04.html>.

ŠKORPÍK, Jiří. Využití energie vodního spádu, Transformační technologie, 2006-10, [last updated 2020-10-27]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/05.html>.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato práce se věnuje oblasti obnovitelných zdrojů energie (OZE). Práce je zaměřena na problematiku výpočtových nástrojů, které se zabývají návrhem systému využívající OZE. Nástroje jsou představeny, je popsána jejich metodika výpočtu a následně jsou zhodnoceny. Součástí práce je též návrh vlastního výpočtového nástroje. Nástroj kalkuluje energetickou bilanci obydlí při využití solární energie a tepelného čerpadla.

Klíčová slova

Výpočetní nástroj, energetické zisky, obnovitelné zdroje, solární energie, tepelné čerpadlo

ABSTRACT

This thesis focuses on the field of renewable energy sources (RES). It focuses on the topic of computational tools that manage the design process of a system using RES. These tools are introduced, their calculation methodology is described and then they are evaluated. As a part of this thesis there is also introduced a design of a unique calculation tool. This tool calculates the energy balance of a dwelling using solar energy and a heat pump.

Key words

Calculation tool, energy gains, renewable resources, solar energy, heat pump

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ONDRÁČEK, David. On-line kalkulačky pro návrh zařízení na výrobu energie z obnovitelných zdrojů [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149237>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jakub Linda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *On-line kalkulačky pro návrh zařízení na výrobu energie z obnovitelných zdrojů* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Jakubovi Lindovi, vedoucímu mé diplomové práce, za velmi cenné rady a připomínky, které mi nejen pomáhaly při vypracovávání této práce, ale i vzbudily můj větší zájem o tuto problematiku. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přátelům, kteří mi byli během studia vždy oporou.

OBSAH

ÚVOD	11
1 Obnovitelné zdroje energie	13
1.1 Výhody OZE	13
1.2 Nevýhody OZE	14
2 Získávání energie ze slunce	15
2.1 PVGIS – Photovoltaic geographical information system	15
2.2 Výpočtové nástroje NZÚ	22
2.3 Výpočtový nástroj pro optimalizaci návrhu FV systémů – rodinný dům.....	22
2.4 Výpočtový nástroj pro optimalizaci návrhu FV – bytový dům.....	25
2.5 Výpočtový nástroj pro solární fotovoltaický ohřev vody.....	27
2.6 Výpočtový nástroj pro solární termický ohřev vody.....	28
2.7 Výpočtový nástroj K2-systems	30
2.8 Celkové zhodnocení nástrojů na výpočet solární energie	32
3 Získávání energie z větru	33
3.1 Výpočtový nástroj větrných podmínek akademie věd ČR	33
3.2 Interaktivní mapa větrných podmínek ČR	33
3.3 Interaktivní mapa extrémních nárazů větru v ČR	35
4 Získávání energie tepelným čerpadlem.....	37
4.1 Výpočtový nástroj bilance TČ – T. Matuška	37
5 Vlastní návrh výpočetního nástroje.....	39
5.1 Použité prostředí.....	39
5.2 Návrh solární části.....	39
5.2.1 Intenzita slunečního záření.....	39
5.2.2 Přímé záření.....	39
5.2.3 Difúzní sluneční záření.....	40
5.3 Dopadající energie	41
5.3.1 Teoreticky možné množství energie.....	41
5.3.2 Skutečné množství energie.....	43
5.4 Účinnost přeměny energie	44
5.4.1 Účinnost fotovoltaických panelů – výpočet dle TNI 73 0302	44
5.4.2 Produkce elektrické energie	48
5.4.3 Účinnost fototerických kolektorů – výpočet dle ČSN EN 12975	48
5.4.4 Výtěžnost tepelné energie.....	49

5.5	Návrh tepelného čerpadla.....	50
5.5.1	Energie tepelného čerpadla – výpočet dle TIN 73 0351	50
5.6	Energetická bilance	52
5.7	Instrukce k použití programu	53
5.7.1	Fotovoltaické panely	53
5.7.2	Fototermické kolektory.....	55
5.7.3	Tepelné čerpadlo	56
5.7.4	Energetická bilance	58
5.8	Zhodnocení nástroje.....	59
6	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	62

ÚVOD

Dostatek elektrické a tepelné energie patřičné kvality patří mezi základní pilíře dnešní civilizované společnosti. Potřeba po elektrické i tepelné energii neustále roste zároveň s naší společností. Abychom dokázali uspokojit naše energetické požadavky, je třeba se aktivně zabývat tématem energetické výroby. Produkce elektrické i tepelné energie je stále velkým dílem závislá na čerpání neobnovitelných zdrojů, jejichž zásoby se postupně snižují. Výroba elektrické energie založená na principu spalování fosilních paliv zároveň bohužel obnáší vypouštění nežádoucích emisí do ovzduší.

Využívání obnovitelných zdrojů je však stále častější. Roste snaha o začlenění obnovitelných zdrojů mezi primární zdroje pro výrobu elektrické a tepelné energie. Rozvíjí se zároveň technologie využívání obnovitelných zdrojů. Dalo by se říct, že jsme o krok blíže k energetické soběstačnosti, i když jsme relativně stále na začátku. Pokud chceme realizovat vizi budoucnosti nezávislé na fosilních palivech, je zcela nepochybně zapotřebí tuto problematiku dále rozvíjet a zkoumat.

Nevýhodou použití technologie pro získávání energie z obnovitelných zdrojů se může jevit její finanční náročnost a dlouhá doba návratnosti. Je však zapotřebí si uvědomit, že investice do používání obnovitelných zdrojů je zároveň investice do nevyužívání fosilních paliv. Zakoupením zařízení pro získávání energie z OZE se totiž podílíme na spolufinancování dalšího výzkumu a vývoje. Také je třeba mít na paměti, že čerpat neobnovitelné zdroje nemůžeme věčně, a tudíž je třeba hledat komplexní řešení.

Můžeme se domnívat, že průměrného koncového odběratele elektrické a případně i tepelné energie však nezajímají primárně ekologické aspekty využití obnovitelných zdrojů. Běžný zákazník většinou řeší především finanční výhodnost, případně jeho osobní energetickou soběstačnost. Při komplexním návrhu projektu na využívání OZE je tedy zapotřebí se zabývat i finanční stránkou projektu, jelikož přímo ovlivňuje projekt samotný, ať už se jedná o jeho rozsah, či například řešení akumulace energie. Technologie využívání OZE jsou finančně poměrně nákladné a někomu se tudíž investice dle propočtů nemůže nikdy vrátit. V případě využití například dotačního programu se však může doba návratnosti investice razantně snížit. V takovém případě může být dotační program klíčovým prvkem při rozhodování ohledně pořízení technologie na produkci energie z OZE, proto by také neměl být opomíjen ve výpočtech.

Kupříkladu solární elektrárna je soubor několika zařízení, kde samotné fotovoltaické panely (FV panely) jsou sice klíčovým komponentem, ale bez ostatního příslušenství by nemohly produkovat námi běžně využitelnou formu elektrické energie. Z finančního hlediska jsou dokonce jednou z těch levnějších položek FV systému. Pro větší porozumění finanční stránce návrhu solární elektrárny je tedy nezbytné blíže prozkoumat jednotlivé prvky FV systému včetně jejich cenové relace. Velký cenový rozdíl může učinit i připravenost prostoru pro instalaci elektrárny, ať už se jedná o podpůrnou konstrukci panelů, nebo kabelové trasy.

Vyhodnocení finanční stránky projektu je tudíž značně komplikované a bez znalosti dalších faktorů ovlivňujících finanční náročnost projektu nelze provést s určitou přesností. Tato práce se tedy bude především zabývat energetickou výtěžností jednotlivých OZE.

Předmětem práce budou nástroje kalkulující energetickou výtěžnost využívající OZE. Práce bude obsahovat seznam volně dostupných výpočtových nástrojů na internetu, kdy každý nástroj bude detailněji představen a v rámci dostupných informací bude popsána jeho výpočetní metodika. Následně bude nástroj s nadhledem zhodnocen. Dále bude k práci připojen návrh vlastního výpočtového programu. Práce bude obsahovat i popis návrhu a fungování daného programu.

Před začátkem samotného představení nástrojů bude blíže rozvedeno, proč je dobré využívat obnovitelné zdroje a proč bychom se měli tímto tématem aktivně zabývat. Taktéž bude ve stručnosti uvedeno, jakým způsobem danou technologií energii získáváme.

1 Obnovitelné zdroje energie

Za obnovitelné zdroje energie (OZE) jsou považovány takové zdroje, které jsou z lidského pohledu nevyčerpatelné, nebo je jejich obnova rychlejší než spotřeba. Mezi obnovitelné zdroje energie řadíme energii ze slunce, větru, vody, bioplynu a zemského jádra.



Obrázek 1.1 Ilustrace obnovitelných zdrojů [1]

1.1 Výhody OZE

Jednou z největších výhod OZE je jejich snadná dostupnost. Například energie slunce a větru jsou všudypřítomné a je tudíž možné při jejich využití přímo na místě vyrábět elektrickou energii. Zatímco při těžbě fosilních paliv je nutné zřizovat vrty či doly a následně palivo těžit a transportovat do místa využití. Při použití OZE tak odpadá těžká lidská práce při získávání zdrojů a jejich přepravě. Lidská práce u technologie OZE je stále potřeba při návrhu, sestavení a následném servisu, avšak to bývají jednorázové úkony. Samotná produkce energie již probíhá zcela autonomně. [2]

Druhý hlavní důvod pro využívání OZE namísto spalování fosilních paliv jsou výrazně nižší negativní dopady na životní prostředí. Spalováním fosilních paliv dochází k uvolňování velkého množství skleníkových plynů do atmosféry. Přibližně dvě třetiny světových emisí skleníkových plynů souvisí se spalováním fosilních paliv právě za účelem získávání energie využívané k výrobě elektřiny a vytápění. [3]

Zatímco náklady na těžbu fosilních paliv neustále rostou, investiční náklady na výstavbu solárních a větrných elektráren se snižují. Do budoucna je možné počítat s tím, že energie z OZE bude levnější než energie vyrobená na bázi spalování fosilních paliv. Tento předpoklad je podpořen i cenou emisních povolenek a zelenou politikou EU. [3]

1.2 Nevýhody OZE

Výtěžnost obnovitelných zdrojů je většinou velmi závislá na počasí, zvláště solární a větrná energie. Hlavní nevýhoda OZE pramení z faktu, že počasí nemůžeme ve větší míře ovlivnit a zároveň ani s velkou přesností předpokládat [2]. Globální změny klimatu mají za následek ještě větší nevyzpytatelnost počasí. Získávání energie z OZE je tudíž značně dynamické a není možné provést přesný předpoklad.

Další nevýhody jsou též spojeny s dynamickou povahou procesu získávání energie z OZE. Ve chvílích špičkového výkonu jsou kladeny vysoké nároky na elektrizační síť, která na to není navržena. Naopak ve chvílích nízkého výkonu by hrozil postupně až blackout. Další problém nastává při uchovávání energie. Není možné uchovávat nekonečné množství energie. Při uchovávání energie a následném využívání námi známými způsoby vznikají navíc značné ztráty. V současnosti je nejběžnější způsob uchovávání energie pomocí akumulátorů, které jsou velice nákladné a mají omezenou životnost, nebo ve formě ohřáté vody, která se postupně stále ochlazuje.

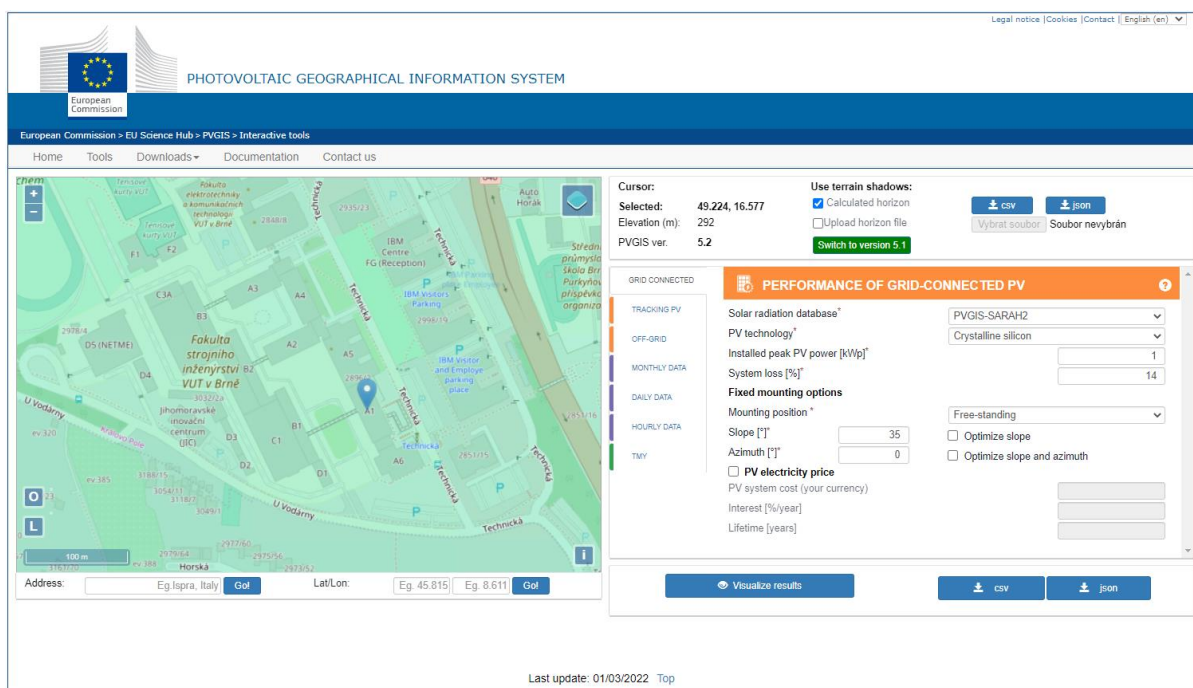
2 Získávání energie ze slunce

Základní rozdělení využití sluneční energie spočívá v tom, jaký typ energie chceme získat. Technologicky jednoduší je systém se fototermickými kolektory (FT kolektory), pomocí kterých získáváme energii tepelnou. Fototermické kolektory pracují na principu ohřívání průtočné teplonosné kapaliny, která svoji tepelnou energii ukládá do zásobníku.

Fotovoltaické panely (FV panely) využívají fotoelektrického jevu a sluneční energii dokážou přeměnit na energii elektrickou. Stejnoseměrná, často kolísající, forma elektrické energie je následně přeměněna ve střídači na formu střídavou s napětím shodným v domovním rozvodu. [4]

2.1 PVGIS – Photovoltaic geographical information system

PVGIS je webová stránka poskytující informace o slunečním záření a výkonu fotovoltaických systémů [5]. PVGIS obsahuje nástroj, pomocí něhož lze vypočítat, kolik energie lze získat za použití různých druhů fotovoltaických systémů. Výpočet lze provádět téměř pro jakékoliv místo na Zemi. Nástroj umožňuje vybrat mezi několika typy výpočtů, jako je například grid-off a grid-on instalace panelů. Dále nám umožňuje provádět výpočty pro natáčeající se panely. Ostatní záložky nástroje se věnují statistickým výpočtům slunečního záření.



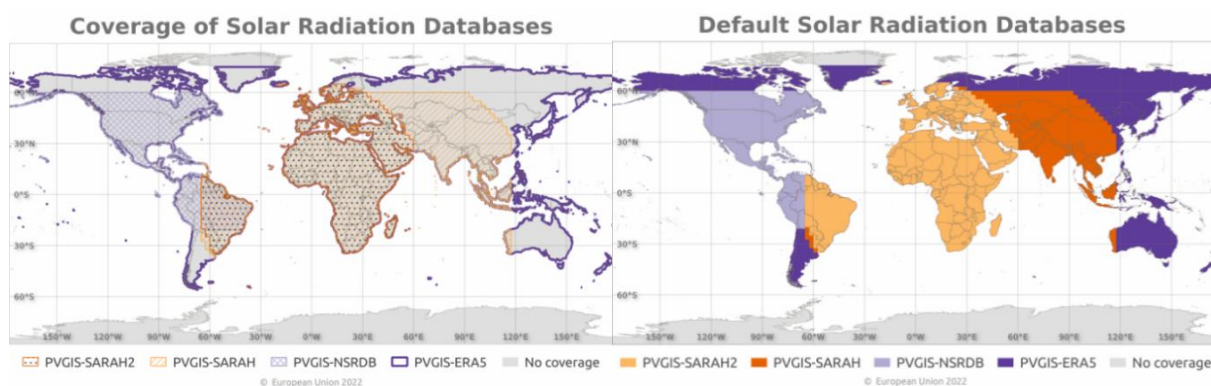
Obrázek 2.1 Úvodní prostředí PVGIS [5]

Metodika nástroje

Databáze slunečního záření

Pro výpočet množství získané energie požaduje nástroj PVGIS zadání vstupních parametrů. Nejdříve je třeba zvolit na mapě lokalitu, pro kterou bude výpočet prováděn. Následně je nutné vybrat databázi, jenž obsahuje údaje o slunečním záření, z které budou čerpána data k výpočtu. K dispozici jsou celkem čtyři databáze: PVGIS-SARAH2, PVGIS-NSRDB, PVGIS-SARAH

a PVGIS-ERA5. První tři zmíněné jsou tvořeny daty pořízenými družicemi. Poslední zmíněná databáze je vytvořena na základě výpočtů z ostatních databází pro místa bez pokrytí přímými daty, převážně pro severní místa na Zemi. Databáze byla vytvořena ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) [6]. Pokrytí jednotlivých databází je zobrazeno na obrázku 2.2. Na obrázku je též zobrazeno, kterou databází je nejvhodnější použít pro jaké místo, a zároveň výchozí nastavení databází v PVGIS.

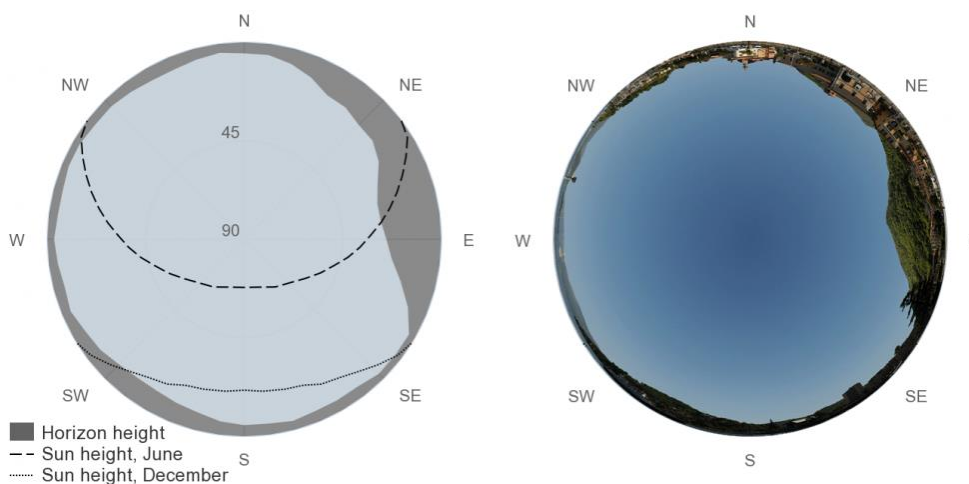


Obrázek 2.2 Pokrytí družicemi [5]

Informace o horizontu

Výpočet je možné upřesnit doplněním informací o horizontu. Informace je možné vložit nahráním jednoduchého textového souboru. Soubor musí obsahovat několik řádků čísel, kdy každé jednotlivé číslo představuje výšku horizontu ve stupních v určitém směru kompasu. Počáteční číslo reprezentuje severní směr, následující čísla jsou pak rovnoměrně rozložena postupně pro východ, jih, západ až zpět pro sever. Větší počet hodnot zaručuje přesnější výsledek. Při nevyužití této možnosti pracuje nástroj PVGIS s predikovanými hodnotami vypočítanými na základě topografie dané oblasti.

Grafické zobrazení horizontu je součástí výstupu každé z možností výpočtu nástroje PVGIS. Vizualizaci horizontu lze dobře provést fotografií pořízenou přes objektiv „rybí oko“.



Obrázek 2.3 Vizualizace horizontu [5]

Volba fotovoltaických panelů

Výkon jednotlivých typů fotovoltaických modulů je závislý na teplotě a slunečním záření [7]. Upřesnění závislosti docílíme výběrem technologie použitých panelů. Nástroj PVGIS dokáže predikovat závislost pro krystalické křemíkové články, tenkovrstvé moduly vyrobené z CIS nebo CIGS (diselenid mědi a india) a tenkovrstvé moduly CdTe (telurid kadmia). Další hodnotou vycházející z volby použitých panelů, kterou je nutno doplnit, je instalovaný špičkový výkon. Hodnota tohoto výkonu je uvedena v datasheetu modulu. Případně lze při znalosti plochy a účinnosti hodnotu dopočítat. V nástroji se dále volí ztráta systému. Standardně má PVGIS přednastavenou hodnotu 14 procent.

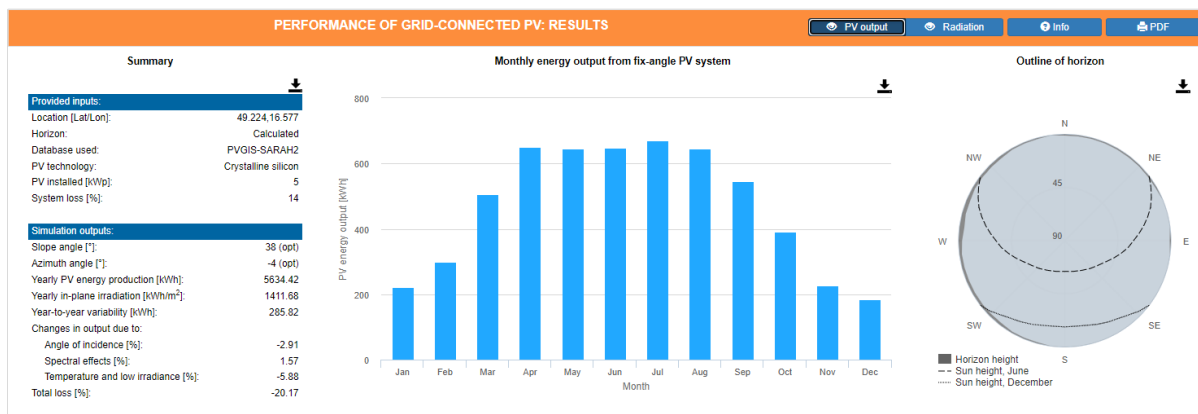
Poloha fotovoltaických panelů

Nástroj PVGIS umožňuje vybrat mezi dvěma způsoby montáže panelů. První způsob představuje volně stojící panely, kdy je možné proudění vzduchu za panely. Druhý způsob montáže zastupuje panely přimontované na zdi a střeše, kde není kvůli těsné montáži proudění vzduchu za panely možné. Proudění vzduchu za panely pomáhá ke chlazení a tím zároveň ke zvýšení účinnosti [7].

Následně se v nástroji zvolí orientace modulů vůči světovým stranám (azimut) a jejich sklon vůči horizontální rovině. Na výběr je i možnost optimalizace sklonu a azimutu. V takovém případě jsou stanoveny nejlepší možné hodnoty pro danou lokalitu.

Výstup

Výsledkem výpočtu grid-on instalace je tabulka, která shrnuje námi zadané vstupní hodnoty a popisuje základní informace o produkci energie námi zvolenou sestavou FV panelů. Součástí výstupu jsou též grafy popisující měsíční produkci energie a množství dopadnutého záření v jednotlivých měsících. Dále je součástí výstupu grafické vyobrazení horizontu.



Obrázek 2.4 Návrh grid-on instalace [5]

Natáčecí FV panely

Pro panely, které se během dne natáčejí za sluncem, má PVGIS vyhrazenou další záložku. Uvnitř menu je možné kromě výběru sluneční databáze nastavit míru natáčení ve vertikální i horizontální ose panelů.

PERFORMANCE OF TRACKING PV
?

Solar radiation database* PVGIS-CMSAF

PV technology* Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]* 1

System loss [%]* 14

Tracking mounting options

☐ Vertical axis Slope [°] (0-90)

☐ Inclined axis Slope [°] (0-90)

☐ Two-axis

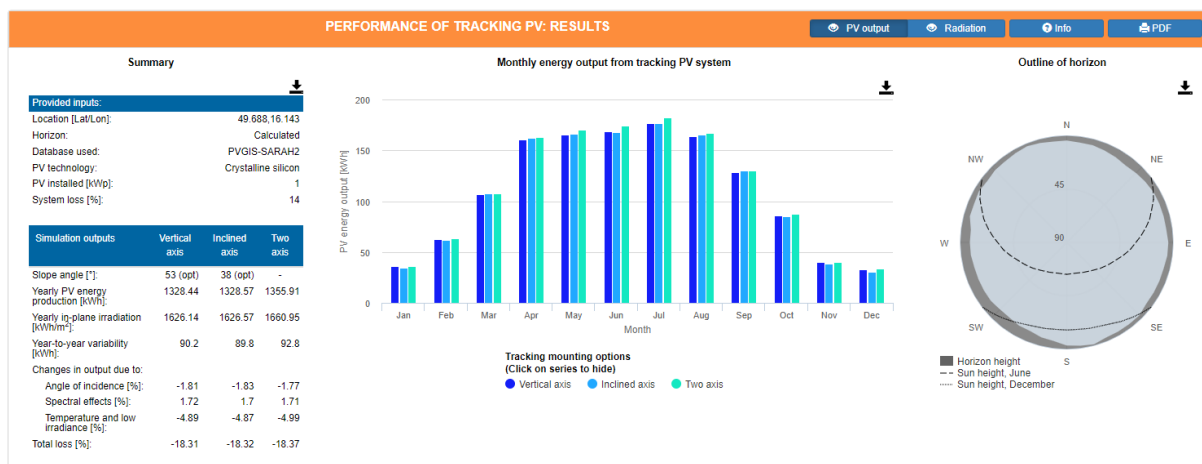
☐ Optimize

☐ Optimize

Obrázek 2.5 Natáčecí FV panely [5]

Výstup

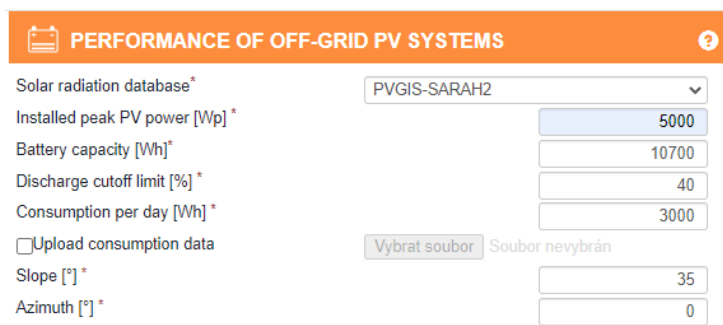
Výstupem výpočtu pro panely natáčecí se za sluncem je podobně jako v případě pevně instalovaných panelů krátké shrnutí informací, obraz horizontu a dvojice grafů. Grafy popisují měsíční výkon FV systému a dopadnuté záření. Zároveň navíc umožňují porovnání těchto hodnot při schopnosti naklánění panelů ve vertikální, horizontální, případně obou osách.



Obrázek 2.6 Vyhodnocení výsledků natáčecích panelů [5]

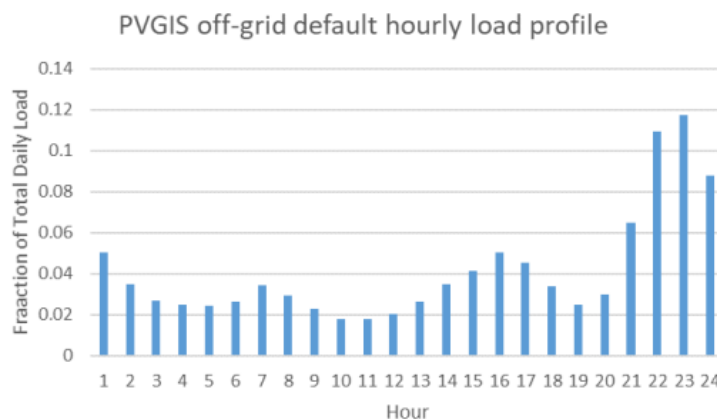
Instalace grid-off

U instalací grid-off vyžaduje PVGIS doplnění informací o kapacitě baterie, limitu přerušení vybíjení a hodinové spotřebě energie pro počítaný objekt. Limit, kdy se přeruší čerpání z baterie, je standartně nastaven na 40 %, což odpovídá doporučené hodnotě pro olověnou technologii baterií. U Li-ion baterií lze volit hodnotu nižší. S volbou nižší hodnoty limitu, resp. větší hloubky vybití, roste rychlost degradace baterie [5].



Obrázek 2.7 Návrh grid-off instalace [5]

Dále je možné nahrát datový soubor obsahující data profilu denní spotřeby. V opačném případě bude zvolen výchozí profil.



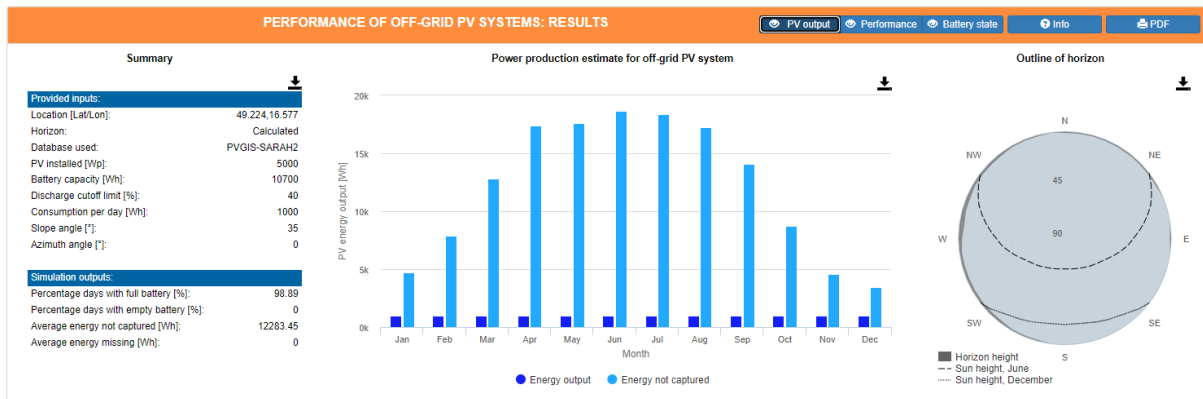
Obrázek 2.8 Profil denní spotřeby energie [5]

Výpočet je prováděn po jednotlivých hodinách, kdy se na základě hodnoty slunečního záření a použité sestavě dopočítá výkon panelů. Použitá data jsou za období několika let. Výpočet je založen na principu ukládání energie do baterie, pokud převyšuje hodinová produkce její spotřebu. V opačném případě je uvažováno čerpání energie z baterie. Při poklesu stavu nabití baterie pod stanovený limit je baterie považována za vybitou a k počtu dnů, kdy se baterie vybila, se jeden připočte. Pokud se baterie zcela naplní, je připočten den mezi dny s plně nabitou baterií. Pokud produkce energie i po úplném nabití baterie dále převyšuje spotřebu, energie se nemá již kam uložit. Tato energie je počítána jako nevyužitá.

Pokud se zvýší kapacita baterie a zbytek systému zůstane stejný, účinnost i průměrná hodnota nevyužití energie se sníží, protože bude možno uložit více energie a použít více energie na zátěže. S rostoucí velikostí baterie však zároveň bude klesat počet dnů, kdy se zvládne zcela nabít.

Výstup

Výstupy kalkulace pro grid-off instalace se skládají z ročních statistických hodnot a grafů měsíčních hodnot výkonu systému. První graf udává měsíční průměr denní produkce energie a zároveň též denní průměr hodnoty energie, která nebyla z důvodu naplnění kapacity baterie využita. Další graf uvádí měsíční statistiky o dnech úplného vybití a úplného nabití baterie. Posledním výstupem pro grid-off instalace je histogram stavu nabití baterie.



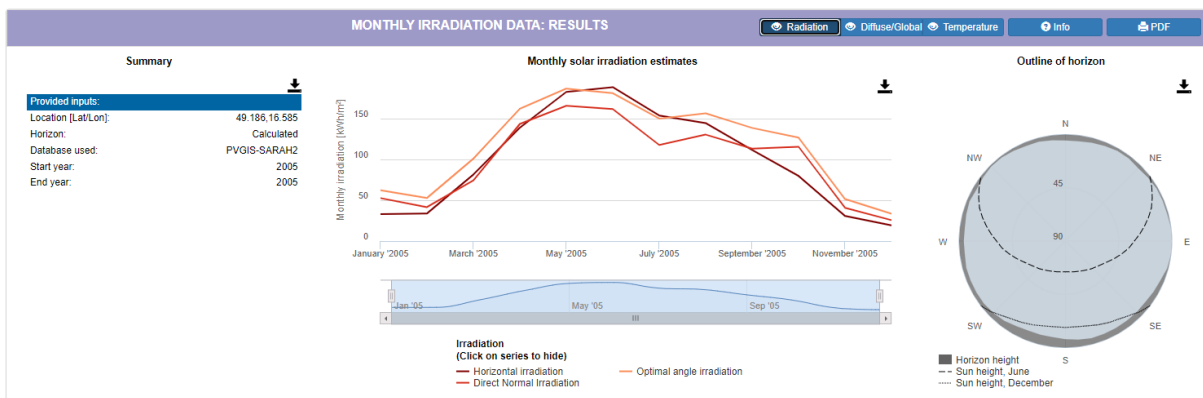
Obrázek 2.9 Výstup off-grid návrhu [5]

Měsíční průměrné údaje o slunečním záření

Následující záložky v PVGIS jsou věnovány statistickým údajům o slunečním záření. První z těchto záložek umožňuje uživateli vizualizovat a poskytuje měsíční průměrné údaje o slunečním záření a teplotě za víceleté období. Uživatel nejdříve vymezí volbou počátečního a koncového roku období, z kterého budou čerpána data k výpočtům. Nástroj PVGIS potom dává na výběr několik možných typů výpočtu ozáření. Jednotlivé hodnoty udávají měsíční součet energie slunečního záření, které dopadne na jeden čtvereční metr. Jednotlivé výpočty se však od sebe liší orientací plochy, pro kterou je výpočet prováděn. Výpočet globálního horizontálního ozáření je prováděn pro vodorovnou rovinu. Přímé normální ozáření počítá s plochou orientovanou vždy přímo proti slunci. Globální ozáření předpokládá orientaci plochy směrem k rovníku. U globálního ozáření je možné zvolit vlastní úhel sklonu nebo použít možnost optimálního úhlu. V případě volby optimálního úhlu je dopočítán úhel, při kterém bude roční hodnota ozáření nejvyšší. Dále je v nástroji možné vyčíslit poměr difúzního a globálního záření.

Výstup

Výstupem ze záložky měsíčního slunečního záření je tabulka se základními informacemi, obrazem horizontu a trojicí grafů. Grafy udávají radiační výkon (množství sluneční energie dopadající na čtvereční metr), časový průběh poměru globálního a difúzního záření a časový průběh průměrných měsíčních teplot.



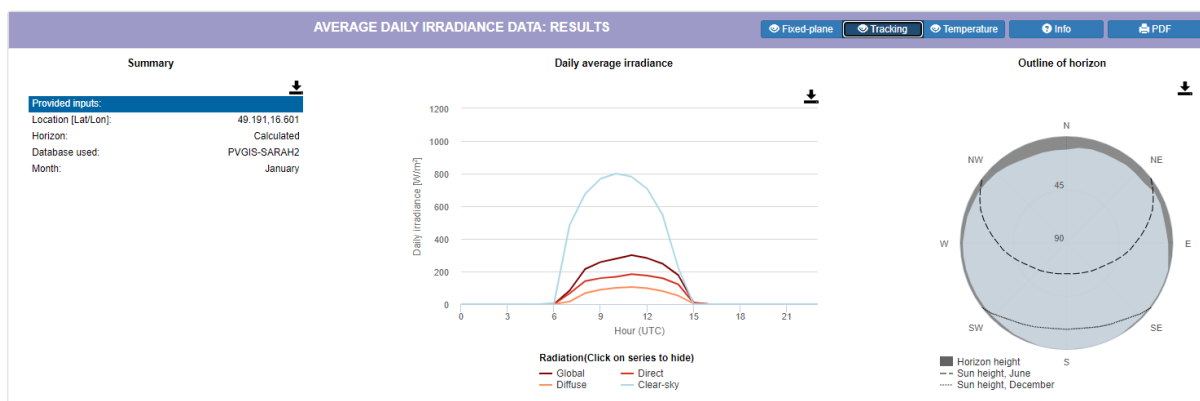
Obrázek 2.10 Měsíční radiační profil [5]

Denní údaje o radiačním profilu

Nástroj umožňuje uživateli po doplnění několika údajů vykreslit denní profil slunečního záření a teploty vzduchu za daný měsíc. Profily jsou tvořeny hodnotami po hodinovém časovém intervalu. Uživatel zvolí měsíc, pro který budou vizualizovány výsledky.

Výstup

Výsledkem denního radiačního profilu je výstup v podobě dvaceti čtyř hodinových hodnot. Hodnoty lze následně zobrazit v závislosti na místním časovém pásmu. Nástroj nebere v úvahu místní letní a zimní časový posun [5].



Obrázek 2.11 Denní radiační profil [5]

Hodinové sluneční záření a FV data

Nástroj PVGIS používá k výpočtu data obsahující jednu hodnotu pro každou hodinu za víceleté období. Záložka hodinové sluneční záření umožňuje uživateli zobrazit výpočet pro každou hodinu během vybraného období. Vstupní data jsou v tomto případě podobná jako při výpočtu výkonu FV systému. Na vstupu jsou tedy vyžadovány informace o použité databázi, technologii FV modulů a jejich umístění.

Data, s kterými PVGIS pracuje, jsou aktuální hodnoty v daném čase měřené po hodině, nikoliv průměrné hodnoty za uplynulou hodinu, jak by bylo pro výpočet korektní. Toto zjednodušení je možné zavést za předpokladu, že rozdíly teplot za uplynulou hodinu budou zanedbatelné. [5]

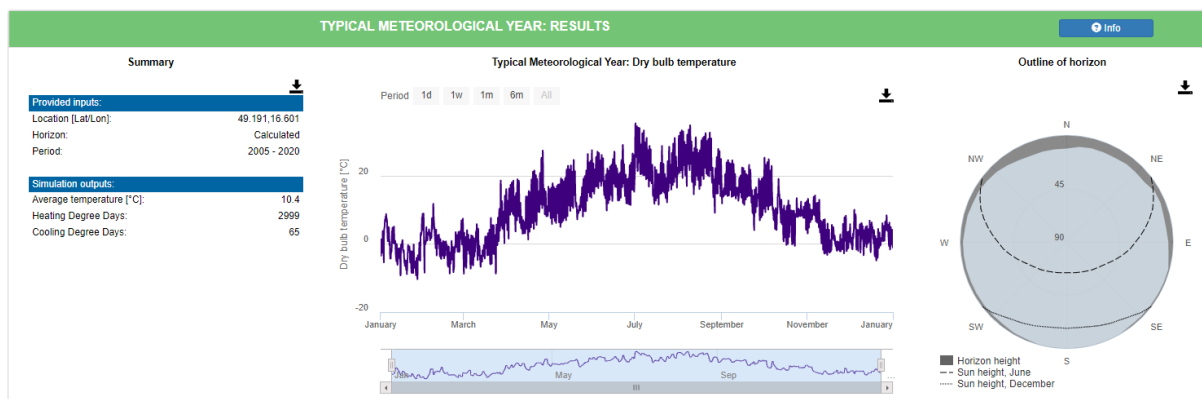
Výstup

V případě slunečního záření počítaného po hodinách je výstupem tabulka s hodnotami. PVGIS umožňuje výběr mezi daty o slunečním záření a výkonu vybraného FV systému. Grafická podoba není zhotovena, jelikož výpočet probíhá s velkým množstvím dat a grafická podoba by byla značně nepřehledná [5].

Typický meteorologický rok (TMY)

Poslední záložka nástroje PVGIS se zabývá vizualizací různých veličin meteorologických jevů v závislosti na čase. Při zvolené lokalitě je jediný další vstupní parametr pro kompilaci dat výběr informační databáze. Nástroj vybere z databáze rok, který se jeví nejvíce typický, resp. průměrný, a umožní z ní zobrazit daná data. PVGIS dokáže v této záložce nástroje zobrazit časovou závislost pro teplotu suchého teploměru, relativní vlhkost, globální horizontální ozáření, přímé (paprskové) normální záření, difuzní horizontální záření, infračervené přímé

záření, rychlost větru, směr větru a tlak vzduchu. V grafu pro každou veličinu je možné libovolně nastavit časovou periodu.



Obrázek 2.12 Typický meteorologický rok (TMY) [5]

Zhodnocení nástroje

Nástroj PVGIS se jeví velice profesionálním a propracovaným dojmem. Umožňuje zvolit velké množství vstupních dat a učinit tak výpočet velice konkrétní. Výpočet lze provádět z několika databází o slunečním záření. Výsledky jsou přehledně vizualizovány v interaktivních grafech.

V nástroji je nutné zadávat vstupní informace v každé kartě výpočtu zvlášť, i když se některé údaje opakují. Tento fakt může značně prodloužit potřebné výpočty, zvláště pokud porovnáváme výpočty z několika karet. Nástroj se také svou podrobností a konkrétností může někomu zdát příliš komplikovaný. Tento nástroj bych proto nedoporučil naprosto nezainteresované osobě, nýbrž tomu, kdo se chce dané problematice věnovat podrobněji.

2.2 Výpočtové nástroje NZÚ

Následující představené nástroje pro výpočet a optimalizaci solárních systémů a environmentálně šetrných projektů pochází z programu Nová zelená úsporám (NZÚ) [8]. NZÚ je dotační program zabývající se podporou energeticky úsporných opatření v rodinných a bytových domech. Program funguje v ČR od roku 2014 a stále přijímá nová adaptační opatření reagující na změnu klimatu [8].

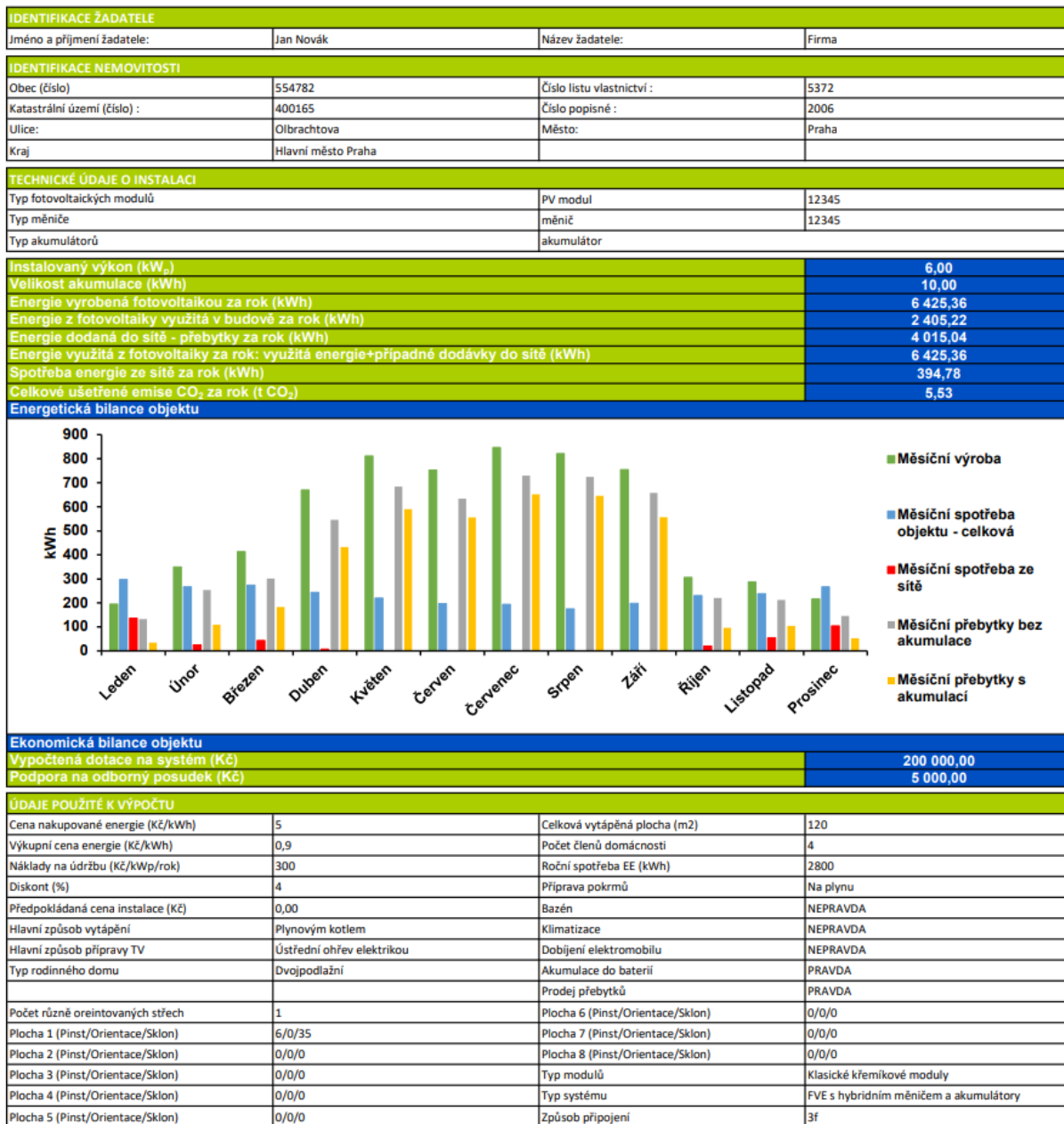
Metodika nástrojů

Výpočtové nástroje bohužel nemají dohledatelnou metodiku prováděných výpočtů. Samotné soubory nástrojů jsou uzamčeny a uživatel může s nástroji pracovat pouze ve formě dotazníku, kdy vybírá ze zvolených možností, případně doplňuje údaje a hodnoty. Popsána bude tedy především funkčnost nástrojů.

2.3 Výpočtový nástroj pro optimalizaci návrhu FV systémů – rodinný dům

Výpočtový nástroj je vytvořen v prostředí Excel a zabývá se návrhem FVE pro rodinný dům. [8] Po otevření souboru se objeví tabulka s údaji a grafem. V tabulce se nachází údaje o žadateli, místě výstavby a technických parametrech FV systému. Dále je v tabulce popsána energetická bilance, znázorněná grafem, kde jsou vyobrazeny měsíční hodnoty získané energie, spotřeby objektu, spotřeby objektu ze sítě a měsíční přebytky bez akumulace i s akumulací. Hodnoty, z kterých graf vychází jsou uvedeny nad grafem. Údaje jsou navíc doplněny o hodnotu

ušetřených emisí CO₂ za rok. V tabulce je též uvedena výše možné dotace pro parametry zadaného FV systému. Na konci tabulky jsou shrnuty všechny údaje, které byly použity k výpočtu. Tabulka je předvyplněna vzorovými údaji a hodnotami. Pro aktualizaci těchto údajů je třeba stisknout aktivní pole „Spustit nástroj“ a přejít tak k vyplňování dotazníku.



Obrázek 2.13 Výpočtový nástroj pro optimalizaci návrhu FV systémů – rodinný dům [8]

V první nabídce jsou údaje týkající se majitele a nemovitosti, na které, případně v její blízkosti, bude výstavba FV systému probíhat. Mimo spíše úředních údajů, které nijak neovlivňují samotnou energetickou kalkulaci, jsou v nabídce na vyplnění informace o objektu z hlediska funkčnosti a údaje o ekonomické bilanci. Lze předpokládat, že tyto údaje slouží jako proměnné při výpočtu.

V případě ekonomické bilance jsou k vyplnění údaje o nákupní i výkupní ceně energie, roční náklady na údržbu, míra diskontu a předpokládaná cena celého FV systému. V nabídce se dále nachází údaje o způsobu vytápění, ohřívání vody a přípravy pokrmů. V nabídce jsou též údaje o elektrické spotřebě objektu, velikosti vytápěné plochy a počtu členů domácnosti. Tyto údaje pravděpodobně upravují celkovou spotřebu energie domu ve výsledné energetické bilanci. Dále nabídka obsahuje doplňující údaje o existenci velkých zdrojů odběru elektrické energie, jako jsou bazén, klimatizace a nabíjecí stanice na elektromobil. Ke konci nabídky je výběr pro případ akumulace energie do baterií a pro dodávku přebytků do elektrizační sítě. Poslední údaj v nabídce se vztahuje na počet různě orientovaných střech, či ploch, na které bude FV systém instalován.

Návrh fotovoltaického systému na rodinný dům

Identifikace žadatele

Jméno a příjmení žadatele: Jan Novák
Název žadatele: Firma

Identifikace nemovitosti

Obec (číslo): 554782
Katastrální území (číslo): 400165
Číslo listu vlastnictví: 5372
Ulice: Olbrachtova
Číslo popisné: 2006
Město: Praha
Kraj: Hlavní město Praha

Informace o objektu

Hlavní způsob vytápění: Plynovým kotlem
Hlavní způsob přípravy TV: Ústřední ohřev elektrickou
Typ rodinného domu: Dvojpodlažní
Celková vytápěná plocha (m2): 120
Počet členů domácnosti: 4
Roční spotřeba elektrické energie (kWh): 2800
Příprava pokrmů: Na plyn

Doplňující údaje

☐ Bazén ☐ Klimatizace ☐ Dobíjení elektromobilu
☒ Akumulace do baterií ☒ Dodávka přebytků do sítě

Ekonomické údaje

☐ Chci spočítat i odhad ekonomické bilance

Počet různě orientovaných střech, na kterých plánujete instalaci: 1

Identifikace zpracovatele návrhu

Jméno a příjmení zpracovatele: Jan Novák
Obchodní název zpracovatele: Firma

Přejít k vyplnění informací o instalaci

Obrázek 2.14 Návrh FV systému pro rodinný dům [8]

Při pokračování na následující nabídku přejdeme k vyplňování informací o instalaci. Zadávají se informace o orientovaných plochách, na kterých budou připevněny FV panely. Aktivní je pouze takové množství ploch, jaké bylo zvoleno v předchozí nabídce. Je třeba doplnit hodnotu instalovaného špičkového výkonu k jednotlivým plochám a jejich sklon a azimut. Azimut je uváděn ve stupních, kdy pro jih je stanovena hodnota 0°. Sklon je udáván též ve stupních, kdy horizontální rovina má hodnotu 0° a vertikální 90°. Vedle aktivní nabídky je vysvětlující obrázek. Dále je volena technologie použitých FV a typ systému. U technologie FV panelů je voleno mezi křemíkovými moduly, bifaciálními moduly, tenkovrstvými moduly CdTe a tenkovrstvými moduly ostatních typů. Typy systémů na výběr s klasickým a hybridním měničem s využitím a nevyužitím akumulátorů. Na výběr je též možnost pro efektivní využití tepelného čerpadla. Při výběru možnosti zahrnující akumulaci energie do baterií je následně požadována hodnota kapacity akumulátorů. Uživatel musí též zvolit, zdali bude připojení řešeno jednofázovým, nebo třífázovým způsobem. Následující údaje v tabulce týkající se typového označení FV modulů, měniče, akumulátoru a jejich SVT kódy slouží pouze k informativním účelům a neovlivňují výpočet.

Informace o instalaci

Identifikace plochy	Pinst. (kWp)	Orientace (°)	Sklon (°)
Plocha 1	6	0	35
Plocha 2	0	0	0
Plocha 3	0	0	0
Plocha 4	0	0	0
Plocha 5	0	0	0
Plocha 6	0	0	0
Plocha 7	0	0	0
Plocha 8	0	0	0

Typ modulů: Klasické křemíkové moduly

Typ systému: FVE s hybridním měničem a akumulátory

Způsob připojení: 3f

Plánovaná velikost akumulace (kWh): 10

Typové označení PV modulů: PV modul SVT: 12345

Typové označení měniče: měnič SVT: 12345

Typové označení akumulátorů: akumulátor

Orientace a sklon systému:

Orientace:

S = 180 nebo -180
Z = 90
V = -90
J = 0

Sklon:

0° (plochá střecha)
45° (sedlová střecha)
90° (fasáda)

Spočítat

Obrázek 2.15 Informace o instalaci FVE [8]

Po vyplnění všech údajů a provedení samotného výpočtu se aktualizuje počáteční tabulka na námi zadané hodnoty. Pokud chceme některé hodnoty změnit, je třeba opakovat celý proces zadávání informací. Tabulku je následně možné exportovat a uložit jako dokument.

2.4 Výpočtový nástroj pro optimalizaci návrhu FV – bytový dům

Výpočtový nástroj NZÚ pro optimalizaci návrhu FV systému bytového domu je vizuálně i funkčně velmi podobný jako pro dům rodinný. Výsledným výstupem je též tabulka shrnující všechny zadané informace o žadateli, kalkulovaném FV systému, energetické bilanci a výše dotace [9]. Podstatný rozdíl spočívá až při zadávání informací o objektu, ke kterému náleží uvažovaná FV instalace. Výpočtový nástroj vyžaduje mimo jiné informaci o celkovém počtu bytových jednotek v celém objektu. Nutno je též zadat počet připojených jednotek, na které připadá instalovaný výkon nejméně 0,5 kWp a počet připojených jednotek, které mít takový velký instalovaný výkon nebudou.

Obrázek 2.16 Návrh FV systému pro bytový dům [9]

V následující nabídce najdeme opět informace o poloze FV panelů, technologie instalace a připojení. Po vyplnění všech hodnot je též, podobně jako u výpočtového nástroje pro rodinný dům, aktualizována původní tabulka, kterou lze následně exportovat do dokumentu.

Zhodnocení nástrojů

Velká nevýhoda těchto dvou nástrojů na optimalizaci návrhu FV systému je jejich uzavřenost a nemožnost zjistit metodiku výpočtu. Můžeme se tedy jen domnívat, jakým způsobem byl výpočet prováděn. Například porovnávání výsledků s jiným výpočtním nástrojem by bylo velmi složité, jelikož v nástroji vystupuje mnoho neznámých, u kterých není blíže popsáno, jakým způsobem ovlivňují výpočet. V úvodní/finální tabulce nástroje jsou sice shrnuty všechny údaje, které byly použity pro výpočet, nikoliv však způsob výpočtu.

Další nevýhodou vnímám retrospektivní fungování programu, kdy se hned po otevření zobrazí hotový modelový výpočet, který s naším nijak nesouvisí. Je nutné tedy projít celý vyplňovací proces, aby se údaje aktualizovali na námi žádané. Údaje, které nezměním, zůstávají původní z modelového výpočtu, což může být matoucí a nepřehledné.

Nešťastné je i samotné vyplňování informací, kdy není možné toto vyplňování přerušit. Dokonce není ani možné se vrátit na předchozí nabídku. Při opravě nějakého údaje je tedy nutné nejdříve dokončit celé vyplňování údajů, provést výpočet a následně přejít opět na vyplňování údajů od začátku. Až poté je možné údaj změnit.

Konečný výstup výpočtového nástroje v podobě shrnující tabulky s grafem je naopak proveden přehledně. Z tabulky je možné vyčíst vše potřebné. Graf energetické bilance je značně názorný. Tabulka je předchystána k exportu do dokumentu, což považuji též za užitečné.

2.5 Výpočtový nástroj pro solární fotovoltaický ohřev vody

Výpočtový nástroj NZÚ pro ohřev vody pomocí FV panelů je oproti předchozím dvou, které se zabývaly optimalizací návrhu FV systému, jednodušší a méně komplexní. Nástroj je tvořen pouze jedním dokumentem s tabulkami, které obsahují aktivní pole [10]. V úvodní části dokumentu lze nalézt identifikační údaje majitele a nemovitosti. Následně jsou v dokumentu k zadání vstupní hodnoty pro stanovení potřeby tepla na přípravu teplé užitkové vody. Nutné je zadat obsazenost budovy a informace o zásobníku na vodu zahrnující jeho objem a typ. V dokumentu jsou i hodnoty teploty studené a teplé vody a spotřeba na osobu. Tyto hodnoty však bohužel nelze změnit.

Následující tabulka ve výpočtovém nástroji se zabývá parametry instalovaného FV systému. Parametry se týkají převážně výkonu a účinnosti FV systému. Součástí tabulky je i doplnění informací o poloze FV panelů. Určuje se azimut a sklon panelů. Výpočtový nástroj umožňuje kalkulovat se dvěma nezávislými plochami. Pro každou z ploch je třeba doplnit výši instalovaného špičkového výkonu.

IDENTIFIKACE ŽADATELE					
Příjmení / Název :			Jméno :		

IDENTIFIKACE NEMOVITOSTI					
Katastrální území (číslo) :			Číslo listu vlastnictví :		
Číslo parcely :			Číslo popisné :		
Druh budovy:	Bytový dům				

VSTUPNÍ HODNOTY PRO STANOVENÍ POTŘEBY TEPLA NA PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY					
Počet osob:		osob	Spotřeba na osobu:	35	l/os.den
Teplota studené vody t_{sv} :	10	°C	Teplota teplé vody t_{tv}	55	°C
Objem solárního zásobníku (uveďte podle projektu)					l
Přirážka na tepelné ztráty při přípravě teplé vody z			Zásobníkový ohřev bez cirkulace		
Název solárního zásobníku (typové označení)					

VSTUPNÍ HODNOTY FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU					
Název FV panelu (typové označení)					
Jmenovitá provozní teplota článku - NOCT		°C	Špičkový výkon systému - P_{pk}		kW _p
Snižování účinnosti z 1000 na 200 W/m ² - $\Delta\eta_G$			Referenční účinnost η_{ref}		
Výkonový teplotní součinitel		%/K	Podíl elektrických ztrát		střídač s MPPT

Pole FV panelů č. 1:			Pole FV panelů č. 2:		
Azimut solárního FV panelu - γ ($Jih = 0^\circ$)	0°		Azimut solárního FV panelu - γ ($Jih = 0^\circ$)	0°	
Sklon solárního FV panelu β ($svisle=90^\circ$)	0°		Sklon solárního FV panelu β ($svisle=90^\circ$)	0°	
Instalovaný výkon pole č.1:		kWp	Instalovaný výkon pole č.2:		kWp

VYHODNOCENÍ	
Plocha FV panelů (vztažná plocha) :	m ²
Potřeba tepla pro přípravu TV	kWh/rok
Měrný využitelný zisk solárního systému	kWh/m ² .rok
Celkový využitelný zisk solárního systému	kWh/rok
Pokrytí potřeby tepla na přípravu TV	%
Minimální požadovaný objem solárního zásobníku	l

Obrázek 2.17 Výpočtový nástroj pro solární fotovoltaický ohřev vody [10]

Poslední tabulka v dokumentu se věnuje vyhodnocení celého výpočtu. První údaj udává velikost plochy panelů dostačující pro navrhované řešení. Následně v tabulce najdeme informace o energetickém zisku FV systému a potřebách tepla pro přípravu teplé vody. V tabulce je i uvedena procentuální hodnota udávající míru pokrytí potřeby tepla k přípravě teplé vody navrhovaným solárním systémem. Poslední údaj v tabulce udává minimální požadovaný objem zásobníku na vodu vyhovující navrhovanému řešení.

2.6 Výpočtový nástroj pro solární termický ohřev vody

Výpočtový nástroj pro solární termický ohřev vody dotačního programu NZÚ funguje v prostředí MS Excel a je tvořen dvěma listy [11]. První list obsahuje aktivní pole k vyplnění a je proveden ve formě dokumentu s aktivními poli. Mimo identifikačních údajů je třeba zadat bližší informace o přípravě teplé vody, vytápění objektu a parametrech solárních termických kolektorů.

Identifikace nemovitosti:	
Katastrální území (číslo):	Číslo listu vlastnictví:
Číslo parcely:	Číslo popisné (evidenční):
Typ budovy	Rodinný dům ▼ Počet napojených bytových jednotek (pouze BD)
Žádám v oblasti podpory	SOL: Solární systém pro přípravu teplé vody ▼
Počet osob:	osob
Spotřeba na osobu:	40 l/os.den (při 55 °C)

Příprava teplé vody a vytápění	
Denní spotřeba teplé vody $V_{TV,den}$	0 l/den
Teplota studené vody t_{SV}	10 °C
Teplota teplé vody t_{TV}	55 °C
Návrhová teplota přívodní otopné vody otopné soustavy $t_{w1,N}$	°C
Srážka z tepelných zisků kolektorů vlivem tep. ztrát p	
Přirážka na tepelné ztráty při přípravě teplé vody z	0,3 Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací ▼
Typ solárního zásobníku (uvedte podle projektu)	
Objem solárního zásobníku (uvedte podle projektu)	l

Vytápění objektu (vyplňuje se pouze při žádosti na RD v oblasti podpory SOL+ - Solární systém pro přípravu teplé vody a vytápění)	
Použít data z výpočtu podle ČSN EN ISO 13 790	NE ▼
Tepelná ztráta domu Q_z	kW
Vnitřní výpočtová teplota t_{iv}	°C
Venkovní výpočtová teplota t_{ev}	°C
Předpokládaná energetická náročnost budovy (vytápění)	pasivní standard, tepelné vlastnosti konstrukcí nad rámec vyhláškou doporučených hodnot ▼
Přirážka na tepelné ztráty otopné soustavy v	5 %

Parametry solárních kolektorů	
Optická účinnost η_0	-
Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru a_1	W/m ² .K
Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru a_2	W/m ² .K ²
Počet kolektorů	ks
Vztažná plocha kolektoru	m ²
Celková vztažná plocha kolektoru	m ²
Plocha apertury solárního kolektoru A_a	m ²
Střední denní teplota v solárních kolektorech $t_{k,m}$	°C
Sklon solárního kolektoru β	30 ° ▼
Azimut solárního kolektoru γ (jih = 0°)	0 ° ▼

Vyhodnocení	
Potřeba tepla pro přípravu TV	0 kWh/rok
Potřeba tepla pro vytápění	kWh/rok
Měrný využitelný zisk solárního systému $q_{ss,u}$	kWh/m ² .rok
Celkový využitelný zisk solárního systému $Q_{ss,u}$	kWh/rok NEPRAVDA
Solární podíl (pokrytí potřeby tepla) f	%
Instalovaný výkon solárních kolektorů	kW
Minimální požadovaný objem solárního zásobníku	l

Obrázek 2.18 Výpočtový nástroj pro solární termický ohřev vody [11]

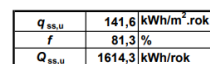
Druhý list nástroje je označen jako výpočtová část. obsahuje tabulku měsíčních hodnot teplot, účinnosti, energetické výtěžnosti a graf energetické bilance.

Q_{VYT}

kWh ▼

0

Zadat hodnoty získané výpočtem podle ČSN EN ISO 13 790



29

Zhodnocení nástrojů

Nástroje pro výpočet bilance solárních fotovoltaických a termických systémů na ohřev vody jsou zpracovány přehlednou a decentní formou. Jejich velkou nevýhodou je opět uzavřenost nástrojů a nemožnost tak blíže zjistit jejich metodiku výpočtu. V případě nástroje pro solární termický ohřev vody je alespoň uvedeno, o jaké normy se opírá. Jako další nevýhodu vnímám nemožnost změnit některé předvyplněné hodnoty, což může být způsobeno snahou o zjednodušení výpočtového nástroje pro koncového uživatele.

Výpočtová část nástroje pro solární termický ohřev může být pro blíže nezainteresovaného uživatele nepřehledná, jelikož veškeré hodnoty v tabulce i grafu nejsou pojmenovány, ale pouze označeny písmenem s doplňujícím indexem.

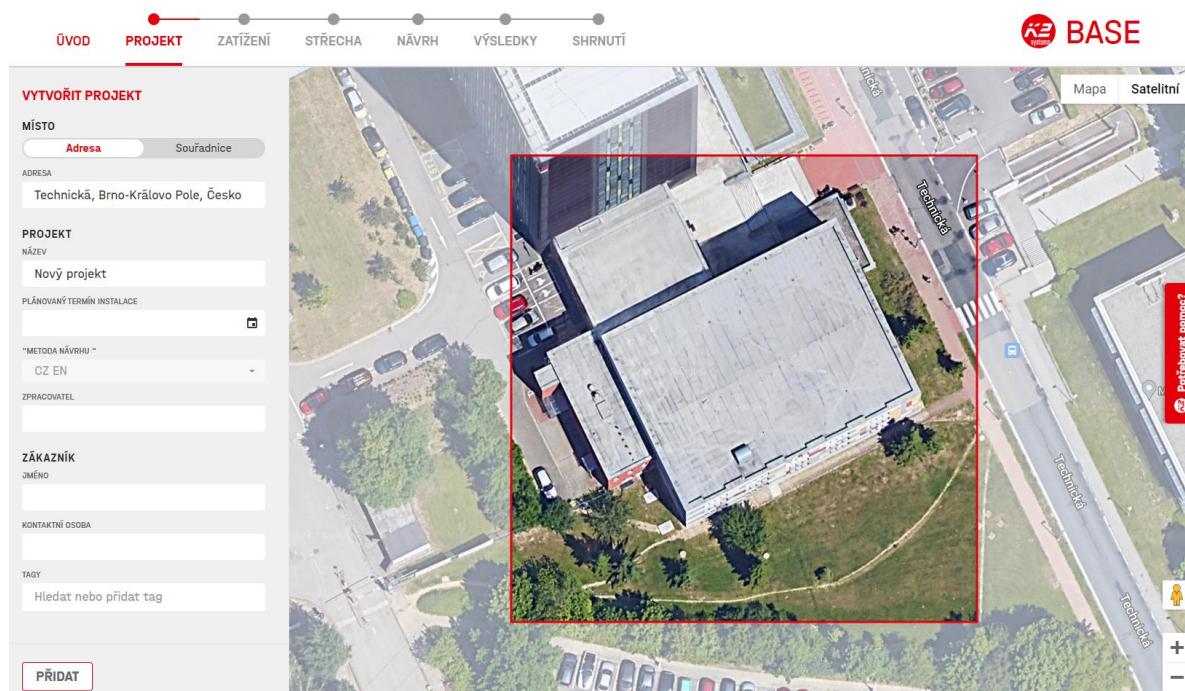
Uživatelská část obou nástrojů pro solární ohřev vody na mě působila příjemným a přímočarým dojmem. Veškeré dotazované údaje byly jednoznačné, dokonce doplněné o nápovědu, či bližší vysvětlivky, které se zobrazí při kliknutí na aktivní pole. Nástroje jsou jednoduše ovladatelné i uživatelem, který se blíže nespecializuje v tomto oboru.

2.7 Výpočtový nástroj K2-systems

Další představený nástroj zabývající se FV panely je od společnosti K2-systems [12]. K2-systems je původem německá společnost zabývající primárně výrobou a prodejem nosných konstrukcí FV panelů.

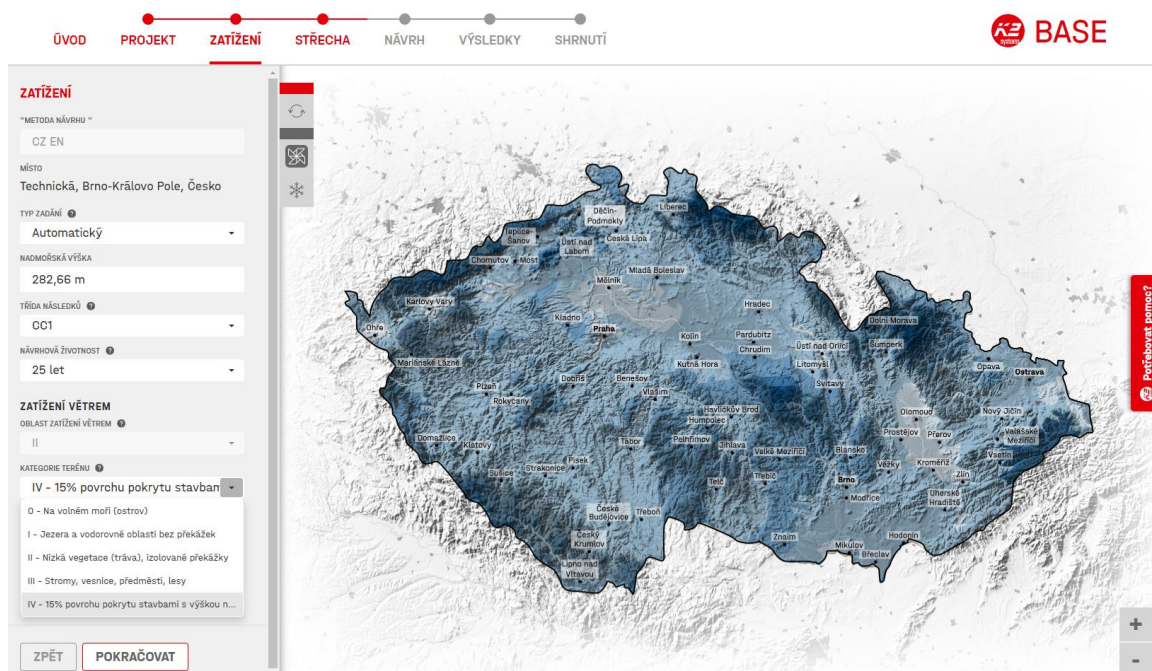
Metodika nástroje

Nástroj od této společnosti je jedinečný v tom, že pracuje pouze graficky a není třeba zadávat žádné hodnoty. Návrh FVE v tomto nástroji je uskutečňován pomocí dostupné plochy daného objektu. Zadáním adresy se zvolí lokalita instalace a do aktivního pole na mapě se umístí objekt instalace.



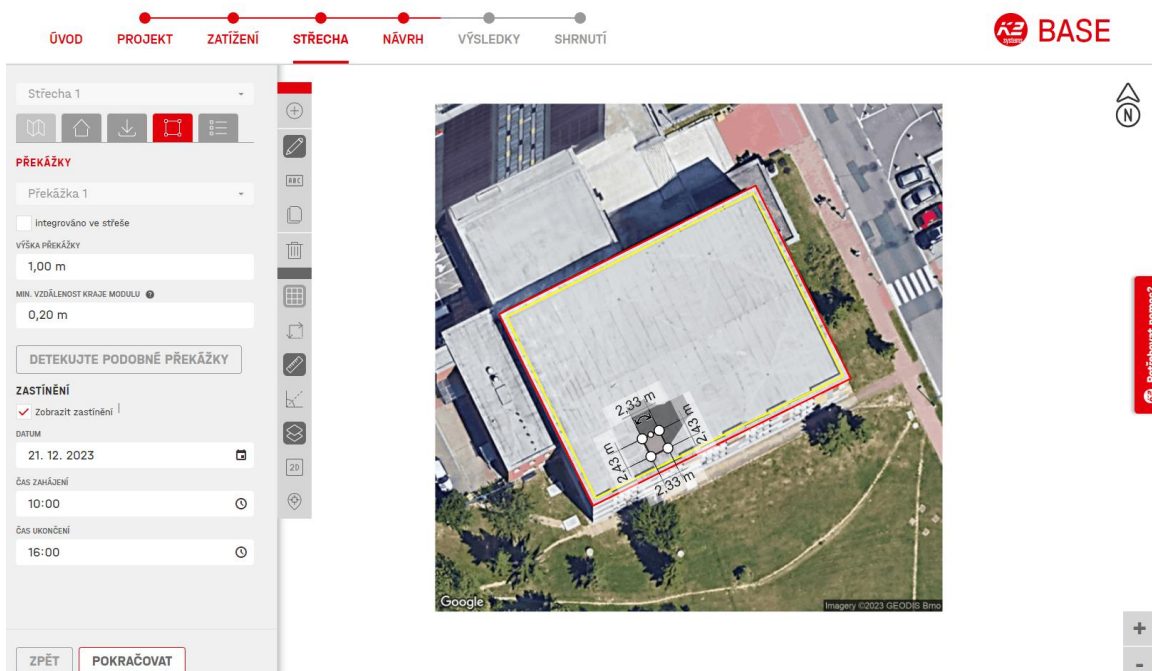
Obrázek 2.20 Volba lokality [12]

Následně se automaticky zvolí dle vybrané lokality kategorie zatížení větrem a sněhem. Uživatel pouze zvolí kategorii terénu, která udává hustotu pokrytí okolí jinými objekty.



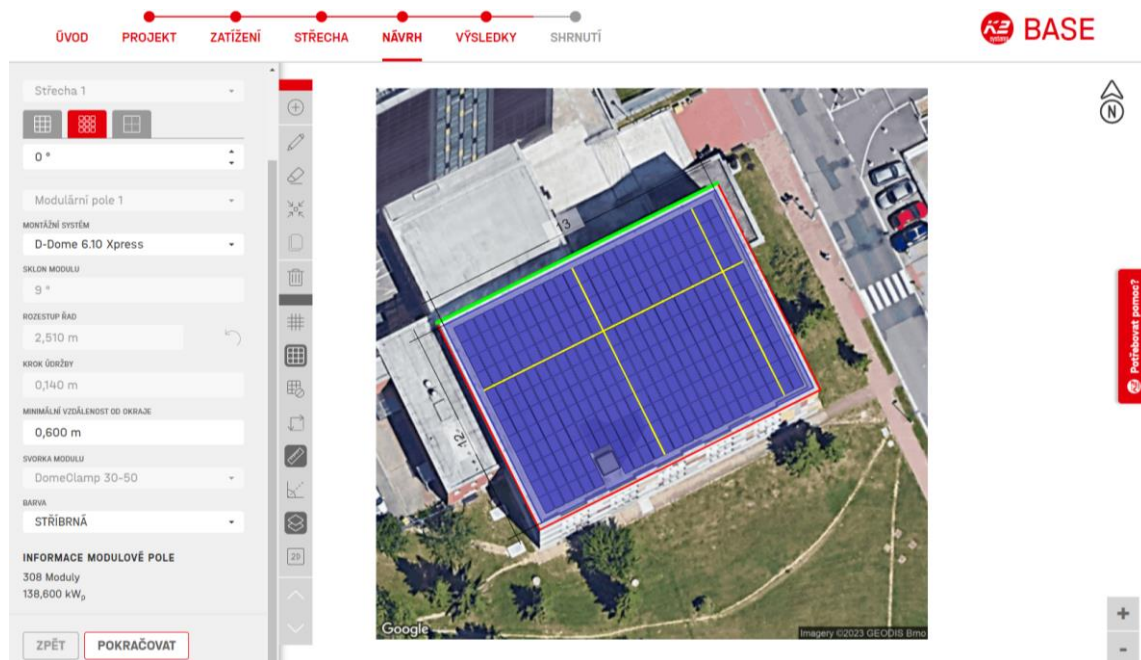
Obrázek 2.21 Zatížení větrem a sněhem [12]

Následně se v nástroji volí mezi plochou, nakloněnou nebo sedlovou střechou. Volí se též tvar a střešní krytina. Ohraničí se kurzorem uvažovaná plocha k instalaci a případně doplní podrobnosti o střešní krytině, jako je například výška atiky. Dále je zapotřebí ohraničit kurzorem překážky a definovat jejich výšku a minimální vzdálenost od panelů. Nástroj umožňuje i simulovat zastínění překážkou okolního prostředí v určitém čase.



Obrázek 2.22 Vytyčení střechy a překážek [12]

Uživatel následně zvolí výrobce model použitých panelů, případně definuje vlastní. Dále je možnost výběru aktivní plochy pro instalaci panelů, nebo využití celé použitelné ploše střechy. Zapotřebí je též zvolit montážní systém, který má vliv na výsledně rozmístění panelů, případně doplnit další podrobnosti. Výpočtový nástroj následně vygeneruje nejvhodnější rozmístění panelů na střechě a zobrazí celkový instalovaný výkon. Dokončení návrhu bohužel vyžaduje placené členství, avšak i přesto je možné energetickou výtěžnost při znalosti počtu možných panelů a především instalovaného výkonu dopočítat pomocí jiného výpočetního nástroje.



Obrázek 2.23 Vizualizace návrhu [12]

Zhodnocení nástroje

Na nástroji vnímám kladně především způsob návrhu dle dostupné plochy, protože právě ta je často limitujícím prvkem. Nástroj poskytuje možnost zadat spoustu detailů, zároveň však umožňuje ponechat většinu údajů, které jsou přednastavené pravděpodobně na nejběžnější hodnoty, bez povšimnutí. Nástroj tudíž umožňuje i běžnému uživateli udělat si představu o případné instalované FVE na určitém objektu, a to i po situační stránce. Negativně by mohlo být vnímáno zpoplatnění finální kalkulace a bližší nespecifikování metody výpočtu.

2.8 Celkové zhodnocení nástrojů na výpočet solární energie

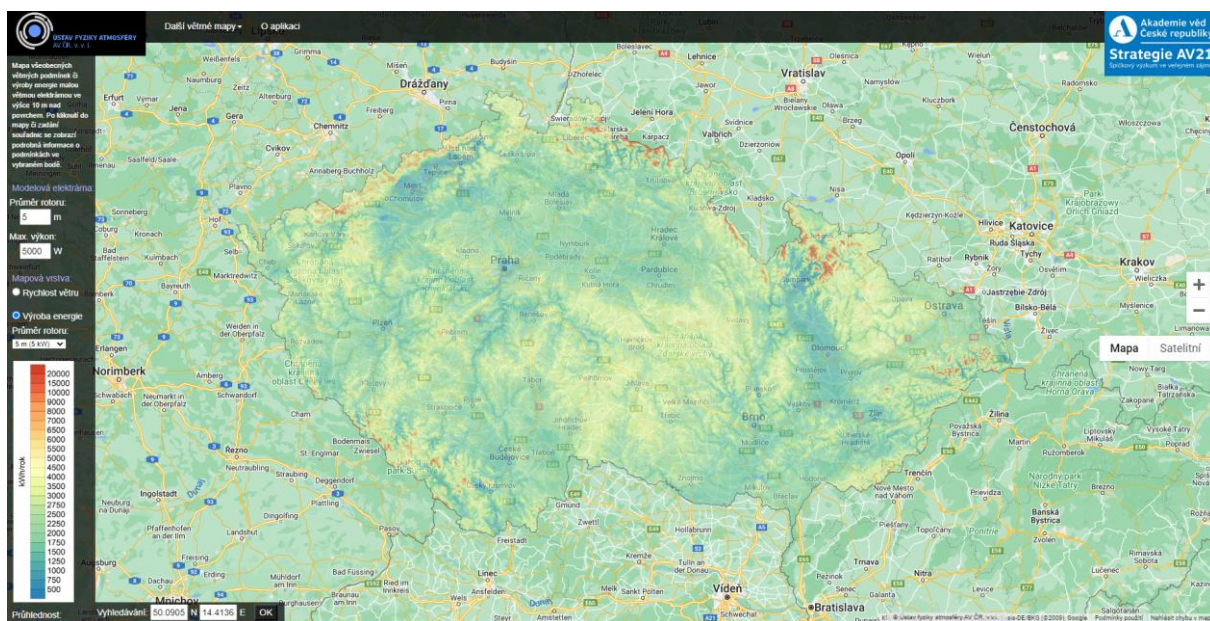
Nejprecizněji je dle mého názoru proveden nástroj PVGIS – Photovoltaic geographical information system [5]. V nástroji je možné nastavit velké množství detailů ovlivňující výpočet a stáhnout většinu výstupů v podobě předpřipraveného souboru. Výpočtové nástroje vyvinuté pro dotační program Nová zelená úsporám se mi jevily jednoduše a funkčně, bohužel však není ke většině výpočtů dohledatelná použitá metodika. Výpočtové nástroje jsou navíc vytvořené v prostředí Microsoft Excel, kde se přímo vybízí nechat soubor otevřen dalším úpravám. Uživatelsky nejpříjemněji se mi jevil výpočtový nástroj od společnosti K2-Systems [12]. Prostředí programu je opravdu propracované a velice designově a přehledně zpracováno. Nástroj nabízí též velké množství detailů k nastavení. Bohužel je však k provedení finálního výpočtu nástroje požadováno zpoplatněné členství.

3 Získávání energie z větru

Energie z větru je získávána na principu předávání pohybové energie proudícího vzduchu lopatkám turbíny. Turbína začne konat rotační pohyb a generátor, kterému předává tuto točivou energii, ji následně mění na energii elektrickou. [13]

3.1 Výpočtový nástroj větrných podmínek akademie věd ČR

Následující představený nástroj byl vytvořen ústavem informatiky pro ústav fyziky atmosféry akademie věd ČR [14]. Nástroj pracuje v podobě interaktivní mapy ČR, kterou překrývá barevná textura. Jednotlivé barvy souvislého barevného spektra reprezentují velikost zkoumaných veličin. V nástroji je možnost nastavit míru průhlednosti této textury. Nástroj obsahuje celkem dvě interaktivní mapy, a to mapu větrných podmínek a mapu extrémních nárazových rychlostí větru. Mapy představují hodnoty ve výšce 10 m. V nástroji je též odkaz na mapu větrných podmínek ve výšce 100 m, avšak ta není interaktivní a vyčtení hodnot z mapy je spíše informativní. Interaktivní mapy je možné libovolně přiblížit. U map je možné klasické schématické i satelitní zobrazení.



Obrázek 3.1 Mapa větrných podmínek ČR

3.2 Interaktivní mapa větrných podmínek ČR

Mapa větrných podmínek ČR zobrazuje data pro rychlost větru, nebo roční výrobu elektrické energie modelovou větrnou turbínou [14]. Průměr rotoru a maximální výkon turbíny je možné zadat v okrajovém záhlaví mapy. Pod výběrem je též legenda přiřazující hodnoty jednotlivým barvám, kterými je tvořena barevná textura reprezentující data.

Po vybrání bodu na mapě se otevře kontextové okno s doplňujícími údaji. V záhlaví okna se nachází informace o zeměpisné šířce a délce, průměru rotoru turbíny, maximálním výkonu a výškou nad zemí. Nástroj v okně zobrazí tabulku procentuální četnosti směru a rychlosti větru. K jednotlivým směrům větru je uvedena i průměrná rychlost a celková četnost. Dále jsou v tabulce výpočtové parametry potřebné ke stanovení Weibullové funkce, potřebné pro

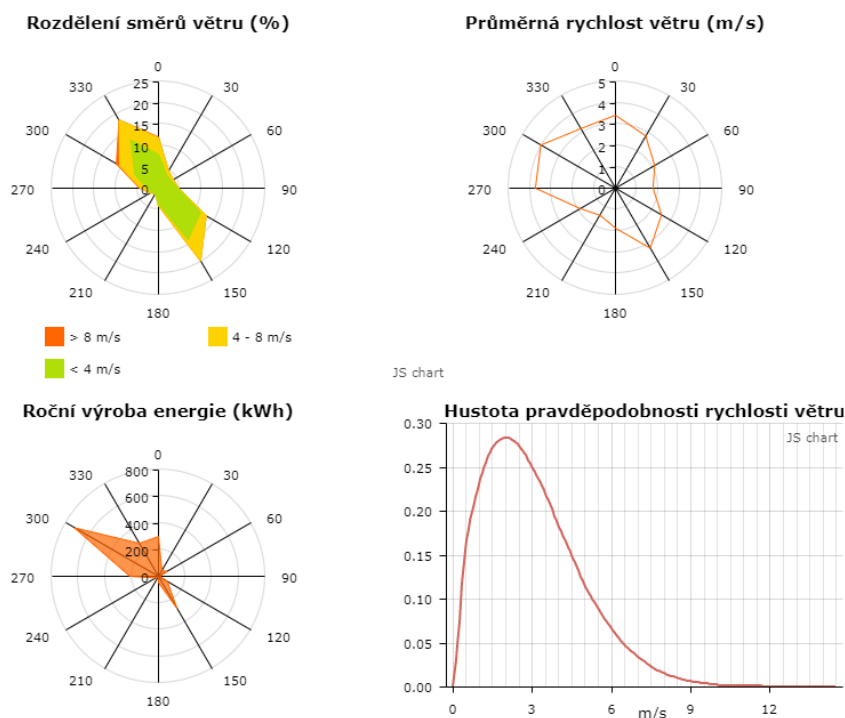
výpočet výsledné energetické výtěžnosti. Poslední data tabulky jsou věnována výrobě energie. Z tabulky lze vyčíst, kolik bylo za rok vyprodukováno energie vlivem jednotlivých směrů větru. Hodnoty jsou udávány absolutně v kWh i relativně v procentech.

zem. šířka: 49°13'27.102"N výška nad zemí (střed rotoru): 10 m
zem. délka: 16°34'37.326"E průměr rotoru: 5 m
maximální výkon: 5000 W

směr větru [°]	relativní četnost				prům. rychlost [m/s]	parametry Weibull		výroba energie	
	vše	0-4 m/s	4-8 m/s	> 8 m/s		A [m/s]	k	roční [kWh]	relativně
0	12.0%	7.89%	3.90%	0.21%	3.42	3.86	1.91	298.1	14.25%
30	4.7%	3.74%	0.96%	0.01%	2.83	3.20	2.06	51.1	2.44%
60	4.0%	3.45%	0.51%	0.05%	2.12	2.24	1.18	72.2	3.45%
90	4.7%	4.53%	0.17%	0.00%	1.76	1.97	1.70	10.6	0.51%
120	12.9%	11.39%	1.51%	0.00%	2.49	2.81	2.17	76.4	3.65%
150	19.7%	13.89%	5.76%	0.05%	3.25	3.67	2.29	278.1	13.30%
180	4.1%	3.67%	0.40%	0.03%	1.87	1.97	1.16	47.4	2.27%
210	1.5%	1.44%	0.06%	0.00%	1.46	1.57	1.24	4.4	0.21%
240	2.2%	1.97%	0.22%	0.01%	1.91	2.03	1.19	24.9	1.19%
270	4.4%	2.65%	1.52%	0.23%	3.75	4.20	1.67	214.1	10.23%
300	11.4%	6.38%	4.15%	0.87%	4.04	4.51	1.65	727.6	34.79%
330	18.5%	13.04%	5.38%	0.08%	3.23	3.65	2.16	286.4	13.69%
celkem	100%	74.04%	24.52%	1.54%	3.03	3.40	1.70	2091.5	100%

Obrázek 3.2 Parametry Weibullový funkce [13]

Pod tabulkou je v nástroji zobrazeno grafické vyjádření hodnot. Graficky je znázorněno v závislosti na směru větru relativní rozdělení rychlostí, průměrné rychlosti a roční výroba energie. Poslední graf představuje hustotu pravděpodobnosti rychlosti větru.



Obrázek 3.3 Hustota pravděpodobnosti rychlosti větru [13]

Metodika nástroje

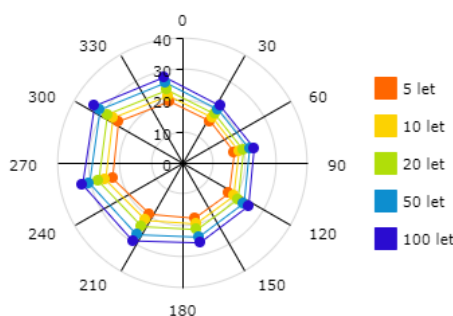
Data, které mapa zobrazuje, vychází z výpočtů mezoměřítkového numerického předpovědního modelu WRF (Weather Research & Forecasting Model) [15]. Výpočtový model s rozlišením zhruba 3 km provozuje ústav informatiky akademie věd pod jménem MEDARD [16]. Data z výpočtového modelu byla optimalizována, aby rozsah výsledných hodnot odpovídal hodnotám skutečným. Do interaktivní mapy byl následně pomocí geostatických metod zohledněn vliv lokálního terénu.

Pro výpočet množství vyprodukované elektrické energie modelovou turbínou byla použita křivka účinnosti malých větrných turbín, které byla odhadnuta na základě rešerše a analýzy širšího okruhu volně stojících větrných turbín. V nástroji je předpokládáno, že výpočet se provádí pro větrnou turbínu s horizontální osou rotace. Do výpočtu nejsou zahrnuty energetické ztráty, které vznikají například při transformaci a přenosu.

3.3 Interaktivní mapa extrémních nárazů větru v ČR

Mapa extrémních nárazových rychlostí větru zobrazuje maximální hodnoty rychlosti větru za určité časové období [17]. Časové období je možné zvolit v boční nabídce nástroje. Na výběr jsou časová období 5, 10, 20, 50 a 100 let. Hodnoty rychlostí větru jsou, podobně jako v případě předchozí interaktivní mapy, reprezentovány barevnou texturou překrývající mapu. Výběrem určitého bodu na mapě se v nástroji zobrazí kontextové okno, v kterém jsou údaje o směrovém rozložení rychlostí větru v jednotlivých časových obdobích. Hodnoty jsou též doplněny o grafické znázornění

směr / doba opakování	5 let	10 let	20 let	50 let	100 let
11.25° - 56.25°	16.10	17.46	18.82	20.62	21.98
56.25° - 101.25°	16.90	18.39	19.88	21.85	23.35
101.25° - 146.25°	17.65	19.37	21.10	23.38	25.11
146.25° - 191.25°	18.00	19.86	21.73	24.20	26.07
191.25° - 236.25°	19.47	21.82	24.18	27.29	29.64
236.25° - 281.25°	23.11	25.38	27.65	30.65	32.92
281.25° - 326.25°	24.64	26.76	28.88	31.69	33.81
326.25° - 11.25°	20.34	22.18	24.03	26.47	28.32
všechny směry	26.75	29.06	31.29	34.18	36.37



Obrázek 3.4 Rychlosti větru [16]

Metodika nástroje

Nástroj obsahuje rychlosti nejvyššího nárazu větru na území České republiky s dobami návratu 5, 10, 20, 50 a 100 let. Nejvyšším nárazem větru je myšlena nejvyšší hodnota zaznamenaná miskovým anemometrem Vaisala WAV 151, případně WAV 251. [17] Nejmenší terénní útvary, jejichž vliv je zachycen na mapě, mají horizontální rozměr přibližně 200 m. Naměřená data o extrémních rychlostech, které mapa využívá, pochází z roku 2020. Výchozí data je možné v nástroji stáhnout ve formátu csv.

Mapa byla vytvořena za použití originální metodiky umožňující odhad extrémních nárazů větru nad zvoleným územím ve vysokém prostorovém rozlišení. K vytvoření mapy bylo využito statistického vztahu uvádějícího do závislosti průměrné a extrémní rychlosti větru. Vztah byl odvozen na základě dlouhodobých staničních měření [18]. Následně byl aplikován na již v minulosti spočítanou mapu průměrných větrných podmínek.

Zhodnocení nástroje

Nástroj je zpracován velice profesionálně. Je pro uživatele přehledný a velice jednoduchý na užívání. Nástroj se věnuje větru v nižších vrstvách atmosféry, což je pro potenciální instalaci malé větrné turbíny, například na budovu, klíčové. V informacích o samotném nástroji je možné dohledat metodiku použitou k vytvoření interaktivních map, což mu dodává na věrohodnosti.

Nevýhodu nástroje vnímám snad jen v absenci vyhledávání na mapě dle adresy. Určitý bod na mapě je nutné najít postupným přibližováním, případně zadáním zeměpisné šířky a délky.

4 Získávání energie tepelným čerpadlem

Tepelné čerpadlo (TČ) odnímá teplo z okolí vytápěného objektu a převádí ho na vyšší teplotní hladinu použitelnou pro vytápění a ohřev teplé vody. Převod tepla na vyšší teplotní hladinu probíhá stlačením par chladiva v kompresoru, při čemž dojde k jeho zahřátí. [19]

4.1 Výpočtový nástroj bilance TČ – T. Matuška

Dalším představeným nástrojem je nástroj na bilanci soustavy s tepelným čerpadlem [20]. Nástroj byl navrhnout T. Matuškou (ČVUT, Ústav techniky prostředí).

Zjednodušená bilance soustavy s tepelným čerpadlem verze 2017/01

Akce: Vypracoval:
Adresa: Datum:
Kontakt:

Příprava teplé vody (TV)		Vytápění (VYT)		Bazén (BV)	
Vypočítat ze zadaných údajů		Vložit měsíční údaje		Vypočítat ze zadaných údajů	
Měsíc	$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]	Měsíc	$Q_{p,VYT}$ [kWh/měs]	Měsíc	$Q_{p,BAZ}$ [kWh/měs]
Led		Led	1950	Led	
Úno		Úno	1682	Úno	
Bře		Bře	1492	Bře	
Dub		Dub	1054	Dub	
Kvě		Kvě	613	Kvě	
Čer		Čer	0	Čer	
Čvc		Čvc	0	Čvc	
Srp		Srp	0	Srp	
Zář		Zář	576	Zář	
Ríj		Ríj	1071	Ríj	
Lis		Lis	1488	Lis	
Pro		Pro	1785	Pro	

Počet osob: 4 os
Potřeba teplé vody: 40 l/os.d
Teplota SV: 10 °C
Teplota TV: 55 °C
Letní snížení potřeby: 25 %
Přirážka na ztráty: 30 %
Centrální zásobníkový ohřev: ☐

Běžný standard: ☐
Teplotná ztráta: 5 kW
Návrhová vnitřní teplota: 20 °C
Návrhová venk. teplota: -12 °C
Teplota přívodní vody: 35 °C
Teplota vratné vody: 30 °C
Přirážka na ztráty: 5 %
Korekční součinitel: 0,75

Vnější zakryvaný: ☐
Plocha bazénu: 10 m²
Provozní doba: 12 h
Teplota vody (den): 28 °C
Teplota vzduchu (den): 30 °C
Teplota vody (noc): 24 °C
Teplota vzduchu (noc): 20 °C
Počet návštěvníků: 100 os/m

Specifikace tepelného čerpadla Vytápění: ☐
Druh: Vzduch-voda Počet: 1 Typ:

Topný výkon Φ [kW]					Topný faktor COP				
$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-7	2	7	15	$t_{v1} \setminus t_{k2}$	-7	2	7	15
35	5,0	6,3	7,8	9,8	35	2,8	3,0	3,5	4,3
45	4,5	6,0	7,3	9,2	45	2,4	2,7	3,0	3,5
55	3,8	5,4	7,0	8,8	55	2,0	2,3	2,8	3,0
60	3,4	4,9	6,8	8,2	60	1,9	2,1	2,7	2,7

Zvýšení teploty TV: 5 K
Zvýšení teploty VYT: 2 K
Otopná tělesa:
Příkon čerpadel TV,BV: 30 W
Příkon čerpadel VYT: 30 W

Výsledky výpočtu PŘEPOČET HODNOT A KONTROLA

Měsíc	t_{em} °C	Q_p MWh	Q_{TC} MWh	Q_{ZZ} MWh	E_{sys} MWh	ϵ_{TC} h	SPF
Led	1,8	1,9	1,9	0,00	0,632	323	3,1
Úno	2,7	1,7	1,7	0,01	0,593	315	2,8
Bře	6,3	1,5	1,5	0,00	0,429	211	3,5
Dub	10,7	1,1	1,1	0,00	0,292	143	3,6
Kvě	16	0,6	0,6	0,00	0,157	76	3,9
Čer	18,6	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Čvc	20,5	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Srp	21,1	0,0	0,0	0,00	0,000	0	-
Zář	17,1	0,6	0,6	0,00	0,141	68	4,1
Ríj	11,7	1,1	1,1	0,00	0,282	137	3,8
Lis	6,4	1,5	1,5	0,00	0,428	211	3,5
Pro	3,6	1,8	1,8	0,00	0,595	308	3,0
Celkem		11,7	11,7	0,0	3,548	1792	3,3

Souhrnné výsledky
Potřeba el. energie: 3,5 MWh/rok
Sezónní topný faktor: 3,3
Pokrytí potřeby tepla TČ: 100 %

Výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0351:2014 Autor: T. Matuška, 2017

Obrázek 4.1 Bilance soustavy s tepelným čerpadlem [20]

Metodika nástroje

Výpočtový nástroj vychází z TNI 73 0351 Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup. Postup využívá intervalovou metodu teplotních intervalů, při které pracuje s četností teplot venkovního vzduchu. Metoda je podrobněji popsána v ČSN EN 15316-4-2. Výpočtový nástroj je vytvořen v prostředí Microsoft Excel. Uživatelské prostředí nástroje je implementováno do jedné interaktivní tabulky.

Zhodnocení nástroje

Velice kladně na výpočtovém nástroji hodnotím, že přímo udává normy, o které se opírá výpočet. Výsledky výpočtového nástroje je tedy možné s určitou jistotou považovat za správné. Uživatelská část nástroje je navržena věcně a přehledně.

5 Vlastní návrh výpočetního nástroje

5.1 Použité prostředí

Svůj vlastní výpočetní nástroj na výtěžnost OZE jsem se po konzultaci s vedoucím mé diplomové práce rozhodl vytvořit v prostředí Microsoft Excel. Pro prostředí MS Excel jsem se rozhodl z důvodu přehledného zpracování výpočtů s tabulkami, na nichž je založena většina výpočtové části programu. K fungování programu postačuje sada aplikací Microsoft Office, kterou disponuje téměř každý běžný počítač. Právě dostupnost uživateli byla dalším důvodem pro volbu prostředí MS Excel. Následujícím důvodem byla otevřenost programu. Uživatel si může přímo během výpočtu zobrazit veličiny použité ve výpočtu a jejich propojení. Případně může uživatel kdykoliv dosadit vlastní veličiny, poupravit metodiku výpočtu, či dosadit aktuálnější údaje.

Program jsem se rozhodl navrhnout pro zjištění výtěžnosti fotovoltaických panelů a fototermických kolektorů a pro energetickou bilanci obydlí počítající s využitím obou zdrojů i tepelného čerpadla.

5.2 Návrh solární části

Údaje pro výpočet energie ze slunečního záření jsem čerpal z knihy Solární tepelná technika, jejíž autorem je Ing. Dr. Jaromír Cihelka [21]. Jedná se vědeckou knihu zabývající se právě tématem výtěžnosti solárních systémů a jejich návrhů, tudíž můžeme očekávat jistou ověřenost uváděných údajů a hodnot. Výpočet účinnosti je pak upřesněn dle platné normy, a to v případě FV panelů i FT kolektorů.

Pro výpočet výtěžnosti fotovoltaických panelů a fototermických kolektorů je nutné znát především kolik energie dopadne ze slunce na FV panel a s jakou účinností ho panel dokáže využít, případně přeměnit na energii elektrickou.

5.2.1 Intenzita slunečního záření

Pro výpočet množství dopadající energie je klíčové znát intenzitu slunečního záření. Sluneční záření je možné rozdělit na záření přímé a záření difúzní. Celkové množství dopadající energie je tedy dáno jejich součtem [21]:

$$I = I_p + I_D \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5.1)$$

5.2.2 Přímé záření

Intenzitu přímého slunečního záření na plochu kolmou ke směru paprsků je možné vyjádřit vztahem [21]:

$$I_{pn} = I_0 \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5.2)$$

- I_0 – Sluneční konstanta
 - $I_0 = 1340 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ až $1390 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ v závislosti na vzdálenosti Země od Slunce a teploty Slunce

- Z – Součinitel znečištění atmosféry
 - $Z = 1,5$ (čisté horské oblasti) až 5 (špinavé průmyslové oblasti)
- ε – Součinitel, který závisí na poloze slunce vůči obzoru a na nadmořské výšce daného místa

Pro průměrnou nadmořskou výšku území našeho státu můžeme hodnotu ε vyjádřit pomocí vztahu [21]:

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \left[\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5} \right]}{2,0015(1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad (5.3)$$

kde h je na výška slunce nad obzorem a H nadmořská výška daného místa

Intenzita přímého slunečního záření na obecně položenou plochu, jejíž poloha je určena azimutem a_s a úhlem sklonu α , je dána vztahem [21]:

$$I_p = I_{pn} \cdot \cos \gamma \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5.4)$$

Kde γ je úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu podle rovnice [21]:

$$\cos \gamma = \sin h \cos \alpha + \cos h \sin \alpha \cos(a - a_s) \quad (5.5)$$

- h – úhel výšky slunce nad obzorem
- α – sklon osluněné plochy
- a – azimut slunce
- a_s – azimut osluněné plochy

Sklon plochy je měřen vůči vodorovné poloze.

Azimut slunce i osluněné plochy je měřen od jihu ve smyslu otáčení hodinových ručiček (záporný směr otáčení) jako kladná hodnota a ve smyslu otáčení proti otáčení hodinových ručiček (kladný směr otáčení) jako záporná hodnota [21].

5.2.3 Difúzní sluneční záření

Difúzním zářením se rozumí takové záření, které se v atmosféře rozptýlí odrazem o molekuly plynů ve vzduchu, částičky prachu, mraky a proniká k povrchu [21]. Na osluněnou plochu také dopadá část přímého záření odraženého od okolních ploch. Toto odražené záření se též připočítává k difúznímu.

Intenzitu difúzního záření lze přibližně vypočítat dle vztahu [21]:

$$I_D = 0,5(1 + \cos \alpha)I_{Dh} + 0,5r(1 - \cos \alpha)(I_{pn} + I_{Dh}) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5.6)$$

- α – sklon osluněné plochy

- r – reflexní schopnost okolních ploch, tzv. albedo
- $r = 0,15$ až $0,25$; nejčastěji $r = 0,20$
- I_{ph} – intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu
- I_{Dh} – intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu

Pro intenzity záření I_{ph} a I_{Dh} , kde h značí úhel výšky slunce nad obzorem, platí vztahy [21]:

$$I_{ph} = I_{pn} \sin h \quad (5.7)$$

$$I_{Dh} = 0,33(I_0 - I_{pn}) \sin h \quad (5.8)$$

5.3 Dopadající energie

5.3.1 Teoreticky možné množství energie

Určit množství dopadající energie na osluněnou jednotkovou plochu za den je možné integrací průběhu funkce udávající denní průběh intenzity celkového záření podle času τ . Vyjádření vzorcem potom vypadá následovně [21]:

$$Q_{S\,den\,teor} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I \, d\tau \quad [\text{W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5.9)$$

Mezními hodnotami τ_1 a τ_2 je určena tzv. teoretická doba slunečního svitu τ_{teor} . S pomocí této hodnoty je možné odvodit střední intenzitu slunečního záření během dne [21]:

$$I_{stř} = \frac{1}{\tau_{teor}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} I \, d\tau = \frac{Q_{S\,den\,teor}}{\tau_{teor}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5.10)$$

Pro potřeby této práce jsem z výše uvedené publikace čerpal z již vypočítaných hodnot teoreticky možného množství dopadající energie $Q_{S\,den\,teor}$. Výpočet všech následujících tabulek byl proveden pro 50° severní šířky, což odpovídá geografické poloze ČR. Při výpočtech bylo uvažována hodnota znečištění $Z = 3$, což odpovídá průměrnému znečištění na venkově, či méně znečištěnému městu. Vypočítány byly hodnoty pro azimutový úhel od jihu 0° , $\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$, $\pm 45^\circ$ s uvažovaným sklonem od vodorovné roviny po svislou s krokem 15° .

		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
		31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
azimut	sklon	Energie za den v měsíci - teoretická (Qs_den_teor) [kWh/m²]											
0° (jih)													
	0°	1,55	2,74	4,93	6,73	8,38	9,16	8,38	6,73	4,93	2,74	1,55	1,09
	15°	2,3	3,75	5,82	7,5	9,12	9,76	9,12	7,5	5,82	3,75	2,3	1,78
	30°	2,96	4,48	6,44	7,98	9,56	9,98	9,56	7,98	6,44	4,48	2,96	2,35
	45°	3,4	4,96	6,7	8,06	9,42	9,64	9,42	8,06	6,7	4,96	3,4	2,7
	60°	3,71	5,26	6,54	7,41	8,09	8,48	8,09	7,41	6,54	5,26	3,71	3
	75°	3,9	5,32	6,24	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,24	5,32	3,9	3,08
	90°	3,96	5	5,56	5,19	4,49	4,31	4,49	5,19	5,56	5	3,96	3,11
+/-15°													
	0°	1,55	2,74	4,93	6,73	8,38	9,16	8,38	6,73	4,93	2,74	1,55	1,09
	15°	1,99	3,41	5,42	7,35	8,75	9,42	8,75	7,35	5,42	3,41	1,99	1,51
	30°	2,7	4,23	6,12	7,61	8,72	9,29	8,72	7,61	6,12	4,23	2,7	2,08
	45°	3,16	4,79	6,42	7,42	8,22	8,55	8,22	7,42	6,42	4,79	3,16	2,7
	60°	3,49	5,06	6,28	6,98	7,16	7,13	7,16	6,98	6,28	5,06	3,49	3,1
	75°	3,68	4,87	5,96	6,23	5,85	5,61	5,85	6,23	5,96	4,87	3,68	3,15
	90°	3,45	4,45	5,34	4,89	4,32	4,31	4,32	4,89	5,34	4,45	3,45	3,01
+/-30°													
	0°	1,55	2,74	4,93	6,73	8,38	9,16	8,38	6,73	4,93	2,74	1,55	1,09
	15°	2,02	3,39	5,32	7,12	8,76	9,42	8,76	7,12	5,32	3,39	2,02	1,41
	30°	2,58	4,08	5,9	7,55	8,65	9,28	8,65	7,55	5,9	4,08	2,58	1,94
	45°	2,9	4,51	6,2	7,33	8,08	8,55	8,08	7,33	6,2	4,51	2,9	2,44
	60°	3,04	4,7	6,1	6,99	7,38	7,52	7,38	6,99	6,1	4,7	3,04	2,63
	75°	3,07	4,53	5,53	6,17	6,15	6,04	6,15	6,17	5,53	4,53	3,07	2,72
	90°	2,98	4,45	4,79	4,9	4,55	4,42	4,55	4,9	4,79	4,45	2,98	2,61
+/-45°													
	0°	1,55	2,74	4,93	6,73	8,38	9,16	8,38	6,73	4,93	2,74	1,55	1,09
	15°	1,69	3,3	5,38	7,26	8,86	9,43	8,86	7,26	5,38	3,3	1,69	1,36
	30°	2,3	3,82	5,67	7,32	8,5	8,93	8,5	7,32	5,67	3,82	2,3	1,85
	45°	2,52	4,15	5,69	7,1	8,08	8,2	8,08	7,1	5,69	4,15	2,52	2,08
	60°	2,59	4,14	5,52	6,58	7,35	7,21	7,35	6,58	5,52	4,14	2,59	2,29
	75°	2,64	3,98	5,22	6,03	6,34	6,15	6,34	6,03	5,22	3,98	2,64	2,35
	90°	2,54	3,57	4,8	4,97	4,95	4,9	4,95	4,97	4,8	3,57	2,54	2,19

Obrázek 5.1 Teoreticky možné množství dopadající energie

Můj výpočtový program je tedy limitován právě těmito polohami. Údaje o úhlu sklonu jsou dle mého názoru dostačující, v případě volby jiného než tabulkového sklonu lze provést aproximaci z okolních hodnot. Rozsah azimutového úhlu v tabulce pokrývá orientaci s největší intenzitou záření $\pm 45^\circ$. Bohužel tak není možné učinit návrh solárního systému, který má panely orientované například na východ a západ, jak je v dnešní době, z důvodu šetření kapacity baterie, trendem. V případě potřeby lze výpočtový program doplnit o potřebné hodnoty a provést výpočet i pro jiné orientace. Pokud by měly být obsaženy všechny možné orientace a sklony se stejnou přesností kroku, Bylo by údajů opravdu velké množství. V takovém případě by bylo vhodné pro přehlednost zvolit jiný styl ovládání programu. Případně je možné do průběhu výpočtu dosadit údaje získané například nástrojem PVGIS.

5.3.2 Skutečné množství energie

Teoreticky možné množství energie $Q_{S\ den\ teor}$ dopadá na osluněnou plochu pouze ve dne, kdy svítí nepřetržitě slunce po celou teoreticky možnou dobu slunečního svitu τ_{teor} . Ve skutečnosti je takový případ spíše poměrně vzácný a ve skutečnosti se střídá jasná obloha s oblohou zataženou mraky. Při jasné obloze působí na osluněnou plochu intenzita celkového záření $I = I_p + I_D$, zatímco v případě zatažené oblohy působí pouze intenzita difúzního záření I_D .

Při výpočtu s dlouhodobými průměry klimatických údajů není obvykle známo časové střídání fází „jasno“ a „zataženo“, ale skutečná doba slunečního svitu τ_{skut} za delší časové období. Pro výpočet lze vyjádřit tzv. poměrnou dobu slunečního svitu [21]:

$$\tilde{\tau} = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}} \quad (5.11)$$

Skutečné množství energie dopadající na osluněnou plochu za den $Q_{S\ den}$ potom můžeme vyjádřit vztahem [21]:

$$Q_{S\ den} = \tilde{\tau} Q_{S\ den\ teor} + (1 - \tilde{\tau}) Q_{D\ den} \quad [W \cdot h \cdot m^{-2}] \quad (5.12)$$

Hodnoty denní energie difúzního záření v různých sklonech osluněné roviny v jednotlivých měsících jsou uvedeny v tabulce:

	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Energie difúzního záření (QD_den) [kWh/m²]												
0°	0,51	0,72	0,98	1,19	1,35	1,39	1,35	1,19	0,98	0,72	0,51	0,42
15°	0,51	0,72	0,98	1,19	1,36	1,4	1,36	1,19	0,98	0,72	0,51	0,42
30°	0,5	0,71	0,98	1,2	1,37	1,41	1,37	1,2	0,98	0,71	0,5	0,41
45°	0,48	0,69	0,97	1,22	1,4	1,45	1,4	1,22	0,97	0,69	0,48	0,4
60°	0,46	0,68	0,97	1,24	1,43	1,51	1,43	1,24	0,97	0,68	0,46	0,38
75°	0,43	0,66	0,97	1,26	1,47	1,56	1,47	1,26	0,97	0,66	0,43	0,35
90°	0,41	0,64	0,96	1,29	1,52	1,62	1,52	1,29	0,96	0,64	0,41	0,33

Obrázek 5.2 Energie difúzního záření

Publikace uvádí poměrnou dobu slunečního svitu pro některá místa ČR a SR:

	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Město	Poměrná doba slunečního svitu (tau')											
Bratislava	0,25	0,35	0,46	0,5	0,56	0,59	0,66	0,66	0,63	0,47	0,25	0,2
Brno	0,18	0,31	0,38	0,39	0,48	0,53	0,56	0,53	0,5	0,37	0,23	0,12
České Budějovice	0,18	0,29	0,37	0,39	0,43	0,46	0,49	0,51	0,48	0,34	0,22	0,15
Hradec Králové	0,18	0,27	0,4	0,44	0,5	0,51	0,52	0,54	0,52	0,37	0,19	0,17
Košice	0,26	0,31	0,42	0,46	0,53	0,54	0,58	0,59	0,57	0,47	0,27	0,23
Lomnický štít (2632 m)	0,48	0,47	0,5	0,42	0,36	0,33	0,37	0,43	0,52	0,6	0,46	0,48
Praha	0,21	0,32	0,42	0,45	0,51	0,54	0,55	0,55	0,53	0,37	0,21	0,14
Sněžka (1602 m)	0,33	0,33	0,37	0,33	0,4	0,38	0,39	0,4	0,4	0,3	0,31	0,28

Obrázek 5.3 Poměrná doba slunečního svitu

Po dosazení všech patřičných hodnot je možné vypočítat skutečné množství energie dopadající na osluněnou plochu za den $Q_{S\ den}$. Po vynásobení jednotlivých hodnot počtem dnů v jednotlivých měsících pak můžeme sestavit tabulku hodnot udávající množství energie dopadající na osluněnou plochu za měsíc $Q_{S\ měsíc}$.

		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
		31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
azimut	sklon	Energie za měsíc - skutečná (Qs_měsíc) [kWh/m²]											
0° (jih)													
	0°	21,6132	38,03015	76,911	100,518	146,4564	165,243	163,8908	127,9122	88,65	45,4894	22,476	15,5124
	15°	25,7982	46,87523	87,3952	109,527	157,6288	174,924	176,8736	140,5633	102	57,0741	27,651	18,0792
	30°	29,2268	53,07328	94,6988	115,326	164,3372	178,563	184,6484	148,5954	111,3	65,2519	31,974	19,9268
	45°	31,1736	56,88703	97,5694	116,628	162,7376	173,721	182,6272	150,2012	115,05	70,3669	34,548	20,956
	60°	32,395	59,31935	95,6846	109,389	143,4308	156,123	159,9476	139,8131	112,65	73,6126	36,225	21,5264
	75°	32,6926	59,45495	92,1506	98,406	119,5236	124,392	131,8492	124,1674	108,15	73,9102	36,843	21,0056
	90°	32,519	56,2627	83,948	84,33	91,3136	91,371	98,6792	104,067	97,8	69,8492	36,795	20,5716
+/-15°													
	0°	21,6132	38,03015	76,911	100,518	146,4564	165,243	163,8908	127,9122	88,65	45,4894	22,476	15,5124
	15°	24,0684	43,89768	82,6832	107,772	152,1232	169,518	170,4504	138,0988	96	53,1743	25,512	17,0748
	30°	27,776	50,8839	90,9292	110,997	151,838	167,592	170,066	142,5163	106,5	62,3844	30,18	18,9224
	45°	29,8344	55,39825	94,271	109,14	144,8816	156,39	161,7952	139,686	110,85	68,417	32,892	20,956
	60°	31,1674	57,56785	92,6218	104,358	129,5924	134,658	143,8028	132,7482	108,75	71,3186	34,707	21,8984
	75°	31,465	55,51408	88,8522	95,949	110,7444	111,195	121,6068	120,7171	103,95	68,7487	35,325	21,266
	90°	29,6732	51,44608	81,3564	80,82	88,784	91,371	95,728	99,138	94,5	63,5407	33,276	20,1996
+/-30°													
	0°	21,6132	38,03015	76,911	100,518	146,4564	165,243	163,8908	127,9122	88,65	45,4894	22,476	15,5124
	15°	24,2358	43,72253	81,5052	105,081	152,272	169,518	170,624	134,3199	94,5	52,9449	25,719	16,7028
	30°	27,1064	49,57028	88,3376	110,295	150,7964	167,433	168,8508	141,5305	103,2	60,6639	29,352	18,4016
	45°	28,3836	52,94615	91,6794	108,087	142,7984	156,39	159,3648	138,2073	107,55	65,2054	31,098	19,9888
	60°	28,6564	54,41515	90,5014	104,475	132,866	140,859	147,622	132,9125	106,05	67,1894	31,602	20,15
	75°	28,0612	52,53653	83,7868	95,247	115,2084	118,032	126,8148	119,7313	97,5	64,8489	31,116	19,6664
	90°	27,0506	51,44608	74,8774	80,937	92,2064	93,12	99,7208	99,3023	86,25	63,5407	30,033	18,7116
+/-45°													
	0°	21,6132	38,03015	76,911	100,518	146,4564	165,243	163,8908	127,9122	88,65	45,4894	22,476	15,5124
	15°	22,3944	42,93435	82,212	106,719	153,76	169,677	172,36	136,6201	95,4	51,9126	23,442	16,5168
	30°	25,544	47,29333	85,6282	107,604	148,5644	161,868	166,2468	137,7516	99,75	57,6817	27,42	18,0668
	45°	26,2632	49,79345	85,6716	105,396	142,7984	150,825	159,3648	134,4284	99,9	61,0762	28,476	18,6496
	60°	26,1454	49,51095	83,669	99,678	132,4196	135,93	147,1012	126,1762	97,35	60,7662	28,497	18,8852
	75°	25,6618	47,7199	80,135	93,609	118,0356	119,781	130,1132	117,4311	92,85	58,5404	28,149	18,29
	90°	24,5954	43,73948	74,9952	81,756	98,1584	100,752	106,6648	100,4524	86,4	53,4471	26,997	17,1492

Obrázek 5.4 Skutečné množství dopadající energie

5.4 Účinnost přeměny energie

5.4.1 Účinnost fotovoltaických panelů – výpočet dle TNI 73 0302

Daný způsob výpočtu účinnosti FV panelu využívá především referenční účinnost modulů η_{ref} a instalovaný špičkový výkon P_{pk} . Pro zohlednění vlivu provozních podmínek je nutné znát i další parametry specifikované výrobcem. Parametry potřebné k výpočtu jsou: teplotní výkonový součinitel γ , jmenovitá provozní teplota článku $NOCT$ a pokles účinnosti s poklesem slunečního ozáření $\Delta\eta_G$.

Orientační hodnoty těchto parametrů FV modulů jednotlivých technologií udává tabulka:

Účinnost panelů - parametry					
Typ FV modulu	η_{ref} [%]	γ [%/K]	NOCT [°C]	$\Delta\eta_G$ [%]	
HIT technologie	19	-0,3	44	-0,9	
Monokrystalický křemík (mono)	15,9	-0,44	44,7	-4	
Polykrystalický křemík (poly)	14,8	-0,46	45	-6,6	
Tenkovrstvý amorfni křemík (amo)	8,5	-0,24	46	-2,6	
Tenkovrstvý CIGS	12,6	-0,38	51	-4	
Tenkovrstvý CIS	7,6	-0,35	47	-2	

Obrázek 5.5 Parametry FV modulů

Závislost účinnosti FV článků na teplotě lze vyjádřit vztahem [22]:

$$\eta_{FV,t} = \eta_{ref} \left(1 + \frac{\gamma}{100} (t_{FV} - t_{ref}) \right) \quad (5.13)$$

- η_{ref} – referenční účinnost [%] při normových zkušebních podmínkách (1000 W/m², 25 °C)
- t_{FV} – teplota fotovoltaického článku [°C]
- t_{ref} – referenční teplota článku 25 °C
- γ – teplotní součinitel výkonu [%/K] pro daný modul
 - procentní snížení výkonu modulu vztažené na 1 K zvýšení teploty oproti referenční teplotě článku
 - hodnota součinitele γ je záporná

Teplotu FV článku v provozu je možné zjistit s využitím tzv. jmenovité provozní teploty článku *NOCT*. Hodnotu *NOCT* udává výrobce pro přesně definované podmínky: intenzita slunečního záření $I = 800$ W/m², teplota okolního vzduchu $t_e = 20$ °C, rychlost větru 1 m/s a stav bez odběru elektrické energie z FV článku (otevřený obvod). Tyto provozní podmínky jsou odlišné od podmínek normových zkušebních.

Energetickou bilanci FV článku je možné popsat rovnicí [22]:

$$\alpha \cdot I = \frac{\eta_{FV} \cdot I}{100} + U(t_{FV} - t_e) \quad (5.14)$$

- α – pohltivost FV modulu
 - Dále ve výpočtech bude uvažována hodnota pohltivosti 0,95 (odrazivost 5 %)
- η_{FV} – elektrická účinnost FV modulu [%]
- I – intenzita slunečního záření [W/m²]
- U – celkový součinitel tepelné ztráty z FV článku do okolí [W/m²K] vyjadřující celkový tepelný tok z FV článku krycími vrstvami (laminační vrstva a sklo na přední straně,

laminační vrstva a krycí elektroizolační vrstvy na zadní straně) a přestupem tepla z předního a zadního povrchu do okolí

- t_{FV} – teplota FV článku [°C]
- t_e – teplota okolního vzduchu [°C]

Elektrická účinnost FV panelu je dána vztahem [22]:

$$\eta_{FV} = \frac{\eta_{FV,t} \cdot \eta_{FV,G}}{\eta_{ref}} = \frac{\eta_{ref} \cdot k_{FV,t} \cdot \eta_{ref} \cdot k_{FV,G}}{\eta_{ref}} = \eta_{ref} \cdot k_{FV,t} \cdot k_{FV,G} \quad (5.15)$$

- $k_{FV,t}$ – korekční součinitel na teplotu panelu
- $k_{FV,G}$ – korekční součinitel na ozáření panelu
- $\eta_{FV,t}$ – účinnost korigovaná na teplotu panelu [%]
- $\eta_{FV,G}$ – účinnost korigovaná na ozáření panelu [%]

Korekce účinnosti FV panelů na teplotu

Korekční součinitel na teplotu panelu $k_{FV,t}$ můžeme vypočítat dle vztahu [22]:

$$k_{FV,t} = 1 + \frac{\gamma}{100} \left(\frac{I_{stř}}{I_{800}} \left(1 - \frac{\eta_{FV}}{100 \cdot \alpha} \right) (NOCT - 20) + t_{e,s} - t_{ref} \right) \quad (5.16)$$

- $I_{stř}$ – střední intenzita slunečního záření [W/m²]
- I_{800} – testovací hodnota intenzity slunečního záření 800 W/m²
- $NOCT$ – jmenovitá provozní teplota článku [°C]
- $t_{e,s}$ – střední denní teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu [°C]
- t_{ref} – referenční teplota článku 25 °C

Střední měsíční hodnoty teplot v době slunečního svitu $t_v (=t_{e,s})$ v jednotlivých místech jsou uvedeny v tabulce:

	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Město	Střední teplota v době slunečního svitu (tv) [°C]											
Bratislava	2,1	3,6	8,5	13,4	18,5	21,6	23,5	23,6	20,5	14,7	8,5	4,2
Brno	1,7	2,8	7	12	17,2	20,2	22,1	21,8	18,5	13,1	7,7	3,5
České Budějovice	1,7	2,4	6,2	10,7	15,8	18,6	20,8	20,6	17,4	12,1	6,9	3,3
Hradec Králové	1,6	2,4	6	10,7	15,9	18,9	20,7	20,8	18	12,7	7,2	3,3
Košice	0,1	1,7	6,6	12,1	16,3	20,5	22,4	22,2	18,7	13,1	7,5	2,8
Lomnický štít (2632 m)	-6,9	-7,5	-5,8	-2,2	2,4	5,1	7,1	8	5,7	2,3	-2,6	-5,5
Praha	2,2	3,4	6,5	12,1	16,6	20,6	22,5	22,6	19,4	13,8	7,3	3,5
Sněžka (1602 m)	-3,5	-3,6	-1,7	1,7	6,6	9,6	11,6	11,9	9,7	5,5	0,9	-2

Obrázek 5.6 Střední teplota v době slunečního svitu

Korekce účinnosti FV panelů na ozáření

Korekční součinitel na ozáření panelu $k_{FV,G}$ můžeme vypočítat dle vztahu [22]:

$$k_{FV,G} = 1 + k \cdot \ln\left(\frac{I_{stř}}{I_{ref}}\right) \quad (5.17)$$

- I_{ref} – referenční hodnota intenzity slunečního záření 1000 W/m².
- k – výpočtový součinitel pro daný model FV panelu

Součinitel k lze vypočítat za použití vztahu [22]:

$$k = \frac{\Delta\eta_G}{\ln\left(\frac{I_{200}}{I_{ref}}\right)} \quad (5.18)$$

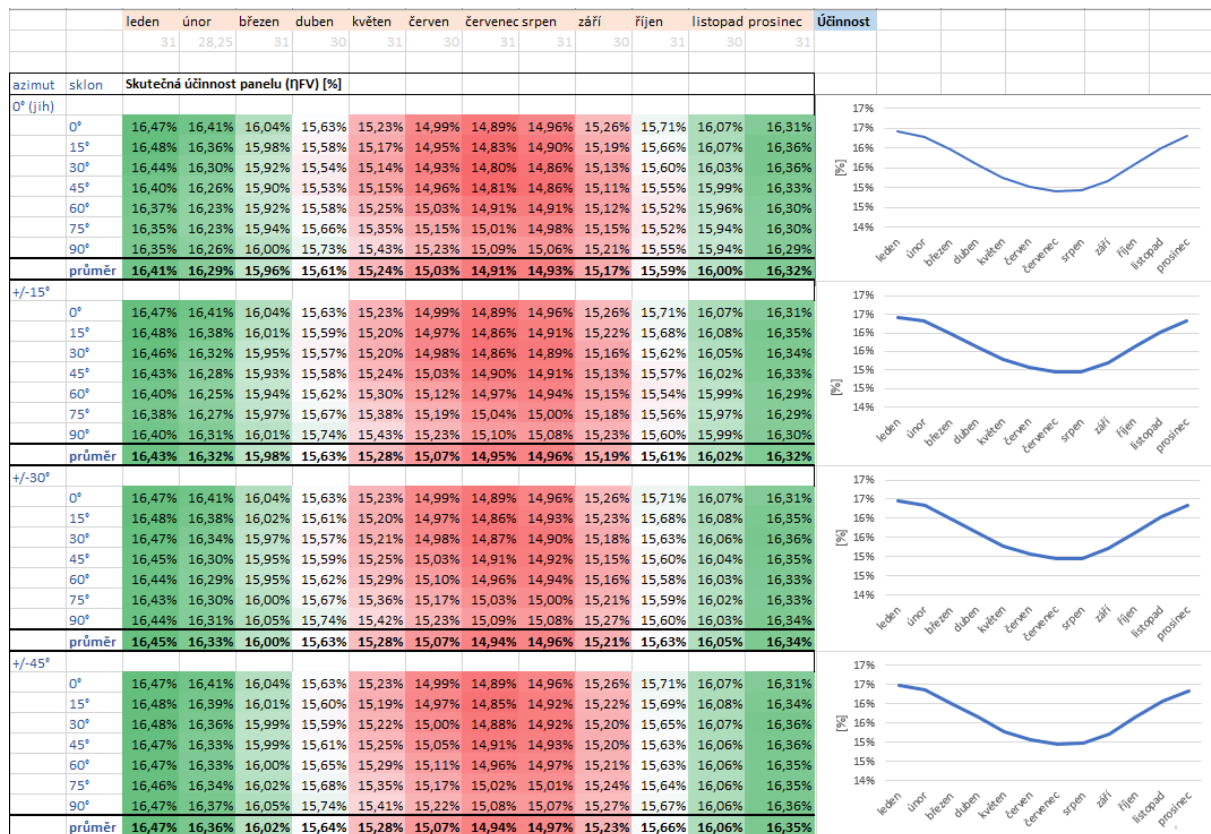
- $\Delta\eta_G$ – pokles účinnosti s poklesem slunečního ozáření
- I_{200} – testovací intenzita slunečního záření pro stanovení poklesu 200 W/m²

Výsledná účinnost FV panelu

Po dosazení korekčních součinitelů do vztahu $\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot k_{FV,t} \cdot k_{FV,G}$ (5.19) dostaneme výsledný vztah vyjadřující celkovou účinnost FV panelů [22]:

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \left(1 + \frac{\gamma}{100} \left(\frac{I_{stř}}{I_{800}} \left(1 - \frac{\eta_{FV}}{100 \cdot \alpha} \right) (NOCT - t_e) + t_{e,s} - t_{ref} \right) \right) \cdot \left(1 + \frac{\Delta\eta_G}{\ln\left(\frac{I_{200}}{I_{ref}}\right)} \cdot \ln\left(\frac{I_{stř}}{I_{ref}}\right) \right) \quad (5.20)$$

Celkovou účinnost η_{FV} v jednotlivých orientacích FV panelu pro Brno nám udává tabulka s grafy. Pro modelový příklad byl použit monokrystalický panel (mono) panel u kterého je udávána referenční účinnost 15,9 %.



Obrázek 5.7 Skutečná účinnost FV panelů

5.4.2 Produkce elektrické energie

Měsíční produkci elektrické energie FV systémem $E_{FV,sys}$ [kWh/měs] lze následně při znalosti hodnoty dopadající energie $Q_{S\text{měsíc}}$ a předpokládaných ztrát p stanovit dle vztahu [22]:

$$E_{FV,sys} = 0,9 \cdot \frac{\eta_{FV}}{100} \cdot Q_{S\text{měsíc}} \cdot A_{FV} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) \quad (5.21)$$

- A_{FV} – osluněná plocha fotovoltaických panelů

Ve výpočtu jsou uvažovány ztráty na DC vedení 2 %, ztráty na měniči a sledovači výkonového maxima okolo 5 % a ztráty na AC vedení cca 1 %. Optické ztráty vlivem nekolmého úhlu dopadu slunečního záření během roku na FV moduly jsou v rovnici zohledněny konstantou 0,9.

5.4.3 Účinnost fototermických kolektorů – výpočet dle ČSN EN 12975

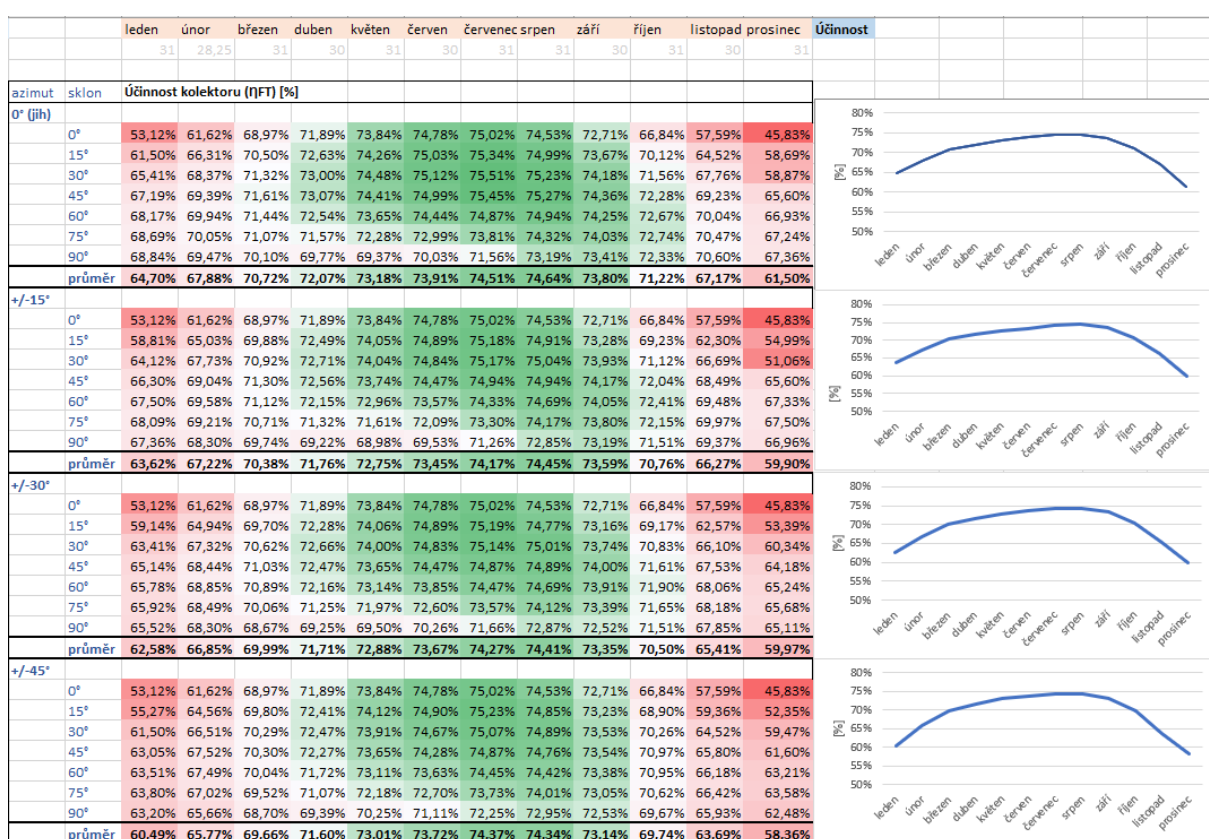
Účinnost solárního kolektoru je závislá na venkovních klimatických podmínkách a provozních podmínkách. Závislost na intenzitě slunečního záření I , venkovní teplotě t_e a střední teplotě teplosné kapaliny t_m můžeme v souladu s ČSN EN 12975 vyjádřit vztahem [23]:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_e}{I} - a_2 \frac{(t_m - t_e)^2}{I} \quad (5.22)$$

- η_0 – optická účinnost solárního kolektoru (účinnost při referenčních podmínkách)
- t_e – venkovní teplota
- t_m – střední teplota teplosné kapaliny

- I – intenzita slunečního záření
- a_1 – lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$]
- a_2 – kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru (vyjadřuje teplotní závislost) [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{K}^2)$]

Celkovou účinnost η_{FT} v jednotlivých orientacích FT kolektoru pro Brno nám udává tabulka s grafy. Pro modelový příklad byl použit kolektor s optickou účinností η_0 79 %, Lineárním součinitelem tepelných ztrát a_1 1,117 a kvadratickým součinitelem tepelných ztrát a_2 0,004. Hodnota střední teploty teploносné kapaliny t_m , která ve výpočtu odpovídá návrhové teplotě kapaliny byla stanovena na 40 °C.



Obrázek 5.8 Skutečná účinnost FT kolektorů

5.4.4 Výtěžnost tepelné energie

Měsíční tepelné energetické zisky FT systémem $E_{FT,sys}$ [$\text{kWh}/\text{měs}$] lze následně při znalosti hodnoty dopadající energie a předpokládaných ztrát stanovit dle vztahu [23]:

$$E_{FT,sys} = 0,9 \cdot \frac{\eta_{FT}}{100} \cdot Q_{S_měsíc} \cdot A_{FT} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) \quad (5.23)$$

- A_{FT} – osluněná plocha fototermických kolektorů

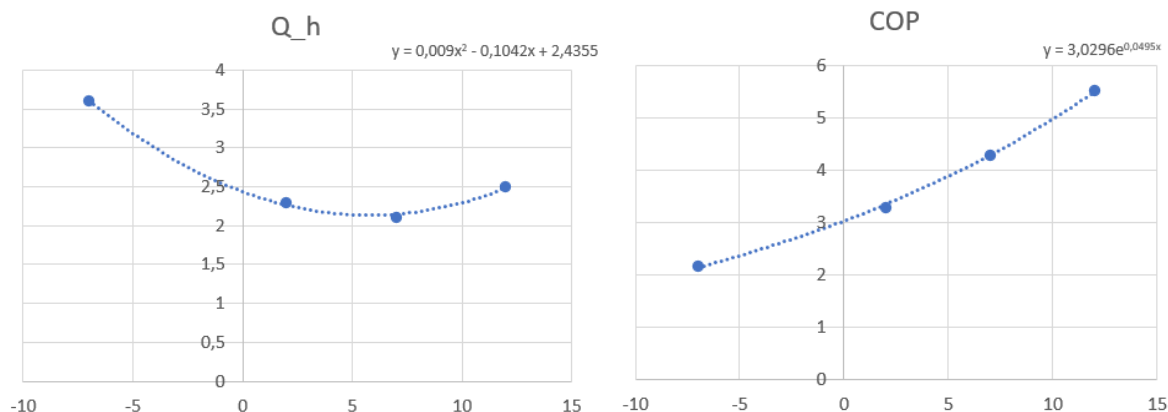
Ve výpočtu jsou uvažovány ztráty v obvodě 10 %. Optické ztráty vlivem nekolmého úhlu dopadu slunečního záření během roku na FT kolektory jsou v rovnici zohledněny konstantou 0,9.

5.5 Návrh tepelného čerpadla

Pro výpočet výtěžnosti energie tepelným čerpadlem je nutné znát údaje o tepelném výkonu Q_h a topném faktoru COP daného tepelného čerpadla. Hodnoty těchto veličin se uvádí při čtyřech hodnotách testovacích teplot t_j . Údaje jsou uvedeny výrobcem v datasheetu TČ.

Pro stanovení hodnot tepelného výkonu Q_h a topného faktoru COP a mimo testovací teploty t_j je možné s určitou přesností stanovit graficky proložením daných bodů křivkou nebo počteně pomocí lineární regrese stanovit předpis funkce této křivky. Ve výpočtovém programu byly hodnoty tepelného výkonu Q_h proloženy polynomicou křivkou druhého stupně a hodnoty topného faktoru COP exponenciální křivkou.

Příklad parametrů tepelného čerpadla, včetně proložení hodnot tepelného výkonu Q_h a topného faktoru COP křivkami včetně jejich předpisů zobrazují diagramy:



Obrázek 5.9 Křivky tepelného výkonu a topného faktoru

Vzorové hodnoty parametrů čerpadla, z kterých byly sestrojeny diagramy, popisuje tabulka:

Parametry tepelného čerpadla			
T_j	$\searrow$	Q_h	$\searrow$ COP
-7		3,6	2,16
2		2,3	3,29
7		2,1	4,29
12		2,5	5,53

Obrázek 5.10 Parametry TČ

5.5.1 Energie tepelného čerpadla – výpočet dle TIN 73 0351

Návrh TČ je proveden na základě celkové potřeby tepelné energie, která není pokryta energií získanou z FT kolektorů a FV panelů. Výpočtu potřeby energie se blíže věnuje část energetické bilance, která bude popsána v následující kapitole.

Výpočet energetických zisků je proveden dle normy TIN 73 0351 následovně [24]:

$$Q_{p,VYP,j} = Q_{p,VYT} \frac{DH_j}{DH} = Q_{p,VYT} \frac{\tau_j \cdot (t_i - t_{em,j})}{\sum_j \tau_j \cdot (t_i - t_{em,j})} = Q_{p,VYT} \cdot f_{VYT,j} \quad [\text{kWh}] \quad (5.24)$$

- $Q_{p,VYT}$ – celková potřeba tepla na vytápění [kWh]

- DH_j – počet hodinostupňů výpočtového teplotního intervalu j [kh]
- DH – počet hodinostupňů za otopné období [kh]
- τ – doba trvání výpočtového teplotního intervalu j [h]
- $t_{em,j}$ – střední teplota v intervalu j [°C]
- $f_{VYT,j}$ – podíl z celkové potřeby tepla na vytápění ve výpočtovém intervalu j

Pro výpočtové účely programu bylo uvažováno TČ pouze v jednom režimu (režimu vytápění) a bilance potřeby tepla na přípravu teplé vody je následně provedena (zároveň s ostatními zdroji energie) v energetické bilanci. Výpočtový interval je tudíž vyhrazen pouze provozu tohoto režimu a platí [24]:

$$\tau_{k,VYT,j} = \tau_j \quad [\text{h}] \quad (5.25)$$

Dostupné teplo z TČ pro vytápění $Q_{k,VYT,j}$ za dobu trvání teplotního intervalu j se po-té stanoví ze vztahu [24]:

$$Q_{k,VYT,j} = Q_{k,VYT,j} \cdot \tau_{k,VYT,j} \quad [\text{kWh}] \quad (5.26)$$

Teplo dodané TČ $Q_{TC,VYT,j}$ pro krytí potřeby tepla na vytápění je minimální hodnotou z dostupného tepla $Q_{k,VYT,j}$ a potřeby tepla na vytápění $Q_{p,VYT,j}$ v teplotním intervalu j [24].

$$Q_{TC,VYT,j} = \min(Q_{k,VYT,j}; Q_{p,VYT,j}) \quad [\text{kWh}] \quad (5.27)$$

Doba provozu TČ $\tau_{TC,VYT,j}$ v teplotním intervalu j v režimu vytápění se stanoví ze vztahu [24]:

$$\tau_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{Q_{k,VYT,j}} \quad [\text{h}] \quad (5.28)$$

Potřeba elektrické energie $E_{TC,VYT,j}$ pro pohon TČ v režimu vytápění v teplotním intervalu j se určí ze vztahu [24]:

$$E_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{COP_{VYT,j}} \quad [\text{kWh}] \quad (5.29)$$

Potřeba pomocné elektrické energie $E_{pom,VYT,j}$ soustavy s TČ v režimu vytápění se určí ze vztahu [24]:

$$E_{pom,VYT,j} = P_{pom,VYT} \cdot \tau_{TC,VYT,j} \quad [\text{kWh}] \quad (5.30)$$

- $P_{pom,VYT}$ – elektrický příkon pomocných zařízení pracujících v režimu vytápění v jejich pracovním bodě [kW]
- $\tau_{TC,VYT,j}$ – doba provozu tepelného čerpadla v teplotním intervalu j v režimu vytápění [h]

V případě, že v teplotním intervalu j je dostupné teplo z tepelného čerpadla v režimu vytápění nižší než potřeba tepla na vytápění, je nutné zbývající potřebu tepla $Q_{d,vyt,j}$ pokrývat energií z doplňkového (záložního) zdroje.

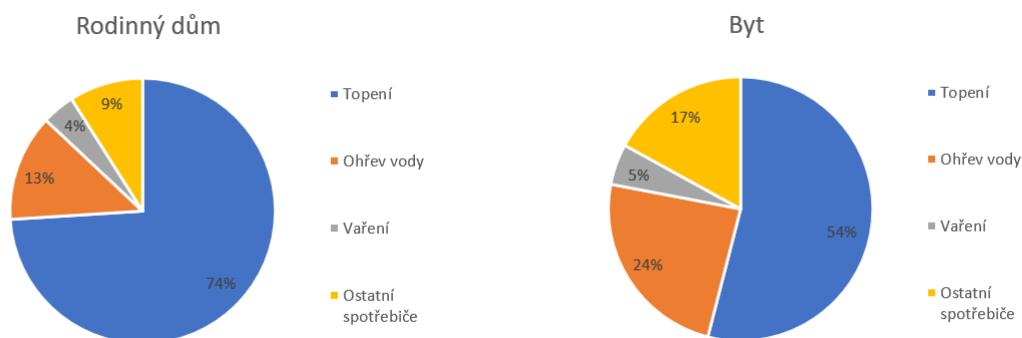
Příklad výpočtové části TČ pro měsíc leden v programu zobrazuje tabulka:

		Parametry počasí					Spotřeba	Parametry čerpadla			Postup						
Měsíc		t _{ed,j}	t _{eh,j}	t _{em,j}	tau _j	f _{vyt,j}		Q _{p,vyt,j}	Q _{h,výkon}	COP- topný faktor	tau _{k,vyt,j}	Q _{k,vyt,j}	Q _{tc,vyt,j}	tau _{tc,vyt,j}	E _{tc,vyt,j}	Q _{d,vyt,j}	
Leden																	
		-13	-12	-12,5	1	0,002177	2015,945	4,3883592	5,14702071	1,630823763	1	5,1470207	4,3883592	0,852601809	0,5228044		
		-12	-11	-11,5	6	0,012659	2015,945	25,519996	4,82644428	1,713664668	6	28,958666	25,519996	5,28753569	3,0855136		
		-11	-10	-10,5	3	0,006129	2015,945	12,354919	4,52389518	1,80071364	3	13,571686	12,354919	2,731035624	1,5166407		
		-10	-9	-9,5	1	0,001976	2015,945	3,9832799	4,2393734	1,892184437	1	4,2393734	3,9832799	0,939591653	0,4965645		
Teplota uvnitř		-9	-8	-8,5	5	0,009545	2015,945	19,241267	3,97287895	1,988301672	5	19,864395	19,241267	4,843154638	2,4358249		
	t _i	-8	-7	-7,5	11	0,020261	2015,945	40,845497	3,72441183	2,089301372	11	40,96853	40,845497	10,96696572	5,2491066		
	20	-7	-6	-6,5	25	0,044374	2015,945	89,455014	3,49397203	2,195431551	25	87,349301	87,349301	25	11,387283	2,10571	
		-6	-5	-5,5	24	0,040991	2015,945	82,636179	3,28155956	2,306952821	24	78,75743	78,75743	24	10,403334	3,878749	
		-5	-4	-4,5	51	0,083691	2015,945	168,71553	3,08717442	2,424139033	51	157,4459	157,4459	51	21,038397	11,26963	
		-4	-3	-3,5	41	0,064534	2015,945	130,09797	2,91081661	2,54727795	41	119,34348	119,34348	41	16,095613	10,7544	
		-3	-2	-2,5	67	0,100971	2015,945	203,55235	2,75248612	2,676671951	67	184,41657	184,41657	67	25,031084	19,13578	
		-2	-1	-1,5	53	0,076323	2015,945	153,86262	2,61218296	2,812638775	53	138,4457	138,4457	53	18,843515	15,41692	
		-1	0	-0,5	65	0,08925	2015,945	179,92273	2,48990713	2,955512302	65	161,84396	161,84396	65	21,992803	18,07876	
		0	1	0,5	67	0,087508	2015,945	176,41204	2,38565863	3,105643371	67	159,83913	159,83913	67	21,57363	16,57291	
		1	2	1,5	61	0,075586	2015,945	152,37733	2,29943745	3,263400643	61	140,26568	140,26568	61	18,692158	12,11164	
		2	3	2,5	95	0,111353	2015,945	224,48145	2,2312436	3,429171506	95	211,96814	211,96814	95	27,703485	12,51330	
		3	4	3,5	79	0,087307	2015,945	176,00696	2,18107707	3,603363028	79	172,30509	172,30509	79	21,923964	3,701870	
		4	5	4,5	30	0,031145	2015,945	62,787293	2,14893787	3,78640295	30	64,468136	62,787293	29,21782591	7,7165126		
		5	6	5,5	35	0,033992	2015,945	68,525916	2,134826	3,978740746	35	74,71891	68,525916	32,09906386	8,067644		
		6	7	6,5	14	0,012659	2015,945	25,519996	2,13874146	4,180848719	14	29,94238	25,519996	11,93224934	2,8540256		
		7	8	7,5	2	0,001674	2015,945	3,3756609	2,16068424	4,393223165	2	4,3213685	3,3756609	1,562311062	0,3556184		
		8	9	8,5	4	0,003081	2015,945	6,2112161	2,20065436	4,616385589	4	8,8026174	6,2112161	2,822440532	0,6113962		
		9	10	9,5	4	0,002813	2015,945	5,6711103	2,25865179	4,850883988	4	9,0346072	5,6711103	2,510838689	0,5176044		
		kontrola				744	1										
		pomocný údaj pro vyp. f _{vyt}				14930											
Vyhodnocení měsíce																	
Q _{tc_mes_X}		1890,405															
E _{tc_mes_X}		248,1145															
Q _{d_mes_x}		125,5398															
tau _{tc_mes x}		733,7656															

Obrázek 5.11 Výpočet TČ pro leden

5.6 Energetická bilance

Část programu energetické bilance se zabývá návrhem pokrytí energetických potřeb nemovitosti energií získanou FT kolektory, FV panely a TČ. Pro návrh bilance je třeba znát celkovou roční spotřebu energie. Do programu je možné zadat i spotřebu plynu v m³, která se následně přepočítá na kWh. Dále se zvolí, zdali bude návrh prováděn pro rodinný dům, nebo byt. Volba nemovitosti ovlivňuje rozložení využití energie. Porovnání rozložení energetické spotřeby pro rodinný dům a byt vykreslují diagramy:



Obrázek 5.12 Rozložení energetických potřeb

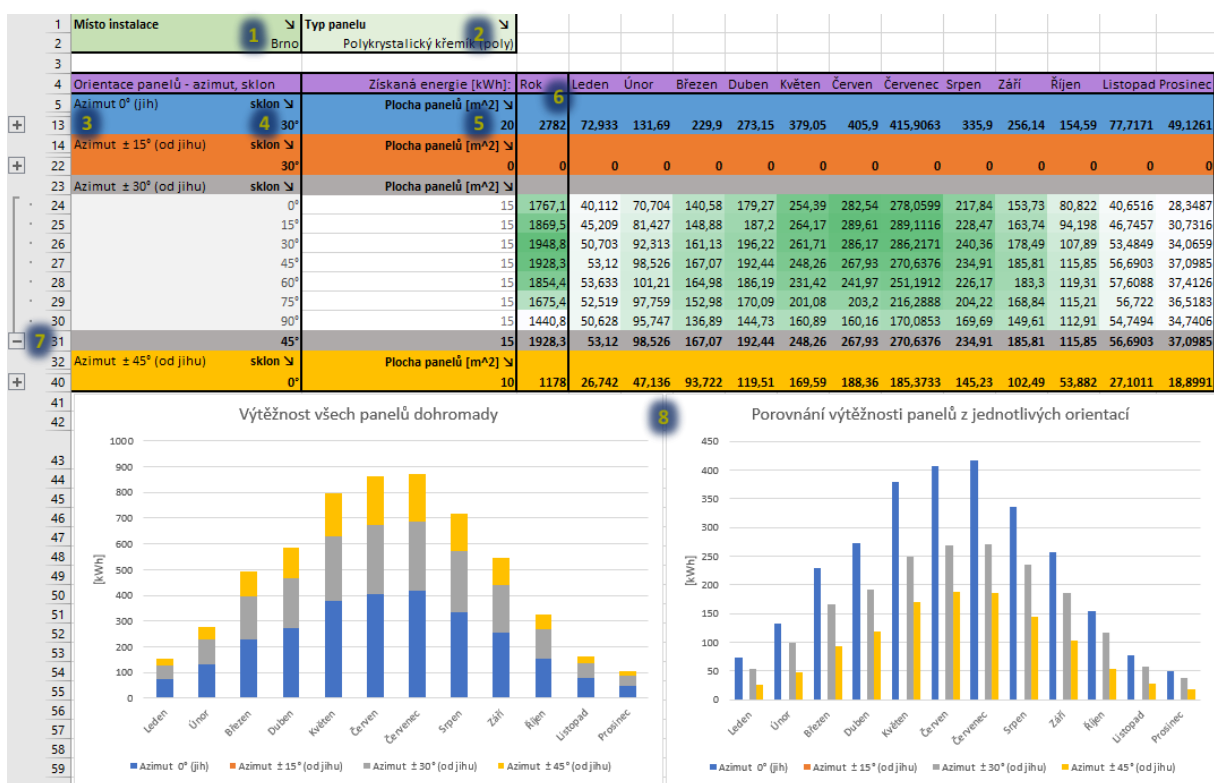
Blížší fungování programové části energetické bilance je popsáno v instrukcích k použití tohoto programu.

5.7 Instrukce k použití programu

Součástí přílohy práce je i předvyplněný nástroj údají modelového příkladu nemovitosti, které využívá FV panely, FT kolektory i TČ. K popisu funkčnosti nástroje bude použit právě tento soubor.

Po spuštění programu se výpočtový nástroj otevře na kartě „Energetická bilance“. Energetická bilance se zabývá až celkovým rozložením energetických potřeb a jejich pokrytím energetickými zisky z jednotlivých technologií, proto je zapotřebí nejdříve upravit údaje o technologiích, které hodláme využívat.

5.7.1 Fotovoltaické panely



Obrázek 5.13 Návrh systému s FV panely

1 – Místo instalace

Volbou místa instalace FVE je ovlivněna poměrná doba slunečního svitu τ a střední teplota v době slunečního svitu t_v . Tyto veličiny mají vliv na výslednou účinnost a energetickou výtěžnost. Výpočtový nástroj obsahuje údaje k několika místem v ČR a SK.

2 – Typ panelu

Výběrem použité technologie panelu se změní účinnostní parametry panelu potřebné k výpočtu průběhu účinnosti. Program umí počítat se všemi momentálně běžně používanými technologiemi FV panelů.

3 – Azimut

Azimut je v nástroji volen výběrem barevně označeného řádku. Výpočetní nástroj obsahuje údaje pro celkem čtyři hodnoty azimutu (0° - jih, $\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$ a $\pm 45^\circ$). V případě potřeby pokrytí jiné orientace je třeba program doplnit o další údaje, případně zadat ručně do výpočtu hodnoty dopadající energie.

4 – Sklon panelu

V daném řádku, který odpovídá našemu vybranému azimutu, zvolíme sklon panelů vůči horizontální rovině. Nástroj pokrývá sklon panelů od horizontální polohy po vertikální s krokem 15° .

5 – Plocha panelů

K vybranému azimutu a sklonu panelů napíšeme, kolik m^2 panelů v dané orientaci hodláme mít. Při návrhu panelů v různých azimutech současně se výsledná získaná energie pro energetickou bilanci sčítá.

6 – Získaná energie

Na odpovídajícím řádku je vyčíslena hodnota získané energie v kWh za rok a následně postupně pro všechny měsíce.

7 – Zobrazit/Skrýt ostatní sklony

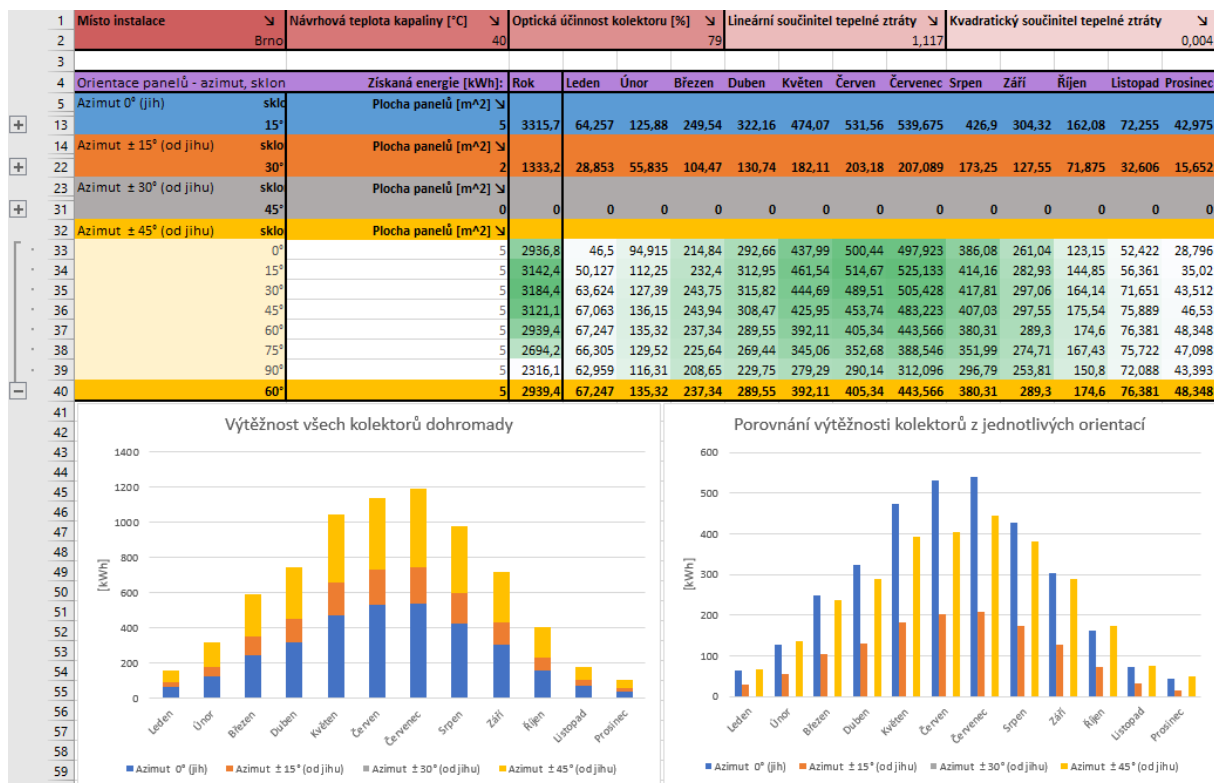
Stisknutím tlačítka „+“, resp. „-“, lze zobrazit, resp. skrýt, informace o hodnotách ostatních sklonů panelů v dané orientaci. Hodnoty jsou kvůli vyšší přehlednosti a snadnější případné volbě sklonu barevně rozlišeny pomocí podmíněného formátování. S barevnou sytostí roste i množství získané energie. Seskupení musí být též zobrazeno pro správné vykreslování grafu průběhu účinnosti, který se nachází na konci listu výpočtového nástroje (směr doprava).

V nástroji je možné na řádku (směrem doprava) sledovat postupně celý výpočet a případně upravit žádané hodnoty.

8 – Diagramy výtěžnosti

Pod aktivní tabulkou nástroje jsou dva diagramy výtěžnosti. První popisuje, kolik energie vyprodukují panely ze všech azimutů dohromady, druhý popisuje jejich porovnání.

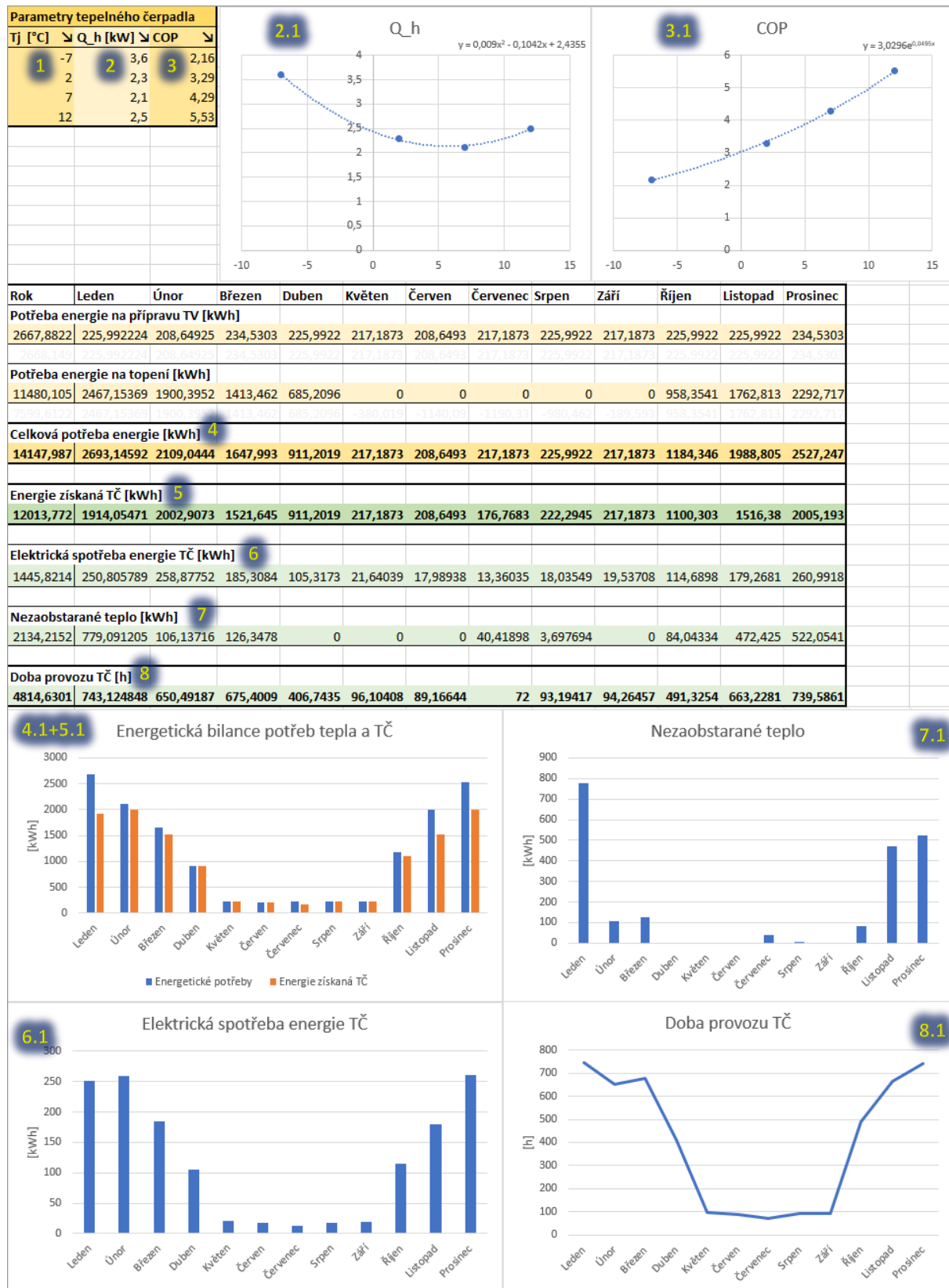
5.7.2 Fototermické kolektory



Obrázek 5.14 Návrh systému s FT kolektory

Část výpočtového programu řešící fototermické kolektory je ovládáním téměř identická s částí fotovoltaickou. Rozdíl spočívá ve volbě návrhové teploty teplotnosné kapaliny a přímé volbě účinnostních parametrů. K výpočtu je třeba zadat hodnotu optické účinnosti, dále lineární a kvadratický součinitel tepelných ztrát. Tyto údaje poskytuje výrobce daného FT kolektoru.

5.7.3 Tepelné čerpadlo



Obrázek 5.15 Návrh systému s TČ

1 – Testovací teploty

Hodnoty testovacích teplot tvoří x-ové souřadnice pro sestrojení grafu průběhu funkce tepelného výkonu a topného faktoru TČ.

2 – Tepelný výkon TČ

Hodnotu tepelného výkonu zadáváme ve čtyřech testovacích teplotách.

3 – Topný faktor TČ

Hodnotu topného faktoru neboli poměru topného výkonu k příkonu, zadáváme též ve čtyřech testovacích teplotách.

4 – Údaje o energetických potřebách

Hodnoty energetických potřeb, na které je prováděn návrh TČ, jsou čerpány z karty energetické bilance. Návrh vychází z potřeb tepelné energie, které nebyly pokryty FT kolektory a FV panely. V případě požadavku jiných hodnot je možné přespat funkční cyklus celkové potřeby energie na námi požadované hodnoty.

6 – Elektrická spotřeba energie TČ

Spotřeba elektrické energie, kterou potřebuje TČ ke svému provozu.

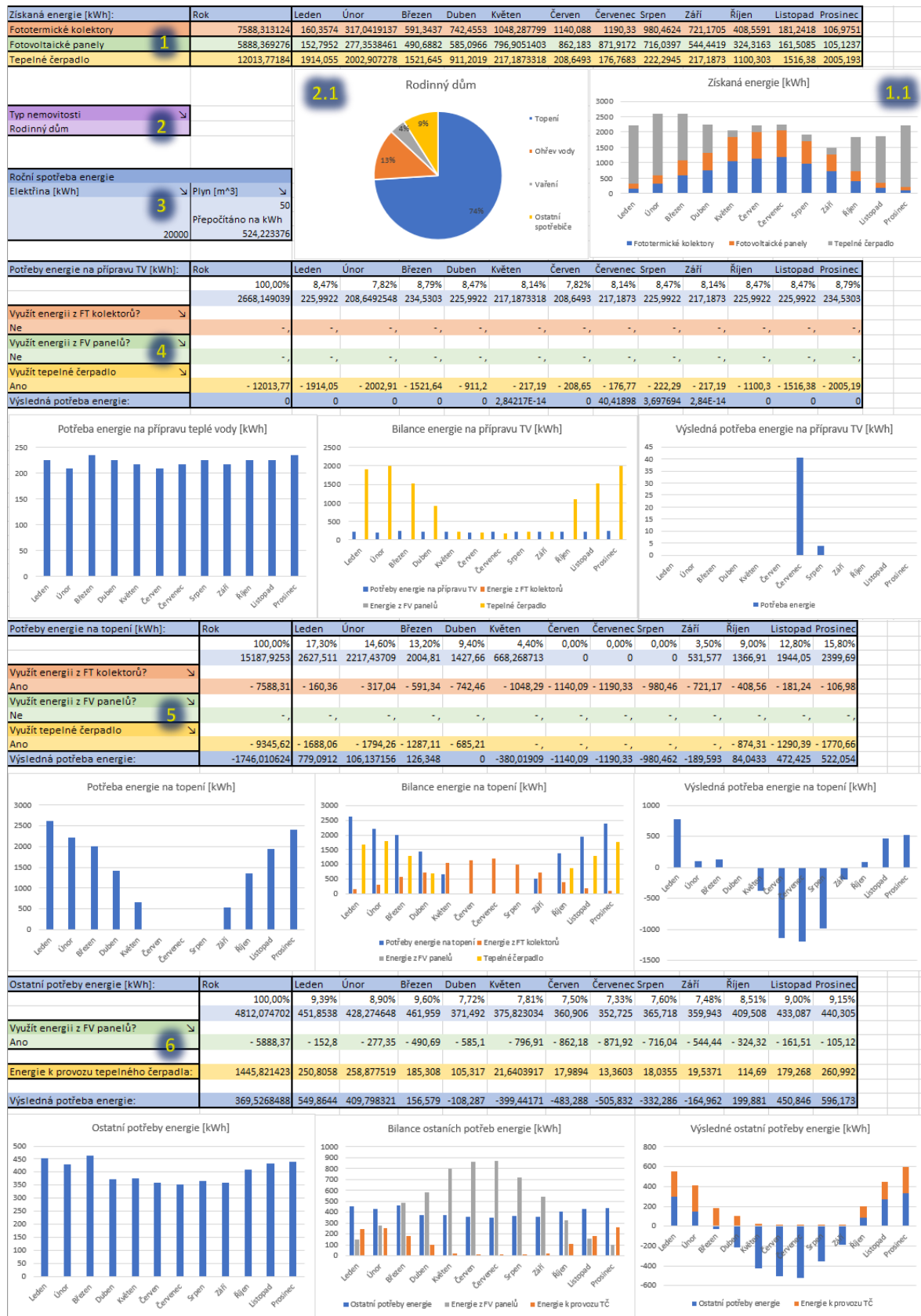
7 – Nezaobstarané teplo

Roční a měsíční hodnoty nezaobstarané tepelné energie, kterou je nutné zaopatřit jiným zdrojem.

8 – Doba provozu TČ

Doba, po kterou bylo tepelné čerpadlo v aktivním provozu.

5.7.4 Energetická bilance



Obrázek 5.16 Energetické bilance

1 – Získaná energie

Informativní tabulka udávající výtěžnost energie FT kolektory, FV panely a TČ při parametrech, které byly nastaveny. Hodnoty pro TČ se dopočítává na základě nepokryté energie ostatními zdroji, proto se tyto hodnoty v průběhu návrhu bilance mění.

2 – Typ nemovitosti

Výběr nemovitosti má vliv na rozložení potřeb energie a tím i na výslednou bilanci. Údaje o rozložení energie a domácnosti byly převzaty z [25].

3 – Roční spotřeba energie

Pro návrh energetické bilance je do výpočtového nástroje třeba zadat roční spotřebu energie v kWh. V případě využívání plynu je možné zadat i spotřebu plynu v m³. Spotřeba plynu se následně přepočítá na kWh a pro výpočty přičte ke spotřebě elektrické.

4 – Potřeby energie na přípravu teplé vody

V horní části tabulky se nachází hodnota roční energie, která je potřeba na přípravu teplé vody. Hodnota se následně rozpočítá mezi jednotlivé měsíce. Údaje o poměrné spotřebě energie na přípravu TV byly čerpány z [26]. V levé části tabulky je možné zvolit, jakou technologií zisku energie chceme energetickou potřebu pokrývat. V případě volby pokrytí danou technologií se odečte její energetický zisk od energetické potřeby. Při volbě pokrytí více technologiemi současně se odčítají jejich energetické zisky od potřeb společně. V případě, že je energetický zisk technologií větší než energetická potřeba, zůstane rozdíl těchto energií k dispozici pro pokrytí jiné energetické potřeby (než je příprava TV). Pod tabulkou se nachází tři digramy. První ukazuje energetickou potřebu před návrhem pokrytí OZE, druhý bilanci této energetické potřeby a energetických zisků FT kolektory, FV panely a TČ. Poslední graf udává výslednou potřebu energie. V případě přebytku energie je její hodnota znázorněna do záporného směru.

5 – Potřeby energie na topení

Bilance potřeby energie na topení funguje na podobném principu jako bilance na ohřev TV. Využívána je tedy zbylá energie (která nebyla využita na ohřev TV) a následně se odečítá od energetické potřeby. Údaje o poměrné potřebě tepla v domácnosti byly čerpány z [26].

6 – Ostatní potřeby energie

V bilanci ostatních potřeb tepla figurují už jen FV panely. Bylo uvažováno, že přeměna z tepelné energie FT kolektorů a TČ na elektrickou je neefektivní a přinejmenším velice ztrátová, proto nejsou tyto OZE již uvažovány. Pokud však bylo použito TČ při bilanci energie na přípravu TV nebo topení, přičítá se k ostatním potřebám energie ještě navíc energie potřebná na provoz TČ, v opačném případě se objeví informace o jeho nevyužití. Údaje o ostatních energetických potřebách v domácnosti byly čerpány z [26].

5.8 Zhodnocení nástroje

Výpočtový nástroj byl navržen dle technických publikací a norem, takže můžeme jeho výsledky pokládat za důvěryhodné. Nástroj má zcela otevřené prostředí, tudíž je možné sledovat postup výpočtu, případně upravit výpočtové vzorce dle svých požadavků.

Za velkou výhodu nástroje považuji možnost návrhu systémů s FV panely, FT kolektory a TČ současně včetně celkové energetické bilance potřeb daného obydlí.

Největším nedostatkem u výpočtu solární části vnímám nepokrytí všech možných orientací. Materiály, z kterých jsem čerpal na provedení návrhu, bohužel obsahovaly pouze orientace, s kterými pracuje i nástroj. Ostatní zdroje neposkytovaly všechny potřebné informace, případně byly ve formě, která nebyla kompatibilní s mým výpočtem. Příkladem je nutná aktivní volba kurzorem na mapě a v aktivních výběrových nabídkách.

Za další nedostatek by se dal považovat nepříliš profesionální design a ovládání uživatelského prostředí. Výpočtový nástroj byl navržen přednostně na výpočet a vizualizaci výsledků. Pro vylepšení ovladatelnosti a designu by bylo třeba zhotovit odborný vizuální návrh a následně nechat program upravit odborníkem na danou problematiku.

6 ZÁVĚR

Využívání obnovitelných zdrojů energie je stále častější a momentální rostoucí trend napovídá, že tomu v budoucnu nebude jinak. Na internetu je možné najít spoustu výpočetních nástrojů, které jsou však většinou navrženy k určitému komerčnímu účelu. Většinou slouží jako reklama na společnost zabývající se návrhem, či montáží systémů OZE. Použitá metodika výpočtu takovýchto nástrojů nebývá vůbec popsána, takže se není možné na výsledky výpočtu spoléhat s jistou přesností.

Práce se zabývala výpočetními nástroji OZE. Popisovala především nástroje, které mají dohledatelnou metodiku výpočtu, případně pochází z ověřených zdrojů. Zabývala se především nástroji pro návrh solárních systémů, jelikož toto odvětví zažívá momentálně největší rozmach a je možné dohledat nejvíce věrohodných výpočtových nástrojů. Množství dostupných nástrojů též vypovídá o progresivitě této technické oblasti.

Nejvíce detailní popis byl věnován výpočetnímu nástroji PVGIS – Photovoltaic geographical information system [5], jelikož jako jediný plně uvádí metodiku výpočtu a nabízí ke stažení většinu mezivýsledků. Mě osobně nejvíce zaujal software od společnosti K2-Systems [12], který návrh FVE začíná od použitelné plochy pro montáž FV panelů. Nevyžaduje znalost žádných technických parametrů. Udělat si tak jisté povědomí o návrhu FVE může i osoba technicky téměř neznalá, což je dle mého názoru další krok vpřed v dostupnosti OZE.

Dále byly popsány nástroje na hodnocení výtěžnosti energie získané z větru a nástroj na hodnocení bilance soustavy s tepelným čerpadlem.

Součástí práce je též návrh vlastního výpočetního nástroje na hodnocení výtěžnosti OZE. Práce popisovala návrh nástroje a použitou metodiku výpočtu. Byla popsána funkčnost programu na modelovém příkladu. Výpočtový nástroj řeší energetickou bilanci nemovitosti v průběhu roku při využití solární energie a tepelného čerpadla. Nástroj dokáže kalkulovat využití solární energie FV panely i FT kolektory. Při návrhu bilance je možné uvažovat jejich spolupráci. Návrh TČ ve výpočetním nástroji je následně proveden na potřeby tepelné energie, které nejsou pokryty těmito zdroji.

Z výsledků výpočtových nástrojů můžeme vydedukovat, že pokrytí energetických potřeb pouze z OZE není jen nereálná vize budoucnosti. Při správném nastavení akumulace energie a diverzifikaci zdrojů je možné stát se energeticky nezávislý už v dnešní době, vyžaduje to však velké finanční investice a jejich návratnost je stále otázkou. Velký rozvoj technologií OZE nám však dává nadějně předpoklady, že jednoho dne již nebudeme muset být energeticky závislí na spalování fosilních paliv.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] [online]. 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/clanky/obnovitelne-zdroje-vylepsuji-svuj-podil-v-energetickem-mixu-v-nemecku/>
- [2] *Jaké jsou hlavní výhody a nevýhody obnovitelných zdrojů energie?* [online]. 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/541589-jake-jsou-hlavni-vyhody-a-nevyhody-obnovitelnych-zdroju-energie/>
- [3] European Environment Agency, *Energie-a-zmena-klimatu* [online]. 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2017/clanky/energie-a-zmena-klimatu>
- [4] E.ON. *Jak fungují fotovoltaické elektrárny* [online]. 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/solarni-energie/jak-funguji-fotovoltaicke-elektrarny/>
- [5] EUROPEAN COMMISSION. *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM* [online]. 2022 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [6] EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS. *Advancing global NWP through international collaboration* [online]. 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.ecmwf.int/>
- [7] Nikolas Bodnár. *HODNOCENÍ VÝKONU A ÚČINNOSTI FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY V HOSTĚTÍNĚ*. 2016. Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita Geografický ústav. Vedoucí práce Mgr. Kamil Láška, Ph.D.
- [8] Výpočtový nástroj pro optimalizaci návrhu fotovoltaických systémů - rodinné domy. *Nová zelená úsporám (NZÚ)* [online]. 2022 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/dokumenty/vypoctove-nastroje/>
- [9] Výpočtový nástroj pro optimalizaci návrhu fotovoltaických systémů - bytové domy. *Nová zelená úsporám (NZÚ)* [online]. 2022 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/dokumenty/vypoctove-nastroje/>
- [10] Výpočtový nástroj pro solární fotovoltaický ohřev vody. *Nová zelená úsporám (NZÚ)* [online]. 2022 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/dokumenty/vypoctove-nastroje/>
- [11] Výpočtový nástroj pro solární termický ohřev vody. *Nová zelená úsporám (NZÚ)* [online]. 2022 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/dokumenty/vypoctove-nastroje/>
- [12] K2 BASE [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://base.k2-systems.com/>

- [13] SKUPINA ČEZ: *Jak funguje větrná elektrárna* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelné-zdroje/vitr/jak-funguje-vetrna-elektrarna>
- [14] Mapa všeobecných větrných podmínek: Větrné podmínky ve výšce 10 m, Větrné podmínky ve výšce 100 m. *Ústav fyziky atmosféry: Akademie věd České republiky* [online]. 2009 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/#>
- [15] *Weather Research & Forecasting Model (WRF): MESOSCALE & MICROSCALE METEOROLOGY LABORATORY* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>
- [16] MEDARD: *Ústav informatiky Akademie věd České republiky*. [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <http://medard-online.cz/#>
- [17] Mapa všeobecných větrných podmínek: Extrémní rychlosti větru. *Ústav fyziky atmosféry: Akademie věd České republiky* [online]. 2009 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/#>
- [18] POP, Lukáš. *Analýza nárazů větrů na území České republiky: Katedra fyziky atmosféry, Matematicko-fyzikální fakulta UK*.
- [19] *Tepelná čerpadla IVT: Princip tepelných čerpadel - Jak tepelné čerpadlo funguje?* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/princip-tepelných-čerpadel>
- [20] T. MATUŠKA. *Bilance TC: Zjednodušená měsíční bilance tepelné soustavy s tepelným čerpadlem* [online]. In: . 2014 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=161
- [21] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 1994. ISBN 80-900759-5-9.
- [22] doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. *Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací: Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT* [online]. TZB-info, 2016 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>
- [23] doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. *Zjednodušená bilance solárního kolektoru* [online]. TZB-info, 2011 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7115-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>
- [24] TNI 73 0351. *Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly - Zjednodušený výpočtový postup*. 2014.

- [25] SIEA [online]. Slovenská inovačná a energetická agentúra [cit. 2023-05-26].
Dostupné z: <https://www.siea.sk/>
- [26] LINHARTOVÁ, Vladimíra, ing. Výpočet potřeby elektrické energie v otopné soustavě s tepelným čerpadlem vzduch-voda. *TZB-info* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12941-vypocet-potreby-elektricke-energie-v-otopne-soustave-s-tepelnym-cerpadlem-vzduch-voda>