



Ekonomická  
fakulta  
Faculty  
of Economics

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Ekonomická fakulta  
Katedra aplikované matematiky a informatiky

Diplomová práce

# Optimalizace fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům

Vypracoval: Bc. Martin Bernáth  
Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Roskovec, Ph.D.  
České Budějovice 2023

# JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Ekonomická fakulta  
Akademický rok: 2021/2022

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Martin BERNÁTH  
Osobní číslo: E21029  
Studijní program: N0613A140025 Aplikovaná informatika  
Specializace: Podniková informatika  
Téma práce: Optimalizace fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům  
Zadávací katedra: Katedra aplikované matematiky a informatiky

### Zásady pro vypracování

Cílem práce je zkoumat efektivitu využití vlastního zdroje elektřiny pro domácnosti. Fotovoltaické elektrárny jsou oblíbenou, ale značně komplikovanou investicí. Její efektivita závisí na pozici domu, úhlu panelů vůči zemi i vůči světovým stranám, ale také na schopnosti uživatele využít elektřinu v době, kdy je výkon maximální (tento faktor je klíčový díky nízké efektivitě uskladnění energie při současné technologii). Řešitel dostane za úkol sestavit funkci výkonu elektrárny v závislosti na parametrech umístění a bude navrhovat efektivní zapojování jednotlivých spotřebičů v závislosti na této funkci. Kromě modelových příkladů by součástí práce měl být návrh metodiky, na obecné řešení problému a ukázka jejího přínosu.

#### Metodický postup:

1. Studium literatury a současné nabídky režimů domácích fotovoltaických elektráren.
2. Sběr dat hodinové spotřeby konkrétních domácností dle denního režimu a složení obyvatel.
3. Výpočet denního výkonu pro různé nastavení panelů a příprava modelu pro srovnání výkonu se spotřebou.
4. Příprava aplikace umožňující optimalizaci vzhledem k cenám a složení domácnosti, případně dle konkrétně naměřené denní spotřeby.

Rozsah pracovní zprávy: 50 – 60 stran  
Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

#### Seznam doporučené literatury:

1. ADARAMOLA, M. (Ed.). (2014). *Solar energy: application, economics, and public perception*. CRC Press.
2. LIBRA, M., & POULEK, V. (2010). *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. Praha: Ilsa.
3. QUASCHNING, V. (2010). *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada.
4. STANĚK, K. (2012). *Fotovoltaika pro budoucí*. Praha: Grada.
5. ŠULC, J. (2015). *Obnovitelné zdroje energie*. Liberec: Technická univerzita v Liberci.

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Tomáš Roskovec, Ph.D.  
Katedra aplikované matematiky a informatiky

Datum zadání diplomové práce: 11. ledna 2022  
Termín odevzdání diplomové práce: 14. dubna 2023

JIMORSKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
EKONOMICKÁ FAKULTA  
Studentská 13  
370 05 České Budějovice



doc. Dr. Ing. Dagmar Škodová Parmová  
děkanka



doc. RNDr. Tomáš Mrkvička, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 16. března 2022

## Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci „Optimalizace fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47 zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to - v nezkrácené podobě/v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Ekonomickou fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum

Podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval RNDr. Tomáši Roskovcovi, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady a ochotu při vypracování této práce.

## Obsah práce

1	Úvod a cíl práce.....	3
2	Fotovoltaická elektrárna .....	4
2.1	Historie fotovoltaiky .....	5
2.2	Význam v ekonomii .....	5
2.3	Význam pro domácnosti .....	7
3	Spotřeba elektrické energie .....	8
3.1	Jednotarifní sazby.....	8
3.2	Dvoutarifní sazby .....	8
3.3	Problémy s fotovoltaikou v distribuční síti .....	9
4	Cena elektrické energie .....	10
4.1	Výroba a spotřeba elektrické energie.....	11
4.1.1	Stanovení ceny energie na burze .....	13
4.1.2	Sítě s vysokým podílem obnovitelných zdrojů.....	14
5	Fotovoltaické systémy .....	15
5.1	Typy fotovoltaických systémů .....	15
5.1.1	On-grid.....	15
5.1.2	Off-grid (Ostrovní systém) .....	15
5.1.3	Hybridní systém .....	15
5.2	Instalace systému .....	16
5.3	Likvidace, recyklace .....	17
6	Model výkonu FVE.....	18
6.1	Vliv parametrů fotovoltaického pole .....	21
6.1.1	Orientace fotovoltaického pole.....	22
6.1.2	Sklon fotovoltaického pole .....	25
7	Optimalizace.....	29
7.1	Model výkonové rovnováhy .....	29
7.2	Cenový model .....	30
7.3	Spotřeba a optimalizace .....	32
7.3.1	Domácnost A .....	33
7.3.2	Domácnost B.....	34

7.3.3	Domácnost C.....	35
7.3.4	Domácnost D .....	36
7.3.5	Domácnost E.....	37
7.4	Optimalizace dvou polí .....	38
7.5	Zhodnocení optimalizace .....	44
7.6	Optimalizace spotřeby .....	44
8	Uživatelská aplikace .....	48
9	Závěr a zhodnocení.....	52
	Summary and keywords.....	53
	Citovaná literatura.....	54
	Seznam obrázků.....	56
	Seznam tabulek .....	57
	Seznam zkratk .....	57
	Přílohy.....	57

# 1 Úvod a cíl práce

Efektivita využití vlastního zdroje elektřiny je v současné době stále více diskutovaným tématem. Fotovoltaické elektrárny jsou jednou z možností, jak produkovat vlastní elektřinu, ale jejich efektivita závisí na mnoha faktorech. Cílem této práce je zkoumat, jaký vliv mají různé parametry, jako je pozice domu, úhel panelů vůči zemi a vůči světovým stranám, na výkon fotovoltaické elektrárny a navrhnout efektivní parametry fotovoltaického pole vzhledem ke spotřebě domácnosti. Práce také představí metodiku pro řešení tohoto problému a ukáže její přínos v praxi.

Fotovoltaické elektrárny se stávají stále populárnější volbou pro produkci vlastní elektřiny, ale jejich efektivita závisí na mnoha faktorech. Je důležité zvážit všechny tyto faktory a navrhnout řešení, které bude co nejefektivnější a bude splňovat potřeby uživatele. Tato práce se zabývá tedy tématem, které má význam pro širokou veřejnost a může být užitečné pro všechny, kteří hledají způsoby, jak snížit své náklady na elektřinu a zároveň přispět k životnímu prostředí. V dnešní době je totiž důležité zaměřit se na efektivní využití energie a hledat cesty, jak ji produkovat a využívat co nejlépe. Tato práce by měla přinést nové poznatky a návrhy pro efektivní využití fotovoltaických elektráren v domácnostech a pomoci tak ke snížení nákladů a k lepšímu životnímu prostředí.



## 2 Fotovoltaická elektrárna

Fotovoltaická elektrárna je zařízení, které využívá energii slunečního záření k výrobě elektrické energie. Principem fungování této elektrárny je fotovoltaický jev, při kterém se světlo přemění na elektrickou energii.

Panely se skládají z fotovoltaických článků, které jsou tvořeny křemíkovými čipy. Tyto čipy absorbují světlo a přeměňují ho na elektrickou energii. Výstupní napětí fotovoltaických panelů je většinou nízké, proto se napětí získané z fotovoltaických panelů přivádí do měniče, kde se napětí zvyšuje na napětí potřebné pro distribuci elektrické energie do sítě. (ČEZ.cz, n.d.) (Vobořil, 2016) Kromě fotovoltaických panelů se v elektrárně nacházejí i další součásti, jako například měnič napětí, inverter, řídicí jednotka nebo akumulátorový systém. Tyto součásti slouží k regulaci, řízení a skladování vyrobené elektrické energie. (Vobořil, 2016)

Fotovoltaické elektrárny mohou být instalovány jak na venkovních plochách, tak na střeších budov. Existují různé typy fotovoltaických panelů, jako jsou monokrystalické, polykrystalické nebo amorfnní, které se liší svými vlastnostmi a účinností. Monokrystalické panely jsou neúčinnější, ale také nejdražší. Polykrystalické panely jsou levnější, ale méně účinné. Amorfnní panely jsou nejlevnější, ale také nejméně účinné. (Vobořil, 2016)

Dalším důležitým faktorem pro uspokojivou výkonnost fotovoltaické elektrárny je správná orientace a naklonění panelů směrem k slunci. Průběh výkonu fotovoltaické elektrárny během dne totiž závisí na umístění a sklonu panelu vůči slunci. V případě, kdy nevyužíváme fotovoltaický systém s baterií, je tedy vhodné panely rozmístit tak, aby generovaly co největší výkon v době, kdy je to nejvíce potřeba.

V posledních letech se také rozšiřuje využití fotovoltaických elektráren na střeších budov, kde mohou být instalovány jako součást systému solárního vytápění nebo jako součást hybridního systému spojeného s jiným zdrojem energie, jako je například tepelné čerpadlo. (Lázoková, 2022) (Vobořil, 2016) Fotovoltaické elektrárny jsou také často kombinovány s dalšími obnovitelnými zdroji energie, jako jsou například větrné elektrárny nebo malé vodní elektrárny, kdy vytvořená energie může být kombinována a využívána v různých situacích. (Oenergetice, 2021)

Fotovoltaické elektrárny mohou také být využívány jako součást mikro-gridu, což je lokální elektrická síť, která může být oddělena od hlavní elektrické sítě a pracovat samostatně. To umožňuje využít energii v místě její výroby a snižuje potřebu přenosu energie na velké vzdálenosti. (ČEZ.cz, n.d.)

Fotovoltaické elektrárny se v posledních letech stávají stále populárnějším zdrojem energie. Jsou ekologické, nevytvářejí žádné emise a jejich provoz je téměř bezhlučný. Navíc jsou cenově dostupné a jejich instalace a údržba je jednoduchá. (Lázoková, 2022) (Vobořil, 2016) S rozvojem technologií a snižováním cen fotovoltaických panelů se dá očekávat, že bude jejich využití dále rozšiřováno. Kombinací s dalšími obnovitelnými zdroji a využitím v mikro-gridu se rovněž posiluje jejich flexibilita a spolehlivost.

## 2.1 Historie fotovoltaiky

Historie fotovoltaické technologie sahá až do 19. století, kdy francouzský fyzik Alexandre-Edmond Becquerel objevil fotovoltaický jev. ("This Month in Physics History", 2009) Během první poloviny 20. století se vyvinuly první fotovoltaické články, které byly však velmi neefektivní a drahé.

V roce 1839, Becquerel pozoroval, že některé materiály produkují elektrický proud, když jsou vystaveny světlu. Tento objev nazval fotovoltaický jev (Bernède, 2008). V roce 1883, Charles Fritts vytvořil první fotovoltaický článek s účinností asi 1% (Bechník, 2014)

V roce 1917 popsali fyzikální princip fotoelektrického jevu Albert Einstein. Za práce pro rozvoj teoretické fyziky, zejména objev zákonitostí fotoelektrického jevu obdržel Albert Einstein v roce 1921 Nobelovu cenu za fyziku.

V roce 1954, Bell Labs vytvořil první účinný fotovoltaický článek s účinností kolem 6% (Oenergetice, 2021). Další vývoj technologie v 60. letech zapříčinilo využívání fotovoltaické technologie společností NASA pro kosmické mise, což vedlo k dalšímu rozvoji a snižování cen fotovoltaických panelů. (Bechník, 2014)

V 70. a 80. letech se fotovoltaická technologie začala rozšiřovat do méně rozvinutých zemí jako zdroj elektřiny pro venkovské oblasti (Bernède, 2008).

V 90. letech došlo k dalšímu poklesu cen a zvýšení účinnosti fotovoltaických článků, což vedlo ke zvýšení poptávky po fotovoltaických elektrárnách (Vobořil, 2016). V roce 2008 účinnost fotovoltaických panelů dosahovala až 22% (Bernède, 2008), což byl důležitý milník pro soukromé využívání.

V posledních letech se fotovoltaická technologie stala jedním z nejrychleji rostoucích zdrojů energie na světě, díky snižování cen a dalšímu zlepšování účinnosti fotovoltaických panelů. V současnosti se fotovoltaické elektrárny stávají stále populárnějším zdrojem energie a očekává se, že jejich využívání bude dále rozšiřováno.

## 2.2 Význam v ekonomii

Fotovoltaická energetika je významnou ekonomickou silou, která pomáhá vytvářet udržitelný a trvale udržitelný energetický systém. Je to efektivní způsob, jak vytvářet elektrickou energii z obnovitelných zdrojů energie.

Fotovoltaická energie má pro ekonomiku řadu výhod. Pokud je fotovoltaická energie využívána jako hlavní zdroj energie, může to vést ke snížení celkových nákladů na energii. Fotovoltaické systémy jsou navíc méně nákladné na údržbu než jiné způsoby výroby energie. Jelikož je fotovoltaická energie obnovitelným zdrojem, jeho využití vede k omezení emisí skleníkových plynů a snížení závislosti na fosilních palivech. To vše může pomoci snížit dopady klimatické změny.

Náklady na fotovoltaickou technologii se snižují rychle, což ji činí stále atraktivnější volbou pro investory a spotřebitele. Tyto nízké náklady pomáhají snižovat celkové náklady na energii a zvyšovat konkurenceschopnost fotovoltaické energie vůči jiným zdrojům energie.

Fotovoltaická energie také poskytuje možnosti pro decentralizaci energetických zdrojů, což pomáhá snižovat závislost na velkých energetických společnostech a poskytovatelích energií a zvyšuje energetickou bezpečnost.

Kromě toho, rozvoj fotovoltaického průmyslu výrazně podporuje technologický rozvoj. Například, výzkum a vývoj v oblasti fotovoltaických článků, solárních baterií a inteligentních sítí pomáhá urychlit technologický pokrok a zlepšovat efektivitu fotovoltaických systémů. Fotovoltaická energie může také přinést ekonomické výhody, jako je zvýšení pracovních příležitostí a vytváření nových pracovních míst ve fotovoltaickém průmyslu, což může mít pozitivní dopad na místní ekonomiku.

Fotovoltaická energie může být využívána pro rozvojové projekty v chudších oblastech, kde je nedostatek elektrické energie nebo kde je nákladné připojení k síti. Investice do fotovoltaické energie mohou pomoci rozvojovým zemím snížit náklady na energii a zlepšit energetickou bezpečnost. To může pomoci zlepšit kvalitu života a podpořit rozvoj ekonomiky v těchto oblastech. Fotovoltaické elektrárny mohou být vybudovány na místech, kde není dostatek prostoru pro rozvoj jiných druhů elektráren, jako jsou uhelné nebo jaderné elektrárny. (Li et al., 2017)

Fotovoltaická energie také poskytuje možnosti pro rozvoj nových trhů, jako jsou například solární leasing nebo solární virtuální net metering. Tyto trhy pomáhají poskytovat přístup k fotovoltaické energii pro spotřebitele, kteří by jinak nemohli fotovoltaické elektrárny vybudovat nebo si je nemohli dovolit koupit.

Solární leasing je způsob financování fotovoltaických panelů, kdy si zákazník pronajme fotovoltaické panely od poskytovatele solárního leasingu. To znamená, že místo toho, aby si zákazník kupoval fotovoltaické panely přímo, platí měsíční poplatek za pronájem panelů a využívání vyrobené energie (Chester, 2023).

Virtuální net metering lze použít v případě, kdy elektrárnu vlastní "hromadně" skupiny lidí, například formou družstva nebo akciové společnosti. Skupina odběratelů elektřiny ze sítě se dohodne na spojení svých zdrojů a investují do výstavby fotovoltaické elektrárny, kterou budou provozovat v režimu Net Metering. Množství elektřiny vyrobené touto elektrárnou se poté odečítá z účtů investorů za elektřinu, a to v závislosti na velikosti jejich investice (*Net metering*, 2022).

Fotovoltaická energie má významný ekonomický potenciál, jako je snižování nákladů na energii, podpora decentralizace energetických zdrojů, rozvoj pracovních příležitostí a podpora technologického rozvoje.

## 2.3 Význam pro domácnosti

Použití fotovoltaické elektrárny v domácnosti může mít mnoho výhod. Kromě toho, že snižuje náklady na elektřinu a přispívá k ochraně životního prostředí, může také pomoci domácnosti stát se nezávislou na dodavatelích elektřiny a zvýšit její energetickou nezávislost. Další výhodou může být obrana proti inflaci. Pokud jsou ceny elektrické energie vysoko, může být uložení peněz do fotovoltaické elektrárny nebo jiných úsporných řešení dobrou volbou. Tento přístup může dále zahrnovat pořízení tepelného čerpadla, zateplení domu nebo modernějších, úspornějších spotřebičů. Další výhodou je, že fotovoltaická elektrárna zvyšuje hodnotu nemovitosti.

Je-li fotovoltaický systém vybaven baterií, lze využívat vyrobenou energii ve chvíli, kdy se to skutečně potřebová a třeba již nesvítí slunce. Případně lze energii využívat v případě výpadku dodávky elektrického proudu pro klíčové spotřebiče jako lednice, mrazák, popřípadě osvětlení nebo wifi router. (vsystem.cz, 2020)

V České republice mohou domácnosti využít program „Nová zelená úsporám“ a získat finanční dotaci ve výši 40 000 – 200 000 Kč. Pro získání dotace je nutné splnit určité podmínky, jako například instalovat fotovoltaické panely s odpovídajícím výkonem, nebo mít platný certifikát kvality pro instalaci. Kromě toho je nutné požádat o dotaci před zahájením instalace a po dokončení instalace poskytnout potřebné doklady. (Knoflíčková, 2022)

Čerpání dotací je možné realizovat formou půjčky nebo grantu. Půjčka na instalaci fotovoltaické elektrárny se poskytuje s úrokovou sazbou 0 % a splatností až 20 let. Grant na instalaci fotovoltaické elektrárny se poskytuje ve výši až 30 % z celkových nákladů na instalaci. (Knoflíčková, 2022)

V ostatních zemích světa se podpora fotovoltaických elektráren může lišit v závislosti na vládních politikách a programech. Mnoho zemí nabízí dotace, daňové úlevy nebo jiné finanční pobídky pro podporu rozvoje fotovoltaických elektráren.

## 3 Spotřeba elektrické energie

Podle údajů poskytnutých společností ČEZ se průměrná spotřeba elektrické energie u rodinného domu pohybuje kolem 3000 kWh za rok. Tato hodnota se může lišit v závislosti na velikosti domu, počtu obyvatel, způsobu vytápění, a dalších faktorech. Největší podíl spotřeby elektrické energie u rodinného domu tvoří vytápění a ohřev teplé vody, který může představovat až 60% celkové spotřeby (CEZ.cz, 2022). Další velkou část spotřeby tvoří spotřebiče, jako jsou pračky, myčky nádobí, rychlovarné konvice, sporáky a další kuchyňské spotřebiče. Při používání těchto spotřebičů může být spotřeba energie o hodně zvýšená, zejména když jsme doma a tyto spotřebiče používáme častěji. Spotřebiče jako jsou počítače, televize, světla a další elektronika představují oproti předchozím menší část spotřeby.

Pro snížení spotřeby elektrické energie u rodinného domu je možné využít různé opatření, jako například instalaci úsporných spotřebičů nebo fotovoltaických panelů, izolaci budovy, nebo využití jiných zdrojů energie pro vytápění. Důležité je také zvyknout si na racionální spotřebu energie, jako například vypínat spotřebiče, když je nevyužíváme nebo využívat úsporné režimy (CEZ.cz, 2022).

Domácnosti jsou rozřazeny do různých distribučních tarifů, podle způsobu, kterou elektrickou energii využívají. Nejběžnějším tarifem v České republice je D02d, což je jednotarifní sazba, při které stojí elektrická energie celý den stejně. Dále existují dvoutarifní sazby, kdy po určitou část dne platí za provoz v nízkém tarifu (NT). Níže v přehledu můžeme vidět jednotlivé distribuční sazby. (Hamalčíková, 2020)

### 3.1 Jednotarifní sazby

- **D01d:** distribuční sazba pro velmi nízkou spotřebu (jednočlenná domácnost)
- **D02d:** distribuční sazba pro běžnou spotřebu (nejrozšířenější)

### 3.2 Dvoutarifní sazby

- **D25d:** distribuční sazba pro akumulaci ohřev vody, 8 hod NT
- **D26d:** distribuční sazba pro akumulaci ohřev vody a vytápění, 8 hod NT
- **D27d:** distribuční sazba pro nabíjení elektromobilu, 8 hod NT
- **D35d:** „historická“ sazba pro smíšené vytápění (akumulační a přímotopné) udělená do 31. 3. 2016, 16 hod NT
- **D45d:** „historická“ sazba pro přímotopy udělená do 31. 3. 2016, 20 hod NT
- **D56d:** „historická“ sazba pro tepelná čerpadla udělená do 31. 3. 2016, 22 hod NT
- **D57d:** distribuční sazba pro elektrické vytápění nahrazující D35d, D45d a D56d od 1. 4. 2016, 20 hod NT
- **D61d:** víkendová distribuční sazba pro chaty, NT od pátku 12:00 do neděle 22:00

U jednotarifních sazeb je zpravidla nižší cena za kWh elektrické energie než u sazeb dvoutarifních. V závislosti na distribuční sazbě se liší i měsíční platba za velikost hlavního jističe, která nám udává, jaký maximální výkon můžeme v domácnosti využít. V sazbách, kdy je předpokládán větší odběr elektrické energie, jako je D25d nebo třeba D57d je platba za hlavní jistič nižší než u sazeb, u kterých se předpokládá spotřeba nižší.

### **3.3 Problémy s fotovoltaikou v distribuční síti**

Dle elektrotechnické normy ČSN 33 0121:2001 je předepsaná odchylka napětí v koncovém uzlu distribuční sítě (odběratel) v rozmezí 230V  $\pm$ 10%, což znamená minimálně 207V a maximálně 253V. Větší odchýlení od stanoveného napětí v síti může poškodit nebo úplně zničit připojené elektrospotřebiče.

Problém může nastat v případě, kdy na větvi trafostanice je zvýšeno síťové napětí nad 230V kvůli úbytku napětí na delší trase (horší vedení apod.). Tento krok se provádí z důvodu, aby všichni odběratelé elektrické energie na dané větvi měli síťové napětí v rozmezí dané připojovacími podmínkami. Tento krok má za důsledek, že odběratelé blíže trafostanici mají napětí větší než odběratelé na konci větve. (Čech, 2023)

Pokud odběratel na konci větve bude posílat do sítě větší přetoky, síťové napětí na celé větvi se zvedne. To může způsobit problém na začátku větve, kde je již síťové napětí vyšší a dále jej navýšit až nad povolenou mez. V takovém případě distributor nepovolí posílat přetoky z fotovoltaické elektrárny do sítě, protože by se mohlo v síti objevit přepětí a nesplnil by tak připojovací podmínky. (Čech, 2023)

Další problémy mohou způsobovat střídače, které mohou produkovat neharmonický (nesinusový) proud, který se poté vrací do sítě. Tento proud může narušovat kvalitu celé sítě, jelikož narušuje frekvenci 50Hz, na kterou jsou jednotlivé prvky distribuční sítě jako transformátory, kompenzátory a další konstruovány. Tento neharmonický proud může nepříznivě ovlivnit citlivá zařízení, která jsou do sítě připojena. (Ondroušek, 2009)

## 4 Cena elektrické energie

Motivací ke koupi fotovoltaického systému může být zejména snaha o snížení nákladů na elektrickou energii. Cena elektrické energie se v poslední době dostala na vyšší hladinu, než tomu bylo v minulých letech. Proto v dnešní době může mít fotovoltaika daleko větší smysl než tomu bylo v minulosti.

Cena elektřiny na burze se promítá do ceny elektřiny pro konečné spotřebitele. Ta se skládá z neregulované a regulované složky. Neregulovaná složka je odvozena od ceny silové elektřiny na burze a marže dodavatele. Regulovaná složka zahrnuje poplatky za přenos a distribuci elektřiny, podporu obnovitelných zdrojů energie, rezervy a další služby související s dodávkou elektřiny. Regulovanou složku stanovuje Energetický regulační úřad (ERÚ) a dodavatel ji nemůže ovlivnit. (Sudová, 2023)

V grafu níže můžeme vidět vývoj tržní ceny elektrické energie od 1.1.2021 do 1.1.2023.



Obrázek 1 - Graf vývoje tržní ceny elektřiny od 1.1.2021 do 1.1.2023 Zdroj: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektřiny-graf-vyvoje-ceny/>

Tržní cena elektřiny je ovlivněna mnoha faktory, které na ni mají významný dopad. Mezi tyto faktory patří například růst cen emisních povolenek. Tyto povolenky jsou nezbytné pro výrobu elektrické energie z fosilních paliv a jsou součástí evropského systému obchodování s emisemi (EU ETS). V posledních letech jejich cena stoupá, což má za následek zvýšení celkové ceny elektřiny. (Lararevič, 2021)

Kromě emisních povolenek hraje důležitou roli také nárůst cen ropy a plynu, které slouží jako palivo pro elektrárny. Globální poptávka po těchto surovinách, spolu s náklady na jejich těžbu a dopravu, ovlivňuje jejich ceny, což opět přispívá k růstu cen elektřiny z fosilních zdrojů.

Investice do obnovitelných zdrojů energie, jako jsou solární a větrné elektrárny, rovněž přispívají k růstu ceny elektřiny. Přestože tyto zdroje jsou ekologicky šetrnější, stále jsou spojeny s vyššími náklady na výstavbu a údržbu. Vzhledem k tomu je důležité, aby byly tyto zdroje co nejefektivněji využity.

S rostoucím podílem obnovitelných zdrojů energie se zvyšuje také potřeba modernizace a oprav elektrické sítě. Aby bylo možné přenášet elektřinu z nových zdrojů k spotřebitelům, je nutné investovat do rozvoje a údržby sítě, což rovněž zvyšuje celkovou cenu elektřiny.

Vláda může ovlivňovat cenu elektřiny prostřednictvím regulace cen nebo dotací pro obnovitelné zdroje energie, což také ovlivňuje výslednou cenu elektřiny. Z uvedených důvodů lze usoudit, že cena elektřiny se zvyšuje zejména kvůli těmto faktorům:

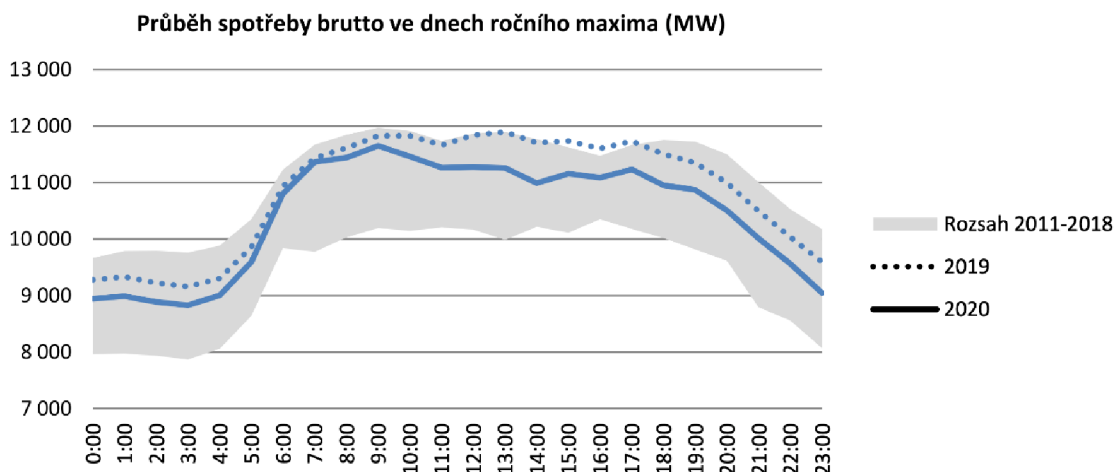
- Růst cen paliv a emisních povolenek, které se promítají do ceny elektřiny.
- Investice do obnovitelných zdrojů energie, které jsou finančně náročné.
- Zvyšování poplatků za distribuci a přenos elektřiny.
- Snaha o dosažení cílů Evropské unie ohledně snižování emisí skleníkových plynů. (*Snižovat emise CO<sub>2</sub>: Cíle a opatření EU, 2023*)

## 4.1 Výroba a spotřeba elektrické energie

Základním principem fungování elektrické sítě je fakt, že výroba elektrické energie v jednom čase musí být přibližně stejná jako její spotřeba. Pokud je spotřeba elektřiny větší, jsou abnormálně namáhány generátory, pokud je naopak menší, může docházet k poškození sítě. V důsledku nevyvážené výroby a spotřeby může v extrémním případě dojít až k blackoutu (přerušeni dodávek energie). Výrobu a spotřebu energie je proto nutné neustále udržovat v rovnováze. (*Zamouřil & Krčál, 2022*)

Spotřeba elektrické energie je rozdílná v různých částech dne. Přes den je spotřeba energie zpravidla větší než v nočních hodinách. Taktéž v zimě je spotřeba energie větší, než v letních měsících, zejména kvůli dodatečné spotřebě energie na vytápění. (*Zamouřil & Krčál, 2022*) Níže můžeme vidět graf průběhu spotřeby České republiky ve dnech ročního maxima v MW.



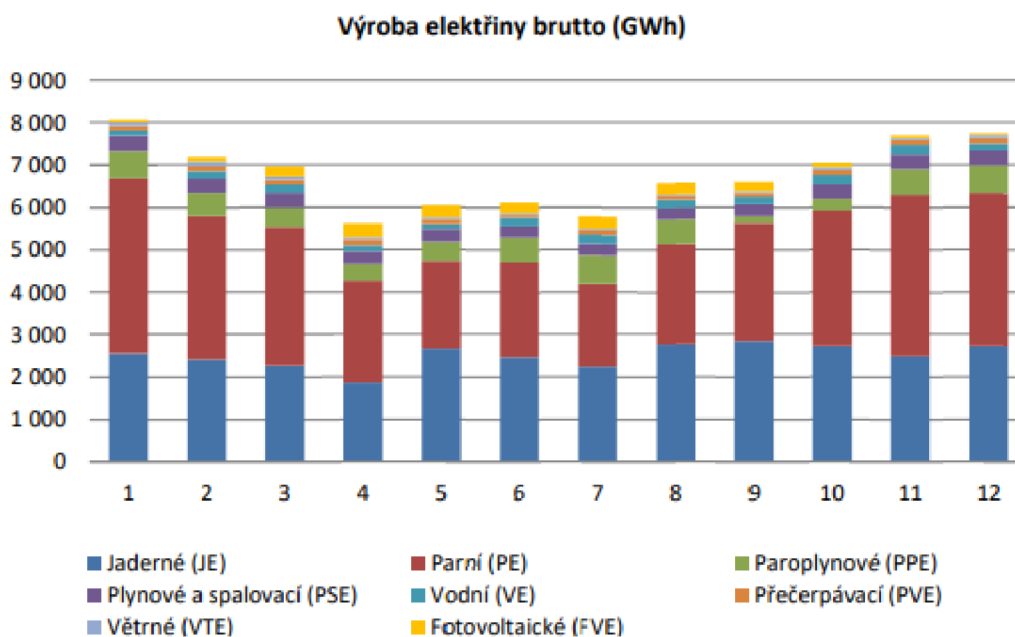


Obrázek 2 - Průběh spotřeby ČR ve dnech ročního maxima (MW) Zdroj: ERÚ

Spotřeba elektrické energie může být z určité části odhadnuta dopředu. Tento fakt umožňuje propojit nabídku elektráren s poptávkou energetických dodavatelů na burze energie. Nikdy nelze zcela přesně odhadnout, jaká přesně bude spotřeba energie, proto je třeba odchylky regulovat v reálném čase. V České republice je síť regulována provozovatelem přenosové soustavy, což je společnost ČEPS, a. s. (Česká elektroenergetická přenosová soustava). Společnost sleduje spotřebu energie v reálném čase a na jejím základě vydává pokyny ke zvýšení nebo snížení výkonu předem smluvených elektráren. (Zamouřil & Krčál, 2022)

Spotřeba energie v České republice se pohybuje mezi 4,5 GW až 11,5 GW v závislosti na denní době a období. Celkový výkon České republiky je přitom přibližně 21,3 GW. Elektřinu lze prodávat taktéž do zahraničí ale pouze omezeně. Nikdy tedy nemohou běžet všechny elektrárny najednou, ale fungují pouze některé (Zamouřil & Krčál, 2022). Další možností, jak ukládat přebytečnou energii, jsou přečerpávací elektrárny, které mohou pomoci vyrovnat spotřebu energie tím, že ukládají energii během období nízké spotřeby a uvolňují ji během špičkových období. Přečerpávací elektrárny tvoří v České republice významný prvek distribuční soustavy elektrické energie. (Hydroelectric Power Stations, 2023)

Důležitými parametry pro odstávku a zapnutí elektrárny jsou: maximální možný výkon, rychlost náběhu výroby, náklady na výrobu elektřiny. Na základě těchto parametrů dělíme elektrárny do čtyř kategorií. Obnovitelné zdroje energie, které mají skoro okamžitý náběh, ale jsou závislé na počasí. Tyto zdroje energie je proto nutné dorovnávat ostatními zdroji. Jaderné zdroje jsou zdroje, které získávají energii jaderným štěpením, tyto zdroje lze zapnout v horizontu několika dnů a je poměrně problematické je krátkodobě odstavit. Uhlé zdroje lze zapnout v rámci jednotek až desítek hodin, plynové zdroje, které lze zapnout v rámci minut až hodin a jsou tak nejvíce flexibilní (Zamouřil & Krčál, 2022). Níže můžeme vidět podíl různých typů elektráren na výrobě elektřiny pro Českou republiku za jednotlivé měsíce v roce.



Obrázek 3 - Výroba elektřiny dle typu elektrárny Zdroj: ERÚ

Které elektrárny budou v jednom okamžiku aktivní se rozhoduje na burze elektřiny.

Aktivní budou ty zdroje, kterým se podaří svou výrobu na daný čas prodat.

K uspokojení poptávky se na burze využívají chronologicky ty zdroje, které produkují elektřinu nejlevněji. Pokud poptávka převyšuje tyto levné zdroje, je potom nabídnuta k prodeji elektřina ze zdrojů dražších. V angličtině se tento systém označuje jako merit order. (Zamouřil & Krčál, 2022) (*Merit order*, 2023)

#### 4.1.1 Stanovení ceny energie na burze

V každém okamžiku se porovnává poptávka po elektrické energii od zákazníků s minimálními cenami od jednotlivých elektráren. Elektrickou energii vyrábí vždy elektrárny, které jsou dohromady schopné uspokojit poptávku za nejnižší cenu. Cena elektřiny na trhu se pak odvíjí od posledního nejdražšího subjektu, který se podílí na dodání poptávaného množství elektrické energie. (Zamouřil & Krčál, 2022)

Tuto cenu následně obdrží všechny elektrárny, které jsou zapojeny do procesu výroby v daném čase. Trh se tím snaží motivovat elektrárny, aby nabízeli elektrickou energii za nejnižší možné ceny a tím se dostali do merit order a tím i k možnosti uspokojit poptávku v daném čase. Z toho vyplývá, že čím je větší poptávka po energii, tím je nutné více zapojovat dražší zdroje a cena elektřiny díky tomu roste. (Zamouřil & Krčál, 2022)

#### **4.1.2 Sítě s vysokým podílem obnovitelných zdrojů**

Odhad spotřeby energie v sítích s vysokým podílem obnovitelných zdrojů má velký vliv na elektrárny a jejich ekonomické zájmy. Tyto elektrárny jsou totiž často závislé na tržních cenách energie, které jsou ovlivněny právě odhadem spotřeby. Pokud elektrárny předpokládají vysokou spotřebu, mohou ceny energie na trhu růst a naopak, pokud předpokládají nízkou spotřebu, mohou ceny klesat.

Elektrárny také využívají odhady spotřeby k plánování své výroby a optimalizaci svých výrobních zdrojů. Pokud elektrárny vědí, že bude vysoká poptávka po energii, mohou zvýšit svou výrobu a naopak, pokud vědí, že poptávka bude nízká, mohou snížit svou výrobu.

Nesprávný odhad spotřeby může mít pro elektrárny negativní ekonomické dopady, jako jsou ztráty z prodeje energie, náklady na přepracování své výrobní kapacity a další. Proto je důležité, aby elektrárny spolupracovaly s regulačními orgány a energetickými trhy, aby zajistily co nejpřesnější odhady spotřeby a zajistily efektivní a udržitelný trh s energií.

V důsledku zvýšení podílu obnovitelných zdrojů v energetických sítích v minulých letech se výroba elektřiny stala více variabilní, jelikož je více vázaná na změny počasí. Z tohoto důvodu se mohou změny v počasí promítat do burzovních cen, což mohou využít velcí dodavatelé energií.

Co nejpřesnější odhad spotřeby je tedy vysoce ekonomicky cennou informací. Z tohoto důvodu si mohou elektrárny zřizovat vlastní meteorologické stanice, které lze využít k vlastnímu odhadu vývoje počasí a tím i tržní ceny energií, na základě čehož mohou optimalizovat svou výrobu a náklady a prodat tak s nejvyšším možným ziskem.

Vlastní meteorologické stanice jsou ale výhodné i pro samotné dodavatele energií, kteří nakupují energii na burze, jelikož mohou na základě odhadu počasí blíže stanovit předpokládanou cenu energie na burze a výhodněji nakoupit.

## 5 Fotovoltaické systémy

Tato kapitola pojednává o různých typech fotovoltaických systému, které se používají a o způsobu jejich instalace a recyklace.

### 5.1 Typy fotovoltaických systémů

Existují základní tři typy fotovoltaických systémů, které se liší svými vlastnostmi a využitím. Tyto základní typy jsou on-grid, off-grid a hybridní systémy.

#### 5.1.1 On-grid

On-grid systém fotovoltaiky je typ solární elektrárny, která je připojena k veřejné rozvodné síti a využívá ji k dodávce nebo prodeji elektrické energie. On-grid systém nemá baterii a funguje pouze za slunečného počasí. Výhodou on-grid systému je snížení nákladů na elektřinu a možnost získat dotace nebo zisk za prodej přebytků energie do sítě. Nevýhodou je závislost na stabilitě sítě a nemožnost ostrovního provozu v případě výpadku proudu (*ON-GRID VS. OFF-GRID SLUNEČNÍ SOUSTAVA*, 2021).

On-grid systémy jsou často využívány pro větší projekty, jako jsou průmyslové či obchodní stavby, kde se elektřina vyráběná fotovoltaickými panely může využít ke snížení nákladů na elektřinu a k ochraně životního prostředí. Tento typ elektrárny může být také využit pro domy, ale vzhledem k nákladům na instalaci a propojení s elektrickou sítí, může být méně praktický než off-grid systémy pro jednotlivé domácnosti. Výhodou on-grid systému je to, že není potřeba baterií pro ukládání elektřiny, což znamená, že investice do tohoto typu systému může být nižší než u off-grid systémů. Nevýhodou může být, že při výpadku elektrické sítě nebude on-grid systém pracovat, protože závisí na dostupnosti elektrické sítě (*ON-GRID VS. OFF-GRID SLUNEČNÍ SOUSTAVA*, 2021).

#### 5.1.2 Off-grid (Ostrovní systém)

Ostrovní systém je typ solárního systému, který není připojen k elektrické síti a využívá baterie nebo akumulátory k uchování energie získané ze slunečního záření. Ostrovní systémy se používají tam, kde není možné nebo ekonomicky výhodné zřídit elektrickou přípojku, například na chatách, karavanech, člunech nebo v odlehlých oblastech.

Ostrovní systémy mohou pracovat pouze se stejnosměrným proudem na napětí 12V, 24V nebo 48V, nebo mohou obsahovat střídač, který umožňuje provozovat spotřebiče na střídavý proud o napětí 230V (Matajs, 2015).

#### 5.1.3 Hybridní systém

Hybridní fotovoltaické systémy jsou instalovány na místech, kde je k dispozici tradiční elektrické připojení. Ačkoliv většina solární energie vyráběné těmito systémy je využívána pro vlastní potřebu, elektrárna je připojena k distribuční soustavě a umožňuje dodávat vyrobené přebytky elektřiny do sítě (Hejhálek, 2018).

Tento systém je schopen pracovat v on-grid i off-grid režimu a využívá hybridní inteligentní měnič napětí, který umožňuje přepínat tok energie mezi různými prvky

soustavy, jako jsou akumulátory a distribuční síť. Přebytná energie je přesměrovávána v reálném čase nebo s řízeným zpožděním do předem určených energeticky náročných spotřebičů, jako jsou klimatizace nebo bojler (Hejhálek, 2018).

Hybridní systémy představují účinný kompromis mezi klasickou on-grid elektrárnou a ostrovními systémy. Tyto systémy dokážou využít energie z obnovitelných zdrojů maximálním způsobem a jsou považovány za nejekonomičtější řešení, které umožňuje uživatelům nezávislost na zvyšování cen elektřiny a výpadcích v distribuční soustavě (Hejhálek, 2018).

## 5.2 Instalace systému

Před samotnou instalací fotovoltaického systému je třeba zvážit určité parametry. Základem je volba typu fotovoltaického systému. Zákazník si může vybrat, zda chce využít systém on-grid nebo systém hybridní. Systém off-grid se využívá méně, vzhledem k tomu, že neumožňuje využít výrobu energie příliš efektivně.

V prvním případě se energie, kterou domácnost aktuálně nespotebovává, odevzdává do distribuční sítě, ve druhém případě se nejprve ukládá do baterií, aby byla v zásobě do budoucna. Přbytek se odevzdává do sítě až po nabití baterií. Pro domácnosti se většinou montují systémy s baterií, jelikož to umožňuje podstatně vyšší využitelnost celého systému. (Nesvadbová, 2022)

Dalším bodem je umístění samotných panelů na střechu domu. Ideální umístění je na šikmou střechu s orientací na jižní stranu. Využít lze také sedlové střechy s orientací na východ a západ, kdy se část panelů umístí na jednu světovou stranu a další část na druhou. Panely je také možné umístit na ploché střechy, kdy se požadovaného úhlu docílí pomocí podpůrné konstrukce. Ideální sklon panelů je 35-45 stupňů. Fotovoltaické panely lze montovat na téměř jakýkoliv druh střešní krytiny, pomocí specifických upevňovacích prvků a konstrukcí. Pokud místo na střeše není dostatečné, lze využít další stavby na pozemku jako jsou garáže nebo pergoly. Panely lze umístit také na fasádu domu. (Nesvadbová, 2022)

Další, co musí zákazník zvážit, je výkon celého systému. Nejčastěji využívanou velikostí je elektrárna o výkonu 9.9kWp, jelikož to je maximální hodnota pro získání dotace. Elektrárna tohoto výkonu dokáže za rok vyrobit přibližně 10MWh elektrické energie. Orientační cena takového systému je mezi 315-340 tisíc korun po odečtení dotace. Návratnost investice může být značně individuální kvůli rozdílné spotřebě elektrické energie domácností a také kvůli rozdílným konkrétním podmínkám. (Nesvadbová, 2022)

### 5.3 Likvidace, recyklace

System recyklace fotovoltaických panelů se v České republice teprve rozvíjí a stále není dostatečně rozvinutý. Přestože se počet instalací fotovoltaických panelů v ČR zvyšuje, stále chybí efektivní systém pro sběr a recyklaci starých panelů po skončení jejich životnosti.

V ČR existuje několik firem, které se recyklací fotovoltaických panelů zabývají, avšak jejich rozsah činnosti se zatím omezuje pouze na rozebírání panelů na jednotlivé komponenty, jako jsou například křemíkové čipy, měděné vodiče nebo hliníkové rámy. Tyto komponenty jsou poté recyklovány nebo prodávány jako surovina pro další výrobu.

Recyklace fotovoltaických panelů je důležitá zejména kvůli snížení ekologické zátěže, uchování cenných surovin a snížení nákladů na likvidaci nefunkčních panelů. Česká republika by také mohla tímto způsobem rozvíjet své know-how v oboru a stát se lídrem v oblasti recyklace fotovoltaických panelů.

Recyklační proces fotovoltaických panelů je složitý a zahrnuje mnoho kroků. Prvním krokem je demontáž panelů, která se provádí ručně nebo strojově. V demontáži se odstraňují všechny nebezpečné látky, jako jsou polychlorované bifenyly (PCB) a rtuť, které jsou používány v některých typech panelů. Následně se rozdělí na jednotlivé komponenty, jako jsou křemíkové destičky, hliníkové rámce a skleněné desky.

Křemíkové destičky, které tvoří hlavní část fotovoltaických panelů, se dále zpracovávají pomocí chemických a mechanických postupů. Chemickým zpracováním se odstraňuje vrstva kovů a získává se křemík v čisté formě. Tento křemík lze následně použít jako surovinu pro výrobu nových panelů nebo pro legování kovů. Zbývající kovy, jako je stříbro, mohou být získány a recyklovány jako samostatný produkt (Wimmerová & Černý, 2018).

Hliníkové rámy se dají recyklovat tavením v peci. Výsledkem tohoto procesu je ryzí hliník, který lze použít jako surovinu pro nové výrobky. Skleněné desky lze dále zpracovávat drcením nebo tavením. Výsledkem tohoto procesu jsou skleněné kuličky, které se dají použít jako surovina pro nové skleněné výrobky (Wimmerová & Černý, 2018).

Od roku 2015 se recyklace vysloužilých fotovoltaických panelů stala zákonem povinnou podle směrnice EU 2012/19/EU, která vyžaduje, aby bylo recyklováno alespoň 70% materiálu panelů a využito alespoň 80%. Pouze zbylých 20% lze uložit na skládku (Wimmerová & Černý, 2018).

Z výzkumu firmy AQUATEST vyplývá, že jediným ekonomicky zajímavým výstupem recyklace je stříbro. Firma AQUATEST uvádí, že malotonážní chemické zpracování se vyplatí do obsahu stříbra 0,08%. Při nižším obsahu je recyklaci vhodné ukončit po oddělení skla a hliníkových rámu (Wimmerová & Černý, 2018).

## 6 Model výkonu FVE

Pro účely této diplomové práce byl vytvořen model výkonu fotovoltaické elektrárny pomocí programovacího jazyka python a knihovny pvlib. Níže je popsán kód rozdělený do jednotlivých funkcí.

### 1. Nastavení pozice:

```
pvlib.location.Location(self.latitude,self.longitude,altitude=self.altitude,tz=self.timezone)
```

Funkce pvlib.location.Location slouží k vytvoření objektu, který reprezentuje zeměpisnou polohu. Objekt obsahuje informace o zeměpisné šířce, zeměpisné délce, nadmořské výšce a časovém pásmu, které budou použity pro další výpočty v knihovně pvlib. (pvlib User Guide, 2021)

### 2. Vytvoření solárního modelu

```
pvlib.solarposition.get_solarposition(self.times, self.latitude, self.longitude,self.altitude)
```

Funkce pvlib.solarposition.get\_solarposition vypočítává sluneční pozici (zenit a azimut) pro zadanou zeměpisnou polohu a časové okamžiky. Sluneční pozice jsou důležité pro určení množství slunečního záření dopadajícího na fotovoltaické panely. (pvlib User Guide, 2021)

	apparent_zenith	zenith	apparent_elevation	elevation	azimuth	equation_of_time
2030-06-01 00:00:00+02:00	107.658822	107.658822	-17.658822	-17.658822	344.981144	2.213390
2030-06-01 01:00:00+02:00	108.978078	108.978078	-18.978078	-18.978078	359.559793	2.207028
2030-06-01 02:00:00+02:00	107.795984	107.795984	-17.795984	-17.795984	14.156650	2.200654
2030-06-01 03:00:00+02:00	104.237819	104.237819	-14.237819	-14.237819	28.138860	2.194268

Výstupem této funkce je:

- Sluneční zenit (solar zenith) je bod na obloze, který je přímo nad pozorovatelem. Je to místo, kde Slunce dosahuje své nejvyšší výšky během dne.
- Elevace (elevation) je úhel mezi horizontem a bodem na obloze. Měří, jak vysoko nebo nízko je Slunce nad nebo pod horizontem.
- Azimut (azimuth) je úhel mezi referenčním směrem (obvykle severem) a bodem na horizontu. Měří, jak daleko je Slunce na východ nebo západ od severu.

### 3. Výpočet relativního a absolutního vzdušného tlaku:

Funkce get\_relative\_airmass a get\_absolute\_airmass vypočítají relativní a absolutní hmotnost vzduchu. Hmotnost vzduchu je důležitým parametrem pro výpočet spektrálního rozložení slunečního záření a jeho útlumu v atmosféře. (pvlib User Guide, 2021)

```
pvlib.atmosphere.get_relative_airmass(self.solpos['apparent_zenith'])  
pvlib.atmosphere.get_absolute_airmass(self.amr)
```

Funkce `pvlib.atmosphere.get_relative_airmass` vypočítává relativní vzdušný tlak (AMR) na základě zdánlivého zenitu slunce. Relativní vzdušný tlak je bezrozměrný parametr, který vyjadřuje množství atmosféry, kterou musí sluneční záření projít, než dosáhne pozorovatele.

Funkce `pvlib.atmosphere.get_absolute_airmass` poté převede relativní vzdušný tlak na absolutní vzdušný tlak (AM) tím, že jej vynásobí atmosférickým tlakem na zemi (v Pa) a převede jej na standardní atmosférický tlak (101325Pa) (*pvlib User Guide*, 2021)

#### 4. Výpočet Linkeho turbidity

```
pvlib.clearsky.lookup_linke_turbidity(self.times, self.latitude, self.longitude, interp_turbidity=True)
```

Funkce `pvlib.clearsky.lookup_linke_turbidity` vypočítává Linkeho turbiditu, což je jedna z metod pro kvantifikaci zakalenosti atmosféry. Zakalenost atmosféry ovlivňuje množství a spektrum slunečního záření, které dopadá na povrch Země, což má vliv na výkonnost solárních systémů (*pvlib User Guide*, 2021). Tento pojem pochází od německého meteorologa Franze Linkeho, který ho poprvé představil v roce 1922 (Grossman, 1999).

Linkeho turbidita je bezrozměrná jednotka, která je založena na měření a analýze slunečního záření. Tato funkce používá geografické souřadnice a časové okamžiky pro nalezení Linkeho turbidity v dané oblasti. Parametr `interp_turbidity` určuje, zda se má použít interpolace dat pro získání turbidity, pokud nejsou dostupná přesná data pro danou polohu.

#### 5. Nastavení teplotních parametrů

```
pvlib.temperature.TEMPERATURE_MODEL_PARAMETERS['sapm']['open_rack_glass_glass']
```

Funkce `pvlib.temperature.TEMPERATURE_MODEL_PARAMETERS` poskytuje přístup k parametrům teplotních modelů různých fotovoltaických modulů. V tomto případě jsou vybrány parametry pro model 'sapm' (Sandia Array Performance Model) se skleněným povrchem a otevřeným stojanem. Tyto parametry budou použity při výpočtech teploty fotovoltaických modulů. (*pvlib User Guide*, 2021)

#### 6. Výpočet ozáření

```
pvlib.clearsky.ineichen(self.solpos['apparent_zenith'], self.am, self.turbidity, altitude=self.altitude)
```

Funkce `pvlib.clearsky.ineichen` určuje jasné nebeské GHI (globální horizontální záření), DNI (přímé normální záření) a DHI (difúzní horizontální záření) z modelu Ineichen/Perez (Perez et al., 1987). Jedná se o model pro výpočet slunečního záření na povrchu Země za podmínek jasné oblohy. Ineichenův model je založen na empirických datech a vztazích mezi zdánlivým zenitem slunce, absolutním vzdušným tlakem, turbiditou a nadmořskou výškou. (*pvlib User Guide*, 2021)



## 7. Načtení parametrů panelů a střídače

```
self.module=self.sandia_modules['Silevo_Triex_U300_Black_2014_']  
self.inverter=self.cec_inverters['INGETEAM_POWER_TECHNOLOGY_S_A_Ingecon_Sun_40TL_U_M_480V_']
```

Funkce `pvlb.pvsystem.retrieve_sam` umožňuje načíst parametry fotovoltaických panelů a střídačů z databáze SAM (System Advisor Model). Databáze 'SandiaMod' obsahuje data o fotovoltaických modulech z laboratoří Sandia National Laboratories. Databáze 'CECInverters' obsahuje data o střídačích z Kalifornské energetické komise (CEC). Tyto databáze jsou obecně použitelné pro výpočty výkonu fotovoltaických systémů a jsou aktualizovány s novými produkty a technologiemi. V tomto případě jsou načteny parametry fotovoltaických modulů z databáze 'SandiaMod' a střídače z databáze 'CECInverters'. (*pvlb User Guide*, 2021)

## 8. Výpočet průběhu výkonu pro 1 pole

Tento kód definuje funkci `Test1array`, která vytváří pole fotovoltaických panelů s danou orientací a sklonem a simuluje jeho výkon pomocí modelovacího řetězce (`ModelChain`) v knihovně `pvlb`.

```
def Test1array(self,sklon=35,orientace=180,mod_per_string=5,nazev='Pole1'):  
    arrays=[  
        pvlb.pvsystem.Array(pvlb.pvsystem.FixedMount(sklon,orientace),  
                             name=nazev,  
                             module_parameters=self.module,  
                             temperature_model_parameters=self.temperature_parameters,  
                             modules_per_string=mod_per_string  
        )  
    ]
```

Funkce vytvoří seznam obsahující jeden objekt `pvlb.pvsystem.Array`. Tento objekt reprezentuje fotovoltaické pole s pevným montážním systémem, které má zadaný sklon a orientaci. Dále jsou do objektu předány parametry fotovoltaického modulu (`self.module`), teplotního modelu (`self.temperature_parameters`) a počet fotovoltaických modulů (`modules_per_string`).

```
system=pvlb.pvsystem.PVSystem(arrays,inverter_parameters=self.inverter)  
mc = pvlb.modelchain.ModelChain(system, self.pos)  
mc.run_model(self.clearsky)  
return mc,system
```

Funkce dále vytvoří objekt `pvlb.pvsystem.PVSystem`, který reprezentuje fotovoltaický systém skládající se z jednoho pole a předaných parametrů střídače (`self.inverter`).

Vytvoří se objekt `pvlb.modelchain.ModelChain`, který slouží k modelování a simulaci výkonu fotovoltaického systému v závislosti na zadaných parametrech systému a pozice (`self.pos`).

Spustí se simulace výkonu fotovoltaického systému pomocí modelovacího řetězce. Vstupem pro simulaci je výpočet slunečního ozáření (`self.clearsky`).

## 9. Výpočet průběhu pro 2 pole

Tento kód definuje funkci Test2array, která vytváří simulaci pro 2 pole fotovoltaických panelů analogicky s předchozím příkladem. Tato funkce umožňuje simulovat systém 2 fotovoltaických polí s rozdílnou orientací a sklonem.

```
def Test2array(self, sklon1, sklon2, orientace1, orientace2, mod_per_string1, mod_per_string2, nazev1, nazev2):
    arrays=[
        pvlib.pvsystem.Array(pvlib.pvsystem.FixedMount(sklon1, orientace1),
                             name=nazev1,
                             module_parameters=self.module,
                             temperature_model_parameters=self.temperature_parameters,
                             modules_per_string=mod_per_string1
                             ),
        pvlib.pvsystem.Array(pvlib.pvsystem.FixedMount(sklon2, orientace2),
                             name=nazev2,
                             module_parameters=self.module,
                             temperature_model_parameters=self.temperature_parameters,
                             modules_per_string=mod_per_string2
                             )
    ]

    system=pvlib.pvsystem.PVSystem(arrays, inverter_parameters=self.inverter)
    mc = pvlib.modelchain.ModelChain(system, self.pos)
    mc.run_model(self.clearsky)
    return mc, system
```

## 6.1 Vliv parametrů fotovoltaického pole

Fotovoltaická pole jsou často optimalizována pro maximální efektivitu a výkon. Klíčovými parametry, které mají významný vliv na výkon fotovoltaických panelů, jsou orientace a sklon panelů. Tato kapitola se zaměřuje na analýzu různých kombinací orientace a sklonu fotovoltaických panelů a jejich vliv na průběh výkonu.

Pro analýzu vlivu těchto parametrů jsou použity souřadnice (49, 14), které odpovídají městu Písek v Jihočeském kraji. Dále je použito pole o velikosti 10x300Wp. Pro představení vlivu orientace jsou použity pole se sklonem 40 stupňů, jelikož je středem intervalu, který je považován za optimální volbu v podmínkách ČR. Typický sklon střech v ČR je 35–45 stupňů, čemuž tento sklon odpovídá. Tento interval bude více komentován v textu níže. Pro představení vlivu sklonu, je zvolena orientace na jih.

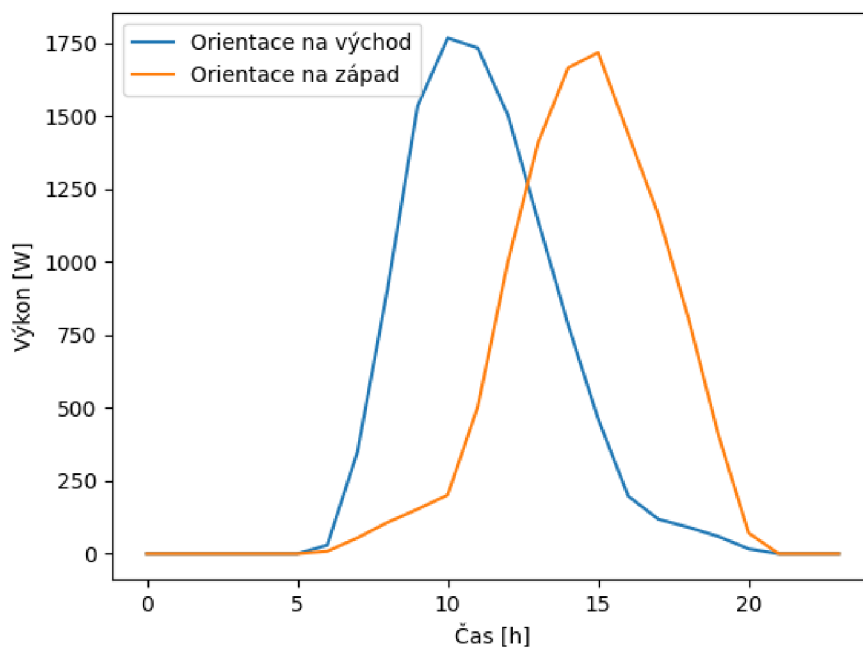
### 6.1.1 Orientace fotovoltaického pole

#### 1. Západní a východní orientace pole

Na níže přiloženém grafu můžeme vidět rozdíl průběhu výroby mezi polem orientovaným na východ a polem orientovaným na západ.

Z grafu je zřejmé, že pole orientované na východ začíná vyrábět elektrickou energii v dřívějších hodinách (5:00 ráno) než pole orientované na západ a zároveň výrobu ukončuje v dřívějších hodinách. Obě pole dosahují maximálního výkonu přibližně 1700W.

Pole orientované na východ je tedy vhodné použít spíše pro pokrytí spotřeby v dopoledních hodinách. Oproti tomu pole orientované na západ je vhodné použít k pokrytí spotřeby v odpoledních hodinách.



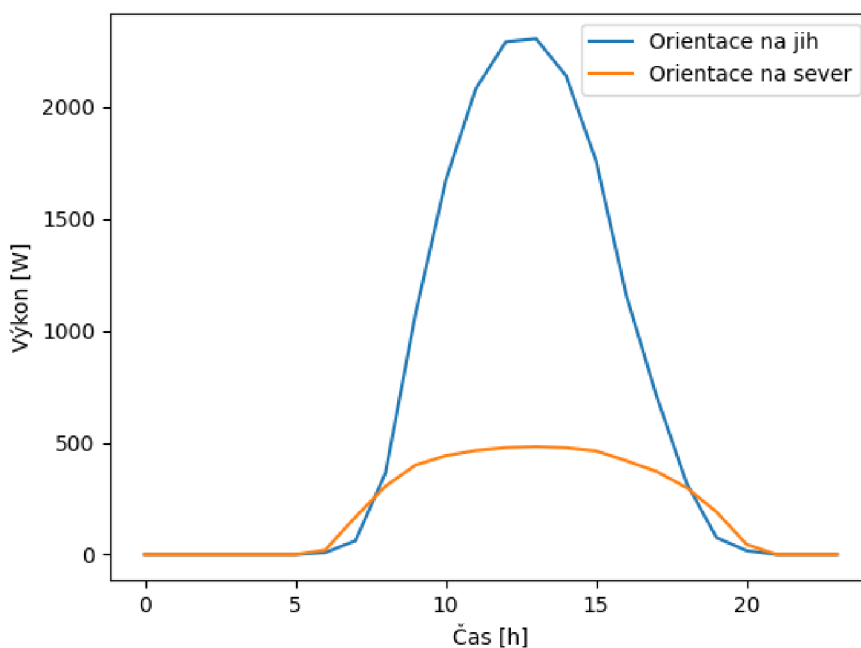
Obrázek 4 - Západní a východní orientace pole

## 2. Severní a jižní orientace pole

Na níže přiloženém grafu můžeme vidět rozdíl průběhu výroby mezi polem orientovaným na sever a polem orientovaným na jih.

Pole orientované na sever začíná s výrobou o trochu dříve a zároveň končí o trochu déle než pole orientované na jih. Jeho maximální výkon je ale pouze kolem 500W při výkonu pole 3000Wp, což jej činí jako ztrátovou volbu. Pole orientované na jih dosahuje maximálního výkonu přibližně 2700W, což je o 1000W více než pole orientovaná na západ nebo východ. Pole orientované na jih ale oproti předchozím dvou začíná vyrábět déle a končí s výrobou dříve.

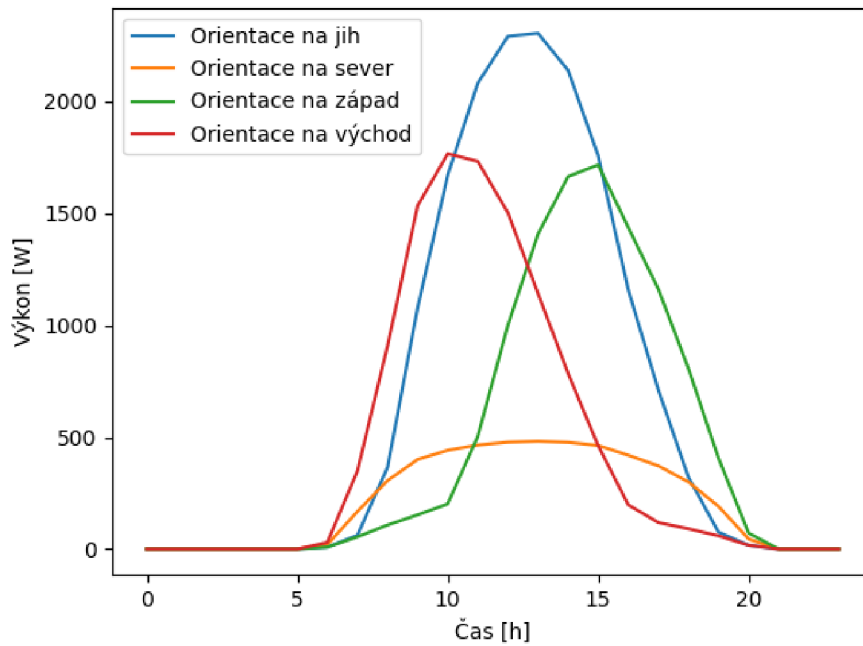
Pole orientované na jih je vhodné použít k pokrytí spotřeby uprostřed dne nebo k akumulaci energie do baterií. Pole orientované na sever nemá žádné výhody oproti jiným orientacím a není tedy vhodné jej používat.



Obrázek 5 - Severní a jižní orientace pole

### 3. Zobrazení všech orientací

Níže můžeme vidět vliv všech zkoumaných orientací v jednom grafu. Z tohoto grafu je zřejmý časový interval, ve kterém jednotlivá pole vyrábějí. Změnou orientace a dále i sklonu je možné pokrýt spotřebu, kterou by nebylo možné pokrýt polem s orientací na jih, proto je tedy výhodné používat i pole s jinou orientací.



Obrázek 6 - Souhrn vlivu orientace

## 6.1.2 Sklon fotovoltaického pole

Fotovoltaická pole jsou navrhována tak, aby maximalizovala svůj výkon a efektivitu. Jeden z nejdůležitějších parametrů, který ovlivňuje energetický výstup fotovoltaických panelů, je sklon panelů vzhledem k horizontu. V této podkapitole se podrobněji zaměříme na vliv sklonu fotovoltaického pole na jeho výkon a efektivitu přeměny sluneční energie na elektrickou energii.

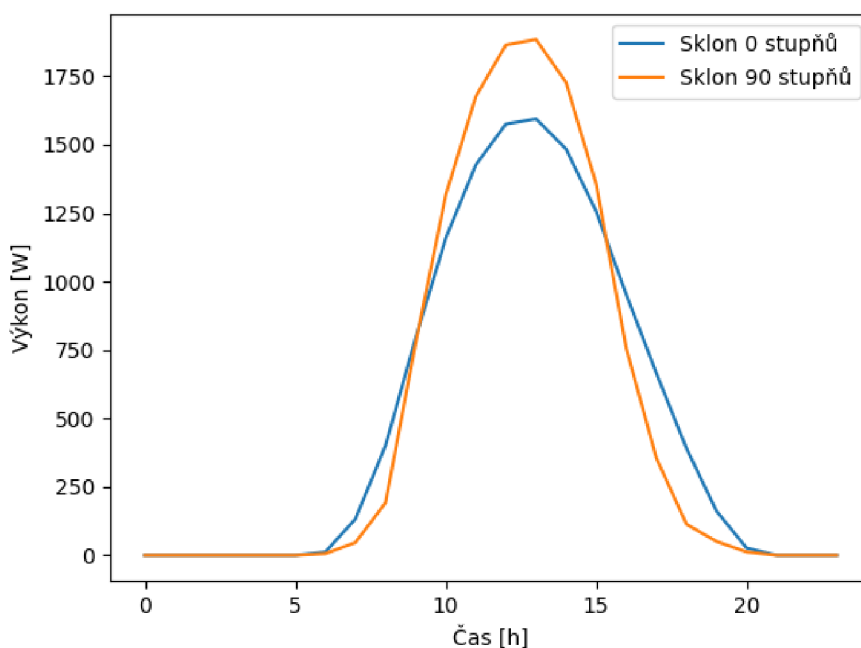
Sklon fotovoltaických panelů má zásadní vliv na množství slunečního záření, které je schopno zachytit a přeměnit na energii. Sklon panelů ovlivňuje úhel, kterým dopadá sluneční záření na povrch panelů, a tím i jejich schopnost efektivně využívat dostupné sluneční energie. Optimalizace sklonu panelů může přispět k zvýšení celkového výkonu fotovoltaického pole, což vede k lepšímu energetickému výnosu.

### 1. Sklon 0 stupňů:

Panel s nulovým sklonem, tedy umístěný rovnoběžně s horizontem, bude přijímat sluneční záření především v období, kdy je slunce v zenitu. Výkon takového panelu může být výrazně nižší než u panelů se sklonem, protože úhel dopadu slunečních paprsků nebude optimální ve většině dne. Navíc panel s nulovým sklonem může být náchylnější k usazování nečistot a sněhu, což může snižovat jeho výkon.

### 2. Sklon 90 stupňů:

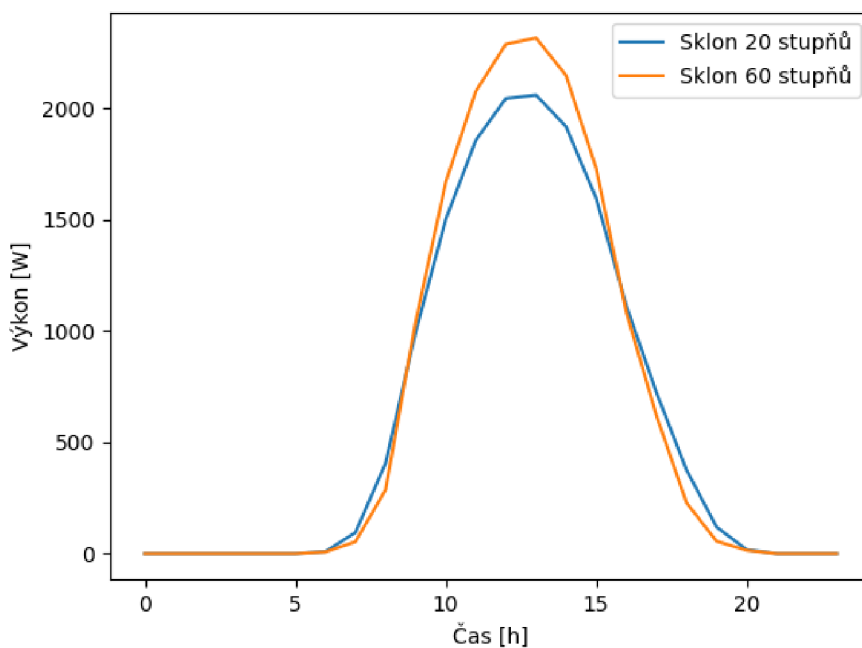
Panel se sklonem 90 stupňů je vertikálně umístěný a zachycuje především difúzní sluneční záření a záření odražené od okolních povrchů. Vertikálně umístěné panely mohou být vhodné v některých specifických situacích, například v městském prostředí s omezeným prostorem nebo na budovách s výraznými vertikálními plochami.



Obrázek 7 - Sklon 0 a 90 stupňů

### 3. Sklon 20 a 60 stupňů:

Sklon 20 stupňů je blíže k horizontální poloze, což může být vhodné pro oblasti se zvýšeným množstvím difúzního slunečního záření a nižší nadmořskou výškou. Sklon 60 stupňů je zase blíže k vertikální poloze, což může být vhodné pro oblasti se sněhovým pokryvem, protože panel lépe odhazuje sníh. Výkon panelů s těmito sklonem bude záviset na zeměpisné šířce, sezóně a místních klimatických podmínkách.

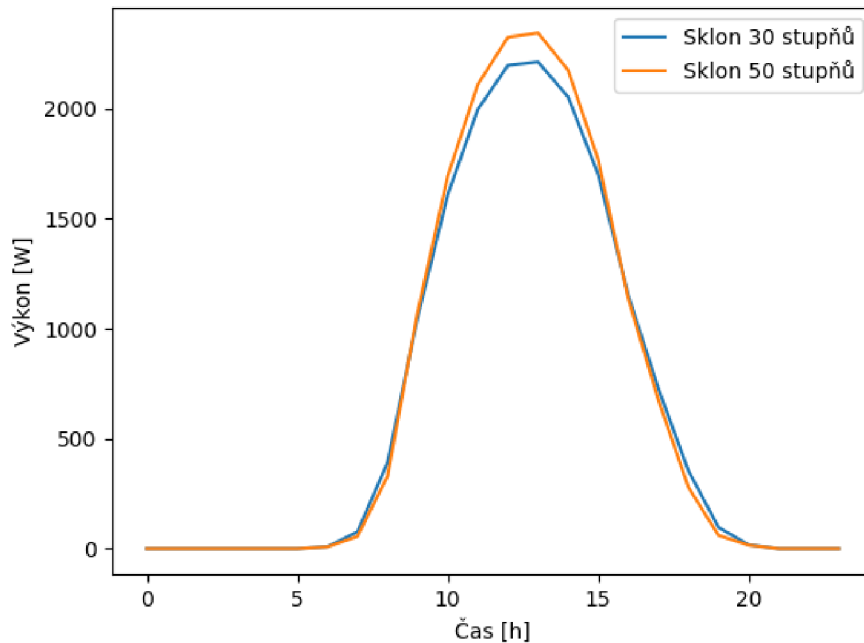


Obrázek 8 - Sklon 20 a 60 stupňů

Z grafu je zřejmé, že pole se sklonem 20 stupňů dosahuje většího maximálního výkonu během dne, ale začíná vyrábět nepatrně déle a končí s výrobou dříve. Oproti tomu pole se sklonem 60 stupňů dosahuje menšího maximálního výkonu, ale začíná vyrábět dříve a končí s výrobou déle.

#### 4. Sklon 30 a 50 stupňů:

Sklon 30 až 50 stupňů je často považován za optimální ve středních zeměpisných šířkách, kde je slunce v průběhu dne v dostatečně vysokém úhlu nad obzorem. Takový sklon umožňuje panelům zachytit co největší množství slunečního záření a maximalizovat tak jejich výkon a efektivitu. Výkon panelů se sklonem 30 a 50 stupňů bude záviset na sezóně, ale obecně bude vyšší než u panelů se sklonem 0, 20, 60 nebo 90 stupňů.



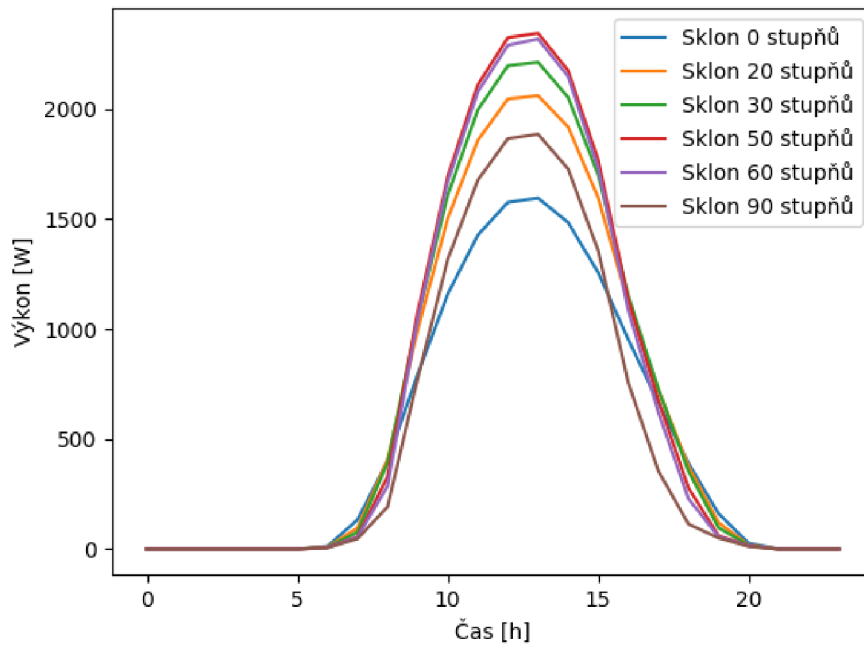
Obrázek 9 - Sklon 30 a 40 stupňů

Z grafu je zřejmé, že pole se sklonem 30 stupňů dosahuje menšího maximálního výkonu během dne oproti poli se sklonem 50 stupňů. Začátek a konec výroby jsou v tomto případě téměř shodné. Pole se sklonem 30 a 50 stupňů dosahují maximálního výkonu přibližně 2500W což je v porovnání s předchozím případem více než v situaci se sklonem 20 stupňů. V porovnání se sklonem 60 stupňů je dosažený maximální výkon přibližně shodný ale pole se sklonem 30 a 50 stupňů začínají vyrábět dříve a končí s výrobou déle.



## 5. Zobrazení všech sklonů

Níže můžeme vidět vliv všech zkoumaných sklonů v jednom grafu. Z tohoto grafu je zřejmá výhodnost použití sklonu 30 až 50 stupňů, ačkoliv se zde jeví jako vhodný sklon také 60 stupňů. Tento sklon ale začíná vyrábět déle a končí s výrobou dříve.



Obrázek 10 - Souhrn vlivu sklonů

## 7 Optimalizace

V této kapitole se zaměříme na optimalizaci orientace a sklonu fotovoltaického pole s ohledem na spotřebu energie. Optimalizace bude provedena na základě cenového modelu a modelu výkonové rovnováhy.

Nejprve budeme optimalizovat orientaci a sklon jednoho fotovoltaického pole, a následně rozšíříme naši analýzu na optimalizaci dvou polí. Cílem optimalizace je najít takové kombinace orientace a sklonu, které povedou k co nejvyššímu přínosu při zohlednění místní spotřeby. Optimalizace bude zahrnovat následující varianty:

1. Optimalizace v závislosti na průměrné spotřebě: V tomto kroku bude zkoumán vliv orientace a sklonu panelů na průměrnou spotřebu energie a jejich schopnost uspokojit energetické potřeby objektu. Tato optimalizace je založená na modelu výkonové rovnováhy a dvou možných přístupech.
  - a. Prvním případem je minimalizace výkonu, který se nakupuje z elektrické sítě, tento přístup bude dále nazýván jako Bmin (Buy min).
  - b. Druhým přístupem je minimalizace výkonu, který se nakupuje a zároveň dodává do elektrické sítě, tento přístup bude dále nazýván jako SminBmin (Sell min, Buy min)
2. Optimalizace pomocí cenového modelu: V tomto kroku bude zkoumán vliv orientace a sklonu panelů v závislosti na ceně elektrické energie a ceně za výkup přebytečné energie dodané do sítě.
3. Optimalizace pro dvojici fotovoltaických polí: V posledním kroku bude analýza rozšířena na optimalizaci dvou fotovoltaických polí. Budou zkoumány různé kombinace orientace a sklonu obou polí, aby bylo dosaženo co nejlepšího výkonu a efektivity při zohlednění spotřeby energie.

Tyto modely byly implementovány v programovacím jazyce python, ve kterém bude provedena i následná optimalizace.

### 7.1 Model výkonové rovnováhy

Model výkonové rovnováhy lze matematicky popsat pomocí rovnice, která vyjadřuje rovnováhu mezi produkovanou a spotřebovanou energií:

$$P(t) = C(t) + G(t) - D(t)$$

kde  $P(t)$ ,  $C(t)$ ,  $G(t)$  a  $D(t)$  jsou kladná čísla a  $t$  je hodina ve dni:

$P(t)$  je výkon FVE v čase  $t$

$C(t)$  je výkon energie, který se spotřebuje v čase  $t$  (spotřeba spotřebitelů)

$G(t)$  je výkon energie, který se ukládá do akumulátorů nebo dodává do elektrické sítě v čase  $t$

$D(t)$  je výkon energie, který se nakupuje z elektrické sítě v čase  $t$

Tento model použijeme pro dva odlišné přístupy. Jedním přístupem bude minimalizace součtu  $D(t)$ , což je energie, která se nakupuje z elektrické sítě za celý den (Bmin). Minimalizací tohoto parametru zajistíme co nejvyšší vlastní pokrytí spotřeby. Pro potřeby optimalizace budeme uvažovat s maximální možnou velikostí elektrárny na úrovni roční spotřeby, kdy je zvolena taková velikost elektrárny v kWp jako je roční spotřeba elektřiny v MWh.

Dalším přístupem bude minimalizace součtu  $G(t)$  a  $D(t)$ , což je součet elektrické energie, která se nakupuje ze sítě a energie, která se do sítě dodává za celý den (SminBmin). Tímto přístupem docílíme maximální rovnosti mezi spotřebou a výrobou.

```
def PBModel(args,pv,spotreba,method='sminbmin'):  
    #Načtení parametrů  
    sklon,orientace,pocet_panel=args  
    pv=pv  
    spotreba=spotreba  
    mc,system=pv.TestIarray(sklon,orientace,pocet_panel)  
    spotr=spotreba  
    #datová úprava  
    pw = mc.results.ac.to_frame()  
    pw.columns = ['outputpw']  
    pw["outputpw"] = pw["outputpw"].fillna(0)  
    #Zprůměrování  
    hourly_data = pw.groupby(pw.index.hour).mean()  
    spotr.columns = ['spotreba']  
    model=pd.DataFrame(columns=['Hodina', 'Pt', 'Ct', 'Gt', 'Dt'])  
    #Model výkonové rovnováhy  
    Pt = hourly_data['outputpw']  
    Ct = spotr['spotreba']  
    Gt=(Pt-Ct).clip(lower=0)  
    Dt = (Ct-Pt).clip(lower=0)  
    model = [hourly_data.index, Pt, Ct, Gt, Dt]  
    #Dva přístupy  
    # 1)bmin (Buymin)  
    # 2)sminbmin (SellminBuymin)  
    if method=='sminbmin':  
        return model[3].sum()+model[4].sum()  
    if method=='bmin':  
        return model[4].sum()
```

Obrázek 11 - Model výkonové rovnováhy - Python

## 7.2 Cenový model

Tento model je také založen na modelu výkonové rovnováhy, ale je upraven tak, aby počítal s cenou, za kterou elektrickou energii nakupujeme, a zároveň s cenou, za kterou přebytečnou energii prodáváme do sítě.

Cílem tohoto modelu je minimalizovat částku, kterou nás energie stojí v průměru za den. Pro potřeby optimalizace budeme uvažovat s maximální možnou velikostí elektrárny na úrovni roční spotřeby, kdy je zvolena taková velikost elektrárny v kWp jako je roční spotřeba elektřiny v MWh.

```

def CostModel(args,pv,spotreba,ele_price=4,sell_price=2):
    #Načtení parametrů
    sklon,orientace,pocet_panel=args
    pv=pv
    spotreba=spotreba
    mc,system=pv.Test1array(sklon,orientace,pocet_panel)
    spotr=spotreba
    #Datová úprava
    pw = mc.results.ac.to_frame()
    pw.columns = ['outputpw']
    pw["outputpw"] = pw["outputpw"].fillna(0)
    #Zprůměrování
    hourly_data = pw.groupby(pw.index.hour).mean()
    spotr.columns = ['spotreba']
    model=pd.DataFrame(columns=['Hodina', 'Pt', 'Ct', 'Gt', 'Dt'])
    #Upravený model výkonové rovnováhy
    Pt = hourly_data['outputpw']
    Ct = spotr['spotreba']
    Gpt=(Pt-Ct).clip(lower=0)*(sell_price/1000)
    Dpt = (Ct-Pt).clip(lower=0)*(ele_price/1000)
    #Cena provozu elektrárny za den vzhledem ke spotřebě
    Ec=Dpt.sum()-Gpt.sum()
    print(Ec)
    return Ec

```

Obrázek 12- Cenový model - Python

V tomto modelu počítáme  $G_p(t)$  jako částku, za kterou prodáme přebytečnou energii, kterou vyrobí fotovoltaická elektrárna a  $D_p(t)$  jako částku za kterou nakupujeme energii, kterou nám nebyla elektrárna schopna v čase  $t$  dodat. Rozdílem součtů těchto hodnot získáme částku, kterou nás celkově stojí energie za den, vzhledem ke spotřebě. Zápornou hodnotou je v tomto případě zisk.

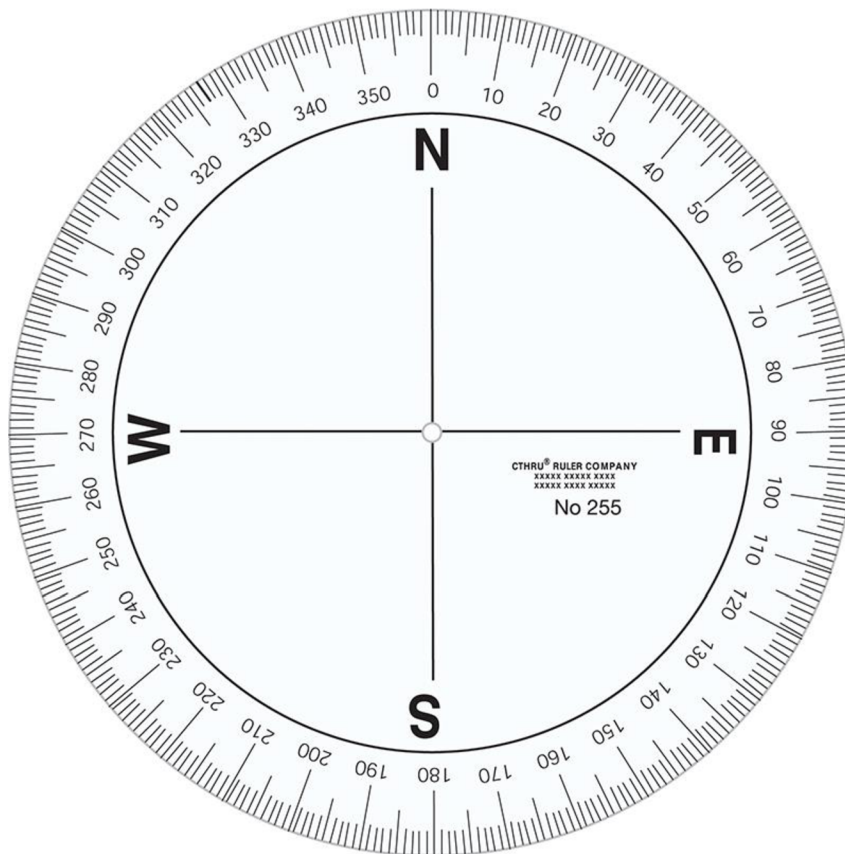
### 7.3 Spotřeba a optimalizace

V průběhu přípravy na optimalizaci fotovoltaických polí byla shromážděna data o energetických spotřebách domácností. Tato data zahrnují informace o množství a časovém rozložení spotřeby elektrické energie v různých typech domácností.

Shromážděná data poskytují důležitý základ pro analýzu a následnou optimalizaci fotovoltaických polí, jelikož umožňují lépe pochopit energetické potřeby domácností a navrhnout tak fotovoltaický systém, který bude schopen tyto potřeby co nejlépe pokrýt.

Na základě těchto informací bude provedena optimalizace fotovoltaických polí, která zohlední místní spotřebu energie, cenu elektřiny a výkonovou rovnováhu, což povede k návrhu efektivního a ekonomicky výhodného fotovoltaického systému.

Výsledkem této optimalizace budou optimální hodnoty sklonu (ve stupních), orientace (ve stupních), a velikosti pole (v kusech fotovoltaických panelů). Výsledky orientace ve stupních lze interpretovat pomocí této směrové růžice.



Obrázek 13 - Orientace panelů, směrová růžice Zdroj:kamzici.ctujm.cz

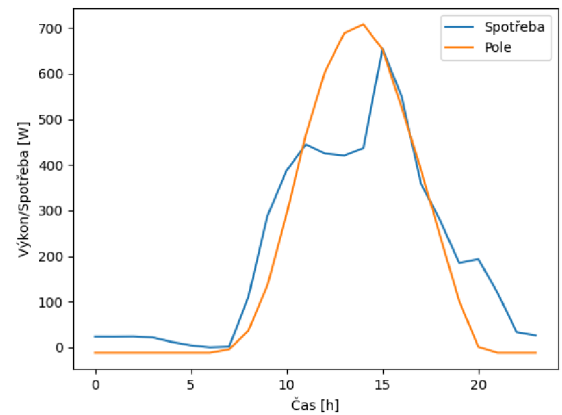
### 7.3.1 Domácnost A

Domácnosti A je bytová jednotka, která má jednoho člena v důchodovém věku. Spotřeba byla v tomto případě sledována od 1. 1. 2023 do 3. 2. 2023.

Optimalizace metodou SminBmin

Výsledky:

Sklon: 15 stupňů, orientace: 280 stupňů (západ), počet panelů: 5ks (1500Wp)

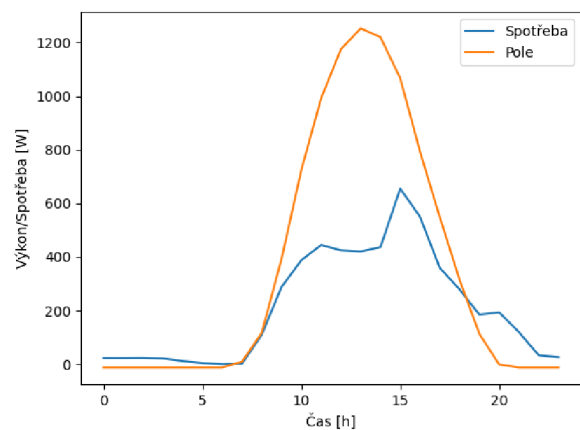


Obrázek 14 - Spotř. A - SminBmin pro 1 pole

Optimalizace metodou Bmin

Výsledky:

Sklon: 15 stupňů, orientace: 220 stupňů, počet panelů: 7ks (2100Wp)

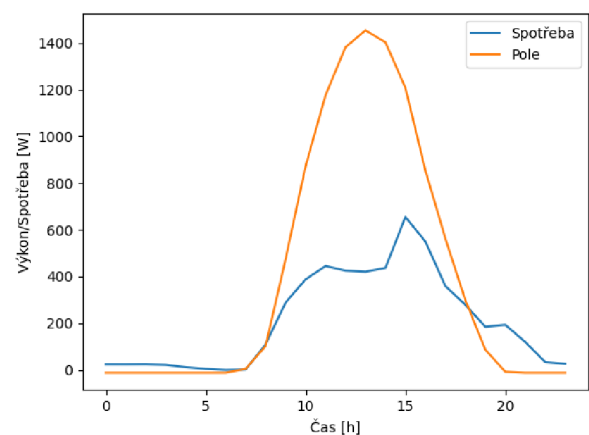


Obrázek 15 - Spotř. A - Bmin pro 1 pole

Optimalizace pomocí cenového modelu  
Cena elektřiny: 8Kč, cena výkupu: 1Kč

Výsledky:

Sklon: 30 stupňů, orientace: 200 stupňů, počet panelů 7ks (2100Wp), hodnota fce: 0,27 Kč



Obrázek 16 - Spotř. A - Cenový model pro 1 pole

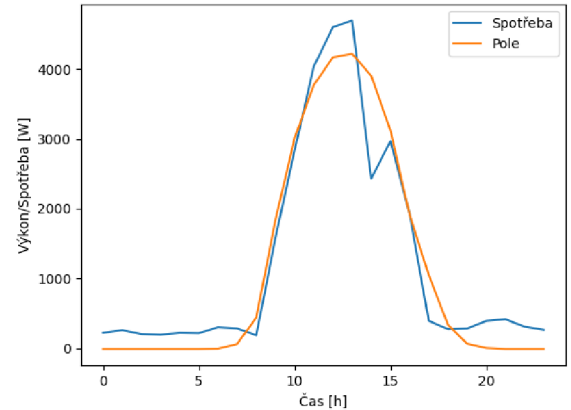
### 7.3.2 Domácnost B

Domácnosti B je rodinný dům, který má 2 členy ve středním věku. Spotřeba je zvýšená zejména kvůli ohřevu vody tepelným čerpadlem. Spotřeba byla v tomto případě sledována od 12. 3. 2023 do 19. 3. 2023. U této spotřeby bude strop fotovoltaického systému nastaven na 9,9kWp.

#### Optimalizace metodou SminBmin

Výsledky:

Sklon: 65 stupňů, orientace: 180 stupňů,  
počet panelů: 19ks (5700Wp)

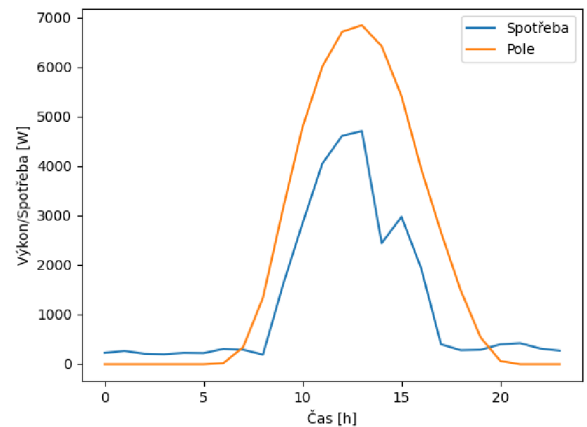


Obrázek 17 - Spotř. B - SminBmin pro 1 pole

#### Optimalizace metodou Bmin

Výsledky:

Sklon: 10 stupňů, orientace: 190 stupňů,  
počet panelů: 33ks (9900Wp)



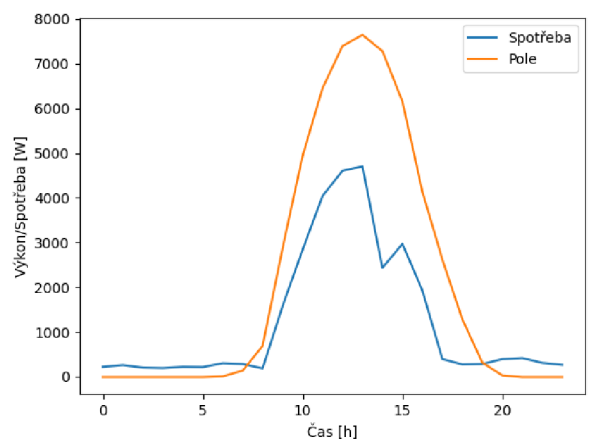
Obrázek 18 - Spotř. B - Bmin pro 1 pole

#### Optimalizace pomocí cenového modelu

Cena elektřiny: 8Kč, cena výkupu: 1Kč

Výsledky:

Sklon: 45 stupňů, orientace: 190 stupňů,  
počet panelů 33ks (9900Wp), hodnota  
fce: 0,12 Kč



Obrázek 19 - Spotř. B - Cenový model pro 1 pole

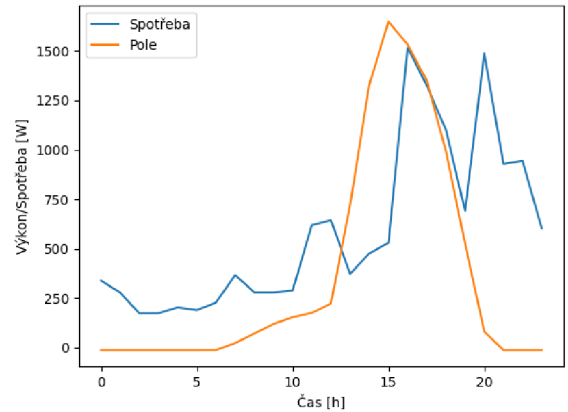
### 7.3.3 Domácnost C

Domácnosti C je bytová jednotka, která má 2 členy ve středním věku a 1 dítě. Spotřeba byla v tomto případě sledována od 19. 9. 2022 do 25. 9. 2022.

Optimalizace metodou SminBmin

Výsledky:

Sklon: 65 stupňů, orientace: 280 stupňů,  
počet panelů: 12ks (3600Wp)

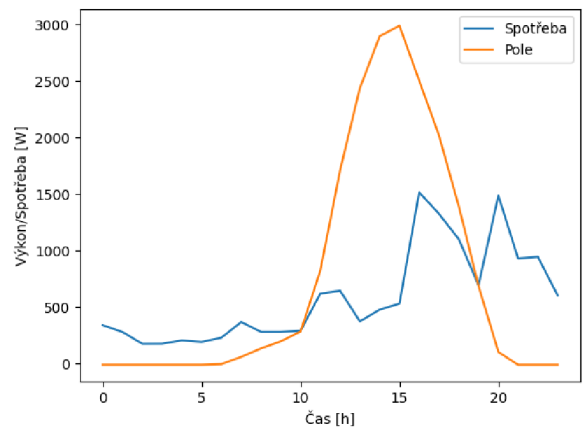


Obrázek 20 - Spotř. C - SminBmin pro 1 pole

Optimalizace metodou Bmin

Výsledky:

Sklon: 40 stupňů, orientace: 270 stupňů,  
počet panelů: 18ks (5400Wp)



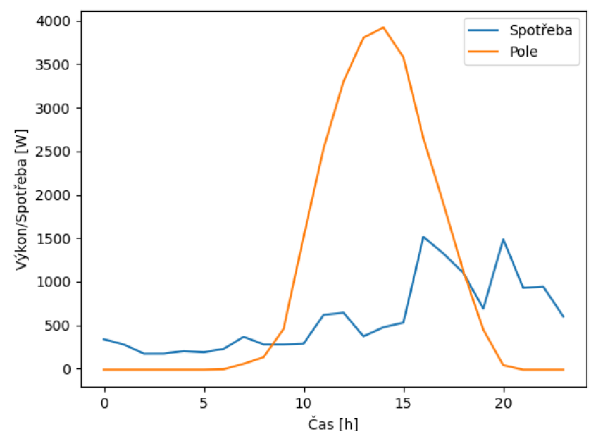
Obrázek 21 - Spotř. C - Bmin pro 1 pole

Optimalizace pomocí cenového modelu

Cena elektřiny: 8Kč, cena výkupu: 1Kč

Výsledky:

Sklon: 45 stupňů, orientace: 220 stupňů,  
počet panelů 18ks (5400Wp), hodnota  
fce: 32,96 Kč



Obrázek 22 - Spotř. C - Cenový model pro 1 pole



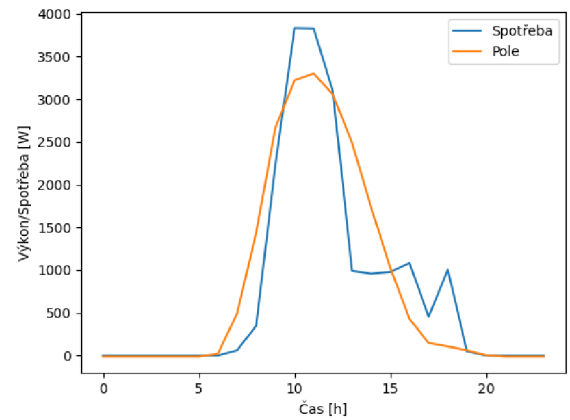
### 7.3.4 Domácnost D

Domácnosti D je rodinný dům, který má 2 členy. 1. člen domácnosti je ve středním věku, 2. je v důchodovém věku. Spotřeba byla v tomto případě sledována od 26. 3. 2023 do 29. 3. 2023.

Optimalizace metodou SminBmin

Výsledky:

Sklon: 40 stupňů, orientace: 110 stupňů,  
počet panelů: 17ks (5100Wp)

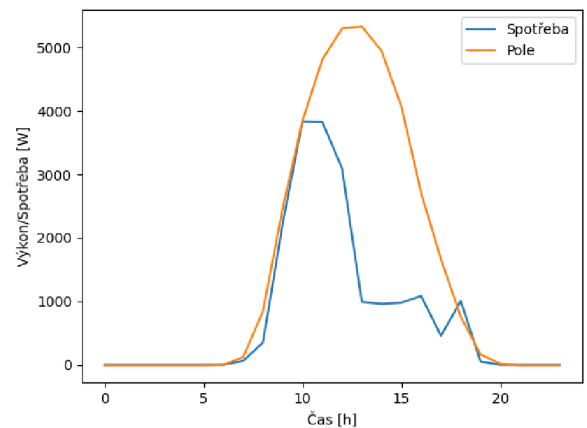


Obrázek 23 - Spotř. D - SminBmin pro 1 pole

Optimalizace metodou Bmin

Výsledky:

Sklon: 35 stupňů, orientace: 180 stupňů,  
počet panelů: 24ks (7200Wp)



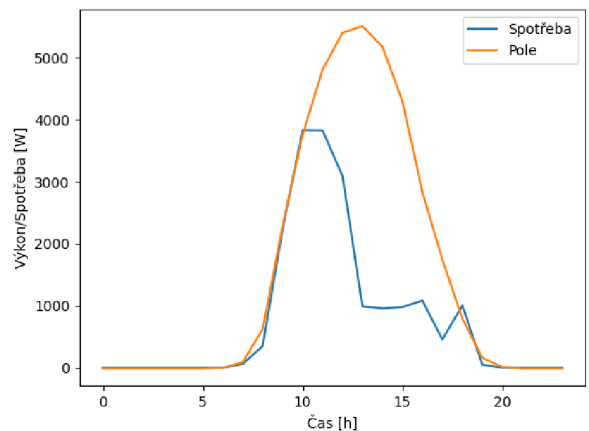
Obrázek 24 - Spotř. D - Bmin pro 1 pole

Optimalizace pomocí cenového modelu

Cena elektřiny: 8Kč, cena výkupu: 1Kč

Výsledky:

Sklon: 45 stupňů, orientace: 180 stupňů,  
počet panelů 24ks (7200Wp), hodnota  
fce: -15,68 Kč



Obrázek 25 - Spotř. D - Cenový model pro 1 pole

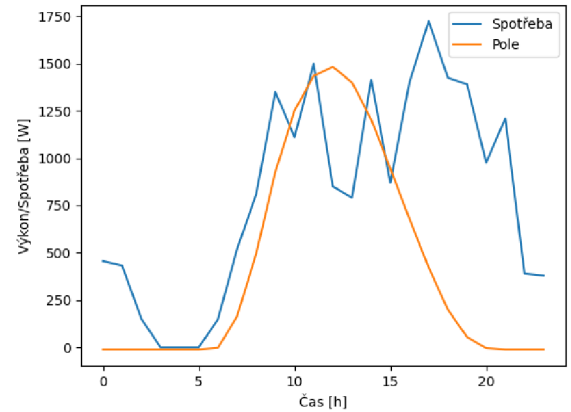
### 7.3.5 Domácnost E

Domácnosti E je rodinný dům, který má 4 členy, 2 členové jsou ve středním věku a 2 jsou děti. Spotřeba byla v tomto případě sledována od 22. 3. 2023 do 25. 3. 2023.

Optimalizace metodou SminBmin

Výsledky:

Sklon: 10 stupňů, orientace: 80 stupňů,  
počet panelů: 10ks (3000Wp)

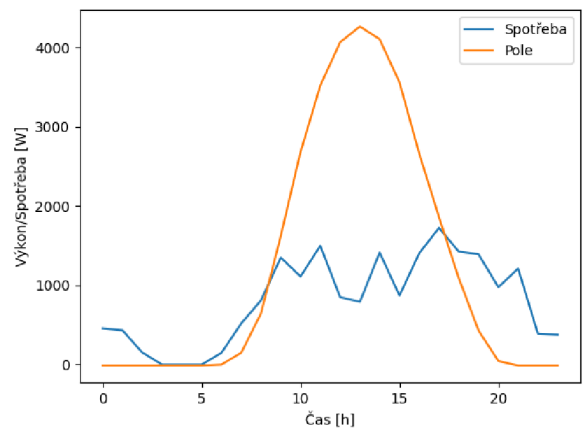


Obrázek 26- Spotř. E - SminBmin pro 1 pole

Optimalizace metodou Bmin

Výsledky:

Sklon: 10 stupňů, orientace: 220 stupňů,  
počet panelů: 24ks (7200Wp)



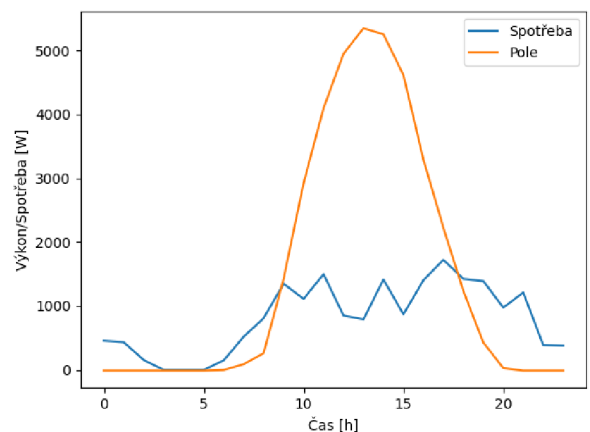
Obrázek 27- Spotř. E - Bmin pro 1 pole

Optimalizace pomocí cenového modelu

Cena elektřiny: 8Kč, cena výkupu: 1Kč

Výsledky:

Sklon: 40 stupňů, orientace: 205 stupňů,  
počet panelů 24ks (7200Wp), hodnota  
fce: 27,7 Kč



Obrázek 28 - Spotř. E - Cenový model pro 1 pole

## 7.4 Optimalizace dvou polí

Optimalizace dvou polí fotovoltaických panelů byla provedena pro domácnost A. V porovnání výsledků jednotlivých metod můžeme u této domácnosti pozorovat zlepšení. Metoda SminBmin dosáhla v optimalizaci pomocí dvou polí minimální hodnoty funkce 1319,36 W, zatímco v optimalizaci pomocí jednoho pole byla minimální hodnota 1841,33 W. Metoda SminBmin pro 2 pole dosáhla o 28,34 % lepších výsledků než při optimalizaci pomocí jednoho pole. Na grafech níže můžeme vidět srovnání optimalizace pro 1 pole, pro 2 pole a průběh výkonu fotovoltaického systému s dvěma poli.

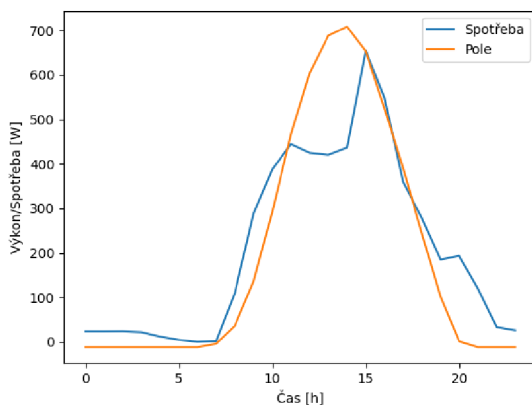
Výsledky pro 2 pole:

Metoda: SminBmin

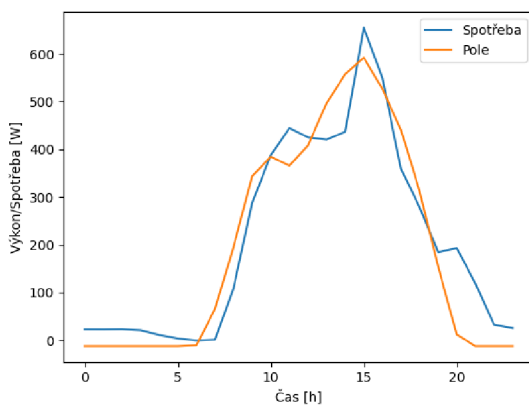
Sklon 1. pole: 50 stupňů, sklon 2. pole: 70 stupňů

Orientace 1. pole: 280 stupňů, orientace 2. pole: 100 stupňů

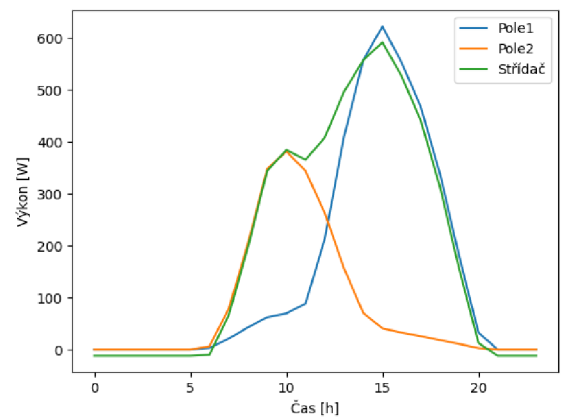
Velikost 1. pole: 4ks (1600Wp), velikost 2. pole: 2ks (600Wp)



Obrázek 29 - Spotř. A - SminBmin pro 1 pole



Obrázek 31 - Spotř. A - SminBmin pro 2 pole)



Obrázek 30 - Spotř. A - Sminbmin - Výroba systému

Další metodou aplikovanou na domácnosti A byla metoda Bmin. Metoda Bmin dosáhla v optimalizaci pomocí dvou polí minimální hodnoty funkce 575,2W, zatímco v optimalizaci pomocí jednoho pole byla minimální hodnota funkce 673,15W. Metoda Bmin pro 2 pole dosáhla o 14,55 % lepších výsledků než při optimalizaci pomocí jednoho pole. Na grafech níže můžeme vidět srovnání optimalizace pro 1 pole, pro 2 pole a průběh výkonu fotovoltaického systému s dvěma poli.

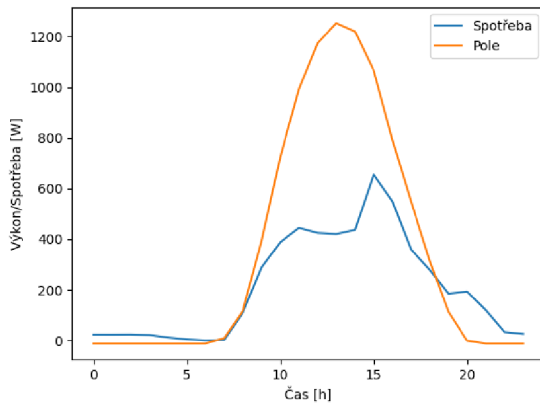
Výsledky pro 2 pole:

Metoda: Bmin

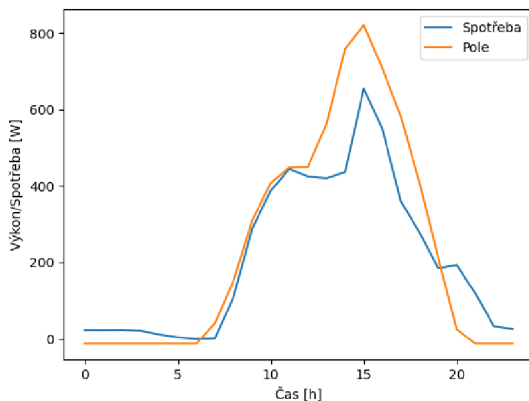
Sklon 1. pole: 30 stupňů, sklon 2. pole: 70 stupňů

Orientace 1. pole: 125 stupňů, orientace 2. pole: 280 stupňů

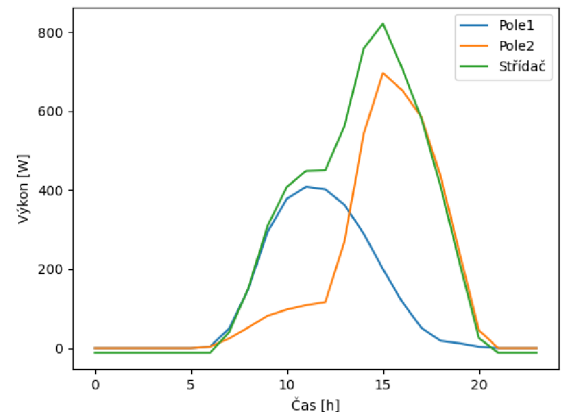
Velikost 1. pole: 2ks (600Wp), velikost 2. pole: 5ks (1500Wp)



Obrázek 32 - Spotř. A – Bmin pro 1 pole



Obrázek 34 - Spotř. A – Bmin pro 2 pole



Obrázek 33 - Spotř. A – Bmin – Výroba systému

Další metodou aplikovanou na domácnosti A byla metoda cenového modelu s cenou elektřiny 8 Kč a cenou výkupu 1 Kč. Metoda cenového modelu dosáhla v optimalizaci pomocí dvou polí minimální hodnoty funkce 0,08 Kč / den, zatímco v optimalizaci pomocí jednoho pole byla minimální hodnota funkce 0,27 Kč / den. V tomto případě nemělo rozdělení na dvě pole příliš velký efekt, jelikož je optimální mít obě pole téměř shodně orientovaná, jak lze vidět na obrázku 36. Na grafech níže můžeme vidět srovnání optimalizace pro 1 pole, pro 2 pole a průběh výkonu fotovoltaického systému s dvěma poli.

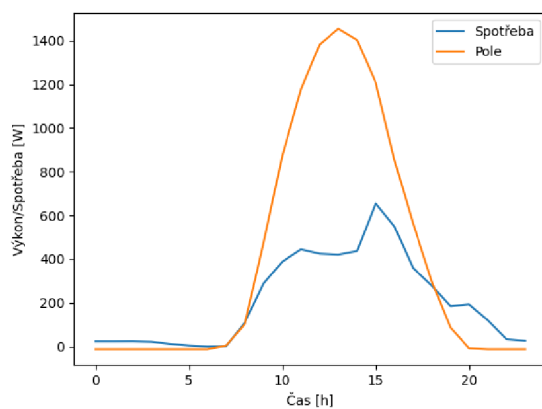
Výsledky pro 2 pole:

Metoda: cenový model

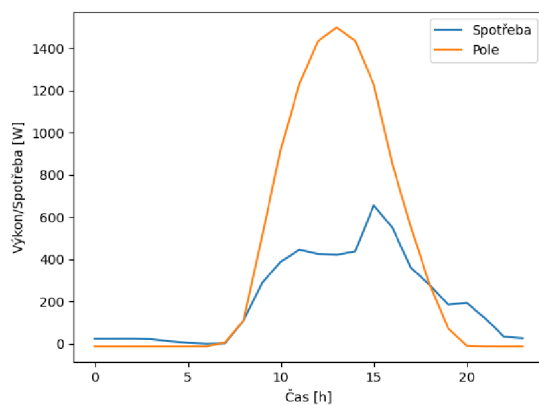
Sklon 1. pole: 35 stupňů, sklon 2. pole: 35 stupňů

Orientace 1. pole: 190 stupňů, orientace 2. pole: 200 stupňů

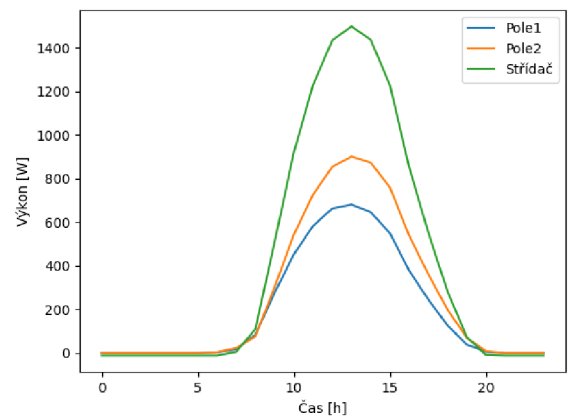
Velikost 1. pole: 3ks (900Wp), velikost 2. pole: 4ks (1200Wp)



Obrázek 35 - Spotř. A – Cenový model pro 1 pole



Obrázek 37 - Spotř. A – Cenový model pro 2 pole



Obrázek 36 - Spotř. A – Cenový model - Výroba systému

Optimalizace dvou polí fotovoltaických panelů byla dále provedena pro domácnost E. V porovnání výsledků jednotlivých metod můžeme u této domácnosti pozorovat zlepšení. Metoda SminBmin dosáhla v optimalizaci pomocí dvou polí minimální hodnoty funkce 7677,82 W, zatímco v optimalizaci pomocí jednoho pole byla minimální hodnota 11667,65 W. Metoda SminBmin pro 2 pole dosáhla o 34,2 % lepších výsledků než při optimalizaci pomocí jednoho pole. Na grafech níže můžeme vidět srovnání optimalizace pro 1 pole, pro 2 pole a průběh výkonu fotovoltaického systému s dvěma poli.

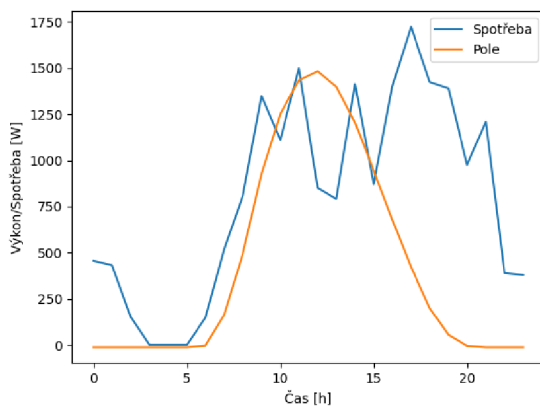
Výsledky pro 2 pole:

Metoda: SminBmin

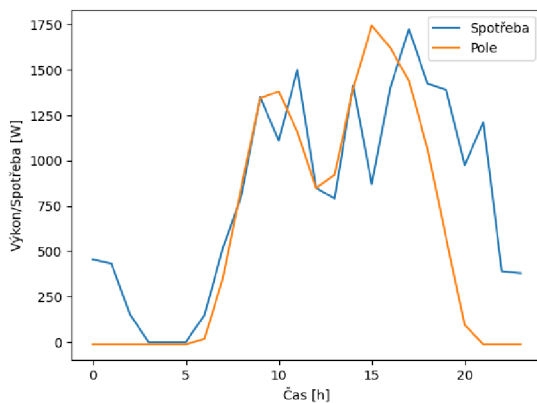
Sklon 1. pole: 70 stupňů, sklon 2. pole: 70 stupňů

Orientace 1. pole: 80 stupňů, orientace 2. pole: 280 stupňů

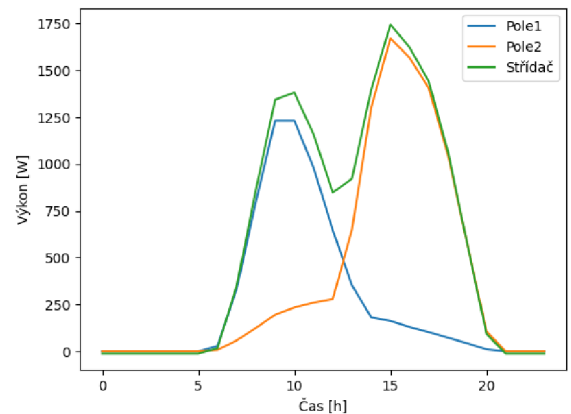
Velikost 1. pole: 8ks (2400Wp), velikost 2. pole: 12ks (3600Wp)



Obrázek 38 - Spotř. E – SminBmin pro 1 pole



Obrázek 40 - Spotř. E – SminBmin pro 2 pole



Obrázek 39 - Spotř. E – SminBmin - Výroba systému

Další metodou aplikovanou na domácnosti E byla metoda Bmin. Metoda Bmin dosáhla v optimalizaci pomocí dvou polí minimální hodnoty funkce 4893,4W, zatímco v optimalizaci pomocí jednoho pole byla minimální hodnota funkce 6035,33W. Metoda Bmin pro 2 pole dosáhla o 18,92 % lepších výsledků než při optimalizaci pomocí jednoho pole. Na grafech níže můžeme vidět srovnání optimalizace pro 1 pole, pro 2 pole a průběh výkonu fotovoltaického systému s dvěma poli.

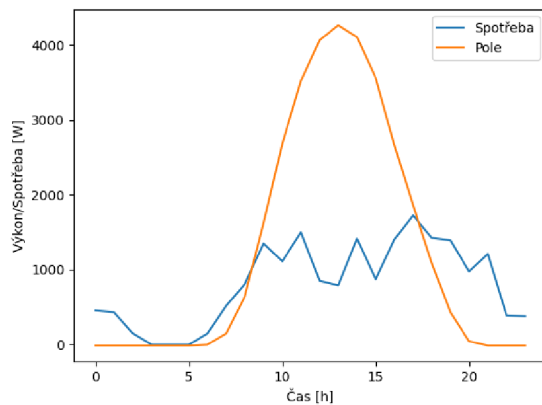
Výsledky pro 2 pole:

Metoda: Bmin

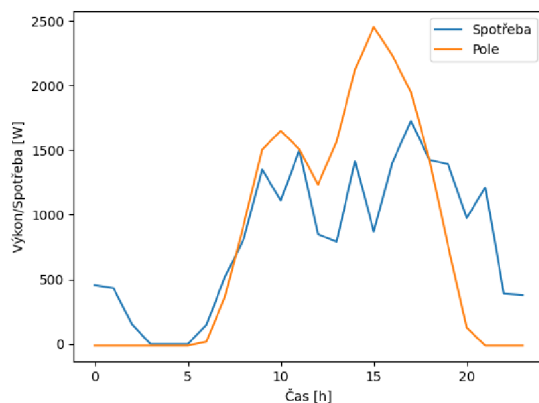
Sklon 1. pole: 65 stupňů, sklon 2. pole: 70 stupňů

Orientace 1. pole: 90 stupňů, orientace 2. pole: 275 stupňů

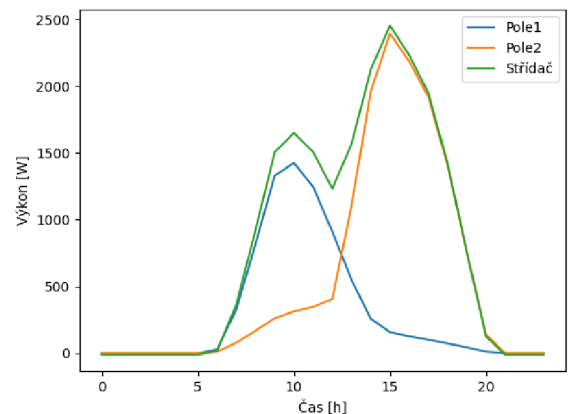
Velikost 1. pole: 8ks (2400Wp), velikost 2. pole: 16ks (4800Wp)



Obrázek 41 - Spotř. E – Bmin pro 1 pole



Obrázek 43 - Spotř. E – Bmin pro 2 pole



Obrázek 42 - Spotř. E – Bmin - Výroba systému

Další metodou aplikovanou na domácnosti E byla metoda cenového modelu s cenou elektřiny 8 Kč a cenou výkupu 1 Kč. Metoda cenového modelu dosáhla v optimalizaci pomocí dvou polí minimální hodnoty funkce 26.11 Kč / den, zatímco v optimalizaci pomocí jednoho pole byla minimální hodnota funkce 27.7 Kč / den. Metoda cenového modelu pro 2 pole dosáhla o 5,74 % lepších výsledků než při optimalizaci pomocí jednoho pole. Na grafech níže můžeme vidět srovnání optimalizace pro 1 pole, pro 2 pole a průběh výkonu fotovoltaického systému s dvěma poli.

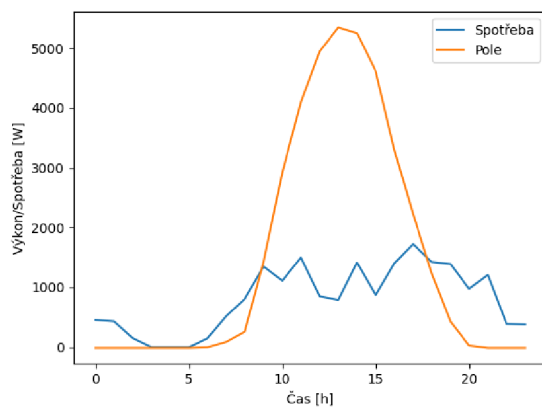
Výsledky pro 2 pole:

Metoda: cenový model

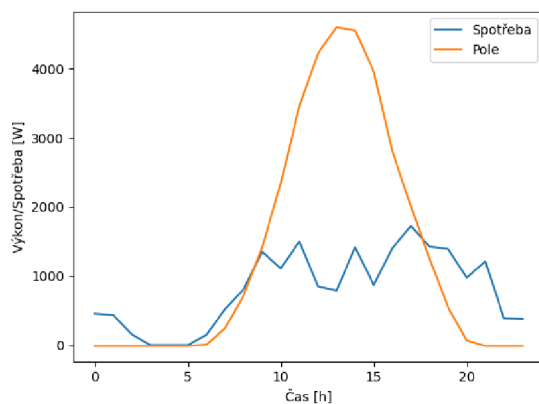
Sklon 1. pole: 50 stupňů, sklon 2. pole: 50 stupňů

Orientace 1. pole: 230 stupňů, orientace 2. pole: 130 stupňů

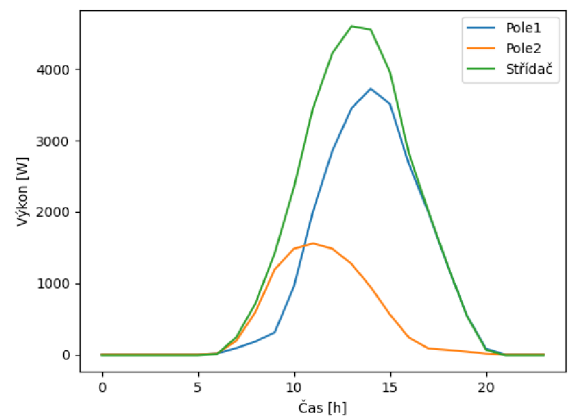
Velikost 1. pole: 17ks (5100Wp), velikost 2. pole: 7ks (2100Wp)



Obrázek 44 - Spotř. E – Cenový model pro 1 pole



Obrázek 46 - Spotř. E – Cenový model pro 2 pole



Obrázek 45 - Spotř. E – Cenový model - Výroba systému



## 7.5 Zhodnocení optimalizace

Z výsledků metody SminBmin lze vyzorovat, že tato metoda se snaží průběh výkonu fotovoltaické elektrárny co nejvíce přiblížit průběhu spotřeby, tato metoda tedy navrhne elektrárnu, která umožňuje co nejvíce pokrýt vlastní spotřebu za zachování co nejmenší elektrárny. Tato metoda tedy může být vhodná v případě, že chceme co nejvíce ušetřit na vlastní spotřebě ale také na velikosti fotovoltaické elektrárny. Tato metoda je zároveň nejvíce ekologická a její využití může být vhodné hlavně v ostrovních systémech FVE.

Z výsledků metody Bmin lze vyzorovat, že tato metoda se snaží navrhnout takovou fotovoltaickou elektrárnu, která co nejvíce pokryje vlastní spotřebu, tato metoda zároveň optimalizuje sklon a orientaci tak, aby pokryla největší množství spotřebované energie, ale zároveň zvětšuje velikost elektrárny do největší možné velikosti, jelikož toto zvětšení vždy pokryje o další kousek spotřeby, buď na začátku, nebo ke konci výroby. Tato metoda je vhodná použít v případě, že známe velikost pole, které chceme instalovat a zároveň chceme pokrýt co největší část spotřeby.

Z výsledků cenového modelu lze vyzorovat, že tato metoda se snaží pokrýt co největší část spotřeby tak, aby minimalizovala drahý nákup ze sítě, ale zároveň se oproti modelu Bmin nesnaží pokrýt kousky na kraji spotřeby ale místo toho sklon a orientaci optimalizuje více pro maximální výkon, jelikož uvažuje, že tento výkon pokryje spotřebu ziskem z prodeje energie. Tento model je možné použít, pokud lze prodávat výkon do sítě a lze tak maximalizovat zisk z provozu elektrárny.

Z výsledků optimalizačních metod pro 2 pole lze usoudit, že ve většině případů je optimalizace pomocí dvou polí efektivnější. Metoda pro 2 pole je účinnější zejména pro spotřeby, které mají lokální maxima dále od sebe. V těchto případech je rozdíl v hodnotě optimalizační funkce větší. Pro spotřeby s jedním výraznějším maximem nebo pro spotřeby s lokálními maximy blízko sebe je rozdíl hodnot optimalizované funkce menší.

## 7.6 Optimalizace spotřeby

V dnešní době je energetická efektivita klíčovou prioritou pro mnoho domácností. Technologický pokrok umožnil vzniku chytrých zařízení a spotřebičů, které se stávají stále dostupnějšími a rozšířenějšími. Tyto chytrá zařízení umožňují efektivně nakládat se spotřebou energie, protože umožňují předem nastavit čas, ve kterém mají vykonat nebo začít svou činnost.

Existují také zařízení, která umí dálkově nebo časově spínat i spotřebiče běžné. Tyto zařízení lze poté využít ke spínání zařízení, jako jsou pračky, myčky nádobí, klimatizační jednotky a další a mohou být naprogramovány tak, aby se spustily v určitém čase, kdy je dostupný přebytek energie, a tím snížily závislost na tradičních zdrojích energie a snížily náklady na energii. K tomuto účelu lze využít například chytrou zásuvku Sonoff Smart socket, která má přístup k Wi-fi síti. Tato zásuvka je

ovládána pomocí mobilní aplikace a umožňuje nastavit, v jakém čase má být zařízení aktivováno.

Tuto technologii je vhodné kombinovat s fotovoltaickou elektrárnou, jelikož tak můžeme naplno využít její potenciál. Přebytky energie jsou značně individuální, jelikož závisí na konkrétních parametrech fotovoltaické elektrárny a spotřeby domácnosti. Efektivní časové využití spotřebičů si tedy musí navrhnout každý majitel fotovoltaické elektrárny sám. Níže můžeme vidět seznam běžných spotřebičů v domácnosti a jejich příkonu.

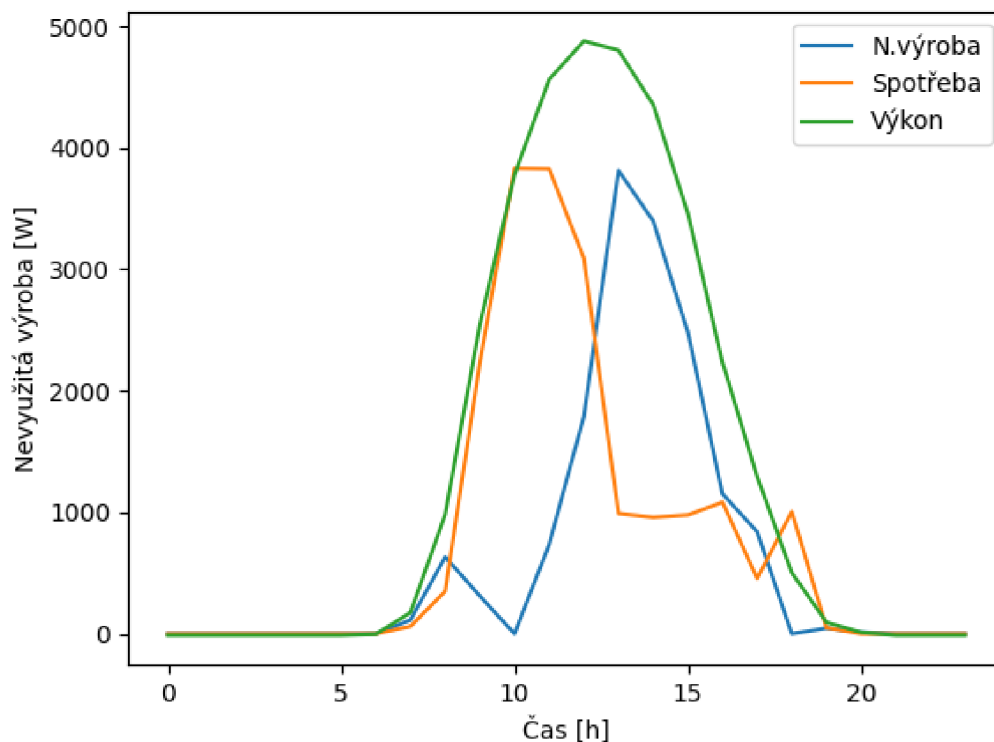
- Chladnička: 100-800 W
- Mraznička: 100-700 W
- Pračka: 500-5 000 W
- Myčka nádobí: 1 200-1 500 W
- Sušička: 1 800-5 000 W
- Elektrický sporák: 1 000-5 000 W
- Mikrovlnná trouba: 600-1 200 W
- Vysavač: 500-1 500 W
- Televize: 30-500 W
- Žehlička: 1 000-1 800 W
- Počítač: 50-400 W
- Klimatizace: 500-3 500 W
- Vodní ohřívač (bojler): 2 000-4 500 W
- Fén: 800-1 800 W

(Zdroj: U.S. Department of Energy)

Na základě těchto hodnot a průběhu výroby fotovoltaické elektrárny lze rozhodnout, které spotřebiče používat v čase, kdy elektrárna dodává větší výkon, než je spotřebován nebo použití kterých spotřebičů je možné přesunout, aby bylo využití elektrárny maximální.

V průběhu práce byl vytvořen algoritmus, který umožňuje naplnit volnou výkonovou kapacitu spotřebiči, které si uživatel zvolí. Tento algoritmus umožňuje najít nejlepší kombinaci spotřebičů během dne tak, aby byl nevyužitý výkon fotovoltaického pole maximálně využit pomocí zvolených spotřebičů. Tento algoritmus umožňuje přidat spotřebiče s parametry (název, příkon, maximální počet použití během dne) a využít je pro vyplnění nevyužitého výkonu. Algoritmus je implementován v uživatelské aplikaci.

Pomocí toho algoritmu předvedu příklad na spotřebě D s parametry pole získanými pomocí metody Bmin. Tato metoda zvolila parametry, pro které vzniká poměrně velká nevyužitá výroba a je vhodné ji dále zužitkovat. Níže v grafu můžeme vidět průběh spotřeby a výkonu fotovoltaické elektrárny spolu s průběhem nevyužité výroby, kterou chceme dále zužitkovat.

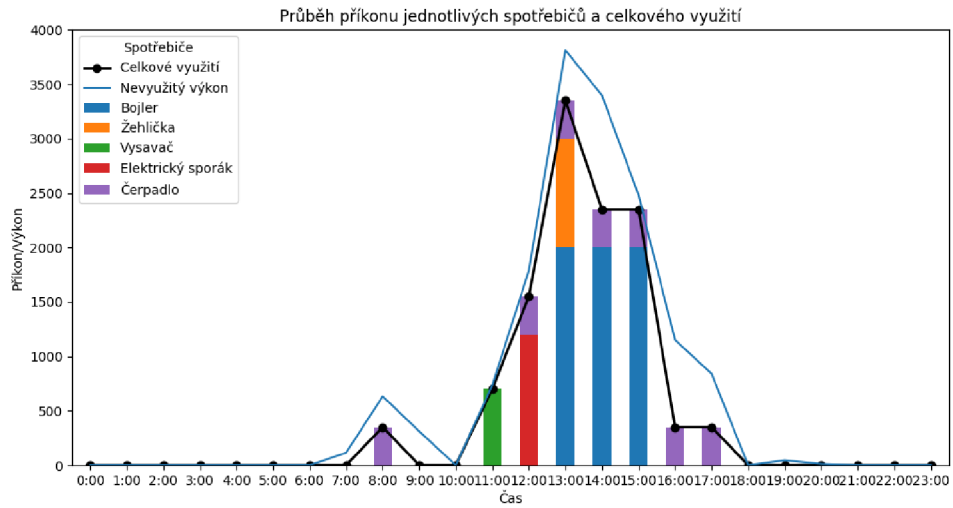


Obrázek 47 - Optimalizace spotřebičů - Spotřeba E, Bmin

Pro příklad využití algoritmu zvolím tyto konkrétní spotřebiče:

Název	Příkon	Maximální počet použití
Bojler	2000W	24
Žehlička	1000W	1
Vysavač	700W	1
Elektrický sporák	1200W	1
Čerpadlo	350W	24

V příkladu používám bojler a čerpadlo s hodnotou maximálního použití 24, tím chci nastavit, že tyto spotřebiče lze použít kdykoliv během dne k akumulaci přebytečné energie. Zbylé spotřebiče chci použít jednou za den. Použití bojleru a čerpadla není podmíněno přítomností obyvatele domu a je vhodné je používat automatizovaně. Další spotřebiče, jako je v tomto případě žehlička, vysavač nebo elektrický sporák jsou vázány na přítomnost obyvatele domu a je nutné zvážit, zda je možné je v této hodině aktivně používat.



Obrázek 48 - Optimalizace spotřebičů – Výsledek

Z výsledků algoritmu je patrné, že se podařilo navrhnout použití všech požadovaných spotřebičů a využít tak z velké části přebytečný výkon.

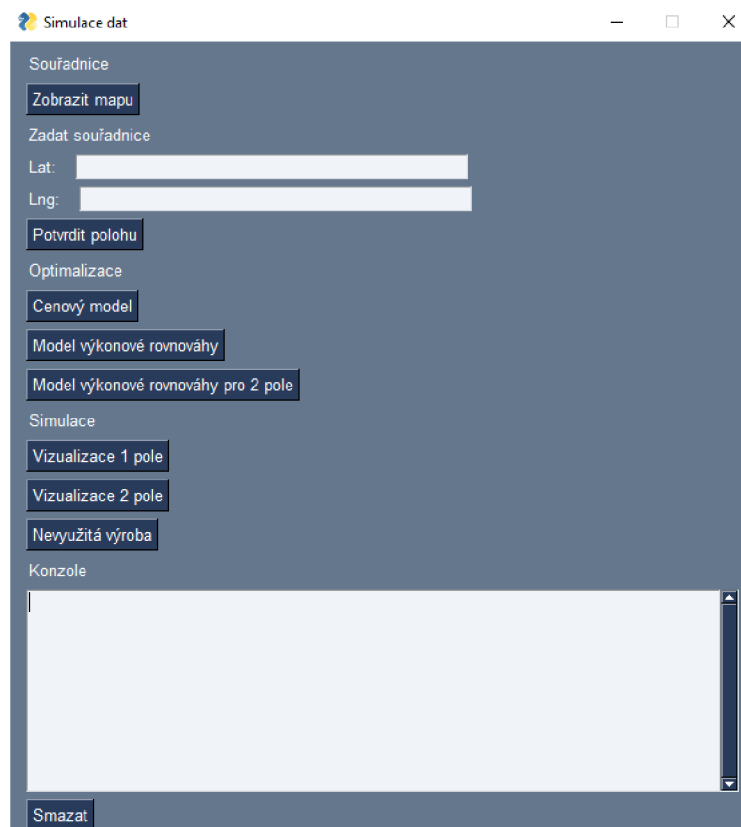
## 8 Uživatelská aplikace

V průběhu této práce byla vyvinuta uživatelská aplikace v jazyce python, která umožňuje vizualizaci a optimalizaci fotovoltaických polí na základě zadaných parametrů. Aplikace je navržena tak, aby umožnila uživateli prozkoumat různé možnosti konfigurace fotovoltaického pole nebo polí, které by poté mohly být implementovány v praxi.

Aplikace umožňuje zadat zeměpisné souřadnice na kterých má být zřízeno fotovoltaické pole a jejich základě poskytně možnost vizualizovat pole s danými parametry nebo navrhnout optimální konfiguraci na základě výše popsaných metod. Aplikace také umožňuje zobrazit průběh spotřeby spolu s průběhem výroby fotovoltaického pole, což uživateli poskytuje náhled, jaké náklady na energii a pokrytí spotřeby fotovoltaickým polem může očekávat. Dále je možné zobrazit průběh nevyužité výroby, na jejímž základě se může uživatel rozhodnout, které spotřebiče lze v čase, kdy vyrábí přebytečnou energii využít, aby byla maximalizována efektivita elektrárny.

Formát excelovského souboru pro nahrání do aplikace je:

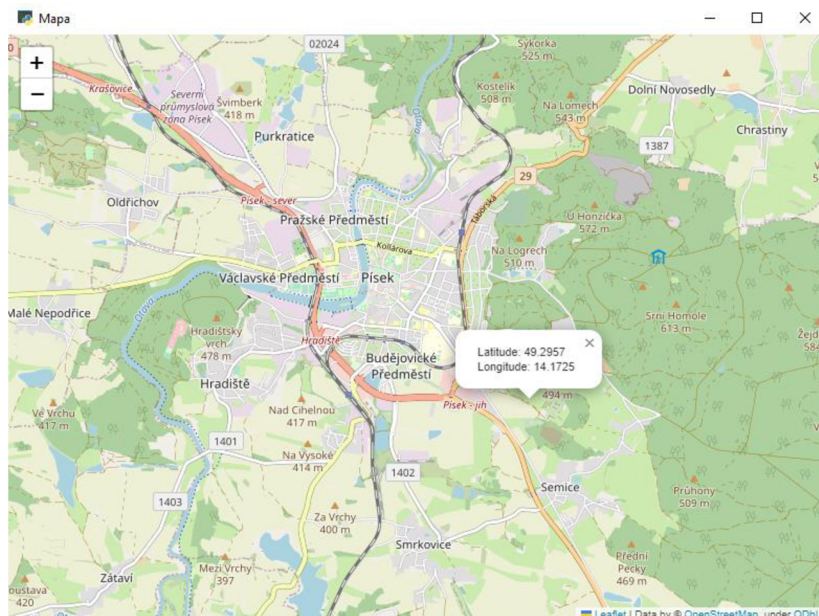
- První sloupec musí mít název „Cas“ a jsou v něm časové hodnoty v libovolných intervalech.
- Druhý sloupec může mít libovolný název a jsou v něm hodnoty výkonu k danému času v jednotkách W.



Obrázek 49 - Náhled aplikace

Níže budou popsány jednotlivé ovládací prvky aplikace

- Zobrazit mapu
  - Toto tlačítko zobrazí nové okno s mapou, kde se po kliknutí na místo zobrazí souřadnice, které může dále uživatel zadat do polí Lat a Lng.



Obrázek 50 - Aplikace - Mapa

- Potvrdit polohu
  - Slouží k uložení zadaných souřadnic (Lat, Lng) do programu.
- Cenový model
  - Toto tlačítko zobrazí nové okno, kde je možné zadat parametry pro cenový model, dále může zvolit optimalizaci pro 1 nebo 2 pole a nahrát excelovský soubor se spotřebou.
  - Cena elektřiny se zadává v Kč
  - Nepovinným parametrem pro cenový model je Max. peak power, který se v případě, že jej uživatel nezadá, doplní automaticky jako součet roční spotřeby.

Vyberte Excel soubor ke zpracování

1 pole  2 pole

Cena elektřiny:

Cena výkupu:

Max. peak power [W]:

Obrázek 51 - Aplikace - Cenový model

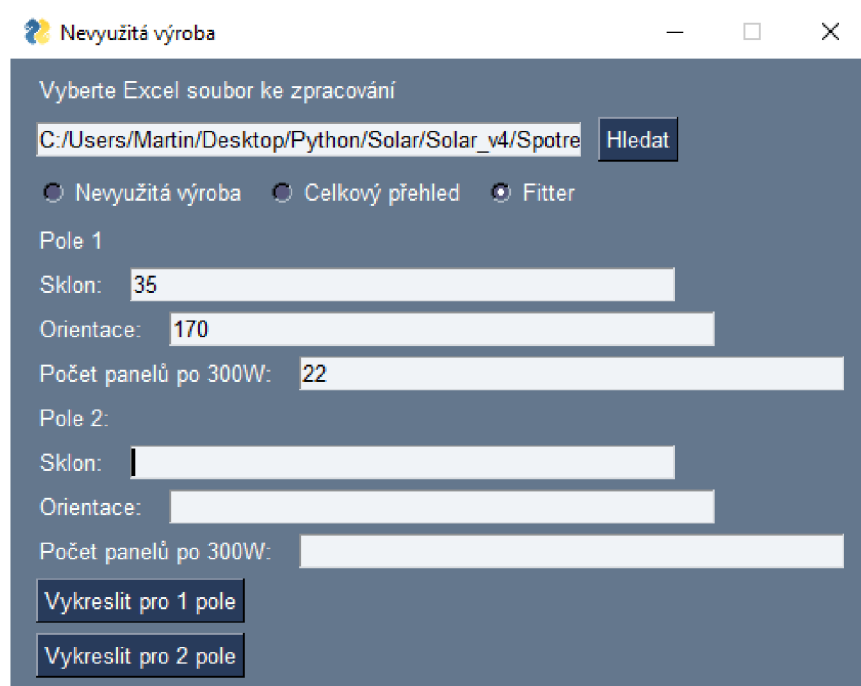
- Model výkonové rovnováhy
  - Toto tlačítko zobrazí nové okno, kde je možné zadat parametry pro model výkonové rovnováhy.
  - Okno dále nabízí volbu optimalizační metody (sminbmin/bmin).
  - Max. peak power je nepovinný parametr.
- Model výkonové rovnováhy pro 2 pole
  - Toto tlačítko zobrazí nové okno, kde je možné zadat parametry pro model výkonové rovnováhy.
  - Max. peak power je nepovinný parametr.

Obrázek 52 - Aplikace - Model výkonové rovnováhy

- Vizualizace
  - Tato dvě tlačítka zobrazí nová okna pro vizualizace jednoho a dvou polí.
  - V těchto oknech lze zadat parametry pro fotovoltaické/á pole.
  - Lze zobrazit měsíční výrobu, průběh DC výkonu, průběh AC výkonu, jejich kombinaci, vykreslit průběh výkonu s nahanou spotřebou.
  - Rozsahy parametrů: Sklon (0-90 stupňů), orientace (0-360 stupňů, 0,360 sever, 90 východ, 180 jih, 270 západ), počet panelů v kusech (300W/ks).

Obrázek 53 - Aplikace – Vizualizace pro 2 pole

- Nevyužitá výroba
  - Toto tlačítko zobrazí nové okno pro vizualizace nevyužité výroby.
  - V tomto okně lze zadat parametry pro 1 nebo 2 fotovoltaická pole.
  - Lze zobrazit nevyužitou výrobu, nebo její kombinaci s AC/DC výrobou pole a spotřebou.
  - Další možností je použití „Fitteru“, který po kliknutí na Vykreslit pole zobrazí další okno, do kterého lze zadat parametry spotřebičů. Po kliknutí na tlačítko OK se aktivuje algoritmus na přiřazení spotřebičů do nevyužité výroby.



Obrázek 54 - Aplikace – Nevyužitá výroba



Obrázek 55- Aplikace – Fitter

- Konzole
  - Konzole slouží k výpisu výsledků optimalizačních metod.



## 9 Závěr a zhodnocení

V průběhu této práce byl zkoumán vliv sklonu a orientace fotovoltaických panelů na efektivitu využití vlastního zdroje elektřiny pro domácnosti. Byly navrženy tři metody, pomocí kterých lze optimalizovat výrobu fotovoltaické elektrárny vzhledem ke spotřebě. Optimalizace poskytla základ pro návrh efektivního zapojování jednotlivých spotřebičů v závislosti na funkci výkonu elektrárny.

Jedním z hlavních výsledků práce je uživatelská aplikace, která umožňuje simulovat různé aspekty spojené s fotovoltaickými elektrárnami. Tato aplikace umožňuje uživatelům experimentovat s různými parametry, jako je poloha domu, úhel panelů vůči zemi a vůči světovým stranám, a přizpůsobit tak parametry jejich vlastní situaci. Aplikace dále umožňuje zobrazit průběh výkonu jednotlivých nastavení a poskytuje tak předběžný náhled na efektivitu elektrárny s danými parametry.

Díky tomu je možné dosáhnout vyšší efektivity využití elektřiny v době, kdy je výkon elektrárny maximální, což je klíčový faktor vzhledem k nízké efektivitě uskladnění energie při současné technologii.

Výsledky práce tak představují přínos pro domácnosti, které zvažují investici do fotovoltaických elektráren. Aplikace a metodiky poskytují nástroje pro optimalizaci využití vlastního zdroje elektřiny a usnadňují rozhodování o nejlepším způsobu zapojení jednotlivých spotřebičů v závislosti na parametrech umístění a výkonu elektrárny.

## Summary and keywords

Throughout this work, the influence of inclination and orientation of photovoltaic panels on the efficiency of using household electricity from renewable sources was examined. Three methods were proposed for optimizing the energy production of a photovoltaic power plant in relation to consumption. This optimization provided the basis for designing efficient integration of individual appliances depending on the power plant's performance.

One of the main outcomes of this work is a user-friendly application that allows simulating various aspects related to photovoltaic power plants. This application enables users to experiment with different parameters, such as the position of the house, the angle of the panels relative to the ground and cardinal directions, and adjust these parameters to their specific situation. The application also displays the performance of different settings, providing a preliminary view of the power plant's efficiency with the given parameters.

As a result, higher efficiency of electricity use can be achieved at times when the power plant's performance is at its maximum, which is a key factor considering the low efficiency of energy storage with current technology.

The findings of this work represent a valuable contribution for households considering investing in photovoltaic power plants. The application and methodologies provide tools for optimizing the use of their own electricity sources and facilitate decision-making on the best way to integrate individual appliances depending on the location parameters and performance of the power plant.

Keywords: Photovoltaic panels, Renewable energy, Energy efficiency, Solar power optimization, Household electricity consumption, Power plant performance, Panel inclination and orientation, Energy storage, Appliance integration, Simulation application

## Citovaná literatura

Bechník, B. (2014). *strucna-historie-fotovoltaiky*. tzbinfo.cz. Retrieved 2023-03-24, from <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>

Bernède, J. (2008). ORGANIC PHOTOVOLTAIC CELLS: HISTORY, PRINCIPLE AND TECHNIQUES. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 53(3).  
<https://doi.org/10.4067/S0717-97072008000300001>

CEZ.cz. (2022). cez.cz. Retrieved 2023-03-27, from <https://www.cez.cz/cs/clanky/elektrina/jaka-je-prumerna-spotreba-elektriny-u-rodinneho-domu-174046>

Čech, J. (2023). *Velký problém: Distributoři nechtějí připojovat fotovoltaiky*. Retrieved 2023-03-27, from <https://www.dumazahrada.cz/clanek/distributori-pripojeni-fotovoltaiky-fve-20230118.html>

ČEZ.cz. *Solární (fotovoltaičné) články*. cez.cz. Retrieved 2023-03-24, from <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>

Grossman, L. (ed.). (1999). 1999 ISES Solar World Congress.: Proceedings of the ISES Solar World Congress, Jerusalem, Israel, 4-9 July 1999. In J. Angles, L. Menard, O. Bauer, C. Rigollier & L. Wald, *A climatological database of the Linke turbidity factor*. (1., pp. 432-434). Elsevier.

Hamalčíková, K. (2020). *Průvodce distribučními sazbami elektřiny*. Elektrina.cz. Retrieved 2023-03-27, from <https://www.elektrina.cz/distribucni-sazby-elektriny-2020>

Hejhálek, J. (2018). *Fotovoltaičné elektrárny*. stavebnictvi3000.cz. Retrieved 2023-03-27, from <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/fotovoltaične-elektrarny>

*Hydroelectric Power Stations*. (2023). CEZ.cz. Retrieved 2023-04-03, from <https://www.cez.cz/en/energy-generation/hydroelectric-power-plants>

Chester, M. (2023). *Solar leasing*. EcoWatch.com. Retrieved 2023-04-03, from <https://www.ecowatch.com/solar/solar-leasing>

Knoflíčková, O. (2022). *Rok 2022: Dotace na fotovoltaiku nikdy nebyla výhodnější*. Retrieved 2023-03-24, from <https://www.woltair.cz/blog/dotace/fotovoltaika-v-roce-2022-jak-ziskat-dotaci>

Laravič, A. (2021). *Cena emisních povolenek trhá rekordy, bude dále růst*. Elektrina.cz. Retrieved 2023-03-27, from <https://www.elektrina.cz/cena-emisnich-povolenek-trha-rekordy-bude-dale-rust>

Lázoková, E. (2022). *jak-funguje-fotovoltaična-elektrarna*. woltair.cz. Retrieved 2023-03-24, from

Li, Y., Cai, W., & Wang, C. (2017). Economic Impacts of Wind and Solar Photovoltaic Power Development in China. *Energy Procedia*, 105, 3440-3448.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.787>

Matajs, V. (2015). *Jak funguje ostrovní fotovoltaický systém?*. solarniexperti.cz. Retrieved 2023-03-27, from <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovní-off-grid-fotovoltaický-system/>

*Merit order*. (2023). next-kraftwerke.com. Retrieved 2023-03-27, from <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/what-does-merit-order-mean>

Nesvadbová, J. (2022). *Co si promyslet, než se rozhodneme pro fotovoltaiku*. Retrieved 2023-03-27, from <https://www.novinky.cz/clanek/bydleni-tipy-a-trendy-co-si-promyslet-nez-se-rozhodneme-pro-fotovoltaiku-40394327>

*Net metering*. (2022). swhgroup.eu. Retrieved 2023-04-03, from <https://www.swhgroup.eu/net-metering.html>

Ondroušek, L. (2009). *PŘIPOJOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÝCH ZDROJŮ K DISTRIBUČNÍ SÍTI* [diplomová práce, VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ]. [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=13439](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=13439)

*ON-GRID VS. OFF-GRID SLUNEČNÍ SOUSTAVA*. (2021). Beny.com. Retrieved 2023-03-27, from <https://www.beny.com/cs/on-grid-vs-off-grid-solar-system-all-you-need-to-know/>

Perez, R., Seals, R., Ineichen, P., Stewart, R., & Menicucci, D. (1987). A new simplified version of the perez diffuse irradiance model for tilted surfaces. *Solar Energy*, 39(3), 221-231. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(87\)80031-2](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(87)80031-2)

*pvlib User Guide*. (2021). pvlib-python.readthedocs.io. Retrieved 2023-03-29, from [https://pvlib-python.readthedocs.io/en/stable/user\\_guide/index.html](https://pvlib-python.readthedocs.io/en/stable/user_guide/index.html)

*Snižovat emise CO<sub>2</sub>: Čile a opatření EU*. (2023). Europarl.europa.eu. Retrieved 2023-03-27, from <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/priorities/climate-change/20180305STO99003/snizovat-emise-co2-cile-a-opatreni-eu>

Sudová, K. (2023). *Cena elektřiny na burze 2023*. e15.cz. Retrieved 2023-03-27, from <https://www.e15.cz/cena-elektřiny-burza-graf-aktualne>

This Month in Physics History. (2009). *APSNews*, 18(4). <https://www.aps.org/publications/apsnews/200904/physicshistory.cfm>

Vobořil, D. (2016). *fotovoltaická-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti*. Retrieved 2023-03-24, from <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>

*vsystem.cz*. (2020). V-system.cz. Retrieved 2023-03-24, from <https://www.v-system.cz/blog/proc-si-poridit-malou-fotovoltaickou-elektrarnu/>

Wimmerová, L., & Černý, M. (2018). Elektroodpad. *Odpadové fórum*, 19(102018), 20-21.

Zamouřil, J., & Krčál, J. (2022). *Jak se na trhu stanovuje cena elektřiny?*. faktaoklimatu.cz. Retrieved 2023-03-27, from <https://faktaoklimatu.cz/explainery/cena-elektřiny-na-trhu>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Graf vývoje tržní ceny elektřiny od 1.1.2021 do 1.1.2023 Zdroj: <a href="https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektriny-graf-vyvoje-ceny/">https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektriny-graf-vyvoje-ceny/</a> .....	10
Obrázek 2 - Průběh spotřeby ČR ve dnech ročního maxima (MW) Zdroj: ERÚ.....	12
Obrázek 3 - Výroba elektřiny dle typu elektrárny Zdroj: ERÚ.....	13
Obrázek 4 - Západní a východní orientace pole.....	22
Obrázek 5 - Severní a jižní orientace pole.....	23
Obrázek 6 - Souhrn vlivu orientace.....	24
Obrázek 7 - Sklon 0 a 90 stupňů.....	25
Obrázek 8 - Sklon 20 a 60 stupňů.....	26
Obrázek 9 - Sklon 30 a 40 stupňů.....	27
Obrázek 10 - Souhrn vlivu sklonů.....	28
Obrázek 11 - Model výkonové rovnováhy - Python.....	30
Obrázek 12- Cenový model - Python.....	31
Obrázek 13 - Orientace panelů, směrová růžice Zdroj:kamzici.ctujm.cz.....	32
Obrázek 14 - Spotř. A - SminBmin pro 1 pole.....	33
Obrázek 15 - Spotř. A - Bmin pro 1 pole.....	33
Obrázek 16 - Spotř. A - Cenový model pro 1 pole.....	33
Obrázek 17 - Spotř. B - SminBmin pro 1 pole.....	34
Obrázek 18 - Spotř. B - Bmin pro 1 pole.....	34
Obrázek 19 - Spotř. B - Cenový model pro 1 pole.....	34
Obrázek 20 - Spotř. C - SminBmin pro 1 pole.....	35
Obrázek 21 - Spotř. C - Bmin pro 1 pole.....	35
Obrázek 22 - Spotř. C - Cenový model pro 1 pole.....	35
Obrázek 23 - Spotř. D - SminBmin pro 1 pole.....	36
Obrázek 24 - Spotř. D - Bmin pro 1 pole.....	36
Obrázek 25 - Spotř. D - Cenový model pro 1 pole.....	36
Obrázek 26 - Spotř. E - SminBmin pro 1 pole.....	37
Obrázek 27 - Spotř. E - Bmin pro 1 pole.....	37
Obrázek 28 - Spotř. E - Cenový model pro 1 pole.....	37
Obrázek 29 - Spotř. A - SminBmin pro 1 pole.....	38
Obrázek 30 - Spotř. A - Sminbmin - Výroba systému.....	38
Obrázek 31 - Spotř. A - SminBmin pro 2 pole.....	38
Obrázek 32 - Spotř. A - Bmin pro 1 pole.....	39
Obrázek 33 - Spotř. A - Bmin - Výroba systému.....	39
Obrázek 34 - Spotř. A - Bmin pro 2 pole.....	39
Obrázek 35 - Spotř. A - Cenový model pro 1 pole.....	40
Obrázek 36 - Spotř. A - Cenový model - Výroba systému.....	40
Obrázek 37 - Spotř. A - Cenový model pro 2 pole.....	40
Obrázek 38 - Spotř. E - Sminbmin pro 1 pole.....	41
Obrázek 39 - Spotř. E - Sminbmin - Výroba systému.....	41

Obrázek 40 - Spotř. E – Sminbmin pro 2 pole.....	41
Obrázek 41 - Spotř. E – Bmin pro 1 pole .....	42
Obrázek 42 - Spotř. E – Bmin - Výroba systému .....	42
Obrázek 43 - Spotř. E – Bmin pro 2 pole .....	42
Obrázek 44 - Spotř. E – Cenový model pro 1 pole.....	43
Obrázek 42 - Spotř. E – Cenový model - Výroba systému.....	43
Obrázek 46 - Spotř. E – Cenový model pro 2 pole.....	43
Obrázek 47 - Optimalizace spotřebičů - Spotřeba E, Bmin.....	46
Obrázek 48 - Optimalizace spotřebičů – Výsledek .....	47
Obrázek 49 - Náhled aplikace.....	48
Obrázek 50 - Aplikace - Mapa.....	49
Obrázek 51 - Aplikace - Cenový model .....	49
Obrázek 52 - Aplikace - Model výkonové rovnováhy .....	50
Obrázek 53 - Aplikace – Vizualizace pro 2 pole .....	50
Obrázek 54 - Aplikace – Nevyužitá výroba.....	51
Obrázek 55- Aplikace – Fitter .....	51

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Seznam použitých spotřebičů pro algoritmus

## Seznam zkratk

AC – Střídavý proud

DC – Stejnoseměrný proud

Lat – Zeměpisná šířka

Lng – Zeměpisná délka

FVE – Fotovoltaická elektrárna

ČR – Česká republika

## Přílohy

CD ROM se zdrojovým kódem aplikace a daty o spotřebě domácností