

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**MODELOVANÍ ENERGETICKÝCH STŘEDISEK
V RÁMCI UDRŽITELNÉ ENERGETIKY**

Diplomová práce

Alena Bazaluk

Vedoucí práce: doc., Ing. Bohumír Garlík, CSc.

2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bazaluk	Jméno: Alena	Osobní číslo: 468519
Zadávací katedra: Technických zařízení budov (11125)		
Studijní program: Inteligentní budovy		
Stud. obor/ spec.: _____		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Modelování energetických středisek v rámci udržitelné energetiky

Název diplomové práce anglicky: Design of energy centers in the field of sustainable energy

Pokyny pro vypracování:

Analýza energetických systémů. Základní principy udržitelné energetiky, její realizace a vliv na spotřebu energií a emisí CO₂. Určit podmínky a proces řešení městského energetického střediska. Návrh energetického střediska pro vybranou oblast. Rešerše problematiky energetického střediska a vypracování matematického modelu GAMS.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Bohumír Garlík, CSc., DBA

Datum zadání diplomové práce: 24.02.2022 Termín odevzdání DP v IS KOS: _____
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

25.02.2022

Datum převzetí zadání

Alena

Podpis studenta(ky)

Anotace

Cílem této diplomové práce je navrhnout a najít optimální konfiguraci energetického centra pro zadanou oblast jako alternativy centrálně řízeným systémům. Práce je věnována optimalizaci, modelování takového energetického střediska pro určenou lokalitu, současnému stavu spotřeby energie, rozvoji distribučních sítí a integrovaných komunálních energetických soustav.

Klíčová slova:

Energetické středisko, distribuční sítě, simulační nástroje, Energetické úspory, SmartCity, Smart grid, Inteligentní energetické koncepty, Digitalizace v energetice, Komunitní energetika, EnergyHub, Spotřeba energie, Integrovaný komunitní energetický systém, General Algebraic Modeling System, GAMS, Matematický model, Decentralizované energetické systémy

Annotation:

The aim of this work is to design and find the optimal configuration of the energy center for a given area as an alternative to centrally controlled systems. The work is devoted to optimization, modeling of such an energy center for a given location, the current state of energy consumption, development of distribution networks and integrated municipal energy systems.

Key words:

Energy center, distribution networks, simulation tools, Energy savings, SmartCity, Smart grid, Intelligent energy concepts, Digitization in energy, Community energy, EnergyHub, Energy consumption, Integrated community energy system, General Algebraic Modeling System, GAMS, Mathematical model, Decentralized energy systems

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne 16.05.2022

Podpis.....

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Bohumíru Garlíkovi, CSc. za odborné vedení této diplomové práce, poskytnuté podklady, materiály a konzultace při zpracování této diplomové práce.

Také děkuji své rodině a svým přátelům za stálou podporu při studiu.

Obsah

1. Úvod	11
2. Energetické úspory.....	12
2.1. Centralizované energetické systémy	12
2.2. Decentralizace energetiky	14
2.3 Městská energetická střediska.....	17
3. Koncept Smart Cities	17
3.1. Infrastruktura Smart Cities	18
3.2. Energetika a služby	19
3.3. Smart Grid.....	19
3.4. Digitální technologie v energetice	20
4. Komunitní energetické systémy	21
4.1. Energetická soběstačnost.....	23
4.2. Integrované komunitní energetické systémy	24
5. EnergyHub.....	28
5.1 Koncept EnergyHub.....	29
5.2 Zdroje a výrobní komponenty.....	34
5.3 Konverzní komponenty.....	35
5.4 Matematický model EnergyHubu.....	35
5.4.1. Objektivní funkce	36
5.4.2 Energetické bilance	36
5.4.3. Omezení z důvodu dodávky energií sítěmi	37
5.4.4. Omezení konverze a výroby.....	37
5.4.5. Omezení úložišti energií	38
5.4.6. Cena energií	38
6.1. DesignBuilder.....	39
6.1.1. Vstupní data.....	40
6.1.2. Simulace.....	41
6.1.3. Použití	41
6.2. General Algebraic Modeling System – GAMS.....	41
7. Popis lokality.....	43
7.1. Stavební charakteristika budov	44
7.1.1. Charakteristická zástavba řešeného území	44

7.1.2. Energetická charakteristika lokality	45
7.1.3. Spotřeby energií	47
7.1.3.1. Spotřeba tepla na vytápění	50
7.1.3.2. Spotřeba tepla na ohřev teplé vody	51
7.1.3.3. Spotřeba plynu	53
7.1.3.4. Spotřeba elektrické energie	57
8. Ceny energií	60
8.1.1. Cena elektrické energie	60
8.1.2. Cena plynu	61
8.1.3. Cena tepelné energie	62
8.2. Denní náklady na energie ve stávající situaci	62
8.2.1. Denní náklady na tepelnou energii	62
8.2.2. Denní náklady na elektrickou energii	63
8.2.2. Denní náklady na plyn	64
8.2.4. Celkové denní náklady na energie	64
9. Navrhované varianty EnergyHubu	64
9.1. Varianta 1	65
9.1.1. Matematický popis modelu EnergyHubu – Varianta 1	65
9.2. Varianta 2	67
9.2.1. Matematický popis modelu EnergyHubu – Varianta 2	68
9.3. Varianta 3	69
9.3.1. Matematický popis modelu EnergyHubu – Varianta 3	69
10. Komponenty EnergyHubu	71
10.1. Fotovoltaické panely	71
10.2. Plynový kotel	74
10.3. Kogenerační jednotka	74
10.4. Tepelný výměník	74
10.5. Tepelné čerpadlo	74
10.6. Bateriové úložiště	75
11. Nalezení neoptimálnější varianty	75
11.1 Vstupní data	75
11.2. Provozní náklady	78
11.3. Varianta 1	78
11.4. Varianta 2	81

11.5. Varianta 3	84
12. Vyhodnocení výsledků.....	88
13. Závěr	89
Reference	90
Seznam obrázků	95
Seznam tabulek	97

1. Úvod

Spotřeba energie je předpokladem existence lidstva. Dostupnost energie dostupné pro spotřebu byla vždy nezbytná k uspokojení lidských potřeb, prodloužení doby trvání a zlepšení podmínek jeho života.

Dějiny civilizace jsou historií vymýšlení stále nových a nových metod přeměny energie, vývoje jejích nových zdrojů a v konečném důsledku i zvyšování spotřeby energie. Za posledních 200 let od počátku průmyslového věku došlo ke zvláště patrnému nárůstu světové spotřeby energie. Člověk průmyslové společnosti spotřebuje 100krát více energie než primitivní člověk.

Energie je základem rozvoje základních průmyslových odvětví, která určují pokrok společenské výroby. V poslední době je stále větší důraz kladen na energeticky úsporné technologie a obnovitelné zdroje – jako je slunce, vítr, voda, země.

Centralizované energetické systémy jsou výrazně ovlivněny kombinací různých faktory, jako je politická situace, dovoz fosilních paliv a rostoucí poptávka zdrojů energie po celém světě. Koncový uživatel v takovém systému nemá na výběr, a tak může jen slepě souhlasit s podmínkami dodání. Řešení tohoto problému nabízí energetická decentralizace.

Účelem této práce je představit možnosti využití integrovaných energetických center jako alternativa k centralizovaným systémům. Tato práce je věnována vymodelování takového energetického centra pro určené místo a následně ukázka, že toto řešení nenabízí pouze možnost využití obnovitelných zdrojů energie, ale také cenově výhodnější z pohledu koncového uživatele v situaci na současném energetickém trhu. Tato analýza bere v úvahu různé profily spotřeby vycházející z typologie objektů nacházejících se ve studovaném území, a individuální ceny energií nabízené dodavateli na místním trhu.

2. Energetické úspory

Cíle udržitelného rozvoje OSN požadují, aby se energetická náročnost v letech 2010 až 2030 každoročně snižovala o 2,6 %. Do roku 2020 se nedařilo tento cíl plnit. Například mezi lety 2017 a 2018 se energetická náročnost snížila pouze o 1,1 %. Zlepšení účinnosti často vede k tzv. odrazovému efektu (indukci spotřeby), kdy spotřebitelé ušetřené peníze použijí k nákupu energeticky náročnějšího zboží a služeb. Zlepšení technické účinnosti v dopravě a v budovách bylo například do značné míry kompenzováno trendy v chování spotřebitelů, jako jsou nákup větších vozidel a domů. Zlepšení účinnosti často vede k tzv. odrazovému efektu (indukci spotřeby), kdy spotřebitelé ušetřené peníze použijí k nákupu energeticky náročnějšího zboží a služeb. [1]

Obnovitelné zdroje energie mají zásadní význam pro udržitelnou energetiku, protože obecně posilují energetickou bezpečnost a vypouštějí mnohem méně skleníkových plynů než fosilní paliva. Projekty v oblasti obnovitelných zdrojů energie někdy vyvolávají značné obavy ohledně udržitelnosti, například pro rizika pro biologickou rozmanitost, pokud jsou oblasti s vysokou ekologickou hodnotou přeměněny na výrobu bioenergie nebo větrné či solární farmy.[2][3]

Největším zdrojem elektřiny z obnovitelných zdrojů je vodní energie, ale výroba solární a větrná energie rychle roste. Fotovoltaická solární energie a větrná energie na pevnině jsou ve většině zemí nejlevnějšími formami nových kapacit pro výrobu elektřiny.[4][5]

2.1. Centralizované energetické systémy

Dosavadní debata o tom, jak do budoucna uspokojit vysoké energetické nároky současné společnosti, se téměř výlučně zabývá problémem, jak a čím nahradit ubývající fosilní zdroje, případně se zaměřuje na charakter trhu s energiemi. Přitom stejně důležitá je otázka celého

nastavení energetického systému, početnosti a velikosti zdrojů a k tomu přizpůsobené fungování přenosové soustavy.

Během dvacátého století došlo vedle výrazného zvýšení spotřeby energie také k postupnému nárůstu přepravy energetických zdrojů a následné centralizaci sektoru.

Posun k vyšší centralizaci se dotkl všech oblastí energetiky. V oblasti zásobování elektřinou naprosto dominuje výroba ve velkých elektrárnách s výkony v řádu stovek megawattů, které lze v zemi srovnatelné s Českou republikou většinou spočítat na prstech. Velká kvanta elektřiny jsou pak z těchto výrobních center přenášena rozvodnou sítí na vzdálenosti stovky kilometrů ke svým spotřebitelům. V případě zásobování teplem proběhla centralizace jen částečně. V řadě velkých měst byl zaveden systém centrálního zásobování teplem z několika velkých zdrojů, na druhou stranu si individuální vytápění objektů stále udržuje převahu. Výrazně centralizovanou povahu mají rovněž dodávky fosilních paliv – jsou těžena na několika málo místech (i z pohledu kontinentu či celého světa), zpracovávána v malém počtu průmyslových komplexů (například rafinérie) a přepravována ve velkých objemech několika ropovody či plynovody. [6]

Centralizované struktury energetických systémů odpovídá rovněž forma jejich vlastnictví – těžbu, zpracování a dodávku paliv, stejně jako výrobu elektřiny ovládá několik málo obřích podniků, často ze strategických důvodů ovládaných státem (Gazprom, EdF). [6]

Na první pohled je centralizovaný systém plně funkční. Tradiční energetické firmy mají velké zkušenosti a dostatečné kapacity k řešení problémů a zajištění spolehlivosti dodávek. Jedinou starostí spotřebitele je nastavení termostatu, volba vhodného jističe a výběr optimálního tarifu. Centralizovaný systém energetiky má ovšem řadu nevýhod, které ohrožují jeho stabilitu. Decentralizace může naopak některé hrozby omezit nebo eliminovat. [6]

Model centralizované energetiky je jednoznačně uzpůsoben pro využívání fosilních paliv a dobře vyhovuje rovněž jaderným a velkým vodním

elektrárnám. Využívání těchto zdrojů je ovšem limitováno omezenými geologickými zásobami surovin a negativními dopady na životní prostředí. Proto v posledních letech roste význam obnovitelných zdrojů, které jsou ze své podstaty rozptýlené a jejich využívání lépe vyhovují modely s nižší mírou centralizace. [6]

2.2. Decentralizace energetiky

Decentralizovaný model energetiky v žádném případě neznamena soustavu zcela samostatných jednotek. Propojení zdrojů pomocí sítě výrazně zlepšuje efektivnost jejich využití, což platí i pro decentralizovanou energetiku. [6]

Energetický systém se mění. Stále levnější obnovitelné zdroje a moderní technologie umožňují postupný přechod z tradiční energetické soustavy s omezeným počtem velkých konvenčních zdrojů k decentralizované soustavě, kde klíčovou roli hraje velký počet malých obnovitelných zdrojů. Příkladem jsou instalace na rodinných, bytových domech a firmách, ale i větší projekty solárních a větrných elektráren, které jsou navíc podpořeny bioplynovými stanicemi, plynovou kogenerací, akumulací a zejména nástupem digitalizace. Společně tak vytváří flexibilní energetický systém. [7]

Důvody pro postupný přechod k decentralizovanému modelu [6]:

➤ Změna struktury zdrojů

Centralizovaný energetický model je jednoznačně uzpůsoben pro využívání fosilních paliv a dobře vyhovuje rovněž jaderným a velkým vodním elektrárnám. Využívání těchto energetických zdrojů je však limitováno jejich geologickými zásobami a negativním vlivem na životní prostředí. Proto v posledních letech narůstá význam obnovitelných zdrojů energie, které jsou ze své podstaty rozptýlené a jejich využívání lépe vyhovují modely s nižší mírou centralizace.

- Vysoká zranitelnost centralizovaných systémů při mimořádných událostech

Slabou stránkou centralizovaných systémů je riziko výpadku důležitého místa, který může postihnout vysoký počet spotřebitelů zároveň. Příkladem takovéto hrozby mohou být přírodní katastrofy, během kterých se poškodí elektrické vedení a zůstanou dočasně bez proudu tisíce lidí. V případě elektřiny může hrozit i neočekávaný výpadek proudu nebo neočekávané zvýšení spotřeby, které mohou mít za následek rozsáhlé přerušení dodávky. Všechny tyto důvody mohou vést k masivním výpadekům elektřiny. Další vážnou hrozbou pro centralizovaný energetický systém je riziko koordinovaného teroristického útoku na energetickou infrastrukturu (elektrická síť, plynovod). Pokud by decentralizovaný energetický systém postihla některá z výše uvedených hrozeb, důsledky by nebyly tak velké a počet postižených spotřebitelů by byl podstatně menší.

- Dovošní závislost, politická nestabilita a cenová nejistota

Centralizovaná energetika je výrazně závislá na dodávkách ropy, plynu, uhlí a jaderného paliva. S tím souvisí dvojí riziko. Prvním z těchto rizik je, že se odběratel stává do určité míry rukojmím svých dodavatelů, kteří mohou omezení dodávek využívat k politickému nátlaku. Ropná krize ze sedmdesátých let byla ukázkovým důsledkem jednotného postupu významné části států vyvážejících ropu. Druhým rizikem je omezená možnost odběratele ovlivnit cenu dodávek. V případě rostoucí poptávky v různých částech světa se může cena energetických zdrojů vyšplhat až k velmi vysokým částkám, přičemž spotřebitel nemá jinou šanci než cenu zaplatit. Decentralizovaný energetický systém postavený na lokálních zdrojích je pochopitelně méně citlivý na politický vývoj na výkyvy trhu s ropou.

- Podpora lokálních ekonomik

Nespornou výhodou decentralizovaných energetických systémů je podpora místních ekonomik. Při srovnání s centralizovanými energetickými systémy hovoří ve prospěch rozvoje decentralizovaných zdrojů také

ekonomické a sociální přínosy. Jednotlivé praktické zkušenosti s decentralizací fyzických zdrojů i struktury vlastníků ukázaly jednoznačné výhody pro ekonomiku regionu, ve kterém jsou decentralizované zdroje provozovány. Spotřebitelé v těchto případech neplatí za energii vzdálené, často zahraniční společnosti, ale místnímu subjektu, který mohou eventuálně spoluvlastnit. Peníze spotřebitelů vyplacené za dodané energie tak zůstávají v regionu a podporují jeho rozvoj.

➤ Nová místa na trhu práce

Dalším významným přínosem decentralizovaných energetických modelů je pozitivní dopad na zaměstnanost. Větší počet výrobních jednotek vede k vytvoření vyššího počtu pracovních příležitostí, které se rovněž přesouvají do regionů s vyšší nezaměstnaností. Totéž platí o lokálním zásobování palivy, které zvyšuje poptávku po pracovní síle zejména v zemědělství.

➤ Cenový vývoj

Zejména v případě decentralizovaného využití obnovitelných zdrojů může uživatel významně omezit riziko rostoucích cen fosilních paliv. Počáteční investice jsou pro uživatele v tomto případě větší, nicméně následné provozní investice jsou minimální. Například v případě instalace solárního systému na ohřev vody zaplatí uživatel náklady na jeho pořízení a montáž na základě smlouvy s vybraným dodavatelem. Podle předložených nabídek se odběratel může rozhodnout, zda a jaký systém si pořídí – své peníze má tedy pod kontrolou. Za energii dodanou systémem uživatel neplatí, což znamená, že omezil riziko dopadů zdražování. Odběratel závislý na centrálních zdrojích nemůže předvídat ani ovlivňovat vývoj ceny dodané energie.

2.3 Městská energetická střediska

Jedná se o decentralizovaný zdroj všech energetických a technických systémů napojený na konkrétní lokalitu. Zahrnuje dodatečné vybavení, které by se kvůli kapacitě nedalo vejít do samotných budov. MES se zaměřuje na získávání energie z obnovitelných a alternativních zdrojů energie. Cílem je zajistit v dané obci stabilní systém, který by byl schopen pokrýt energetické zásobování budov obce a napomoci k maximálnímu využití OZE.

Pro návrh jsou důležité podmínky, které určují potřebu energie a možnost profitovat z OZE v dané lokalitě. Řídicí systém vyrovnává poptávku a nabídku energie a předpovídá možnou spotřebu energie a výrobní procesy (ideálně během minut nebo sekund). Společná distribuční síť v kombinaci s akumulací energie vytváří stabilní a bezpečný systém. [8]

Lokalita je definována jako skupina budov, které se vzájemně ovlivňují a jsou napojeny na stejnou energetickou infrastrukturu. V rámci lokality je jejich měřítko definováno jako blok nebo sousedství.

Městská energetická střediska fungují na principu výroby vlastní energie a možnosti distribuce energie (zejména elektřiny) do společné sítě. Tento přístup se může v budoucnu stát konkurenční možností pro centralizovanou síť ve srovnání s nákupem zásob ze stávajících zdrojů energie. K decentralizovanému řízení systémů, je potřeba změny velikosti PS a DS sítí a řešení vzdálené správy HW, SW, SG. [9]

3. Koncept Smart Cities

Pojem „Smart Cities“ se na evropské úrovni začal používat a rozvíjet především z iniciativy průmyslu. V roce 2011 vznikla průmyslová aktivita "Smart Cities and Communities" zahrnující vazbu mezi dopravou a energetikou a směřující ke snižování jejich ekologické náročnosti. O rok později pak zahájilo činnost Evropské inovační partnerství o chytrých městech a obcích – European Innovation Partnership on Smart Cities and

Communities (EIP-SCC), zahrnující již také informační a komunikační technologie a dávající konceptu Smart Cities základní strukturu. [10]

K roku 2020 byl pro EU stanoven cíl pro dosažení podílu energie z OZE na celkové konečné spotřebě energie ve výši 20 %, a další závazné cíle pro jednotlivé členské státy, kdy pro ČR byla stanovena hodnota cíle ve výši 13%. Tento státní cíl ČR překonala již v roce 2013, a v roce 2016 pak dosáhla podílu energie z OZE na celkové konečné spotřebě energie výši 14,89 %. V období 2021-2030 je cílem dosáhnout dalšího navýšení podílu energie z OZE na konečné spotřebě energie minimálně o 7 %. [11]

Metodika konceptu Smart Cities je určena jak pro vedení měst, tak i pracovníky místních samospráv, kteří se zabývají přípravou strategií v konceptu SC. Metodika slouží k organizačnímu zajištění budování chytrého města, ke specifikaci zapojení občanů do jednotlivých programů SC s využitím investic do infrastruktury města. Metodiku lze použít jak pro tvorbu rámcové strategie SC, tak při implementaci rozvojových projektů, jimiž je tato strategie naplňována.

Pojmem Smart Cities rozumíme koncept strategického řízení města, resp. obce nebo regionu. Primárním cílem SC je zajištění kvalitního života obyvatelům, kdy jsou jako nástroj využívány moderní technologie pro ovlivňování kvality života ve městě, a následně k dosahování hospodářských a sociálních cílů města. Přitom dochází k synergiím mezi různými aktivitami a veřejnými službami, díky nimž město funguje – především doprava, logistika, bezpečnost, energetika, správa budov atd. V konceptu Smart Cities je současně kladen důraz na „tvrdé“ i „měkké“ aspekty řízení života ve městě a na soulad „šedé“ a „zelené“ infrastruktury města. [10]

3.1. Infrastruktura Smart Cities

Hlavní směry technologické infrastruktury Smart Cities [10]:

- mobilita (řešit a prosazovat rovnováhu mezi všemi prvky městské mobility);

- energetika a služby;
- informační a komunikační technologie (podporují jak infrastrukturní stránky městského života, tak samotný proces řízení města).

3.2. Energetika a služby

Současná inteligentní energetika a služby zahrnují zejména [10]:

- inteligentní řízení spotřeby energie, včetně energetického hospodářství městských budov a podpory jejich energeticky úsporných řešení;
- využívání obnovitelných zdrojů energie nebo kombinované výroby elektřiny a tepla a jejich bezpečnou integraci do městské energetické sítě;
- využívání prvků „chytrých sítí“ (smart grid) v rozvodné soustavě města nebo regionu, včetně chytrých mikrosítí pro různé účely;
- inteligentní řízení městských služeb směrem k efektivnímu využívání energie a přírodních zdrojů – především energeticky úsporné a ekologicky řešené veřejné osvětlení, efektivní odpadové hospodářství a efektivní hospodaření s vodou.

3.3. Smart Grid

Smart Grid je elektrická síť, která poskytuje obousměrný tok elektřiny a dat s digitální komunikační technologií k detekci, reagování a přijímání opatření v případě změn v používání a více problémů. Jsou samoléčivé a umožňují spotřebitelům elektřiny, aby se stali aktivními účastníky.[13]

Její principem je interaktivní obousměrná komunikace mezi výrobními zdroji a zařízeními nebo spotřebiteli o aktuálních možnostech výroby a spotřeby energie. [14]

Smart Grid slouží několika účelům a přechod od konvenčních sítí k inteligentním sítím je řízen mnoha faktory, včetně deregulace trhu s energií, vývoje měření, změn v úrovni výroby elektřiny, decentralizace

(distribuované energie), rozvoj mikrogenerace a (izolovaných) mikrosítí, požadavky na obnovitelné zdroje energie s více zdroji energie a nové body, kde a pro které je potřeba elektřina (např. nabíjecí místa pro elektromobily). [13]

Základním předpokladem komunikace je nasazení digitálních komponent a technologií do sítě („grid“ je v energetické terminologii obecné pojmenování energetické sítě). Umožňují digitalizaci dat a tedy obousměrnou komunikaci mezi koncovým odběrným místem a řídicím datovým centrem na straně správce distribuční soustavy. Díky této komunikaci je pak možné na síti aplikovat řadu zajímavých „Smart“ technických řešení, která přispívají nejen ke zkvalitnění služeb pro koncové zákazníky, ale především mohou velkou měrou chránit životní prostředí – například vysoce účinnou integrací obnovitelných zdrojů nebo efektivním řízením spotřeby. [15]

3.4. Digitální technologie v energetice

Digitální technologie jsou všude a ovlivňují způsob, jakým žijeme, pracujeme, cestujeme a hrajeme si. Digitalizace pomáhá zlepšit bezpečnost, výkon, dostupnost a odolnost energetických systémů po celém světě. Ale také vytváří nová bezpečnostní a soukromí rizika, narušuje trhy, podniky a pracovníky.

Digitalizace a energetika je prvním komplexním pokusem Mezinárodní energetické agentury ukázat, jak může digitalizace transformovat světové energetické systémy.

Energetický sektor byl jedním z prvních, kdo přijal digitální technologie. V 70. letech 20. století energetické společnosti využívaly nejnovější digitální technologie k usnadnění správy a provozu sítě. Ropné a plynárenské společnosti již dlouho využívají digitální technologie ke zlepšení rozhodování o průzkumu a těžbě, včetně zásobníků a ropovodů.

Průmyslový sektor využívá řízení procesů a automatizaci po desetiletí, zejména v těžkém průmyslu, k maximalizaci kvality a produktivity při minimalizaci spotřeby energie.

V nadcházejících desetiletích díky digitálním technologiím budou energetické systémy po celém světě propojenější, inteligentnější, účinnější, spolehlivější a udržitelnější. Ohromující pokrok v oblasti dat, analytiky a konektivity umožňuje řadu nových digitálních aplikací, jako jsou chytrá zařízení a obecná mobilita. Digitální energetické systémy budou schopny určit, kdo potřebuje energii, a dodat ji ve správný čas, na správné místo a za nejnižší cenu. Udělat to správně ale nebude snadné.

Tempo digitalizace v energetickém sektoru se zrychluje. Investice energetických společností do digitálních technologií za posledních několik let dramaticky vzrostly. Digitalizace již zlepšuje bezpečnost, výkon, dostupnost a odolnost energetických systémů.

4. Komunitní energetické systémy

Jako první vystoupila Layla Sawyerová, která představila koncept komunitní energetiky. Zdůraznila, že nastupujícím trendem je modifikace klasického zákazníka („consumer“) na produkujícího zákazníka („prosumer“). Ten ze sítě nejenom elektřinu odebírá, jak tomu v současnosti ve valné většině případů je, ale může do ní i dodávat.

Potřeby a možnosti prosumerů se přitom liší v každé oblasti státu (např. pro prosumera, který má ve své zemi výhodný feed-in tarif, je vhodné dodávat elektřinu do sítě, pro prosumera v zemi, kde je drahá elektřina, je lepší užívat vyrobenou elektřinu pro pokrytí vlastní spotřeby). Společnosti zabývající se těmito flexibilitami pak vyvíjejí produkty, které zohledňují právě podmínky v oblasti daného prosumera, přičemž stěžejní rozhodovací veličinou, kterou sledují, je energetický regulační rámec v dané zemi. [17]

Komunitní energetické systémy jsou stále oblíbenější a účinnější než konvenční energetické systémy. Je to proto, že jsou decentralizované,

modulární a flexibilnější než tradiční energetické systémy. Kromě toho jsou tyto systémy obvykle umístěny v blízkosti komunit, kterým slouží, aby se zabránilo dlouhému přenosu energie. Na druhou stranu jsou tyto systémy kapacitně omezené. Kromě toho jsou komunitní energetické systémy nebo distribuované energetické systémy obvykle hybridní systémy, které obsahují více výrobních a skladovacích jednotek. Podobně systémy dálkového vytápění obsahují síť potrubí, která dodávají teplo bytovým a nebytovým spotřebitelům. Distribuované teplo se vyrábí v centralizovaných lokalitách například prostřednictvím kogeneračních zařízení. Dálkové vytápění mají vyšší účinnost a lepší dopad na životní prostředí než lokální kotle. Kromě toho jsou mikrosítě lokalizované, moderní a malorozměrové sítě, které jsou schopny fungovat zcela nezávisle na místních sítích a zároveň posilují odolnost sítě a pomáhají zmírňovat poruchy sítě. Kromě toho jsou mikrosítě typicky nízkonapěťové AC sítě, které využívají různé zdroje pro výrobu energie včetně solárních systémů a hybridních systémů. Tyto malé komunitní energetické systémy mají výhodu, že jsou blízko měst, kterým slouží. To je skutečně výhoda, protože velké energetické systémy nemohou být blízko měst, jako jsou uhelné elektrárny kvůli velké ekologické stopě nebo hydroelektrické systémy kvůli jejich omezené lokalitě.[18]

V současné době jsou místní komunity zásobovány centralizovaným energetickým systémem. Tato architektura shora dolů je způsobena přítomností úspor z rozsahu, možnostmi přepravovat konvenční paliva, jako je uhlí a plyn, na požadované místo atd. Technologický a ekonomický pokrok však posouvá výrobu a spotřebu energie směrem k paradigmatu inteligentních sítí, které se stále více zabývá klimatem. zmírnění změny. Jsme na křižovatce přepracování našich energetických systémů tak, aby integrovaly distribuované zdroje energie. Energetický systém se transformuje na kombinaci systémů shora dolů a zdola nahoru, přičemž je motivován zranitelností a nejistotami spojenými s centralizovanou energetickou infrastrukturou, vyčerpáním fosilních paliv a změnou klimatu [19]. To umožňuje komunitám řídit výrobu a poptávku, což vede k sociálním inovacím v řízení energetických systémů. V důsledku monotónního

zaměření na velké elektrárny pro velkoobjemové ekonomiky v minulém století a nedávné pozornosti na jednotlivé domácnosti, dosud místní energetické systémy zůstali ve stínu [20].

4.1. Energetická soběstačnost

Místní komunity mají dobré postavení k tomu, aby identifikovaly místní energetické potřeby a spojily lidi, aby dosáhli společných cílů, jako je soběstačnost, odolnost a autonomie [22].

Díky technologickému pokroku a společensko-politickému uznání je nyní potenciál komunit v popředí zkoumání s klíčovou rolí v přechodu energetických systémů [20]. Pokud však velký počet domácností instaluje přerušované obnovitelné zdroje energie a další místní technologie výroby a skladování, může to mít nepříznivé dopady na distribuční sítě. Tyto problémy s místní sítí lze vyřešit buď posílením sítě, nebo podporou inteligentního místního řízení energie. Navíc s příchodem inteligentních sítí a rostoucích obav ze změny klimatu, jakož i se snižujícími se náklady na technologie distribuované výroby, se kolektivním energetickým systémům dostává obnovené pozornosti. Existuje široká shoda, že pokud energetický systém, jak jej známe, má touhu stát se udržitelným, musí být integrovány různé energetické sektory a musí se zapojit místní komunity. Udržitelná společenství jsou komunity, které podporují nebo se snaží podporovat udržitelnost. Pojem „udržitelná společenství“ je však velmi široký a vztahuje se na všechny aspekty využívání zdrojů a snižování emisí. Na druhou stranu, energeticky udržitelné komunity jsou komunity, které využívají obnovitelné zdroje energie a opatření pro energetickou účinnost. [21]

Přijetí kompozitních vícegeneračních systémů prostřednictvím spojení jednotek pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny s absorpčními/elektrickými chladiči, tepelnými čerpadly a palivovými články může vést k vyšší energetické účinnosti, nižší emisí CO₂ a zvýšení ziskovosti. Tento přístup má za cíl posunout současné rigidní a centralizované energetické systémy k těm, které jsou flexibilnější a

decentralizované. Integrovaný provoz distribuovaných zdrojů energie z místního okolí může vést k flexibilnímu a robustnímu propojenému energetickému systému se značnými přínosy pro energetickou bezpečnost. [21]

4.2. Integrované komunitní energetické systémy

Evropská energetika se mění. Čím dál větší roli hrají obnovitelné zdroje energie a celý systém prochází decentralizací.

Nejen státy a energetické společnosti, ale i samotní občané mohou hrát klíčovou roli v transformaci evropské energetiky. Jestliže byli dosud vnímáni pouze jako spotřebitelé energie, nyní se z nich stávají aktivní výrobci. Stačí si pořídit vlastní zdroj energie, třeba již zmíněnou fotovoltaickou elektrárnu. Z klasických spotřebitelů energie se tak stávají tzv. samospotřebitelé (prosumers), tedy lidé, kteří spotřebují, ukládají nebo prodávají energii z vlastních obnovitelných zdrojů. [24]

Do výroby či sdílení energie se mohou zapojit nejen jednotliví občané, ale také místní samosprávy nebo drobní podnikatelé. Pokud se rozhodnou spojit síly, vznikají tzv. energetické komunity (či energetická společenství). Občané, obce a další subjekty mohou díky nim získat větší kontrolu nejen nad spotřebou, ale také nad výrobou energie. [24]

Členové energetické komunity sdílejí náklady spojené s budováním a provozem zdrojů energie a zároveň si užívají jejich výhody – od levnější a čistší energie až po obecné zlepšení lokální socio-ekonomické situace. Cílem energetických komunit totiž není vyrábět energii pouze za účelem zisku, ale přispívat k rozvoji regionu, ve kterém se komunita nachází.

Energetická komunita může mít i podobu družstva – tedy firmy vlastněné a řízené lidmi, kteří v ní pracují nebo využívají jejích služeb. Populární jsou zejména v zemích severní a západní Evropy. Podle dat výzkumného střediska Evropské komise se v EU nachází již 3 500

energetických družstev a jejich počet zřejmě poroste, a to i díky nové evropské legislativě. [24]

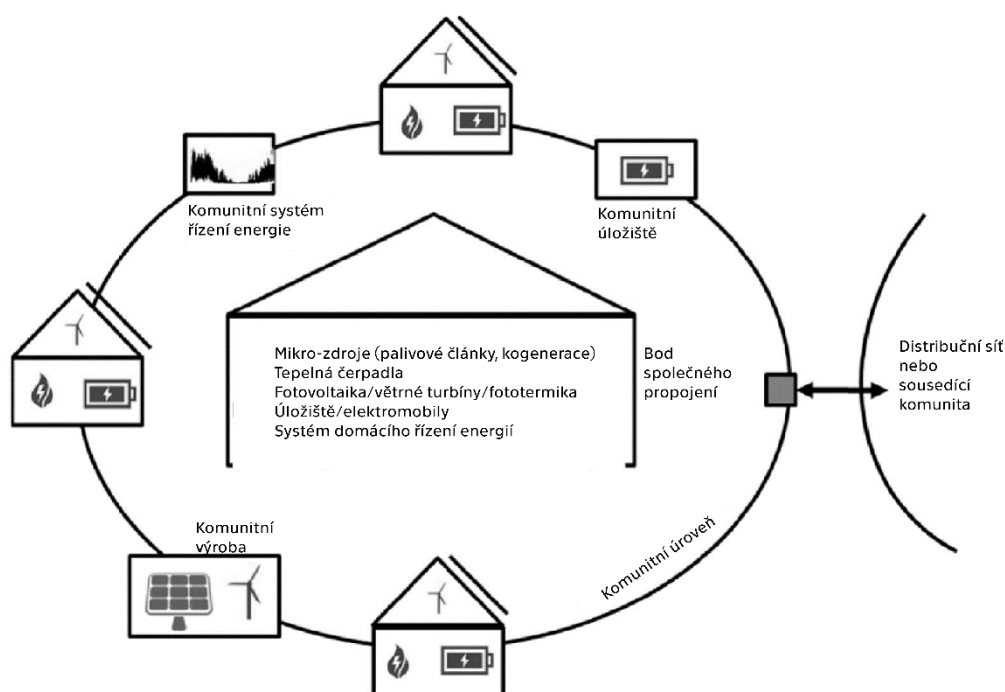
Místní komunity jsou dobrým modelem pro určování místních energetických potřeb. Tyto skupiny zároveň poskytují dobré prostředí pro motivaci a dosahování společných cílů jako je funkční soběstačnost a flexibilita prostřednictvím blízkosti a loajality jednotlivých členů. Sdílené energetické systémy, jako jsou integrované energetické systémy, se zavádějí za účelem snížení nákladů na energii, emisí CO₂ a závislosti na tradičně instalovaných službách [23].

Podpora obnovitelných zdrojů ze strany národních vlád (např. v Evropě) způsobila prudký rozvoj velkých solárních a větrných elektráren, jejichž výstavba byla motivována pouze zárukou příznivých výkupních cen energií. Útlum těchto garancí a velký nárazový výkon daných elektráren, který vede k přebytku a nestabilitě distribuční sítě, přivedl jejich majitele do situace, ve které se musí rozhodnout a domluvit se s provozovateli distribučních sítí, jakou roli budou jejich elektrárny nadále v celém energetickém systému plnit. Otevírá také možnost vytvoření alternativního obchodního modelu, jehož možným záměrem může být doplnění těchto zdrojů o skladování elektřiny a tím spolu se stávajícími elektrárnami provádět doplňkové a vyrovnávací služby distribuční sítě. Další možností by mohla být integrace těchto zdrojů energie do stávajících integrovaných komunitních energetických systémů nebo vytvoření zcela nových. V takovém případě však velikost těchto zdrojů a jejich vlastníků může způsobit komunitě problémy s financováním a rozhodováním. Spravedlivé rozdělení zisku, spolufinancování, dotace, provozní náklady, ale i složitost rozhodování jsou problémy jak pro samotné obce, tak pro vlastníky těchto zdrojů energie [27].

Integrované energetické systémy se skládají z různých možností místní výroby tepla a elektřiny, flexibilní poptávky, možností e-mobility a skladování energie. Tento integrovaný přístup na místní úrovni pomáhá zvyšovat efektivitu v souladu s místní nabídkou a poptávkou. Možné a nevyhnutelné napojení integrovaných komunitních energetických systémů a technologií do nebo s chytrými sítěmi samotnými nejen zvýší účinnost a

spolehlivost lokálních energetických systémů, ale může ovlivnit i strukturu a následný rozvoj těchto energetických systémů [23].

Jak prezentuje následující Obrázek 4.1. domácnosti jsou kritickým prvkem integrovaných komunitních energetických systémů. S měnícím se energetickým prostředím a klesajícími cenami za decentralizované zdroje energie mohou tyto domácnosti investovat do zdrojů, jako jsou solární fotovoltaické panely, kogenerační elektrárny, palivové články, solární tepelné panely, elektromobily, akumulace elektřiny a tepla, tepelná čerpadla a řídicí systémy. energie k zajištění rovnováhy a optimální energetické účinnosti těchto zdrojů na úrovni takových domácností.



Obrázek 4.1. Konceptní návrh integrovaného energetického systému (přeloženo)

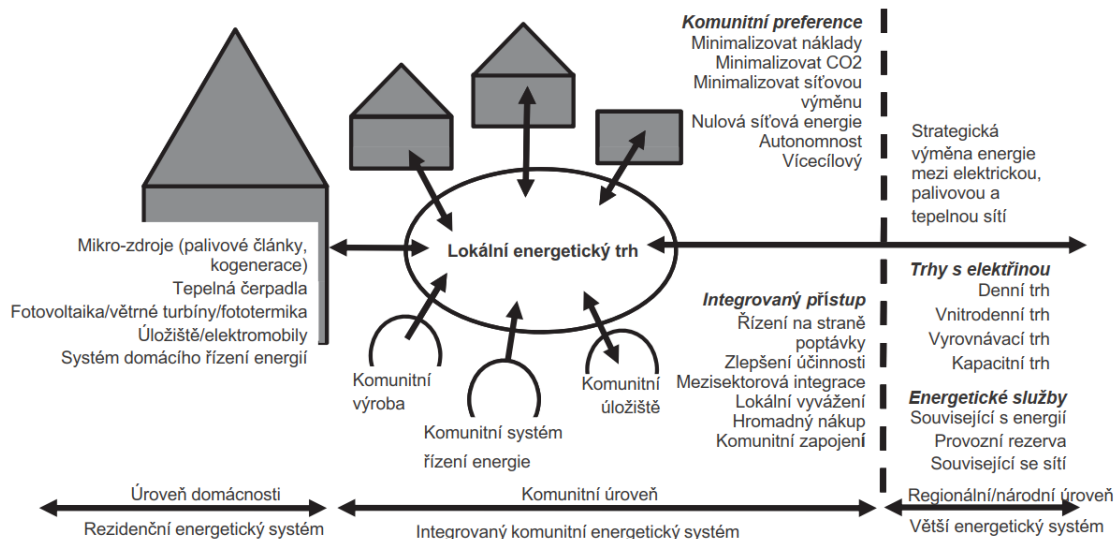
Přebytečná energie generovaná integrovanými energetickými systémy komunity může být uložena v rámci komunity nebo dále prodána do distribučních sítí. Na druhou stranu nedostatek energie lze koupit v distribučních sítích. To ovšem platí pouze v případě integrovaných komunitních sítí, které jsou připojeny na distribuční sítě. Integrované komunitní energetické systémy, které jsou připojené na distribuční sítě

energií, a které jsou vybaveny prvky umožňující ukládání energií mohou nabídnout distribučním sítím energií tyto kapacity a flexibilně tak poskytovat vyvažovací služby [23].

Hlavní přednosti integrovaného energetického systému jsou [23]:

- 1) Pro každou domácnost se berou v úvahu různé profily poptávky po elektřině, teplé vodě, vytápění a chlazení;
- 2) Je možná simulace a optimalizace investic a plánování distribuovaných energetických zdrojů v několika domácnostech současně;
- 3) Kromě individuálních investic do distribuovaných zdrojů energie se může komunita také rozhodnout investovat do technologií na úrovni komunity za předpokladu, že existují úspory z rozsahu;
- 4) Je umožněna místní výměna mezi domácnostmi;
- 5) Instalovaná kapacita distribuovaných energetických zdrojů a výměny jsou omezeny maximálními kapacitami vedení;
- 6) K dispozici jsou možnosti provozu připojeného k síti a s poruchou sítě

Integrované komunitní energetické systémy jsou také příkladem plánování, návrhu, implementace a řízení energetických systémů na komunitní úrovni s cílem maximalizovat energetický výkon při současném snižování nákladů a snižování dopadu na životní prostředí. Proto zahrnují posouzení stávající energetické infrastruktury a dostupných zdrojů v komunitě. To pomáhá nalézt inovativní řešení pro místní výrobu, přesouvání zátěže, místní vyvažování, kolektivní nákup a metody úspory energie. V tomto smyslu se integrované komunitní energetické systémy zaměřují na doplňkovou roli energie a jsou schopny zahrnovat technické a sociální inovace v integraci energetického systému, jakmile budou dostupné, viz Obrázek 4.2. [21]



Obrázek 4.2. Funkce integrovaného komunitního energetického systému v širším systému. (přeloženo)

5. EnergyHub

EnergyHub lze definovat jako místo nebo zařízení, kde se vyrábí, přeměňuje, skladuje a spotřebovává energie z různých zdrojů. Jedná se o slibnou verzi integrovaného řídicího systému pro energetické systémy využívající více zdrojů energie. Totéž platí pro integrované energetické systémy Společenství [39].

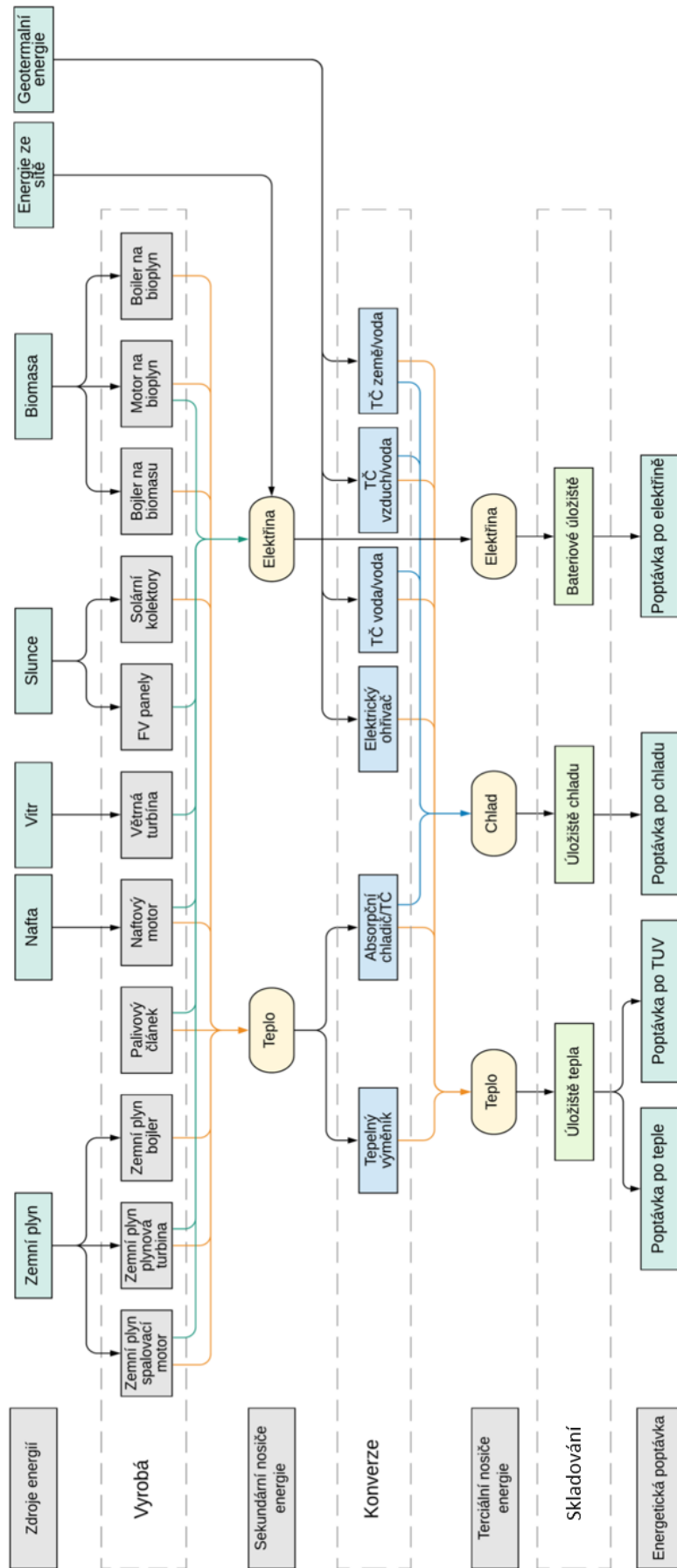
EnergyHub znamená komplexní univerzální inteligentní integrované energetické systémy, které umožňují optimální využití decentralizovaných a místně dostupných zdrojů energie, a proto tyto energie mezi sebou efektivně přeměňují, aby okamžitě vyhovovaly potřebám místní komunity. Tyto hybridní energetické systémy využívají decentralizované a místně dostupné zdroje energie, aby uspokojily potřeby místní komunity kombinací a efektivní přeměnou zdrojů energie.

Právě kvalita energetické výměny je důležitá pro integrované komunální energetické systémy. Optimální řízení integrovaných energetických systémů přináší technické, ekonomické a ekologické výhody,

jako je zlepšená spolehlivost, snížení provozních nákladů, snížení spotřeby paliva a související snížení emisí v celém systému. Úspěšné řízení a provoz takových systémů vyžaduje integrovanou řídicí strukturu, která dokáže optimálně kombinovat různé komponenty. Pro minimalizaci energetických ztrát je výhodné, aby přeměna energie probíhala na jednom místě. V případě integrovaných veřejných energetických systémů napojených na elektrické sítě jsou potřeba přípojné místa i pro tyto distribuční sítě. Vhodným napojením těchto spojovacích pozic je místo, kde mezi nimi probíhá přeměna nebo dodatečná výroba energie, a také kde lze energii ukládat a všechny komponenty spolehlivě ovládat, tzv. EnergyHub [1].

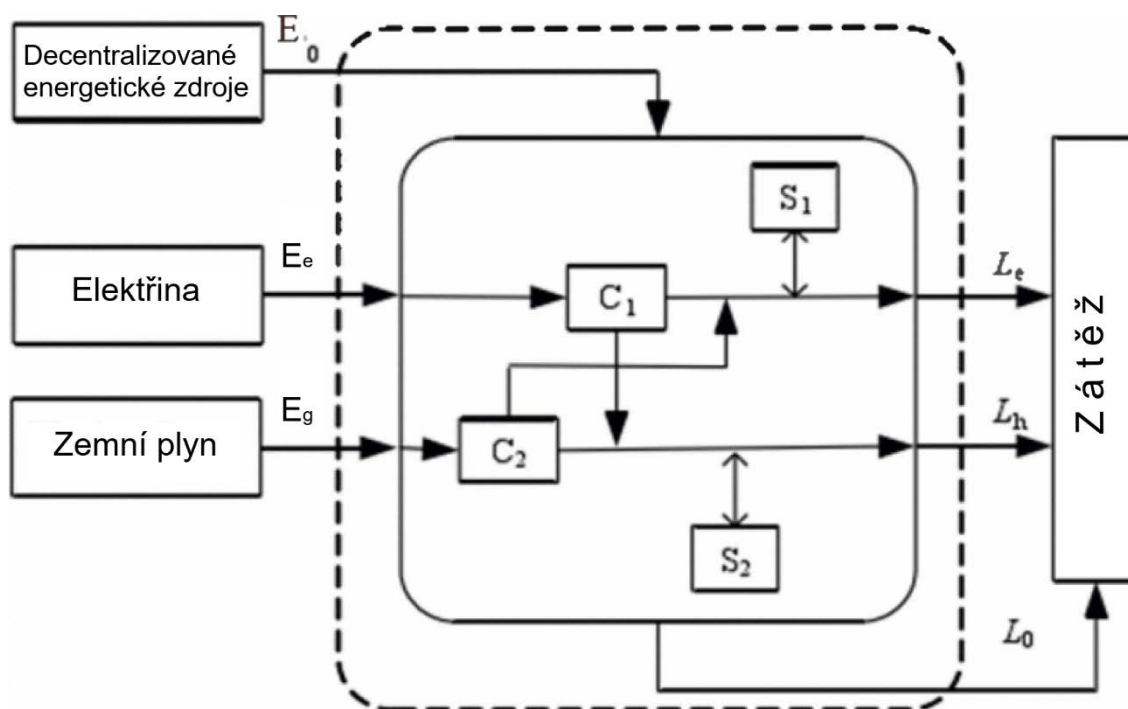
5.1 Koncept EnergyHub

Struktura EnergyHubu je rozdělena do tří relevantních částí: výroba, konverze a skladování, viz Obrázek 5.1. Energie dodávaná do EnergyHubu se přeměňuje na elektřinu a teplo díky různým výrobním technologiím ve výrobní části budovy. V konverzní části konstrukce se navíc sekundární nosiče energie (tepelná energie, elektrická energie) přeměňují na různé druhy terciárních nosičů energie (např. teplo, chlad, elektrická energie). Tyto nosiče energie mohou být uloženy v úložné části konstrukce pro vyrovnávání zátěže a optimální výkon [26].



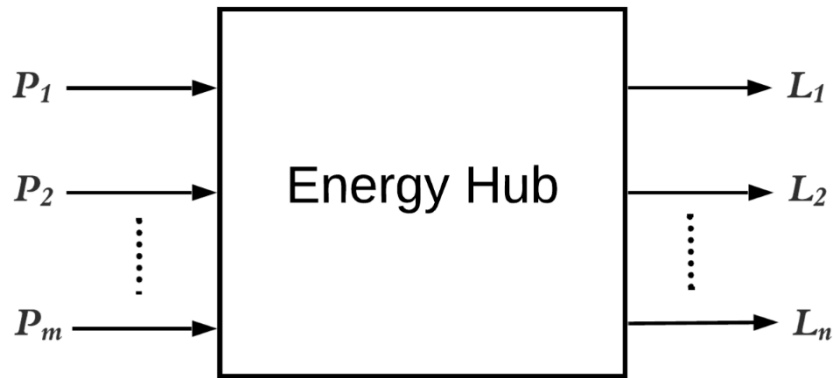
Obrázek 5.1.1. Obecná architektura EnergyHubu [26], (přeloženo)

Obecný model EnergyHubu představený Göranem Anderssonem ze Švýcarského federálního technologického institutu pro metropolitní zatížení. Ilustrace tohoto systému je znázorněna na obrázcích níže. [25]



Obrázek 5.1.2. Obecný model EnergyHubu pro zátěž [25], (přeloženo)

Tento model zahrnuje jednotlivé typy nosičů energie, jako jsou elektrická energie E_e a zemní plyn E_g . Výstupem Energy Hubu je tepelná energie L_h a elektrická energie L_e . Navíc v tomto modelu uvažujeme i částečnou účast decentralizovaných zdrojů energie. Na vstupu do systému jsou označeny jako E_0 a L_e na výstupy. Dále jsou v modelu zahrnuty konverze (C_1 , C_2) a ukládání (S_1 , S_2) výše uvedených druhů energie. Základní princip vstupu, přeměny a výstupu energie pomocí Energy Hubu vyjadřuje spojovací matice, která je graficky znázorněna na následujících obrázcích: [25]



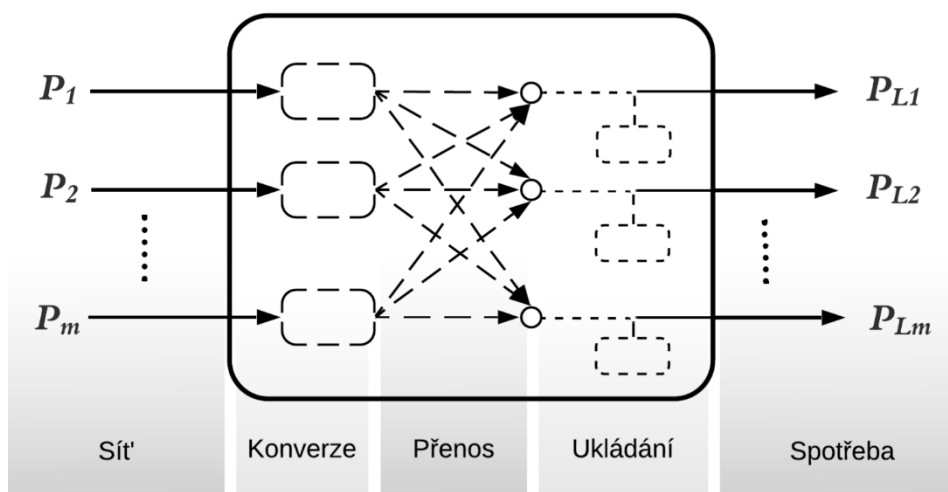
Obrázek 5.1.3. Princip vstupu, konverze a výstupy energie EnergyHubem [25]

$$\begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_m \end{bmatrix}$$

Obrázek 5.1.4. Vazební matice EnergyHubu [25]

Kde c_{ij} je konverzní faktor mezi vstupní a výstupní formou energií $E_{(1,...m)}$ (respektive $P_{(1,...m)}$) je vstupní energie a $L_{(1,...n)}$ je energie vystupující z EnergyHubu [25].

V rámci EH se různé formy energie přeměňují a upravují pomocí konvertorových technologií, jako jsou transformátory, HVAC, kogenerace, tepelné výměníky a absorpční chladiče. Obrázek 5.1.4 znázorňuje různé úrovně obecného EnergyHubu:



Obrázek 5.1.5. Obecná struktura EnergyHubu [28], (přeloženo)

Pro uspokojení potřeby více druhů energie musí být EnergyHub vybaven systémem, který umožňuje výrobu požadovaných druhů energie pomocí jediného energetického nosiče. Hybridní systém pak následně poskytuje vysokou úroveň energetické bezpečnosti prostřednictvím kombinace generačních metod pro účely zajištění maximální spolehlivosti dodávky. Takováto struktura EnergyHubu přináší zvýšenou účinnost, snížení spotřeby primárních energií a snížení nákladů. [28]

Kogenerační zařízení jsou nejjednodušší systémy, které dokážou uspokojit potřebu více než jednoho druhu energie pomocí jednoho energetického nosiče. Nejrozšířenější variantou kogeneračních systémů jsou systémy kombinované výroby elektřiny a tepla. Tyto struktury EnergyHub umožňují uspokojit poptávku po určitém druhu energie různými způsoby. To vede ke zvýšení spolehlivosti dodávek energie a zvýšení míry volnosti ve věci nabídky a poptávky. Zvýšení stupně volnosti na straně nabídky prostřednictvím možného použití více nosičů energie nebo komponent v EnergyHubu vytváří prostor pro možnou optimalizaci. Vstupy a komponenty EnergyHub lze charakterizovat na základě ceny, emisí, dostupnosti atd. kritéria pro optimalizaci využití energetických zdrojů a součástí EnergyHub. [28]

Jednou z nejdůležitějších výhod EnergyHubu je jejich efektivní využití vícegeneračních systémů (kogenerace, trigenerace, polygenerace) pro optimální využití energetických zdrojů, zvýšení účinnosti a snížení nákladů a emisí. [28]

5.2 Zdroje a výrobní komponenty

Do EnergyHubu může vstupovat energie z různých zdrojů jako například [29]:

- Zemní plyn
- Kapalná paliva (benzín, nafta)
- Solární energie
- Geotermální energie
- Větrná energie
- Biomasa
- Distribuční sítě energií
- Odpadní teplo z průmyslu

Tyto zdroje jsou dále využívány pro výrobu energie součástí EnergyHub, zejména [29]:

- Kogenerační jednotky na zemní plyn
- Plynové mikroturbíny
- Plynové kotle
- Palivové články
- Naftové agregáty
- Větrné turbíny
- Solární fotovoltaické panely
- Solární termické panely
- Kotle na biomasu
- Kotle na bioplyn
- Kogenerační jednotky na bioplyn

5.3 Konverzní komponenty

- Transformátory
- Tepelné výměníky
- Sorpční chladiče
- Elektrické ohřivače
- Tepelná čerpadla

Pro potřeby ukládání energií v EnergyHubu se využívají [29]:

- Úložiště tepla (nejběžněji úložiště horké vody)
- Úložiště chladu (zejména úložiště chladu ve formě ledu)
- Bateriová úložiště pro ukládání elektrické energie

5.4 Matematický model EnergyHubu

Pro studium principů fungování tohoto systému z hlediska jeho optimalizace podle určitých cílových kritérií je nutné vytvořit matematický model EnergyHubu jako řídicího objektu. Funkční schéma EnergyHubu, které má být vyvinut pro analýzu provozu energetického systému s různými nosiči energie, by měl umožňovat jejich interakci a zohledňovat následující faktory: [30]

- druhy nosičů energie (elektřina, teplo, plyn atd.);
- omezení nosičů energie, pokud jde o výkon, spotřebu,
- ztráty a nelinearita při přenosu a přeměně energie;
- různé jednotky měření energie by měly být převedeny do jednoho měřicího systému;
- účinnost přeměny jednoho typu nosiče energie na jiný;
- energetická složka energetické bilance při výrobě tepla;
- časový limit pro přepnutí na jiný nosič energie.

Matematický model EnergyHubu je dán objektivní hodnoticí funkcí, omezeními danými komponenty EnergyHubu a bilancí toků energií EnergyHubem.

Algoritmická implementace bloků pro přeměnu jednoho druhu energie na jiný nebo pro jejich skladování energie je založena na tom, že matematický popis výstupních charakteristik těchto zařízení lze s dostatečnou přesností popsat systémem nebo jednou lineární diferenciální rovnicí první nebo druhého řádu s konstantními koeficienty. Pro vývoj zjednodušených modelů komponent (elementárních uzlů) víceenergetického systému je nutné vzít v úvahu charakteristiky jednotlivých komponent systému a stanovit potřebné a dostatečné parametry těchto komponent na základě zvolených funkcí objektu. [29]

5.4.1. Objektivní funkce

Cílem optimalizačního problému je určit optimální návrh a provoz komponentů v rámci EnergyHubu na základě objektivní funkce.

Objektivní vyhodnocovací funkce je založena na cenách jednotlivých energetických nosičů vstupujících do EnergyHubu a jejich denní spotřebě. Kritériem pro hodnocení této funkce je součet nákladů na tyto druhy energií. [29]

$$\min OF = \sum_t \lambda_t^a A_t + \lambda \cdot b_t B_t + \dots + \lambda_t^n N_t \quad (5.1)$$

Kde $\lambda_t^a \dots \lambda_t^n$ jsou jednotkové ceny vstupních komodit a $A_t \dots N_t$ jsou spotřeby těchto komodit.

5.4.2 Energetické bilance

Množství energie vstupující do EnergyHubu a potřebné k uspokojení poptávky prostřednictvím transformace, výroby nebo skladování těchto energií komponenty EnergyHub je určeno součtem energií vstupujících do komponent EnergyHub. [29]

$$P(t) = \sum_t A_{i,t} + A_{j,t} \dots + A_{n,t} \quad (5.2)$$

Kde $A_{i,t} \dots A_{n,t}$ je množství vstupních energií do EnergyHubu.

Množství energií, které vystupují z EnergyHubu, a které jsou potřebné pro uspokojení poptávky, jsou dány součtem energií vystupujících z komponent EnergyHubu. [29]

$$L(t) = \sum_t B_{i,t} + B_{j,t} \dots + B_{n,t} \quad (5.3)$$

Kde $B_{i,t} \dots B_{n,t}$ je množství vystupujících energií z EnergyHubu.

5.4.3. Omezení z důvodu dodávky energií sítěmi

Množství energií vstupujících do EnergyHubu z distribučních sítí je omezeno kapacitou přípojek těchto distribučních sítí. Případně je toto omezení dáno smluvně. [29]

$$P_x^{net}(t) \leq P_x^{max} \quad (5.4)$$

Kde P_x^{net} je okamžité množství potřebné pro provoz EnergyHubu a P_x^{max} je kapacita přípojek. [29]

5.4.4. Omezení konverze a výroby

Přeměna energií z jedné formy na druhou, její výroba či případně přeměna energie na její nižší úroveň není bezztrátová, existují omezení hustoty toku energie na výstupu konverzního systému. Každá technická součástka funguje v rámci svých provozních rozsahů a má určitý limit, který je založen na velikosti této součásti a schopnosti materiálu odolávat teplotě, rychlosti a elektrickému proudu. Jeho hranice nemohou překročit. Konverze, účinnost konverze a provozní rozsahy jsou vyjádřeny jako [29]:

$$B_t^{min} < B_t < B_t^{max} \quad (5.5)$$

$$B_t = \eta_x A_t \quad (5.6)$$

$$\eta_x < 1 \quad (5.7)$$

Kde B_t^{min} je minimální provozní výkon komponenty, B_t je okamžitý provozní výkon komponenty a B_t^{max} je maximální provozní výkon komponenty. Fungování komponent můžeme vyjádřit jako výrobu energií B_t spotřebou vstupní komodity A_t s danou účinností η_x . Primární účinnost η_x je vždy menší 1. [29]

5.4.5. Omezení úložišti energií

EnergyHub může mít tři možné typy úložišť – úložiště chladu, tepla a elektrické energie. V principu ovšem všechny z těchto typů úložišť fungují stejným způsobem, který se dá vyjádřit následujícími rovnicemi [26]:

$$SOC_t = SOC_{t-1} + \left(A_t \eta_a - \frac{B_t}{\eta_b} \right) \Delta t \quad (5.8)$$

$$A_{min} \leq A_t \leq A_{max} \quad (5.9)$$

$$B_{min} \leq B_t \leq B_{max} \quad (5.10)$$

$$SOC_{min} \leq SOC_t \leq SOC_{max} \quad (5.11)$$

Proměnná SOC vyjadřuje stav nabití úložiště, A je množství energie vstupující do úložiště a B_t představuje množství energie z úložiště vystupující. První rovnice 5.8 ukazuje změnu úrovně nabití oproti předchozímu stavu s účinnostmi nabíjení η_a nebo vybíjení η_b . Limity nabíjení nebo vybíjení úložiště jsou omezeny maximálními a minimálními hodnotami, tj. A_{min} , A_{max} , B_{min} , B_{max} , a úroveň nabití úložiště je vymezena minimální hodnotou kapacity úložiště SOC_{min} a maximální hodnotou kapacity úložiště SOC_{max} . [26]

5.4.6. Cena energií

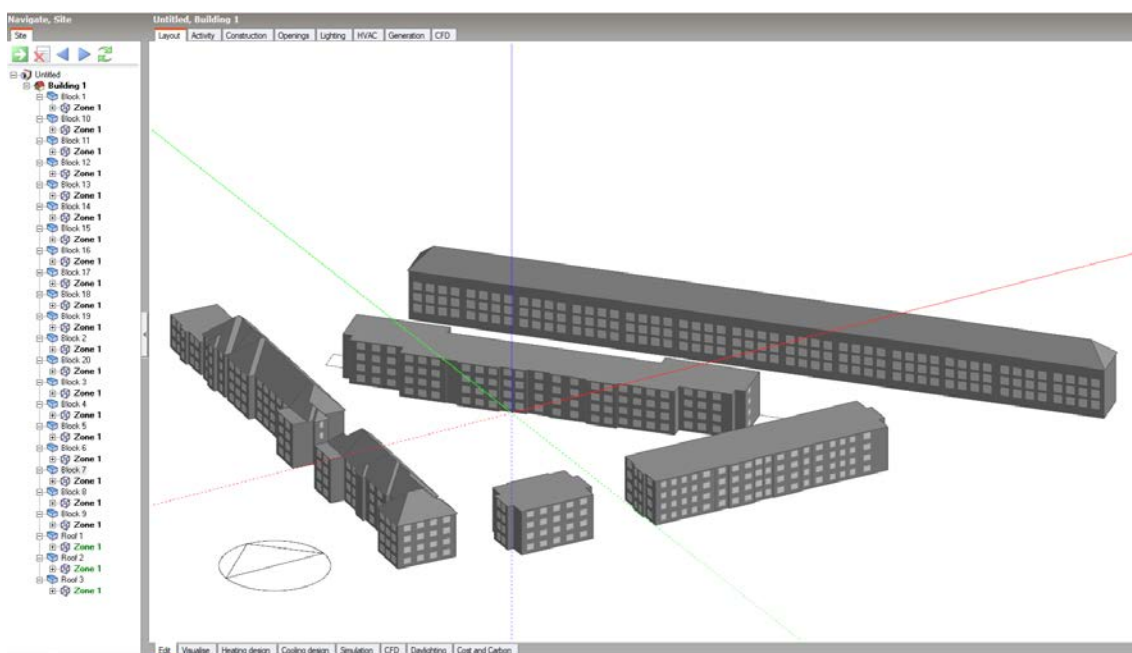
Stanovení ceny energie hraje kritickou roli v objektivní hodnotící funkci. Cena energie pro jednotlivé zboží může být zadána jako dynamická v

závislosti na časové proměnné jako jsou různé cenové tarify za nákup elektřiny. Další možností je statická cena, která zůstává po celý den stejná – to platí v případě ceny zemního plynu. [29]

6.1. DesignBuilder

DesignBuilder Software Ltd se specializuje na vývoj vysoce kvalitního, snadno použitelného simulačního softwaru, který může rychle posoudit vliv nových a stávajících budov na životní prostředí. [31]

Budova je komplexní termodynamický objekt, obsahující neustále se měnící energetické toky mezi různými tepelnými zónami uvnitř a vně budovy. Vzhledem ke složitosti modelu budovy může počítačová simulace analyzovat účinky různých ECM (Energy Conservation Measures) a jejich komplexní interakce efektivněji, komplexněji a přesněji než jakákoli jiná dostupná metoda.



Obrázek 6.1. DesignBuilder – model lokality

DesignBuilder je software pro komplexní dynamické modelování budov, analýzu a environmentální hodnocení. DesignBuilder má uživatelsky příjemné rozhraní a může být použit pro certifikaci budov.

Hlavním účelem tohoto softwaru je výpočet spotřeby energie budovy.

Klíčové vlastnosti programu jsou [35]:

- Výpočet přesných údajů popisujících chování budovy a vnitřního prostředí;
- Vizualizace jakékoli fáze projektu;
- Zlepšení procesu projektování a hodnocení možností (důležitá rozhodovací data jsou k dispozici, když je potřebujete);
- Umožňuje provádět modelování pro malé i velké projekty (od jednotlivých místností až po rodinné domy a velká administrativní centra);
- Umožňuje navrhovat budovy šetrné k životnímu prostředí;
- Lze použít k vyhodnocení některých kritérií pro certifikaci budov v souladu sBREEAM, LEED, GreenStar.

6.1.1. Vstupní data

Pro provedení simulace je nutné vytvořit / upravit dvě hlavní složky stavebního energetického modelu: stavební materiály a komponenty (stěny, podlahy, stropy, obyvatelé a zařízení) a komponenty zařízení (zařízení HVAC (Heating, Cooling and Air Conditioning, tj. "Vytápění, chlazení a klimatizace") a další systémy řízení prostředí). S takovými dobře známými vstupními daty jako jsou: hodnota součinitele prostupu tepla konstrukcí a otvorů, poměr vodivosti solárního zařízení, obsazenost budovy, po simulaci je možné získat stavební a blokový výstup zónových dat (průměrné teploty, komfortní podmínky), vnitřní zisky, latentní zatížení. [35]

Po modelování a výpočtech budou tato výstupní data získána jako: tepelné ztráty, solární energie, pokojová teplota, množství energie potřebné pro vytápění, větrání, klimatizace. Po úpravě zobrazení výsledků je možné provést komplexní analýzu a porovnání energetických charakteristik budovy. V nastaveních je možné zvolit, které proměnné budou zahrnuty do zobrazení grafů interních faktorů zesílení, rozpadu paliva, pohodlí nebo

paliva, včetně hodnot CO₂. Všechny tyto informace lze zobrazit jako graf, tabulku, mřížku nebo souhrn. [35]

6.1.2. Simulace

Software DesignBuilder je založen na simulačním algoritmu EnergyPlus pro hodnocení stavebních podmínek a provozních scénářů. Výpočet distribuce teploty, rychlosti a tlaku se provádí pomocí modulu CFD (Computational Fluid Dynamics, výpočetní dynamika tekutin). [35]

6.1.3. Použití

Některé typické účely použití výstupních dat jsou:

- hodnocení možnosti fasády z hlediska přehřátí, spotřeby energie a parametrů stínění; vyhodnocení optimálního využití denního světla; modelování systémů řízení osvětlení a stanovení míry úspor v příslušné elektřině;
- výpočet teploty, rychlosti a rozložení tlaku v budově / okolí pomocí modulu CFD (Computational Fluid Dynamics);
- vizualizace územního plánu a stínování;
- tepelná simulace v budovách, které jsou větrané s přirozeným větráním;
- stanovení kapacity vytápěcího a chladičového zařízení, aby se zahrnuly problémy, které pomohou navrhnout klimatizaci.

6.2. General Algebraic Modeling System – GAMS

Obecný algebraický modelovací systém GAMS (General Algebraic Modeling System) je velmi pokročilý a vysokoúrovňový modelovací systém, který lze použít k formulování matematických modelů, zejména optimalizačních modelů, pomocí stručných algebraických výrazů a programových příkazů, kterým rozumí programátoři i návrháři

matematických modelů. Nebude však mít problémy ani praktiky s pouze částečnou znalostí obojího. Skládá se z jazykového kompilátoru a stabilních integrovaných vysoce výkonných řešičů. GAMS je navržen pro komplexní rozsáhlé simulační aplikace a umožňuje vytvářet velké, stabilní modely, které lze rychle přizpůsobit novým situacím. GAMS je speciálně navržen pro modelování lineárních, nelineárních a smíšených optimalizačních problémů. Uživatel může měnit formulace, vybírat různé řešiče, a dokonce přecházet z modelu lineárního programování na model nelineárního programování s velmi malými souvisejícími změnami.[34]

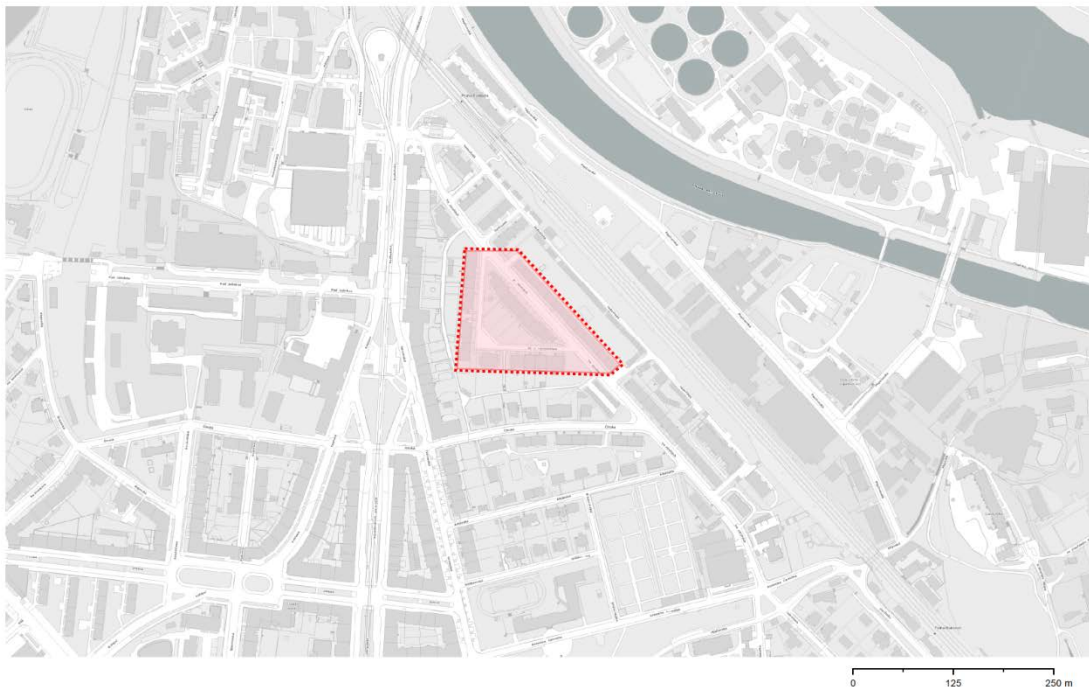
Systém GAMSu sám hlídá podrobnosti v nastavení konkrétního počítače a implementaci softwaru, které by mohly zvýšit časovou náročnost výpočtů. Je přizpůsoben k řešení problémů převážně lineárního, nelineárního a celočíselného programování. V závislosti na měřítku a složitosti lze modely GAMS provozovat na osobních počítačích, pracovních stanicích, sálových počítačích nebo superpočítačích. [34]

GAMS je podobný mnoha známým programovacím jazykům, proto umožňuje chápat a udržovat matematické modely nejen programátory ale i vědce v oboru. To vyžaduje stručnou a přesnou specifikaci prvků a vztahů, což pomáhá vytvářet dobré modelovací návyky. Modely jsou plně přenosné z jednoho počítače do druhého. [34]

Prvky jazyka GAMS umožňují vytváření komplexních algoritmů, které jsou zvláště vhodné pro popsání neobvyklých problémů, které jsou často spjaté s výkonnostními problémy. [34]

7. Popis lokality

Areál se nachází v Bubenči – v městské části Prahy a v katastrálním území na levém břehu Vltavy. Lokalita je rezidenční částí, má městskou zástavbu.



Obrázek 7.1. Pohled na analyzovanou oblast s vyznačením řešené lokality.

Rozdělení území na objekty dle prezentovaných kategorií bylo zpracováno na základě kartografických materiálů poskytnutých Geoportálem Praha. Jedná se především o kartografickou aplikaci „Územní analytický základ hlavního města Prahy“, která umožňuje zobrazit podlažnost zvoleného území.

Stavby lokality lze rozdělit do dvou období podle období výstavby: období 1920-1945 a období 1946-1960. Obě období jsou poválečná, kdy byl prioritou počet bytových jednotek. Proto kvalita tepelně technických charakteristik konstrukcí byla nízká (první tepelně technická norma pro tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí byla vypracována později, v roce 1962).

7.1. Stavební charakteristika budov

Stropní konstrukce z dřevěných trámů s rákosovou omítkou, s přesahem a násypem ze škváry nebo drceného kamene.

Okna jsou dřevěná dvojitá, vnější křídla se obvykle otevírala dovnitř.

V současné době zůstává většina domů bez rekonstrukce, s výjimkou domu č. p. 859 – v průběhu užívání byla provedena pouze v roce 2018. Obvodové stěny nejsou zatepleny, většina oken vyměněna za plastová, okna ve vchodu, resp. v suterénu zůstávají dřevěné.

Budovy dane lokality lze rozdělit do dvou skupin: typové čtyřpodlažní (4.NP - č.p.1018, 1019, 703, 610, 1020, 968, 969, 970, 971, 972, 999) a třípodlažní budovy (3. NP - č.p. 1002-1013.).

7.1.1. Charakteristická zástavba řešeného území

Bytové domy třípodlažního typu (I typ) měly zděné stěny z plných pálených cihel tloušťky 450 mm. Budovy mají nástavbu se snížením půdorysné plochy na 2m na každé straně.

Střechy jsou ploché, železobetonové panely. Tepelná izolace těchto střech byla nejčastěji vyrobena z lehkého litého betonu proměnné tloušťky, takže vytvářela i vrstvu spádu.

Okna byla používána téměř jen dřevěná zdvojená, ale u schodišť nebylo výjimkou ani jednoduché dřevěné okno (jednoduchý rám a jednoduché zasklení). Ve schodištích byly používány sklobetony a okna kovová s jednoduchým zasklením.

Stropy byly ze železobetonových stropních desek.

V současné době nejsou domy rekonstruovány, obvodové stěny nejsou zatepleny. Jedinou změnou byla výměna oken za plastová (dům č. 1020, 2011). V domech č.p. 968-972 a 999 - okna ve schodišťovém prostoru v původním stavu (sklobeton a kovová okna).

Typová zástavba třípodlažních budov (II+III typ) má charakter řádové zástavby. Domy mají obvodové zdi, většinou z cihel a škvárobetonových prvků.

Střechy domů jsou šikmé s dřevěnými vazníky. Půdy (půdy) ve většině případů nebyly využívány, a tudíž nebyly vytápěny. Přesahy byly původně nejčastěji dřevěné tramvaje.

Podlahy (půdy) pod nevytápěným podkrovím byly navrženy jako průchozí a neprůchozí.

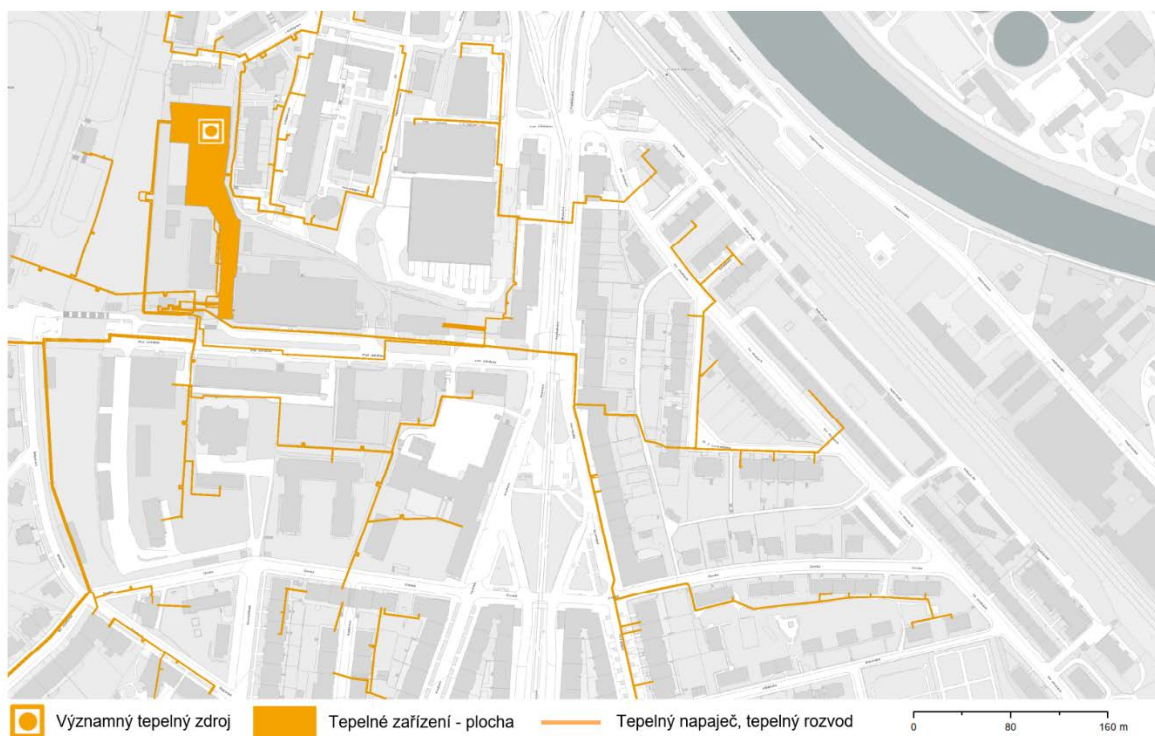
Pojízdné podlahy byly obvykle řešeny škvárovým násypem, vrstvou betonu nebo škvárového betonu a stupňovitou vrstvou zeminy.

Podlahové vrstvy v obytných místnostech byly zpravidla ze dřeva (vlasy, parkety, atd.), v ostatních místnostech (chodby, chodby, sklady) z dlaždic (porcelánová kamenina, keramika, xylolit aj.). Okna dom

7.1.2. Energetická charakteristika lokality

➤ Vytápění

Dodávka tepla pro vytápění objektů je zajišťována centrálním zásobováním teplem (CZT) s centrální předávací stanicí. Rozvody tepla jsou kompletně uvnitř budovy, ústřední topení se standardním oběhovým čerpadlem bytového domu.



Obrázek 7.1.2. Centralizované zásobování teplem řešené lokality.

[Atlas územně analytických podkladů]

➤ Příprava teplé vody

Příprava teplé vody je CZT s centrální předávací stanicí. Centrální zásobník TV je vně budov. Rozvod TV je centrální s cirkulací. Příprava TV je centrální s oběhovým čerpadlem.

➤ Větrání

Větrání v budovách je přirozené.

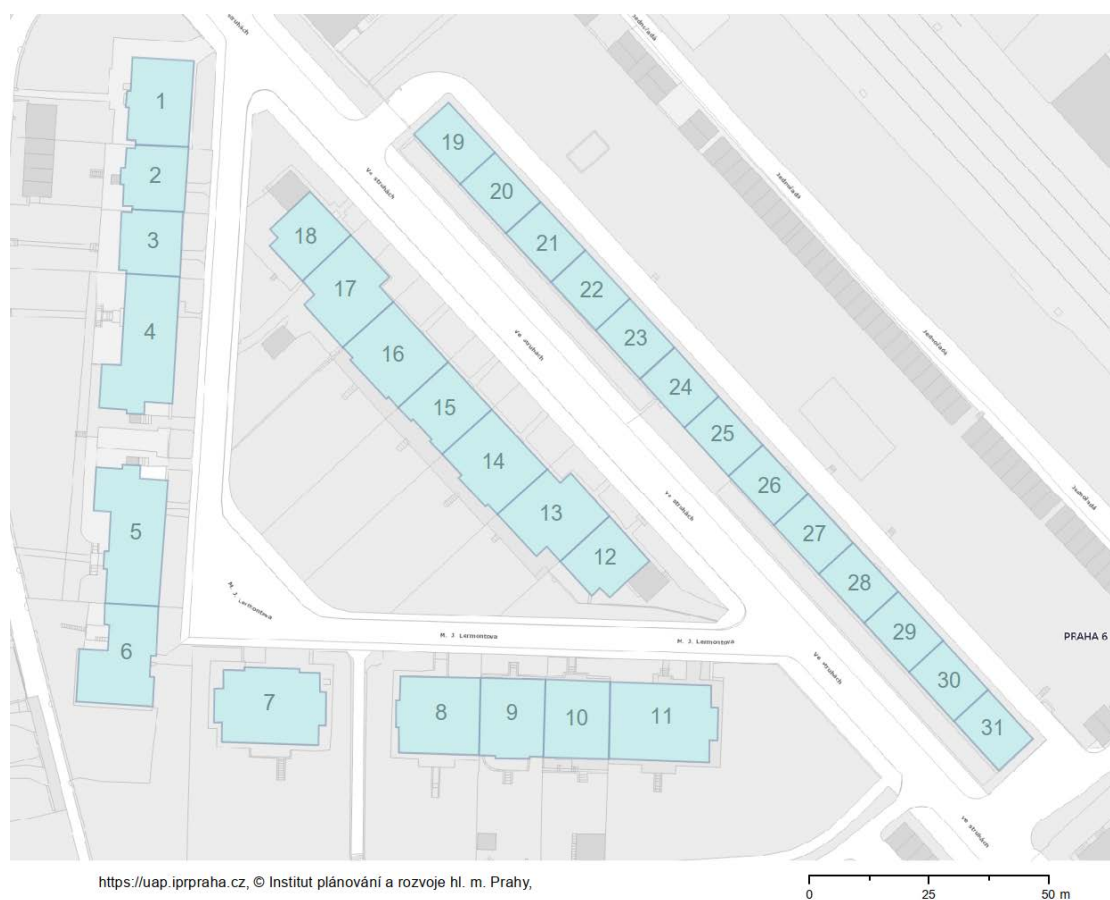
➤ Použití OZE

V lokalitě nebyly použity obnovitelné zdroje energie.

7.1.3. Spotřeby energií

Pro stanovení energetické spotřeby uživatelsky definované oblasti, která je vstupem pro model EnergyHub, je nutné stanovit spotřebu jednotlivých druhů energií.

Pomocí softwaru DesignBuilder byly modelovány budovy (Obrázek 7.1.3.), u jednotlivých konstrukcí byly definovány skladba a součinitel prostupu tepla. Jako výpočtový den stanoven 15. leden, protože je statisticky nejchladnějším dnem v roce.



Obrázek 7.1.3. Identifikace budov.

Program počítá spotřebu energie na vytápění, ohřev vody, osvětlení za určitou dobu v krocích od hodiny do roku. Pro výpočty se předpokládalo, že v jednom bytě žijí 3 lidé.

Číslo budovy (Obr.7.1.3)	Parcelační číslo	Číslo popisné	Počet bytů	Počet osob
1	1617/2	932	10	30
2	1618	859	12	32
3	1620	858	15	45
4	1622	856	29	58
5	1624	855	27	81
6	1626/2	175	17	51
7	1628	1018	15	45
8	1629/2	1019	12	36
9	1630	703	14	42
10	1632	610	16	48
11	1634	1020	16	48
12	1636	968	10	30
13	1638	969	15	45
14	1640	970	15	45
15	1643	971	12	36
16	1646	972	16	48
17	1649/2	999	9	27
18	1650	974	13	39
19	1569/14	1013	6	18
20	1569/13	1012	6	18
21	1569/12	1011	6	18
22	1569/11	1010	6	18
23	1569/8	1009	6	18
24	1569/8	1008	6	18
25	1569/8	1007	6	18
26	1569/7	1006	6	18
27	1569/6	1005	6	18
28	1569/5	1004	6	18
29	1569/5	1003	6	18
30	1569/3	1002	6	18

31	1569/3	1001	6	18
Celkem:			351	1020

Tab. 7.1. Popis budov

Parametry budovy		[-]	Typologie budov		
			I	II	III
Počet podlaží		-	3	3	4
Popis		-	Třípatrový cihelný dům se suterénem a nadstavbou s plochou střechou	Třípodlažní cihelný dům se šikmou střechou a se suterénem.	Čtyřpatrový cihelný dům s obytným podkrovím a šikmou střechou
Celková plocha povrchu podlaží		[m ²]	347,3	138,4	346,3
Objem budovy	V	[m ³]	3875,7	1280	5138,4
Vnější povrchu budovy	S	[m ²]	1162,71	422,1	1543,5
Součinitel prostupu tepla	U _{okno}	[W/m ² K]	1	1	1
	U _{střecha}		1,2	1,1	1,3
	U _{stěna}		1,3	1,1	1,4
Průměrný součinitel prostupu tepla	U _j	[W/m ² K]	1,2	1,2	1,3

Tab. 7.2. Parametry budov – hlavní charakteristiky.

7.1.3.1. Spotřeba tepla na vytápění

Hodinovou spotřebu tepla na vytápění určíme podle vztahu:

$$Q_{VYT,h} = Q_c \quad (6.1)$$

Kde $Q_{VYT,h}$ je hodinová spotřeba tepla na vytápění a Q_c je tepelná ztráta objektu [51].

Tepelnou ztrátu objektu můžeme vyjádřit jako:

$$Q_c = U_{em} \times S \times (t_i - t_e) \quad (6.2)$$

Kde U_{em} je průměrný součinitel prostupu tepla, S je plocha obálky budovy, Q_c je tepelná ztráta objektu a $(t_i - t_e)$ je rozdíl exteriérové a interiérové teploty [50].

Venkovní výpočtová teplota pro Prahu je stanovena na $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ a interiérová teplota byla stanovena na $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Typ. objektu	Plocha obálky budovy $S [\text{m}^2]$	Průměrný součinitel prostupu tepla $U_j [\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$	Tepelná ztráta objektu $Q_c [\text{W}]$	Hodinová spotřeba tepla na vytápění $Q_{vyt,h} [\text{kW}]$	Počet objektů v dané kategorii	Hodinová spotřeba tepla na vytápění $Q_{vyt,h} [\text{kW}]$
I	1162,71	1,2	44648,06	44,65	2	89,3
II	422,1	1,2	16208,64	16,21	1	16,2
III	1543,5	1,3	64209,6	64,21	2	128

Tab. 7.3.1. Hodinová spotřeba tepla

Spotřeba tepla na vytápění stanovena z parametrů budov a teplot a je shrnuta v následující tabulce:

Typologie budov	Roční spotřeba	Denní spotřeba	Hodinová spotřeba
	Q [MWh/rok]	Q [kWh]	Q [kW]
I	782,268	2 143,2	89,3
II	141,912	388,8	16,2
III	1 121,28	3 072	128
Celková spotřeba lokality:	2 045,46	5 604	233,5

Tab. 7.3.2. Spotřeba tepla na vytápění.

Hodinová spotřeba tepla na vytápění v dané oblasti je:

233,5 kW

7.1.3.2. Spotřeba tepla na ohřev teplé vody

Hodinovou spotřebu tepla na ohřev teplé vody stanovíme z denní spotřeby tepla na ohřev teplé vody, kterou stanovíme podle následující rovnice:

$$Q_{TV,d} = \frac{\rho \times c \times V_{2p} \times (t_{TV} - t_{SV})}{3600} \quad (6.3)$$

Kde pro vodu je hustota $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, měrná tepelná kapacita $c = 4,182 \text{ kJ/kgK}$, V_{2p} je celková potřeba teplé vody pro spotřebu všech osob (ta je stanovena na $0,082 \text{ m}^3/\text{osoba}$ za den pro osoby žijící v bytovém domě), t_{TV} je teplota teplé vody (stanovena na $55 \text{ }^\circ\text{C}$) a t_{SV} je teplota studené vody (stanovena na $10 \text{ }^\circ\text{C}$) [36].

Číslo budovy	Počet osob	Množství teplé vody na osobu a den [m ³]	Množství teplé vody na den [m ³]
1	30	0,082	2,46
2	32		2,62
3	45		3,69
4	58		4,76
5	81		6,64
6	51		4,18
7	45		3,69
8	36		2,95
9	42		3,44
10	48		3,94
11	48		3,94
12	30		2,46
13	45		3,69
14	45		3,69
15	36		2,95
16	48		3,94
17	27		2,21
18	39		3,19
19	18		1,48
20	18		1,48
21	18		1,48
22	18		1,48
23	18		1,48
24	18		1,48
25	18		1,48
26	18		1,48
27	18		1,48
28	18		1,48
29	18		1,48

30	18		1,48
31	18		1,48
Celkem:	786		83,68

Tab. 7.4. Spotřeba tepla na ohřev teplé vody.

$$Q_{TV,d} = \frac{1000 \times 4,182 \times 83,68 \times (55 - 10)}{3600}$$

$$Q_{TV,d} = 4374,372 \text{ kWh}$$

Hodinová spotřeba tepla je dále stanovena podle vztahu [36]:

$$Q_{TV,h} = \frac{Q_{TV,d}}{\tau} \quad (6.4)$$

Kde $Q_{TV,h}$ je hodinová spotřeba tepla na ohřev teplé vody, $Q_{TV,d}$ je denní spotřeba tepla na ohřev teplé vody a τ je časová perioda (v případě výpočtu hodinové spotřeby z denní spotřeby je to 24 hodin) [36].

$$Q_{TV,h} = \frac{4\,374,372}{24}$$

$$Q_{TV,h} = 182,27 \text{ kW}$$

Hodinová spotřeba tepla na ohřev teplé vody v dané oblasti je:

$$182,27 \text{ kW}$$

7.1.3.3. Spotřeba plynu

Předpokladem pro stanovení spotřeby plynu v dané oblasti je, že se plyn používá pouze na vaření. Průměrná roční spotřeba plynu na vaření je odhadována na 200 kWh/osobu a rok. [35]

Vzhledem k tomu, že se jedná o dané množství spotřeby plynu na osobu za rok a cena plynu se v průběhu roku příliš nemění, počítá se i tato roční spotřeba plynu v každou hodinu bez ohledu na hodinu v daný den:

$$Q_{p,d} = \frac{Q_{p,r}}{\tau} \quad (6.5)$$

Kde $Q_{p,d}$ je denní spotřeba plynu, $Q_{p,r}$ je roční spotřeba plynu a τ je počet dní v roce (365, resp. 366 dní v případě roku přestupného). [35]

$$Q_{p,h} = \frac{Q_{p,d}}{\tau} \quad (6.6)$$

Kde $Q_{p,h}$ je hodinová spotřeba plynu, $Q_{p,d}$ je denní spotřeba plynu a τ je počet hodin ve dni (24 hodin) a τ je počet dní v roce (365, resp. 366 dní v případě roku přestupného).

$$Q_{p,d} = \frac{200}{365}$$

$$Q_{p,d} = 0,55 \frac{kW}{osobu} \text{ za den}$$

$$Q_{p,h} = \frac{0,55}{24}$$

$$Q_{p,h} = \frac{Q_{p,d}}{\tau} \quad (6.6)$$

$$Q_{p,h} = 0,02 \frac{kW}{osobu} \text{ za hodinu}$$

Hodinová spotřeba plynu na vaření na osobu je vypočtena na 0,02 kW.

Spotřeba plynu na vaření je shrnuta v tabulce Tab. 7.5

Číslo budovy (Obr.7.1.3)	Počet osob	Hodinová spotřeba plynu na osobu [kW]	Hodinová potřeba plynu [kW]
1	20	0,02	0,4
2	24		0,48
3	30		0,60
4	58		1,16
5	81		1,62
6	51		1,02
7	45		0,90
8	36		0,72
9	42		0,84
10	48		0,96
11	48		0,96
12	30		0,60
13	45		0,90
14	45		0,90
15	36		0,72
16	48		0,96
17	27		0,54
18	39		0,78
19	18		0,36
20	18		0,36
21	18		0,36
22	18		0,36
23	18		0,36
24	18		0,36
25	18		0,36
26	18		0,36

27	18		0,36
28	18		0,36
29	18		0,36
30	18		0,36
31	18		0,36
Celkem:			19,74

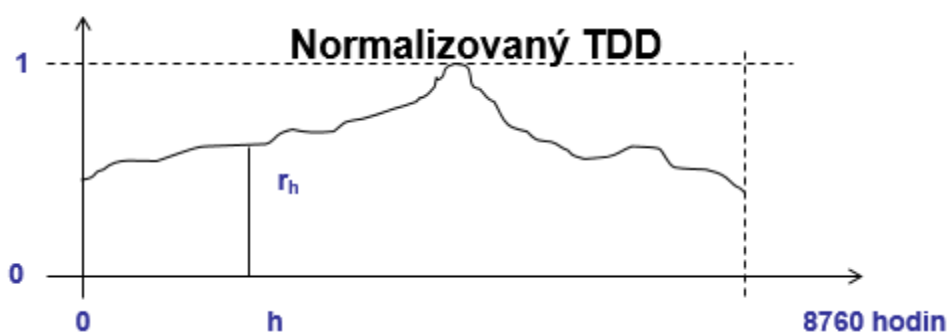
Tab. 7.5. Spotřeba plynu.

7.1.3.4. Spotřeba elektrické energie

Skutečnou hodinovou spotřebu elektřiny jedné domácnosti vypočítáme z přepočtených schémat typu dodávky typových diagramů dodávek (jsou dostupné oproti normalizovaným TDD zpětně za uplynulé období).

Typové diagramy dodávek (TDD) slouží jako náhrada průběhového měření u odběratelů s neprůběhovým měřením typu C. Konkrétně použijeme typový diagram dodávek 4, který je určen pro domácnosti bez tepelného využití elektrické energie. [37]

Typové diagramy dodávek byly získány ze stránek OTE [37].



Obrázek 7.1.4. Typový diagram dodávek (TDD).

Výpočet podle vzorce [37]:

$$O_h = O_r \times \frac{r_h}{\sum_{n=1}^{8760} r_h} \quad (6.7)$$

Kde O_h je hodinová spotřeba elektrické energie, O_r je roční spotřeba odběrového místa, r_h je hodinový koeficient a $\sum_{h=r}^{8760} r_h$ je součet hodinových koeficientů celého daného roku [38].

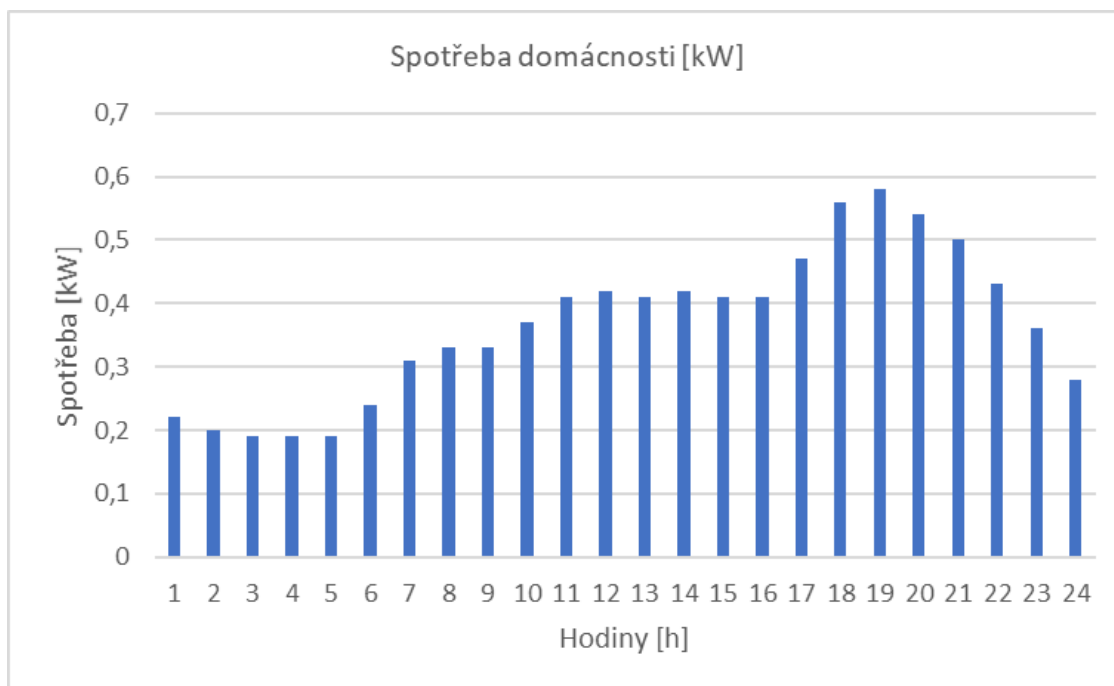
Hodina	Koeficient	Součet koef.	Spotřeba domácnosti [kW]
1	0,2899773	2 822,84	0,22
2	0,2613715		0,20
3	0,2538818		0,19
4	0,2441443		0,19
5	0,2546477		0,19
6	0,3229098		0,24
7	0,4092645		0,31
8	0,4304105		0,33
9	0,4406852		0,33
10	0,4915709		0,37
11	0,5411935		0,41
12	0,5507222		0,42
13	0,5405470		0,41
14	0,5504039		0,42
15	0,5417306		0,41
16	0,5408354		0,41
17	0,6210532		0,47
18	0,7358943		0,56
19	0,7664496		0,58
20	0,7129877		0,54
21	0,6654041		0,50
22	0,5684964		0,43
23	0,4688036		0,36
24	0,3732088		0,28

Tab. 7.5. Hodinová spotřeba elektrické energie domácnosti.

Pro účely výpočtu se počítá jeden byt jako jedna domácnost.

Hodina	Počet domácností v oblasti	Spotřeba jedné domácnosti [kW]	Celková spotřeba oblasti [kW]
1	351	0,22	77,22
2		0,20	70,2
3		0,19	66,69
4		0,19	66,69
5		0,19	66,69
6		0,24	84,24
7		0,31	108,81
8		0,33	115,83
9		0,33	115,83
10		0,37	129,87
11		0,41	143,91
12		0,42	147,42
13		0,41	143,91
14		0,42	147,42
15		0,41	143,91
16		0,41	143,91
17		0,47	164,97
18		0,56	196,56
19		0,58	203,58
20		0,54	189,54
21		0,50	175,5
22		0,43	150,93
23		0,36	126,36
24		0,28	98,28

Tab. 7.6. Celková hodinová spotřeba elektrické energie lokality



Obrázek 7.1.5. Hodinová spotřeba elektrické energie v uvedené lokalitě.

Denní spotřeba elektřiny ve stanovené oblasti se stanoví jako součet hodinové spotřeby elektřiny ve stanovené oblasti. Denní spotřeba elektrické energie v uvedené lokalitě je **3 078,27 kWh**.

8. Ceny energií

Pro určení hodnoty objektivní funkce je potřeba do výpočtu zadat ceny energií.

8.1.1. Cena elektrické energie

Cena za 1 MWh elektrické energie u distributora PRE pro sazbu D02d, tedy elektrická energie pro domácnosti, je [39]:

$$4,473 \text{ Kč/kWh}$$

Pro výpočet vstupuje cena el. energie za 1 kWh – tedy 4,473 Kč

V případě, kdy by domácnosti využívaly pro vytápění tepelnou energii získanou z tepelného čerpadla, mohli by využívat dvoutarifové sazby D56d. Cena za 1 kWh by byla v případě nízkého tarifu 2,598 Kč a v případě vysokého tarifu 2,973 Kč. Distribuční tarif D56d je tzv. dvoutarifní, což znamená, že odběr elektřiny je realizován ve vysokém i nízkém tarifu. Jejich poměr je přitom opravdu příznivý. Zatímco vysoký tarif platí 4 hodiny, nízký, dříve nazývaný „noční“, si můžete užívat až do konce dne. Během této doby se přepínají spotřebiče s vyšším příkonem, jako je bojler na ohřev teplé vody, elektrokotel na vytápění domu, pračka nebo například myčka. Toto přepínání se nastavuje automaticky pomocí hromadného dálkového ovládání. Tento případ však neodráží charakter spotřeby spotřebitelů připojených k EnergoHubu, a proto byl jako alternativa pro výpočet spotřeby energie zvolen tarif D35d – Dvoutarifová sazba s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 16 hodin.

V této sazbě je **cena za 1 kWh** v nízkém tarifu je:

2,502 Kč

Ve vysokém tarifu je:

3,099 Kč.

Platnost nízkého tarifu je uvedena v následující tabulce [39]:

VT																								
NT																								
[h]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Tab. 8.1. Platnost nízkého a vysokého tarifu [40]

8.1.2. Cena plynu

Společnost Pražská plynárenská Distribuce, a. s. prodávala 1 MWh plynu domácnostem za 1 736,82 Kč. Cena za 1 kWh byla tedy **1,737 Kč.** [41]

8.1.3. Cena tepelné energie

Průměrná cena tepelné energie v Praze 6 v roce 2021 byla 638,00 Kč/GJ [42].

1 GJ je 0,2778 MWh. 1 GJ je tedy dále 277,8 kWh, a tedy výsledná cena za 1 kWh tepelné energie byla **2,30 Kč**.

8.2. Denní náklady na energie ve stávající situaci

Náklady na jednotlivé druhy energie pro stanovený výpočtový den můžeme vypočítat vynásobením odpovídajících spotřeb energie a jejich cen.

8.2.1. Denní náklady na tepelnou energii

Náklady na tepelnou energii jsou složeny z nákladů na vytápění a ohřev teplé vody.

➤ Denní náklady na vytápění

Hodinová spotřeba tepla na vytápění ve zkoumané lokalitě je:

$$233,5 \text{ kW}$$

Vynásobením 24 hodinami vyjde denní spotřeba tepla na vytápění:

$$233,5 \times 24 = 5\,604 \text{ kWh}$$

Denní spotřeba tepla na vytápění je 5 604 kWh. Vynásobením denní spotřeby tepla na vytápění cenou tepelné energie dostaneme denní náklady na vytápění objektů v zadané oblasti.

$$5\,604 \times 2,30 = 12\,889,2 \text{ Kč}$$

Denní náklady na vytápění objektů v zadané oblasti jsou **12 889,2 Kč**.

➤ Denní náklady na ohřev teplé vody

Vynásobením denní spotřeby tepla na ohřev teplé vody cenou za tepelnou energii dostaneme denní náklady na ohřev teplé vody.

$$4\,374,372 \times 2,30 = 10\,061,05 \text{ Kč}$$

Denní náklady na ohřev teplé vody pro obyvatele budov v zadané oblasti jsou **10 061,05 Kč**.

Celkové denní náklady na tepelnou energii jsou stanoveny jako součet denních nákladů na vytápění a denních nákladů na ohřev teplé vody. Celkové denní náklady na tepelnou energii jsou:

$$12\,889,2 + 10\,061,05 = 22\,950,26 \text{ Kč}$$

8.2.2. Denní náklady na elektrickou energii

Denní náklady na elektrickou energii jsou stanoveny jako denní spotřeba elektrické energie domácností v zadané oblasti vynásobená cenou elektrické energie.

Pro účely stanovení finančních přínosů Energy Hubu počítáme se, že původně byla cena za elektrickou energii v zadané oblasti stanovena na základě aktuálního ceníku pro jednotarifovou sazbu D02d. [43]

Denní spotřeba elektrické energie:

$$3\,078,27$$

Denní náklady na elektrickou energii:

$$3\,078,27 \times 4,473 = 13\,769,1 \text{ Kč}$$

8.2.2. Denní náklady na plyn

Denní náklady na plyn pro vaření jsou stanoveny jako hodinová spotřeba plynu v zadané oblasti vynásobená počtem hodin ve dni a cenou za plyn:

$$19,74 \times 24 \times 1,737 = 822,92$$

8.2.4. Celkové denní náklady na energii

Celkové denní náklady na energii pro zadanou oblast jsou:

	Spotřeba [kW]	Cena [Kč /kWh]	Denní náklady [Kč]
Denní spotřeba tepla na vytápění	5 604	2,30	12 889,3
Denní náklady na ohřev teplé vody	4 374,37	2,30	10 061,05
Denní náklady na plyn	473,76	1,737	822,92
Denní náklady na elektrickou energii	3 078,27	4,473	13 769,16
Celkem:			37 542,43

Tab. 8.2. Celkové denní náklady na energii v zadané oblasti

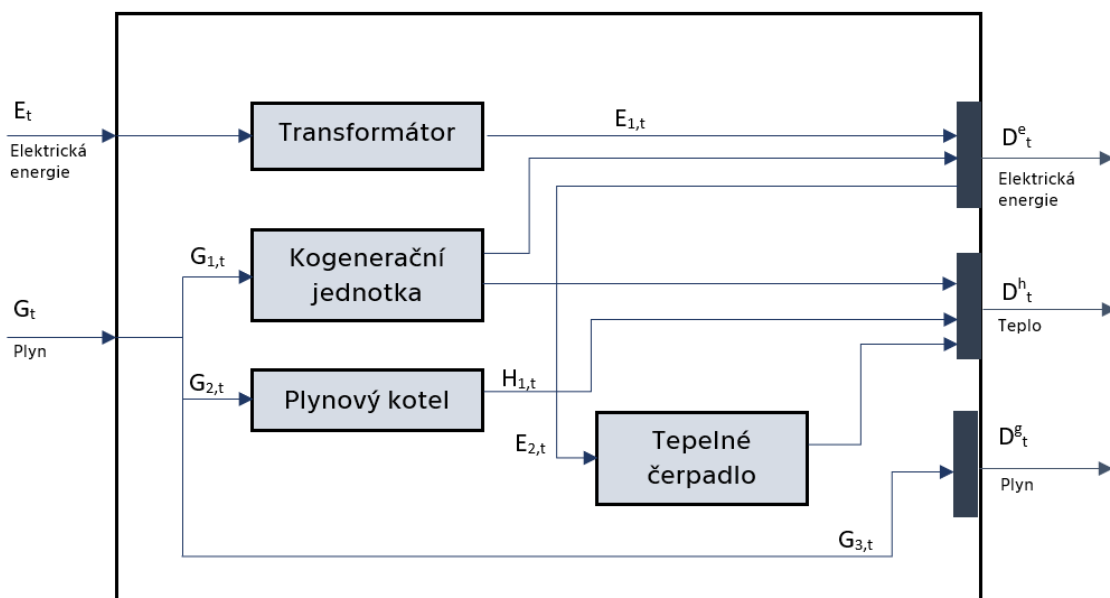
Celkové denní náklady na energii v zadané oblasti činí **37 542,43 Kč**.

9. Navrhované varianty EnergyHubu

Model Energy Hub vychází ze specifík místních energetických podmínek území. V této práci navrhujeme 3 odlišné varianty EnergyHubu pro zkoumanou oblast, které jsou následně porovnány. Model Energy Hub vychází ze specifík místních energetických podmínek řešeného území.

9.1. Varianta 1

První varianta EnergyHubu uvažuje s využitím elektřiny a plynu z distribuční sítě. Do modelu jsou zapojené kogenerační jednotka a tepelné čerpadlo. Potřeba tepla, elektřiny a plynu pro vaření slouží jako vstupní údaj pro simulaci. Tato varianta je zobrazena na následujícím obrázku:



Obrázek 9.1. Varianta 1

Komponenty EnergyHubu:

- Transformátor
- Kogenerační jednotka
- Plynový kotel
- Tepelné čerpadlo

9.1.1. Matematický popis modelu EnergyHubu – Varianta 1

Matematický model Energy Hubu pro danou variantu je definován následujícími rovnicemi: [43]

$$\min OF = \sum_t \lambda_t^e E_t + \lambda_t^g G_t \quad (9.1)$$

Objektivní hodnotící funkce matematického modelu OF , je dána součtem cen elektrické energie λ_t^e , plynu λ_t^g a spotřeb elektrické energie E_t a

plynu G_t . Její minimalizací dostaneme optimální fungování EnergyHubu pro minimalizaci nákladů na energie za daných podmínek.

$$\eta_{ee}E_t = E_{1,t} \quad (9.2)$$

Rovnice toku elektrické energie do EnergyHubu. Zde je vyjádřen tok vstupní elektrické energie z distribuční sítě elektrické energie E_t , přes transformátor s účinností η_{ee} do EnergyHubu, kde je vyjádřena jako $E_{1,t}$. [43]

$$E_{1,t} + \eta_{ge}G_{1,t} = D_t^e + E_{2,t} \quad (9.3)$$

Rovnice toku elektrické energie z EnergyHubu. Na levé straně rovnice stojí elektrická energie z distribuční sítě $E_{1,t}$, a elektrická energie vyrobená kogenerační jednotkou $\eta_{ge}G_{1,t}$ (výroba z množství plynu $G_{1,t}$, s účinností η_{ge}), na pravé straně rovnice stojí poptávka po elektrické energii spotřebiteli v dané oblasti D_t^e a elektrická energie potřebná pro provoz tepelného čerpadla $E_{2,t}$.

$$G_t = G_{1,t} + G_{2,t} + G_{3,t} \quad (9.4)$$

Rovnice toku plynu do EnergyHubu. Tok plynu na vstupu do EnergyHubu G_t , je rozdělen na tok plynu pro plynový kotel $G_{2,t}$, tok plynu pro kogenerační jednotku $G_{1,t}$, a tok plynu určený pro přímou spotřebu uživateli $G_{3,t}$.

$$G_{3,t} = D_t^g \quad (9.5)$$

Rovnice toku plynu ven z EnergyHubu. Rovnice přiřazuje vstupní část toku plynu $G_{3,t}$, poptávce po plynu spotřebiteli k přímé spotřebě D_t^g .

$$\eta_{gh}G_{1,t} + H_{1,t} + H_t^{EHP} = D_t^h \quad (9.6)$$

Tato rovnice vyjadřuje výstup tepelné energie z EnergyHubu. Na levé straně rovnice stojí tepelná energie vyrobená kogenerační jednotkou (výroba z množství plynu $G_{1,t}$ s účinností η_{gh}), tepelná energie vyrobená spalováním plynu v plynovém kotli $H_{1,t}$ a tepelná energie vyrobená tepelným

čerpádem H_t^{EHP} , na pravé straně rovnice stojí poptávka po tepelné energii spotřebiteli připojenými na EnergyHub v zadané oblasti D_t^h .

$$\eta_{gh}^f G_{2,t} = H_{1,t} \quad (9.7)$$

Spalování tepla je v plynovém kotli je popsáno touto rovnicí, kde na levé straně je účinnost spalování plynu plynovým kotlem η_{gh}^f a množství plynu $G_{2,t}$ potřebné pro výrobu tepelné energie $H_{1,t}$.

Níže uvedené rovnice popisují fungování tepelného čerpadla pouze v režimu výroby tepla. První dvě rovnice vyjadřují provozní stav tepelného čerpadla I_t^h , třetí rovnice vyjadřuje výkon tepelného čerpadla H_t^{EHP} , který je dán topným faktorem tepelného čerpadla COP a příkonem tepelného čerpadla $E_{2,t}$ a čtvrtá rovnice vyjadřuje provozní výkonnostní limity tepelného čerpadla, kde H_t^{min} a H_t^{max} jsou minimální respektive maximální výkon tepelného čerpadla. [43]

$$I_t^h \leq 1 \quad (9.8)$$

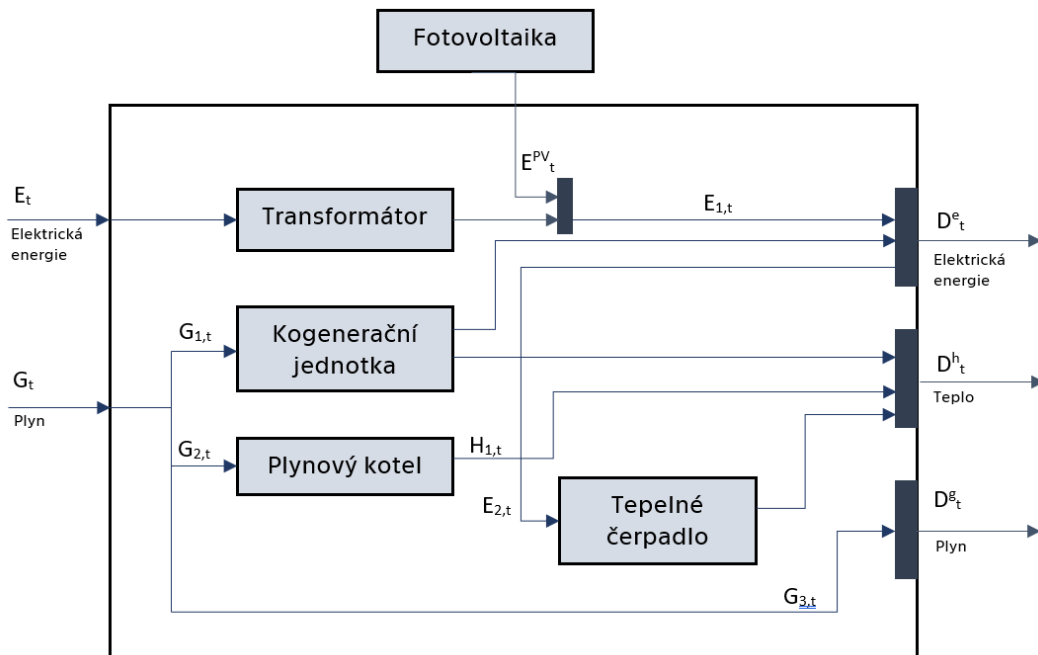
$$I_t^h \in \{0, 1\} \quad (9.9)$$

$$H_t^{EHP} = E_{2,t} \times COP \quad (9.10)$$

$$H_t^{min} I_t^h \leq H_t^{EHP} \leq H_t^{max} I_t^h \quad (9.11)$$

9.2. Varianta 2

Druhá varianta má konfiguraci podobnou variantě 1, ale je doplněna o vstup elektrické energie z instalovaných fotovoltaických panelů na střeších budov. Složení systému pro variantu 2 je znázorněno na následujícím obrázku:



Obrázek 9.2. Varianta 2

Komponenty:

- Transformátor
- Kogenerační jednotka
- Plynový kotel
- Tepelné čerpadlo

9.2.1. Matematický popis modelu EnergyHubu – Varianta 2

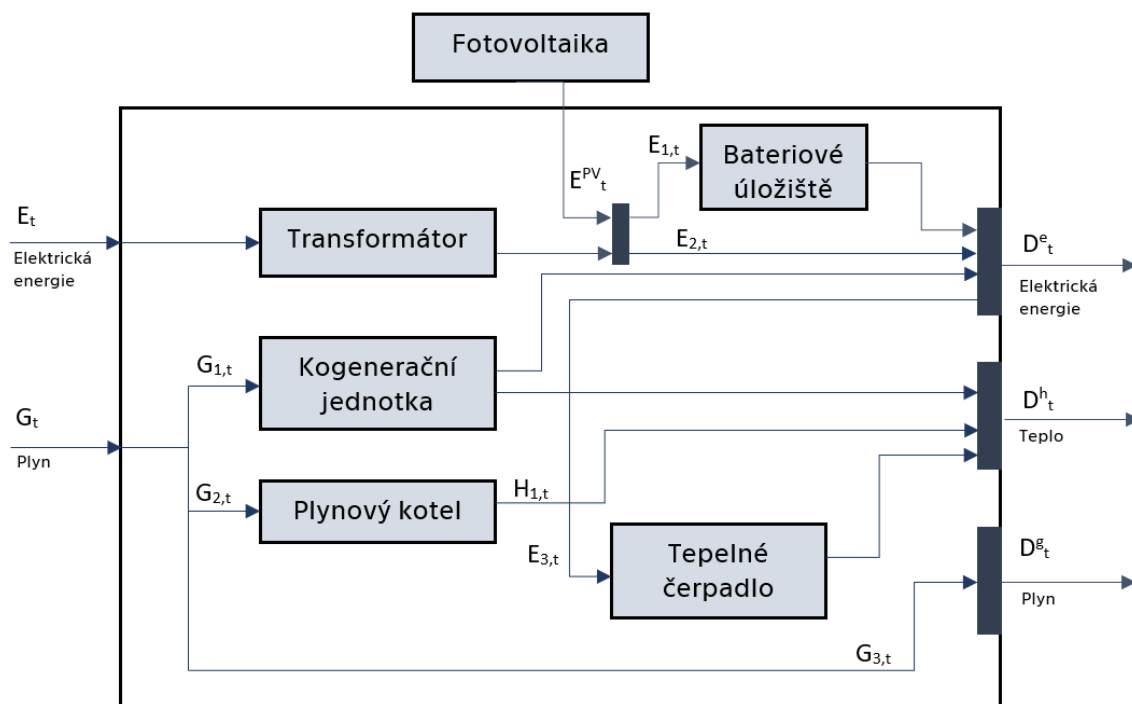
Ve variantě 2 přidáváme další zdroj elektrické energie na vstupu do matematického modelu Energy Hub. Systém doplníme o fotovoltaické panely. Pro účely výpočtu opravíme rovnice pro tok elektřiny na vstupu do Energy Hub, ostatní rovnice zůstanou totožné s variantou 1:

$$\eta_{ee} E_t + E_t^{PV} = E_{1,t} \quad (9.12)$$

Do rovnice elektrické energie vstupující do EnergyHubu vstupuje člen vyjadřující elektrickou energii získanou z fotovoltaického systému E_t^{PV} . [43]

9.3. Varianta 3

Třetí varianta zkoumá možnosti zapojení bateriového úložiště.



Obrázek 9.3. Varianta 3

Komponenty:

- Transformátor
- Kogenerační jednotka
- Plynový kotel
- Bateriové úložiště
- Tepelné čerpadlo
- Fotovoltaický systém

9.3.1. Matematický popis modelu EnergyHubu – Varianta 3

Ve variantě 3 k modelu připojena dobíjecí baterie. Následující rovnice vyjadřují změny provedené ve srovnání s variantou 2, zbytek rovnic zůstává stejný [44]:

$$\eta_{ee}E_t + E_t^{PV} = E_{1,t} + E_{2,t} \quad (9.13)$$

Do rovnice toku elektrické energie do EnergyHubu vstupuje na pravé straně člen určující tok elektrické energie určený pro bateriové úložiště $E_{1,t}$ a člen určující tok elektrické energie určený pro přímou spotřebu elektrické energie spotřebiteli připojenými na EnergyHub $E_{2,t}$. [44]

$$E_{2,t} + E_t^{dch} + \eta_{ge} G_{1,t} = D_t^e + E_{3,t} \quad (9.14)$$

Do rovnice toku elektrické energie z EnergyHubu je přidán člen toku elektrické energie z bateriového úložiště E_t^{dch} a jsou změněny indexy ostatních členů toků elektrické energie. [44]

$$E_{1,t} = E_t^{ch} \quad (9.15)$$

Do modelu je přidána rovnice přiřazující tok elektrické energie $E_{1,t}$ jako tok elektrické energie do bateriového úložiště E_t^{ch} . [44]

$$SOC_t = SOC_{t-1} + \left(E_t^{ch} \eta_c - \frac{E_t^{dch}}{\eta_d} \right) \Delta t \quad (9.16)$$

$$I_t^{dch} + I_t^{ch} \leq 1 \quad (9.17)$$

$$I_t^{ch}, I_t^{dch} \in 0, 1 \quad (9.18)$$

$$E_{min}^{ch} I_t^{ch} \leq E_t^{ch} \leq E_{max}^{ch} I_t^{ch} \quad (9.19)$$

$$E_{min}^{dch} I_t^{dch} \leq E_t^{dch} \leq E_{max}^{dch} I_t^{dch} \quad (9.20)$$

$$SOC_{min} \leq SOC_t \leq SOC_{max} \quad (9.21)$$

Výše uvedené rovnice definují fungování bateriového úložiště elektrické energie. První rovnice vyjadřuje změnu nabití bateriového úložiště, kde SOC je stav nabití bateriového úložiště, E_t^{ch} je tok elektrické energie pro nabíjení bateriového úložiště s účinností nabíjení η_c a E_t^{dch} je tok elektrické energie z bateriového úložiště s účinností vybíjení η_d . Druhá rovnice vyjadřuje provozní stav bateriového úložiště, kde I_t^{dch} vyjadřuje vybíjení a I_t^{ch} nabíjení bateriového úložiště. Třetí a čtvrtá rovnice vyjadřují limity nabíjení a vybíjení bateriového úložiště. Minimální a maximální limity nabíjení nebo vybíjení jsou vyjádřeny členy E_{min}^{ch} pro minimum nabíjení, E_{max}^{ch} pro maximum nabíjení, E_{min}^{dch} pro minimum vybíjení a E_{max}^{dch} pro maximum vybíjení. Poslední rovnice vyjadřuje kapacitu bateriového

úložiště. Stav nabití bateriového úložiště SOC_t musí být v rozmezí minimálního stavu nabití SOC_{min} a maximálního stavu nabití SOC_{max} . [48]

$$H_t^{EHP} = E_{3,t} \times COP \quad (9.22)$$

Poslední změnou v matematickém modelu pro variantu 3 je změna indexu toku elektrické energie pro tepelné čerpadlo. [48]

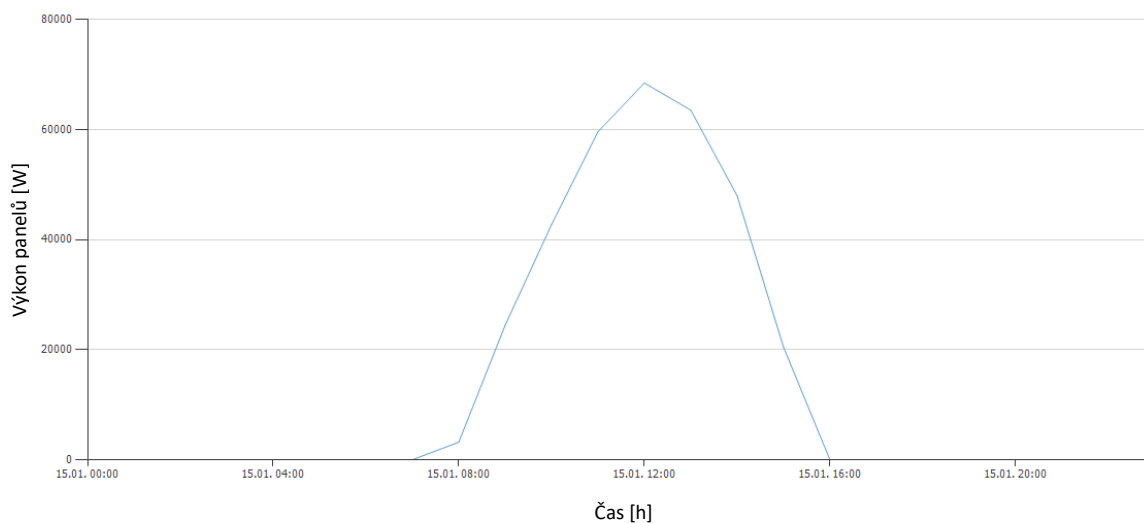
10. Komponenty EnergyHubu

10.1. Fotovoltaické panely

Snížení množství dodávané elektřiny lze dosáhnout připojením obnovitelných zdrojů energie. V současnosti jedním z dostupných na českém trhu řešení je použití systému fotovoltaických panelů. Fotovoltaické panely umožňují přímé využití solární energie a to tím, že přímo přeměňují solární energii na energii elektrickou.

V navrhovaných modelech EnergyHub bude elektrická energie generovaná fotovoltaickými panely přímo vstupovat do rovnice toku elektrické energie vstupující do EnergyHubu jako člen označené E_t^{PV} .

Pomocí softwaru PV*SOL byla dopočítána dostupná plocha střech jednotlivých objektů a následně dostupné množství panelů, vycházející z rozměrů jednotlivých modulu.



Obrázek 10.1. PV*SOL – výkon panelů 15 ledna

Dostupná plocha pro instalaci fotovoltaických panelů a jejich dostupný výkon jsou znázorněny na následujícím obrázku 10.1. a v tabulce 10.1.



Obrázek 10.2. Označení střech

Ozn.	Plocha střech S [m ²]	Dostupná plocha S [m ²]	Počet panelů	Roční výkon [kWh]
A	942	195	234	17 783
B	617	172	207	15 872
C	265	85	81	6 088
D	845	364	440	33 382
E	1213	537	643	48 875
F	1757	961	1157	87 947
Celkem:			2762	209 947

Tab.10.1. Dostupné plochy a počet fotovoltaických panelů

Výkon fotovoltaických panelů [kW]							
Hodina	A	B	C	D	E	F	Celkem
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,05	0,04	0,02	0,09	0,13	0,23	0,56
8	0,33	0,29	0,11	0,63	0,92	1,65	3,93
9	2,33	2,08	0,78	4,39	6,41	11,54	27,53
10	3,99	3,56	1,36	7,48	10,95	19,71	47,05
11	5,26	4,69	1,79	9,87	14,45	25,99	62,05
12	6,08	5,43	2,08	11,42	16,71	30,08	71,8
13	5,64	5,03	1,93	10,59	15,49	27,88	66,56
14	4,37	3,89	1,49	8,19	12,01	21,59	51,54
15	2,67	2,38	0,93	5,01	7,33	13,19	31,51
16	0,02	0,14	0,01	0,03	0,04	0,08	0,32
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab.10.1.2. Hodinový výkon panelů

10.2. Plynový kotel

Plynový kotel byl vybrán od firmy VITOCROSSAL 200 s parametry [46]:

VITOCROSSAL 200	
Jmenovitý tepelný výkon:	500 kW
Jmenovitý tepelný příkon:	576 kW
Účinnost:	0,915
Palivo:	Zemní plyn

Tab.10.2. Plynový kotel VITOCROSSAL 200 [46]

10.3. Kogenerační jednotka

Kogenerační jednotka byla zvolena TEDOM Cento 180 s následujícími parametry [45]:

TEDOM Cento 180	
Elektrický výkon:	184 kW
Tepelný výkon:	243 kW
Účinnost – elektrická energie:	0,392
Účinnost – tepelná energie:	0,518
Maximální výkon paliva na vstupu:	465 kW
Palivo:	Zemní plyn

Tab.10.3. Kogenerační jednotka TEDOM Cento 210 [45]

10.4. Tepelný výměník

Pro potřeby přesného návrhu výměníků je nutné znát přesnější informace o teplotních kapalinách. Pro účely tohoto příkladu je vypočtena účinnost výměníku tepla 0,9 [49].

10.5. Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo bylo navrženo od firmy QUANTUM v provedení monobloku – 4ks [47]:

QUANTUM SQW 400 Quattro	
Jmenovitý tepelný výkon:	124 kW
Topný faktor (COP) - A2/W35	3,8
Technologie:	Vzduch/Voda

Tab.10.5. Tepelné čerpadlo QUANTUM [47]

Tepelné čerpadla QUANTUM SQW 400 Quattro je možné škálovat až do kaskády po 2. Maximální dostupný výkon kaskády je 260 kW.

10.6. Bateriové úložiště

Tesla powerpack	
Kapacita:	232 kWh
Výkon:	130 kW
Napětí:	380 – 480 V, 3 fáze
Hloubka vybití:	100 %

Tab.10.6. Bateriové úložiště

Počáteční nabití baterie se vypočítá jako 20 % její kapacity. Účinnost nabíjení a vybití byla stanovena na 0,9.

11. Nalezení neoptimálnější varianty

Na základě získaných dat v dané oblasti, připravených matematických modelů a dalších popsanych předpokladů byly sestaveny kódy programu GAMS pro nalezení neoptimálnější možnosti EnergyHub.

11.1 Vstupní data

Pro automaticky sestavení kódu modelu a spuštění výpočtu, je nutné si vyžádat vstupní data, na základě kterých pak program vypočítá hodnotu účelové funkce. Základem pro výpočet je hodinová potřeba energií a elektrické energie v závislosti na aktuálním tarifu.

Hodina	D_t^h	D_t^e	D_t^g	E_t^{PV}	λ_t^e
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[Kč/kW]
1	415,77	77,22	19,74	0,00	2,03
2	415,77	70,2	19,74	0,00	2,03
3	415,77	66,69	19,74	0,00	2,03
4	415,77	66,69	19,74	0,00	2,03
5	415,77	66,69	19,74	0,00	2,03
6	415,77	84,24	19,74	0,00	2,03
7	415,77	108,81	19,74	0,56	2,03
8	415,77	115,83	19,74	3,93	2,03
9	415,77	115,83	19,74	27,53	2,03
10	415,77	129,87	19,74	47,05	2,03
11	415,77	143,91	19,74	62,05	2,03
12	415,77	147,42	19,74	71,8	2,46
13	415,77	143,91	19,74	66,56	2,46
14	415,77	147,42	19,74	51,54	2,46
15	415,77	143,91	19,74	31,51	2,03
16	415,77	143,91	19,74	0,32	2,03
17	415,77	164,97	19,74	0,00	2,03
18	415,77	196,56	19,74	0,00	2,03
19	415,77	203,58	19,74	0,00	2,46
20	415,77	189,54	19,74	0,00	2,46
21	415,77	175,5	19,74	0,00	2,46
22	415,77	150,93	19,74	0,00	2,46
23	415,77	126,36	19,74	0,00	2,46
24	415,77	98,28	19,74	0,00	2,03

Tab. 11.1 Shrnutí: hodinové spotřeby, dostupný výkon FV systému, ceny energií

Následující obrázek ukazuje zavedení proměnné pro čas, tabulku spotřeby energie, dostupného výkonu solárních panelů a hodinovou cenu za elektřinu:

```

Table data(t,*)

*/ vstup hodnot do tabulky data
      Dh      De      Dg      PV      Lambda_e
t1  415.77  77.22  19.74  0.00  2.502
t2  415.77  70.20  19.74  0.00  2.502
t3  415.77  66.69  19.74  0.00  2.502
t4  415.77  66.69  19.74  0.00  2.502
t5  415.77  66.69  19.74  0.00  2.502
t6  415.77  84.24  19.74  0.00  2.502
t7  415.77  108.81 19.74  0.56  2.502
t8  415.77  115.83 19.74  3.93  2.502
t9  415.77  115.83 19.74  27.53 2.502
t10 415.77  129.87 19.74  47.05 2.502
t11 415.77  143.91 19.74  62.05 2.502
t12 415.77  147.42 19.74  71.8  3.099
t13 415.77  143.91 19.74  66.56 3.099
t14 415.77  147.42 19.74  51.54 3.099
t15 415.77  143.91 19.74  31.51 2.502
t16 415.77  143.91 19.74  0.32  2.502
t17 415.77  164.97 19.74  0.00  2.502
t18 415.77  196.56 19.74  0.00  2.502
t19 415.77  203.58 19.74  0.00  3.099
t20 415.77  189.54 19.74  0.00  3.099
t21 415.77  175.50 19.74  0.00  3.099
t22 415.77  150.93 19.74  0.00  3.099
t23 415.77  126.36 19.74  0.00  3.099
t24 415.77  98.28  19.74  0.00  2.502;

```

Obrázek 11.1. GAMS – vstupní data

Kde t_n – čas, D_h – spotřeba tepelné energie, D_e - spotřeba elektrické energie, D_g - spotřeba plynu, PV – výkon fotovoltaického systému, Lambda_e - ceny za elektrickou energii.

11.2. Provozní náklady

Zavedení proměnné *cost* (náklady) pro objektivní hodnotící funkci matematického modelu:

```
*/ zavedeni promenne cost - provozni naklady  
Variable cost;
```

Obrázek 11.2. GAMS – objektivní funkce

11.3. Varianta 1

Zavedení proměnných pro variantu 1:

```
*/ zavedeni promennych s danymi hodnotami  
scalar eta_ee / 0.96 / , !! účinnost transformatoru  
eta_ge / 0.392 / , !! účinnost kogenerační jednotky výroba elektro  
eta_gh / 0.518 / , !! účinnost kogenerační jednotky výroba teplo  
COP / 3.8 / , !! topný faktor tepelného čerpadla  
H_ehpMax / 260 / , !! výkon tepelného čerpadla max  
H_ehpMin / 0.5 / , !! výkon tepelného čerpadla min  
Chpmax / 465 / , !! max výkon kogenerační jednotky  
Fmax / 576 / , !! výkon plynový kotel  
eta_ghf / 0.915 / , !! účinnost spalování plynu plynovým kotlem  
lambda_g / 1.737 / ; !! cena plyn  
  
*/ dodatecne upresneni hodnot promennych  
H_ehp.up(t) = H_ehpMax ; !! MAX výkon tepelného čerpadla  
G1.up(t)=Chpmax ; !! MAX výkon KVET  
G2.up(t)=Fmax ; !! MAX výkon plynový kotel
```

Obrázek 11.3.1. GAMS – proměnné varianty 1

Zavedení rovnic a spuštění vlastního řešení úlohy:

```

*/ zavedeni potrebného počtu rovnic s označením
Equation eq1, eq2, eq3, eq4, eq5, eq6, eq7, eq8, eq9, eq10, eq11 ;

*/ rovnice matematického modelu EnergyHub:

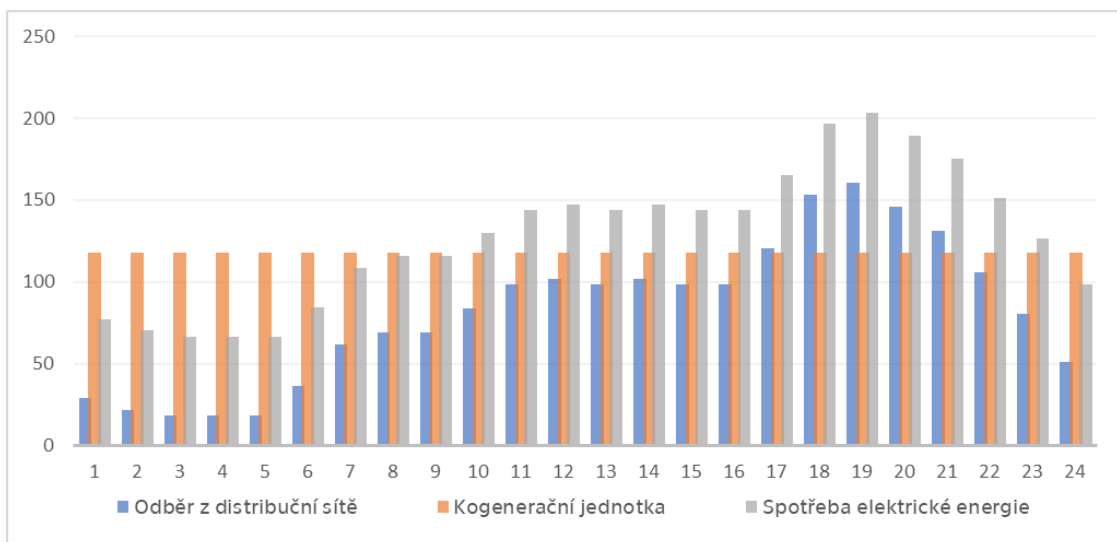
*/ objektivní hodnoticí funkce - součet nakladu na energii
eq1.. cost =e= sum(t, data(t, 'lambda_e')*E(t)+lambda_g*G(t));
*/ tok elektrické energie z EnergyHubu
eq2(t).. E1(t)+eta_ge*G1(t) =e= data(t, 'De')+E2(t) ;
*/ tok elektrické energie do EnergyHubu
eq3(t).. eta_ee*E(t) =e= E1(t) ;
*/ tok plynu do EnergyHubu
eq4(t).. G(t) =e= G1(t)+G2(t)+G3(t) ;
*/ tok plynu z EnergyHubu
eq5(t).. G3(t) =e= data(t, 'Dg') ;
*/ tok tepla z EnergyHubu
eq6(t).. eta_gh*G1(t)+H1(t)+H_ehp(t) =e= data(t, 'Dh') ;
*/ fungování plynové kotle
eq7(t).. eta_ghf*G2(t) =e= H1(t) ;
*/ výkon tepelného čerpadla
eq8(t).. H_ehp(t) =e= E2(t)*COP ;
*/ omezení maximalního tepelného výkonu tepelného čerpadla
eq9(t).. H_ehp(t) =l= H_ehpMax*Ih(t) ;
*/ omezení minimalního tepelného výkonu tepelného čerpadla
eq10(t).. H_ehp(t) =g= H_ehpMax*Ih(t)*H_ehpMin ;
*/ provozní režim tepelného čerpadla (chlazení/topení)
eq11(t).. Ih(t) =l= 1 ;

*/ vytvoření matematického modelu ze zadanych dat
Model Hub / all /;

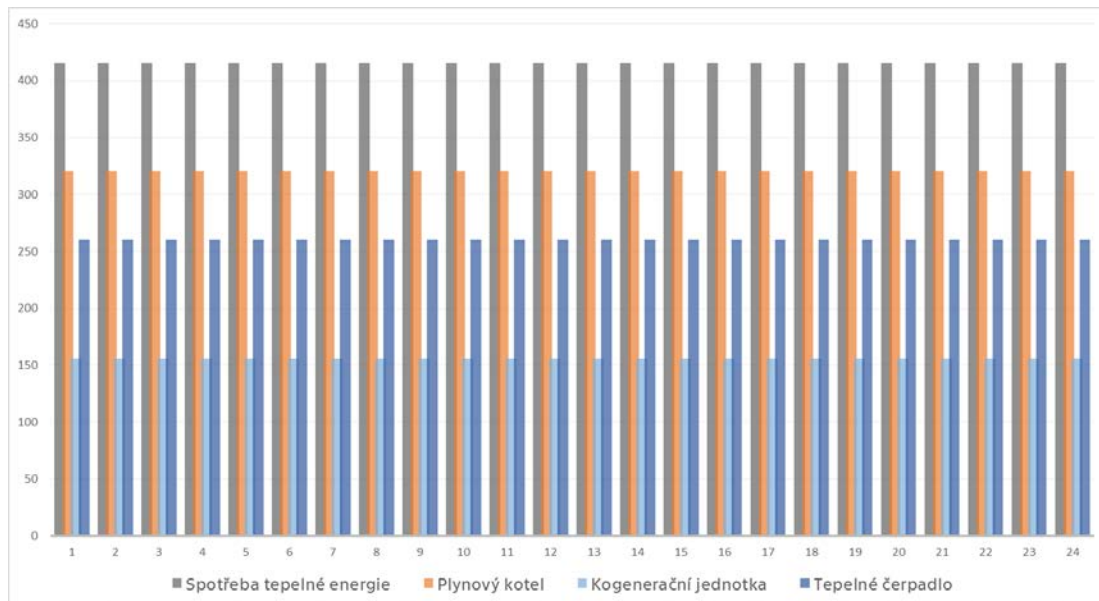
*/ příkaz pro řešení daného modelu pomocí MIP resitele s minimalizací proměnné cost
solve hub us mip min cost;

```

Obrázek 11.3.2. GAMS – matematický model varianty 1, zavedení rovnic



Obrázek 11.3.3. Elektrická energie – varianta 1



Obrázek 11.3.4. Bilance tepelné energie – varianta 1

Report pro variantu 1:

```

S O L V E      S U M M A R Y

MODEL  Hub          OBJECTIVE cost
TYPE   MIP          DIRECTION MINIMIZE
SOLVER CPLEX       FROM LINE  94

**** SOLVER STATUS   1 Normal Completion
**** MODEL STATUS   1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE          18841.0220

RESOURCE USAGE, LIMIT          0.047 10000000000.000
ITERATION COUNT, LIMIT        2    2147483647
--- *** This solver runs with a demo license. No commercial use.
--- GMO setup time: 0.00s
--- GMO memory 0.56 Mb (peak 0.56 Mb)
--- Dictionary memory 0.00 Mb
--- Cplex 20.1.0.1 link memory 0.01 Mb (peak 0.03 Mb)
--- Starting Cplex

--- MIP status (101): integer optimal solution.
--- Cplex Time: 0.03sec (det. 23.72 ticks)

--- Fixing integer variables and solving final LP...

--- Fixed MIP status (1): optimal.
--- Cplex Time: 0.00sec (det. 0.35 ticks)

Proven optimal solution
MIP Solution:          18841.021967      (2 iterations, 0 nodes)
Final Solve:          18841.021967      (26 iterations)

Best possible:          18841.021967
Absolute gap:           0.000000
Relative gap:           0.000000

```

Obrázek 11.3.5. GAMS – výslední report pro variantu 1

11.4. Varianta 2

Zavedení proměnných pro variantu 2:

```
*/ zavedeni promennych s danymi hodnotami
scalar eta_ee / 0.96 / , !! účinnost transformatoru
eta_ge / 0.392 / ,      !! účinnost kogenerační jednotky výroba elektro
eta_gh / 0.518 / ,      !! účinnost kogenerační jednotky výroba teplo
COP / 3.8 / ,           !! topný faktor tepelného čerpadla
H_ehpMax / 260 / ,     !! výkon tepelného čerpadla max
H_ehpMin / 0.5 / ,     !! výkon tepelného čerpadla min
Chpmax / 465 / ,       !! max výkon kogenerační jednotky
Fmax / 576 / ,         !! výkon plynový kotel
eta_ghf / 0.915 / ,    !! účinnost spalování plynu plynovým kotlem
lambda_g / 1.737 / ;   !! cena plyn

*/ dodatecne upresneni hodnot promennych
H_ehp.up(t) = H_ehpMax ; !! MAX výkon tepelného čerpadla
G1.up(t)=Chpmax ;      !! MAX výkon KVET
G2.up(t)=Fmax ;        !! MAX výkon plynový kotel
```

Obrázek 11.4.1. GAMS – proměnné varianty 2

Zavedení rovnic a spuštění vlastního řešení úlohy:

```
*/ zavedeni potrebného počtu rovnic s označením
Equation eq1, eq2, eq3, eq4, eq5, eq6, eq7, eq8, eq9, eq10, eq11 ;

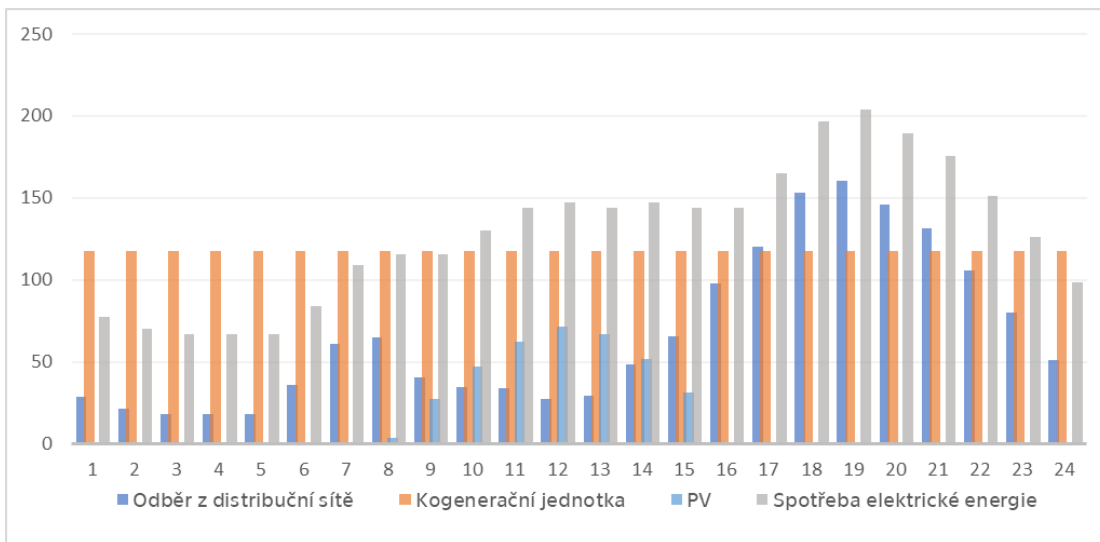
*/ rovnice matematického modelu EnergyHub:

*/ objektivni hodnotici funkce - součet nakladu na energie
eq1.. cost =e= sum(t, data(t,'lambda_e')*E(t)+lambda_g*G(t));
*/ tok elektrické energie z EnergyHubu
eq2(t).. E1(t)+eta_ge*G1(t) =e= data(t, 'De')+E2(t) ;
*/ tok elektrické energie do EnergyHubu
eq3(t).. eta_ee*E(t) + data(t, 'PV') =e= E1(t) ;
*/ tok plynu do EnergyHubu
eq4(t).. G(t) =e= G1(t)+G2(t)+G3(t) ;
*/ tok plynu z EnergyHubu
eq5(t).. G3(t) =e= data(t, 'Dg') ;
*/ tok tepla z EnergyHubu
eq6(t).. eta_gh*G1(t)+H1(t)+H_ehp(t) =e= data(t, 'Dh') ;
*/ tok tepla z EnergyHubu
eq7(t).. eta_ghf*G2(t) =e= H1(t) ;
*/ výkon tepelného čerpadla
eq8(t).. H_ehp(t) =e= E2(t)*COP ;
*/ omezení maximalního tepelného výkonu tepelného čerpadla
eq9(t).. H_ehp(t) =l= H_ehpMax*Ih(t) ;
*/ omezení minimalního tepelného výkonu tepelného čerpadla
eq10(t).. H_ehp(t) =g= H_ehpMax*Ih(t)*H_ehpMin ;
*/ provozní režim tepelného čerpadla (chlazení/topení)
eq11(t).. Ih(t) =l= 1 ;

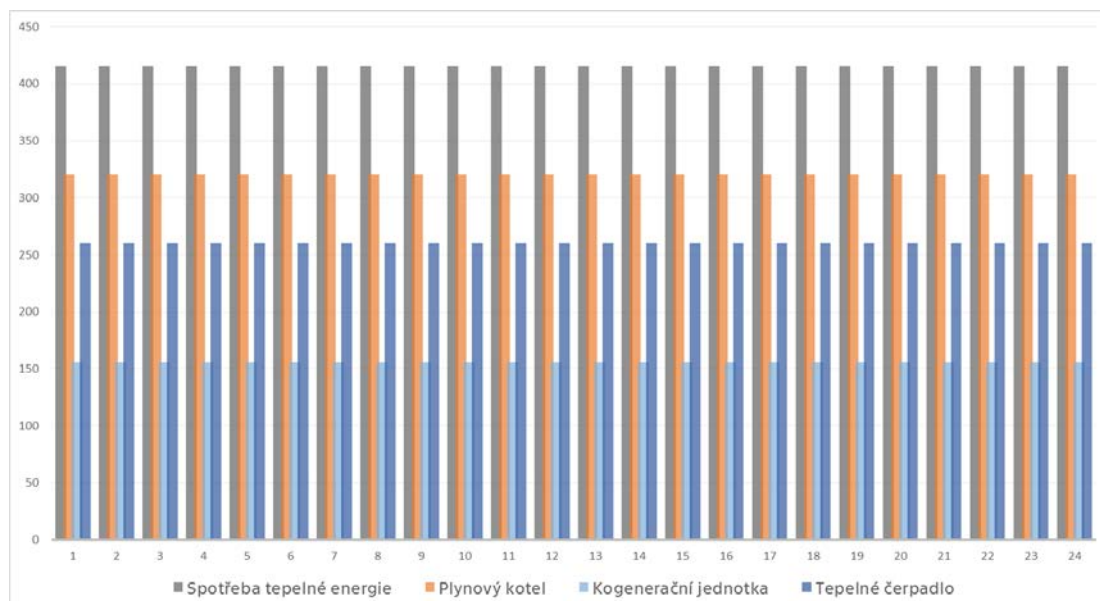
*/ vytvoreni matematického modelu ze zadanych dat
Model Hub / all /;

*/ prikaz pro reseni daného modelu pomocí MIP resitele s minimalizací proměnné cost
solve hub us mip min cost;
```

Obrázek 11.4.2. GAMS – matematický model varianty 2, zavedení rovnic



Obrázek 11.4.3. Elektrická energie – varianta 2



Obrázek 11.4.4. Bilance tepelné energie – varianta 2

Report pro variantu 2:

```

                S O L V E      S U M M A R Y

MODEL   Hub                OBJECTIVE cost
TYPE    MIP                DIRECTION MINIMIZE
SOLVER  CPLEX              FROM LINE 96

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE    17777.2501

RESOURCE USAGE, LIMIT    0.047 100000000000.000
ITERATION COUNT, LIMIT   2     2147483647
--- *** This solver runs with a demo license. No commercial use.
--- GMO setup time: 0.00s
--- GMO memory 0.56 Mb (peak 0.56 Mb)
--- Dictionary memory 0.00 Mb
--- Cplex 20.1.0.1 link memory 0.01 Mb (peak 0.03 Mb)
--- Starting Cplex

--- MIP status (101): integer optimal solution.
--- Cplex Time: 0.03sec (det. 23.72 ticks)

--- Fixing integer variables and solving final LP...

--- Fixed MIP status (1): optimal.
--- Cplex Time: 0.00sec (det. 0.33 ticks)

Proven optimal solution
MIP Solution:      17777.250092      (2 iterations, 0 nodes)
Final Solve:      17777.250092      (42 iterations)

Best possible:    17777.250092
Absolute gap:     0.000000
Relative gap:     0.000000
```

Obrázek 11.4.5. GAMS – výslední report pro variantu 2

11.5. Varianta 3

Zavedení proměnných pro variantu 3:

```
*/ zavedeni promennych s danymi hodnotami
scalar eta_ee / 0.96 / ,!! účinnost transformatoru
eta_ge / 0.392 / ,      !! účinnost kogenerační jednotky výroba elektro
eta_gh / 0.518 / ,      !! účinnost kogenerační jednotky výroba teplo
eta_c / 0.9 / ,         !! účinnost nabíjení bateriového úložiště
eta_d / 0.9 / ,         !! účinnost vybíjení bateriového úložiště
COP / 3.8 / ,           !! topný faktor tepelného čerpadla
H_ehpMax / 260 / ,      !! výkon tepelného čerpadla max
H_ehpMin / 0.5 / ,      !! výkon tepelného čerpadla min
Chpmax / 465 / ,        !! max výkon kogenerační jednotky
Fmax / 576 / ,          !! výkon plynový kotel
eta_ghf / 0.915 / ,     !! účinnost spalování plynu plynovým kotlem
lambda_g / 1.737 / ,    !! cena plyn
SOCmax / 232 / ,        !! max stav nabití bateriového úložiště
SOC0 / 0 / ;            !! min stav nabití bateriového úložiště
```

Obrázek 11.5.1. GAMS – proměnné varianty 3

Zavedení rovnic a spuštění vlastního řešení úlohy:

```
*/ zavedeni potrebného počtu rovnic s označením
Equation eq1, eq2, eq3, eq4, eq5, eq6, eq7, eq8, eq9, eq10, eq11,
eq12, eq13, eq14, eq15, eq16 ;

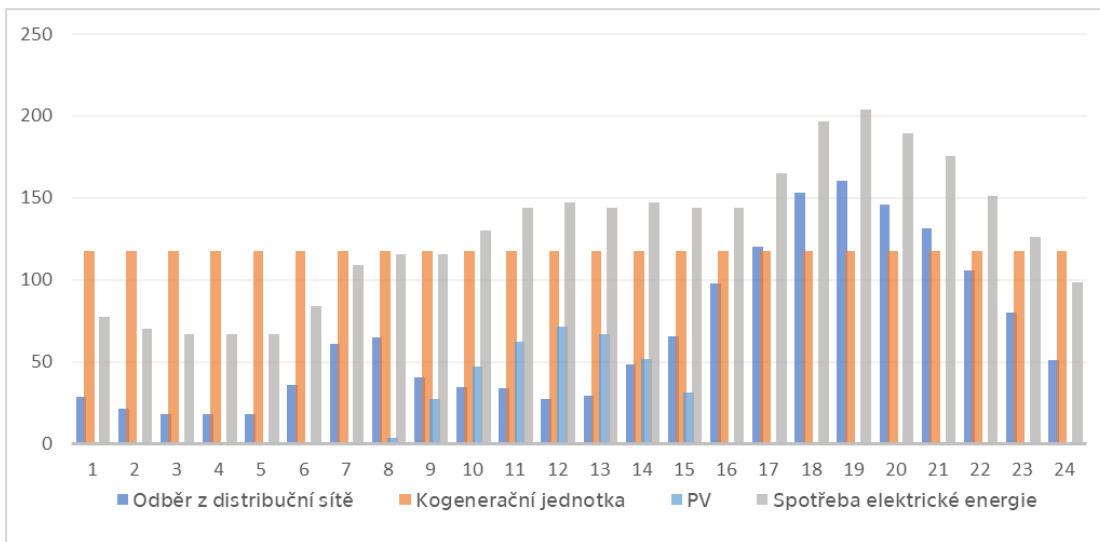
*/ rovnice definující matematický model EnergyHub:

*/ objektivní hodnotící funkce - součet nákladu na energii
eq1.. cost =e= sum(t, data(t, 'lambda_e')*E(t)+lambda_g*G(t));
*/ tok elektrické energie z EnergyHubu
eq2(t).. E2(t)+eta_ge*G1(t)+Ed(t) =e= data(t, 'De')+E3(t) ;
*/ tok elektrické energie do EnergyHubu
eq3(t).. eta_ee*E(t) + data(t, 'PV') =e= E1(t) + E2(t) ;
*/ definování vstupu elektrické energie do bateriového úložiště
eq4(t).. E1(t) =e= Ec(t) ;
*/ změna stavu úrovně nabití bateriového úložiště
eq5(t).. SOC(t) =e= SOC0$(ord(t)=1)+SOC(t-1)$(ord(t)>1)+Ec(t)*eta_c-Ed(t)/eta_d ;
*/ omezení vybíjení bateriového úložiště
eq6(t).. Ed(t) =l= 0.2*SOCmax*Idch(t) ;
*/ omezení nabíjení bateriového úložiště
eq7(t).. Ec(t) =l= 0.2*SOCmax*Idch(t) ;
*/ provozní režim bateriového úložiště (nabíjení/vybíjení)
eq8(t).. Idch(t)+Ich(t) =l= 1 ;
*/ tok plynu do EnergyHubu
eq9(t).. G(t) =e= G1(t)+G2(t)+G3(t) ;
*/ tok plynu z EnergyHubu
eq10(t).. G3(t) =e= data(t, 'Dg') ;
*/ tok tepla z EnergyHubu
eq11(t).. eta_gh*G1(t)+H1(t)+H_ehp(t) =e= data(t, 'Dh') ;
*/ fungování plynového kotle
eq12(t).. eta_ghf*G2(t) =e= H1(t) ;
*/ výkon tepelného čerpadla
eq13(t).. H_ehp(t) =e= E3(t)*COP ;
*/ omezení maximálního tepelného výkonu tepelného čerpadla
eq14(t).. H_ehp(t) =l= H_ehpMax*Ih(t) ;
*/ omezení minimálního tepelného výkonu tepelného čerpadla
eq15(t).. H_ehp(t) =g= H_ehpMax*Ih(t)*H_ehpMin ;
*/ provozní režim tepelného čerpadla (chlazení/topení)
eq16(t).. Ih(t) =l= 1 ;

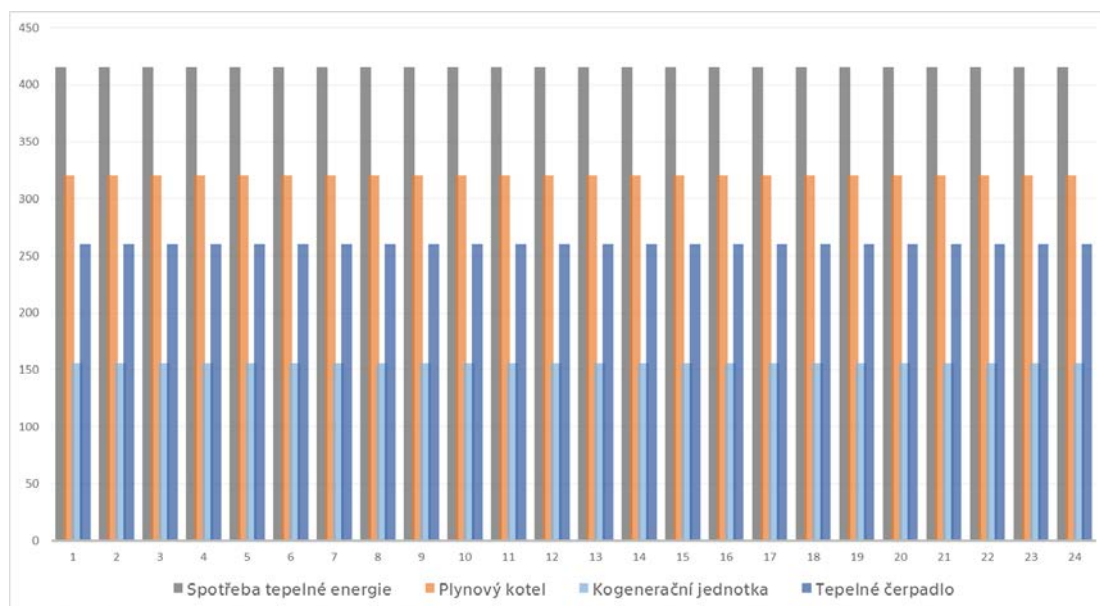
*/ vytvoření matematického modelu ze zadanych dat
Model Hub / all /;

*/ příkaz pro řešení daného modelu pomocí MIP resitele s minimalizací proměnné cost
solve hub us mip min cost ;
```

Obrázek 11.5.2. GAMS – matematický model varianty 3, zavedení rovnic



Obrázek 11.5.3. Elektrická energie – varianta 3



Obrázek 11.5.4. Bilance tepelné energie – varianta 3



Obrázek 11.5.5. Bateriové úložiště – varianta 3

Report pro variantu 3:

```

          S O L V E      S U M M A R Y

MODEL   Hub
TYPE    MIP
SOLVER  CPLEX

OBJECTIVE cost
DIRECTION MINIMIZE
FROM LINE 119

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE    17774.4328

RESOURCE USAGE, LIMIT      0.016 10000000000.000
ITERATION COUNT, LIMIT    62    2147483647
--- *** This solver runs with a demo license. No commercial use.
--- GMO setup time: 0.00s
--- Space for names approximately 0.01 Mb
--- Use option 'names no' to turn use of names off
--- GMO memory 0.59 Mb (peak 0.59 Mb)
--- Dictionary memory 0.00 Mb
--- Cplex 20.1.0.1 link memory 0.01 Mb (peak 0.04 Mb)
--- Starting Cplex

--- MIP status (101): integer optimal solution.
--- Cplex Time: 0.02sec (det. 1.50 ticks)

--- Fixing integer variables and solving final LP...

--- Fixed MIP status (1): optimal.
--- Cplex Time: 0.00sec (det. 0.59 ticks)

Proven optimal solution
MIP Solution:      17774.432756    (62 iterations, 0 nodes)
Final Solve:      17774.432756    (57 iterations)

Best possible:    17774.432756
Absolute gap:     0.000000
Relative gap:     0.000000

```

Obrázek 11.5.6. GAMS – výslední report pro variantu 3

12. Vyhodnocení výsledků

Varianta	Denní náklady [Kč]	Úspora [%]
Varianta 1	18 841,02	49,81
Varianta 2	17 777,25	52,64
Varianta 3	17 774,43	52,65

Tab.12. Výsledky optimalizace

Z výsledků je vidět, že připojení fotovoltaických panelů a baterií do systému vedlo k výraznému snížení denních nákladů na energii EnergyHubu.

Vzhledem k tomu, že výpočet byl proveden v nejpříznivější den pro počasí (15.01), bude úspora více než 50 % původní částky. V případě zkoumání jiných dnů (například letních) by byly výsledky jiné. Také musíme počítat s tím, že výkon jednotlivých součástí EnergyHub závisí na prostředí.

Všechny varianty mají shodné denní náklady na energii díky tomu, že poptávku po tepelné energii pokrývá především výroba tepla tepelným čerpadlem. V rámci celého dne tepelné čerpadlo funguje na maximální výkon a zbytek tepelné energie vyrábí kogenerační jednotka.

Varianty 2 a 3 jsou si více podobné, protože poptávku po elektřině v těchto variantách pokrývá především energie vyráběná fotovoltaickými panely.

Náklady na provoz a opravy EnergoHubu nejsou zahrnuty v kalkulaci.

Pro dosažení co nejobektivnějších výsledků bychom museli model výrazně rozšířit, minimálně za provozu Energyhubu po celý rok.

13. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a najít optimální konfiguraci energetického uzlu pro zadanou oblast. Tohoto cíle bylo dosaženo analýzou energetických potřeb celého regionu a studiem dostupných technických řešení snižování spotřeb těchto energií pomocí moderních energetických technologií.

EnergyHub byl zkoumán z pohledu matematického modelu a jeho optimálního fungování. Tohoto dílčího cíle bylo dosaženo pomocí software GAMS, který umožňuje sestavovat, analyzovat a řešit komplexní matematické modely.

Pro optimální fungování navržených možností byl použit princip EnergyHub s následným popisem jejich matematického modelu.

Pomocí modelovacího softwaru GAMS byly vypočítány varianty a následně vzájemně porovnány.

Na základě dostupných výsledků pravděpodobně vidíme potenciál využití systému EnergyHub pro snížení nákladů na energii a efektivnějšímu využívání obnovitelné energie již dnes.

Reference

- [1] BROCKWAY, Paul E.; SORRELL, Steve; SEMIENIUK, Gregor. Energy efficiency and economy-wide rebound effects: A review of the evidence and its implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021-05, roč. 141, s. 110781. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121000769?via%3Dihub>
- [2] SANTANGELI, Andrea; TOIVONEN, Tuuli; POUZOLS, Federico Montesino. Global change synergies and trade-offs between renewable energy and biodiversity. *GCB Bioenergy*. 2016-09, roč. 8, čís. 5, s. 941–951. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12299>
- [3] REHBEIN, Jose A.; WATSON, James E. M.; LANE, Joe L. Renewable energy development threatens many globally important biodiversity areas. *Global Change Biology*. 2020-05, roč. 26, čís. 5, s. 3040–3051. PMID: 32133726. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32133726/>
- [4] RITCHIE, Hannah; ROSER, Max. Energy. Our World in Data. 2020-11-28. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/renewable-energy>
- [5] Renewables 2020 Analysis and forecast to 2025 [online]. IEA, 2020 [cit. 2022-01-01]. S. 12. Dostupné z: https://iea.blob.core.windows.net/assets/1a24f1fe-c971-4c25-964a-57d0f31eb97b/Renewables_2020-PDF.pdf
- [6] Energie NADOSAH. Bezpečnostní, sociální a ekonomické výzvy decentralizované energetiky. Praha-Brno / listopad 2008. Dostupné z: http://www.zelenykruh.cz/wp-content/uploads/2015/01/APEL_decentralizace-energetiky.pdf
- [7] Aliance pro energetickou soběstačnost, z.s. 09.09.2020. Dostupné z: <https://www.alies.cz/nase-prace/decentralizace-energetiky/>
- [8] Bc. Adéla Holasová, EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ MODELU KONCEPTU SMART GRIDS, Diplomová práce [online]. Praha, 2019. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/23736/F3-DP-2014-Holasova-Adela-prace.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [9] Smart cities. Dostupné z: <https://www.iprpraha.cz/clanek/308/smart-cities>
- [10] Metodika Smart Cities. Metodika pro přípravu a realizaci konceptu Smart Cities na úrovni měst, obcí a regionů. Dostupné z: https://mmr.cz/getmedia/f76636e0-88ad-40f9-8e27-cbb774ea7caf/metodika_smart_cities.pdf.aspx?ext=.pdf
- [11] IEA (2019), Global patent applications for climate change mitigation technologies – a key measure of innovation – are trending down, IEA, Paris. Dostupné z: <https://www.iea.org/commentaries/global-patent-applications-for-climate-change-mitigation-technologies-a-key-measure-of-innovation-are-trending-down>
- [12] Smart meters are 'massive surveillance' tech-privacy supremo
- [13] Smart grids: electricity networks and the grid in evolution. Dostupné z: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/smart-grids-electrical-grid/>
- [14] Chytré sítě a nebezpečí kyberterorismu. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20120909074715/http://vtm.zive.cz/chytre-site-a-nebezpeci-kyberterorismu>

- [15] Co je Smart Grid. Martin Plchút, Siemens, s.r.o. 13.4.2015. Dostupné z:
<https://elektro.tzb-info.cz/12544-co-je-smart-grid>
- [16] Digitalisation and Energy. Technology report — November 2017. Dostupné z:
<https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>
- [17] Energeticky soběstačné komunity, Zuzana Vrbová, 2019. Dostupné z:
<https://oenergetice.cz/elektrina/debata-energeticky-sobestacne-komunity-nemusi-byt-hudbou-vzdalene-budoucnosti>
- [18] Energy Sustainability, 2020, Ibrahim Dincer, AzzamAbu-Rayash. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012819556700005X>
- [19] Bouffard F, Kirschen DS. Centralised and distributed electricity systems. Energy Policy 2008:4504–8
- [20] DECC, Community energy strategy: full report, Department of Energy and Climate Change, London, 2014.
- [21] Energetic communities for community energy: A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems Binod Prasad Koirala, Elta Kolioua, Jonas Friegec, Rudi A. Hakvoorta, Paulien M. Herde, April 2016, Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/287213981_Energetic_communities_for_community_energy_A_review_of_key_issues_and_trends_shaping_integrated_community_energy_systems#pf15
- [22] Walker, G.; Simcock, N. Community Energy Systems. In International Encyclopedia of Housing and Home, 1st ed.; Smith, S.J., Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2012; pp. 194–198.
- [23] KOIRALA, Binod, José CHAVES ÁVILA, Tomás GÓMEZ, Rudi HAKVOORT a Paulien HERDER. Local Alternative for Energy Supply: Performance Assessment of Integrated Community Energy Systems.
- [24] Vyrábět elektřinu může každý. Evropa sází na komunitní energetiku. Dostupné z:
<https://euractiv.cz/section/energetika/linksdossier/vyrabet-elektrinu-muze-kazdy-evropa-sazi-na-komunitni-energetiku/>
- [25] THANH-TUNG HA, YONG-JUN ZHANG, JIAN-ANG HUANG a V. THANG. Energy Hub modeling for minimal energy usage cost in residential areas, In: 2016. Dostupné z:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7871161>
- [26] BAYOD-RÚJULA, Angel, Yue YUAN, Amaya MARTÍNEZ-GRACIA, Jiangyu WANG, Javier UCHE a Huanxin CHEN. Modelling and Simulation of a Building Energy Hub.

Proceedings [online]. 2018, 2(23) [cit. 2020-05-24]. DOI: 10.3390/proceedings2231431. ISSN 2504-3900. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2504-3900/2/23/1431>

[27] KOIRALA, Binod Prasad. Integrated Community Energy Systems [online]. Delft, 2017 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: https://research.utwente.nl/files/19839834/ICES_Koirala_final.pdf.

[28] V. V. THANG, Yongjun ZHANG, Thanhtung HA, Siliang Liu. Optimal operation of energy hub in competitive electricity market considering uncertainties. In: 2018 Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40095-018-0274-8>

[29] HA, Thanh, Yong-jun ZHANG, Jinbao HAO, V. THANG, Canbing LI a Zexiang CAI. Energy Hub's Structural and Operational Optimization for Minimal Energy Usage Costs in Energy Systems. Energies [online]. 2018, 11(4) [cit. 2020-05-24]. DOI: 10.3390/en11040707. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1996-1073/11/4/707>

[30] BAYOD-RÚJULA, Angel, Yue YUAN, Amaya MARTÍNEZ-GRACIA, Jiangyu WANG, Javier UCHE a Huanxin CHEN. Modelling and Simulation of a Building Energy Hub. Proceedings [online]. 2018. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2504-3900/2/23/1431>

[31] About DesignBuilder. Dostupné z: <https://designbuilder.co.uk/about-us>

[32] HA, Thanhtung, Yongjun ZHANG, V. THANG a Jianang HUANG. Energy hub modeling to minimize residential energy costs considering solar energy and BESS. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy [online]. 2017, 5(3), 389-399 [cit. 2020-05-24]. DOI: 10.1007/s40565-017-0281-4. ISSN 2196-5625. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s40565-017-0281-4>

[33] HA, Thanh-tung, Yong-jun ZHANG, Jin-bao HAO a T PHAM. Optimal operation of energy hub with different structures for minimal energy usage cost. In: 2017 2nd International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE) [online]. IEEE, 2017, s. 31-36 [cit. 2020-05-24]. DOI: 10.1109/ICPRE.2017.8390495. ISBN 978-1-5386-2156-1. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8390495/>

[34] An Introduction to GAMS. GAMS - Cutting Edge Modeling [online]. Dostupné z: <https://www.gams.com/products/introduction/>

[35] Jak odhadnout spotřebu plynu v domácnosti. Dodavatelektriny.cz - O energiích jasně a srozumitelně | Přehled dodavatelů elektrické energie a zemního plynu [online]. Dostupné z: <https://dodavatelektriny.cz/uzitecne-informace/jak-odhadnout-spotrebu-plynu>

[36] Výpočet zásobníku TV, Výpočet tepelného výkonu pro vytápění, Výpočet roční potřeby tepla [online]. Dostupné z:

http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/91/6_vytapeni_ohrev_tv/6a_prip_ravav_treba_tep_l_a

[37] Statistika: Normalizované TDD [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elekriny/prepocetene-tdd?date=2021-01-15>

[38] OTE. Dokumentace Elektřina. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/dokumentace/dokumentace-elekrina/dokumentace-elekrina>

[39] Ceny elektrické energie v kategorii domácnosti. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/23170-ceny-elekricke-energie-platne-od-1-1-2021-do-31-12-2021#d02>

[40] Platnost HDO [online]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/potrebuji-zaridit/zakaznici/stav-hdo/>

[41] Aktuálně platné ceníky plynu. Dostupné z: <https://www.ppas.cz/ceniky>

[42] Přehled cen tepelné energie v členění podle cenových lokalit. Dostupné z: <https://www.eru.cz/prehled-cen-tepelne-energie-v-cleneni-podle-cenovych-lokalit>

[43] MOHAMMADI, Mohammad, Younes NOOROLLAHI, Behnam MOHAMMADI-IVATLOO a Hossein YOUSEFI. Energy hub: From a model to a concept – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews [online]. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117310985>

[44] NÁVRH A OPTIMALIZACE ENERGETICKÉHO STŘEDISKA POMOCÍ SIMULAČNÍCH NÁSTROJŮ. OLGA ARALKINA. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/96084>

[45] Technické parametry standartního provedení kogeneračních jednotek na zemní plyn. TEDOM. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/kogeneracni-jednotky/zemni-plyn#>

[46] Plynový kondenzační kotel Vitocrossal 200. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle/vitocrossal-200-cm2-do-620-kw.html>

[47] MasterTherm. Tepelné čerpadlo AquaMaster. Dostupné z: <https://www.remko.cz/tepelna-cerpadla-quantum>

[48] SOROUDI, Alireza. Power System Optimization Modeling in GAMS. První vydání. Cham: Springer International Publishing, 2017. ISBN 978-3-319-62349-8.

[49] Princip a výkon tepelných výměníků. Dostupné z: <https://www.vymeniky-tepla.cz/princip/>

[50] VARGA, Martin. Problematika stanovení Uem u vícezónových budov[online].
Dostupné z: <https://deksoft.eu/technicke-forum/pdf?id=60>

[51] Výpočet zásobníku TV, Výpočet tepelného výkonu pro vytápění, Výpočet roční potřeby tepla [online]. Dostupné z:
http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/91/6_vytapeni_ohrev_tv/6a_pripravatv_potreba_tepla

Seznam obrázků

Obrázek 4.1. Koncepční návrh integrovaného energetického systému	26
Obrázek 4.2. Funkce integrovaného komunitního energetického systému v širším systému.	28
Obrázek 5.1.1. Obecná architektura EnergyHubu	30
Obrázek 5.1.2. Obecný model EnergyHubu pro zátěž	31
Obrázek 5.1.3. Princip vstupu, konverze a výstupy energie EnergyHubem.....	32
Obrázek 5.1.4. Vazební matice EnergyHubu.....	32
Obrázek 5.1.5. Obecná struktura EnergyHubu	33
Obrázek 6.1. DesignBuilder – model lokality	39
Obrázek 7.1. Pohled na analyzovanou oblast s vyznačením řešené lokality.	43
Obrázek 7.1.2. Centralizované zásobování teplem řešené lokality. [Atlas územně analytických podkladů]	46
Obrázek 7.1.3. Identifikace budov.	47
Obrázek 7.1.4. Typový diagram dodávek (TDD).	57
Obrázek 7.1.5. Hodinová spotřeba elektrické energie v uvedené lokalitě.	60
Obrázek 9.1. Varianta 1	65
Obrázek 9.2. Varianta 2.....	68
Obrázek 9.3. Varianta 3.....	69
Obrázek 10.1. PV*SOL – výkon panelů 15 ledna.....	71
Obrázek 10.2. Označení střech.....	72
Obrázek 11.1. GAMS – vstupní data.....	77
Obrázek 11.2. GAMS – objektivní funkce	78
Obrázek 11.3.1. GAMS – proměnné varianty 1	78
Obrázek 11.3.2. GAMS – matematický model varianty 1, zavedení rovnic	79
Obrázek 11.3.3. Elektrická energie – varianta 1.....	79
Obrázek 11.3.4. Bilance tepelné energie – varianta 1	80
Obrázek 11.3.5. GAMS – výslední report pro variantu 1	80
Obrázek 11.4.1. GAMS – proměnné varianty 2	81
Obrázek 11.4.2. GAMS – matematický model varianty 2, zavedení rovnic	81
Obrázek 11.4.3. Elektrická energie – varianta 2.....	82
Obrázek 11.4.4. Bilance tepelné energie – varianta 2	82

Obrázek 11.4.5. GAMS – výslední report pro variantu 2.....	83
Obrázek 11.5.1. GAMS – proměnné varianty 3.....	84
Obrázek 11.5.2. GAMS – matematický model varianty 3, zavedení rovnic.....	85
Obrázek 11.5.3. Elektrická energie – varianta 3	86
Obrázek 11.5.4. Bilance tepelné energie – varianta 3.....	86
Obrázek 11.5.5. Bateriové úložiště – varianta 3	87
Obrázek 11.5.6. GAMS – výslední report pro variantu 3.....	87

Seznam tabulek

Tab. 7.1. Popis budov	49
Tab. 7.2. Parametry budov – hlavní charakteristiky.	49
Tab. 7.3.1. Hodinová spotřeba tepla	50
Tab. 7.3.2. Spotřeba tepla na vytápění	51
Tab. 7.4. Spotřeba tepla na ohřev teplé vody	52
Tab. 7.5. Spotřeba plynu.....	56
Tab. 7.5. Hodinová spotřeba elektrické energie domácnosti	58
Tab. 7.6. Celková hodinová spotřeba elektrické energie lokality	59
Tab. 8.1. Platnost nízkého a vysokého tarifu	61
Tab. 8.2. Celkové denní náklady na energie v zadané oblasti	64
Tab.10.1. Dostupné plochy a počet fotovoltaických panelů	72
Tab.10.1.2. Hodinový výkon panelů	73
Tab.10.2. Plynový kotel VITOCROSSAL 200	74
Tab.10.3. Kogenerační jednotka TEDOM Cento 210.....	74
Tab.10.5. Tepelné čerpadlo VITOCAL 300-A	75
Tab.10.6. Bateriové úložiště	75
Tab. 11.1 Shrnutí: hodinové spotřeby, dostupný výkon FV systému, ceny energi.....	76
Tab.12. Výsledky optimalizace	88