

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**NÁVRH A OPTIMALIZACE ENERGETICKÉHO STŘEDISKA POMOCÍ
SIMULAČNÍCH NÁSTROJŮ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

OLGA ARALKINA

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

2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Aralkina Jméno: Olga Osobní číslo: 399904
Zadávací katedra: Technických zařízení budov (11125)
Studijní program: (N3946) Inteligentní budovy
Studijní obor: _____

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: **Návrh a optimalizace energetického střediska pomocí simulačních nástrojů**

Název diplomové práce anglicky: **Design and optimization of EnergyHub model using simulation methods**

Pokyny pro vypracování:

Vypracovat projektovou dokumentaci vybrané oblasti chytrých budov v Praze s návrhem energetického střediska - EnergyHubu (rozšíření trafostanice TS 22/0,4 kV) v dané lokalitě. Vybranou oblast transformovat do podmínek "budov s téměř nulovou spotřebou energie". Vyhodnotit energetické ztráty dané oblasti, definovat a navrhnout opatření k jejich snížení a porovnat výsledky řešení v kontextu ke snížení emisí CO₂. Výběr vhodných optimalizačních nástrojů (porovnání) zejména stochastických a z oblasti matematické programování zejména GAMS (General Algebraic Modeling System).

Seznam doporučené literatury:

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

Datum zadání diplomové práce: 18.2.2021

Termín odevzdání diplomové práce: 16.5.2021

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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Anotace

Cílem této práce je představení možností použití integrovaných energetických centrů jako alternativy centrálně řízeným systémům. Tato diplomová práce je věnovaná modelování takového energetického střediska pro určenou lokalitu, a následnému prokázání toho, že toto řešení nejen nabízí možnost zapojení obnovitelných zdrojů energie, ale je taky ekonomicky výhodnější z pohledu konečného spotřebitele v rámci situaci na současném energetickém trhu.

Klíčová slova:

Optimalizace energetického střediska, Simulační nástroje, Udržitelný rozvoj, Smart City, Inteligentní energetické koncepty, Smart grid, Digitalizace v energetice, Komunitní energetika, Energetická soběstačnost, Integrované komunitní energetické systémy, Energy hub, Poptávka a spotřeba energie, Účinnost přeměny energie, General Algebraic Modeling System, GAMS, Centralizované energetické systémy, Decentralizované energetické systémy

Annotation:

The aim of this work is to use the use of integral energy centers as alternatives to centrally controlled systems. Enlarges this diploma thesis is devoted to modeling such an energy center for a designated location, is the subsequent demonstration of this resension not only offers the possibility of involving renewable energy sources, but it is also economical in terms of final consumer in the context of the current energy market.

Key words:

Energy center optimization, Simulation software, Sustainable Development, Smart City, Smart energy concepts, Smart grid, Digitization in energetics, Community energy, Energy self-sufficiency, Integrated community energy systems, Energy hub, Energy demand and consumption, Energy conversion efficiency, General Algebraic Modeling System, GAMS, Centralized energy systems, Decentralized energy systems

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

V Praze dne 17.05.2021

Podpis.....

Poděkování

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

Velké díky patří také mé mým rodičům, rodině a přátelům za podporu během mého studia.

1.	ÚVOD	- 8 -
2.	UDRŽITELNÝ ROZVOJ	- 8 -
2.1.	SMART CITY A JINÉ „INTELIGENTNÍ“ KONCEPTY	- 9 -
2.2.	SMART GRID	- 9 -
2.3.	MĚSTSKÁ ENERGETICKÁ STŘEDISKA	- 10 -
2.4.	DIGITALIZACE V ENERGETICE	- 10 -
2.5.	PŘÍKLAD Z REALITY	- 11 -
3.	KOMUNITNÍ ENERGETIKA A ENERGETICKÁ SOBĚSTAČNOST.....	- 12 -
3.1.	INTEGROVANÉ KOMUNITNÍ ENERGETICKÉ SYSTÉMY	- 15 -
4.	ENERGY HUB	- 16 -
4.1.	ARCHITEKTURA STRUKTURY ENERGYHUBU	- 16 -
4.2.	OBECNÝ MODEL ENERGYHUBU	- 19 -
4.3.	MATEMATICKÝ MODEL ENERGYHUBU.....	- 20 -
4.3.1.	OBJEKTIVNÍ HODNOTICÍ FUNKCE	- 21 -
4.3.2.	POPTÁVKA A SPOTŘEBA ENERGIE	- 21 -
4.3.3.	ÚČINNOST PŘEMĚNY ENERGIE	- 22 -
4.3.4.	OMEZENÍ ÚLOŽIŠTI ENERGIÍ.....	- 22 -
4.3.5.	CENA ENERGIÍ.....	- 23 -
4.3.6.	GAMS	- 23 -
5.	ZVOLENÁ LOKALITA	- 24 -
5.1.	CHARAKTERISTICKÁ ZÁSTAVBA ŘEŠENÉHO ÚZEMÍ.....	- 26 -
5.1.1.	RODINNÉ DOMY PŘED REKONSTRUKCÍ	- 26 -
5.1.2.	RODINNÉ DOMY PO REKONSTRUKCÍ.....	- 28 -
5.1.3.	BYTOVÉ DOMY PO REKONSTRUKCÍ.....	- 30 -
5.1.4.	BYTOVÉ DOMY PŘED REKONSTRUKCÍ	- 32 -
5.2.	CELKOVÝ POČET STAVEB V ŘEŠENÉM ÚZEMÍ DLE JEDNOTLIVÝCH KLASTRŮ.....	- 33 -
6.	SPOTŘEBY ENERGIÍ	- 35 -
6.1.	SPOTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ.....	- 35 -
6.2.	SPOTŘEBA TEPLA NA OHŘEV TEPLÉ VODY	- 36 -
6.3.	SPOTŘEBA PLYNU.....	- 37 -
6.4.	SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	- 39 -
7.	FOTOVOLTAICKÉ PANELE	- 43 -
7.1.	DOSTUPNÁ PLOCHA PRO INSTALACI FOTOVOLTAICKÝCH PANELEŮ	- 43 -
7.2.	SIMULACE VÝKONU FV PANELU POMOCÍ VÝPOČTOVÉHO NÁSTROJE SAM.....	- 44 -
7.3.	VÝSLEDKY SIMULACE	- 48 -
8.	CENY ENERGIÍ.....	- 51 -
8.1.	CENA ELEKTRICKÉ ENERGIE	- 51 -
8.2.	CENA PLYNU.....	- 52 -
8.3.	DENNÍ NÁKLADY NA ENERGIE.....	- 52 -
8.3.1.	DENNÍ NÁKLADY NA TEPELNOU ENERGII	- 52 -
8.3.2.	DENNÍ NÁKLADY NA PLYN.....	- 53 -

8.3.3. DENNÍ NÁKLADY NA ELEKTRICKOU ENERGII	- 54 -
8.3.4. CELKOVÉ DENNÍ NÁKLADY NA ENERGIE	- 54 -
9. KONFIGURACE MODELU ENERGY HUBU	- 54 -
9.1. VARIANTA 1	- 54 -
9.1.1. NÁVRH MATEMATICKÉHO MODELU ENERGYHUBU - VARIANTA 1	- 55 -
9.2. VARIANTA 2	- 57 -
9.2.1. NÁVRH MATEMATICKÉHO MODELU ENERGYHUBU VARIANTA 2	- 57 -
9.3. VARIANTA 3	- 58 -
9.3.1. NÁVRH MATEMATICKÉHO MODELU ENERGYHUBU VARIANTA 3	- 58 -
9.4. SHRNUÍ: HODINOVÉ SPOTŘEBY, DOSTUPNÝ VÝKON FV SYSTÉMU, CENY ENERGIÍ.....	- 60 -
9.5. CHARAKTERISTIKY JEDNOTLIVÝCH KOMPONENT ENERGY HUBU	- 60 -
9.5.1. PLYNOVÝ KOTEL.....	- 60 -
9.5.2. TEPELNÉ ČERPADLO.....	- 61 -
9.5.3. KOGENERAČNÍ JEDNOTKA.....	- 61 -
9.5.4. BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ.....	- 61 -
9.5.5. TRANSFORMÁTOR.....	- 62 -
10. SKRIPTY A NASTAVENÍ MODELU V PROSTŘEDÍ PROGRAMU GAMS	- 62 -
10.1. VSTUPNÍ DATA	- 62 -
10.2. ZAVEDENÍ PROMĚNNÉ VYJADŘUJÍCÍ PROVOZNÍ NÁKLADY.....	- 63 -
10.3. VARIANTA 1	- 64 -
10.3.1. DEKLARACE PROMĚNNÝCH PRO VARIANTU 1	- 64 -
10.3.2. ZAVEDENÍ ROVNIC A SPUŠTĚNÍ VLASTNÍHO ŘEŠENÍ ÚLOHY.	- 64 -
10.4. VARIANTA 2	- 65 -
10.4.1. DEKLARACE PROMĚNNÝCH PRO VARIANTU 2	- 65 -
10.4.2. ZAVEDENÍ ROVNIC A SPUŠTĚNÍ VLASTNÍHO ŘEŠENÍ ÚLOHY.	- 65 -
10.5. VARIANTA 3	- 66 -
10.5.1. DEKLARACE PROMĚNNÝCH PRO VARIANTU 3	- 66 -
10.5.2. ZAVEDENÍ ROVNIC A SPUŠTĚNÍ VLASTNÍHO ŘEŠENÍ ÚLOHY.	- 67 -
11. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU.....	- 67 -
11.1. VARIANTA 1	- 67 -
11.2. VARIANTA 2	- 69 -
11.3. VARIANTA 3	- 71 -
12. SHRNUÍ.....	- 73 -
13. ZÁVĚR	- 74 -
14. BIBLIOGRAFIE	- 75 -
15. SEZNAM OBRÁZKU	- 78 -
16. SEZNAM TABULEK.....	- 79 -

1. Úvod

Proces výroby, distribuce a spotřeby energie se skládá nejen z technologických ale i z lidských složek, i když o tom druhém skoro žádný výzkum neexistuje. Pohled na tyto otázky nesmí být postaven s zaměřením na oblast technologie a hospodářství.

Měli bychom zohlednit i sociální aspekty energetických systémů. Na jednotlivcích a jejich volbách opravdu záleží a jejich chování může ovlivnit proces výroby a spotřeby energie mnohem více, než se dříve očekávalo. Pochopení individuálního a komunitního chování a rozhodování je proto zásadním krokem pro urychlení přechodu na energeticky účinnou a nízkouhlíkovou energetickou budoucnost. Aby byly účinné, měly by být politici a opatření ve stávajících a budoucích energetických systémech orientovány na spotřebitele.

Centralizované energetické systémy jsou výrazně ovlivněny kombinací různých faktorů, jako je politická situace, dovoz fosilních paliv a růst poptávky po energetických zdrojích po celém světě. Konečný spotřebitel v podobném systému nemá na výběr, a tak může jenom slepě souhlasit s podmínkami dodávky. Decentralizace v energetice nabízí řešení tohoto problému.

Cílem této práce je představení možností použití integrovaných energetických centrů jako alternativy centrálně řízeným systémům. Tato diplomová práce je věnovaná modelování takového energetického střediska pro určenou lokalitu, a následnému prokázání toho, že toto řešení nejen nabízí možnost zapojení obnovitelných zdrojů energie, ale je taky ekonomicky výhodnější z pohledu konečného spotřebitele v rámci situací na současném energetickém trhu. Daná analýza zohledňuje odlišné profily spotřeby na základě typologie objektů umístěných na zkoumaném území, a jednotlivé ceny energetických nosičů, které nabízejí dodavatelé na lokálním trhu.

2. Udržitelný rozvoj

Dopad globálních změn a světových mega-trendů představuje pro většinu evropských měst (a Praha není výjimkou) nové zásadní výzvy. Je to ale i nová příležitost pro vývoj jejich potenciálu pomocí zcela nových technologií. Města jsou nucena hledat nové způsoby, jak maximálně zefektivnit správu svých omezených zdrojů a zároveň stimulovat udržitelný rozvoj. Odpověď nabízí koncept chytrých měst. [29]

Smart cities klade důraz na posilování komplexity, efektivity a udržitelnosti všech aspektů městského rozvoje, a to prostřednictvím ekonomických, sociálních a zejména technologických inovací. Cílem Smart Cities je redukce ekologické stopy, posilování konkurenceschopnosti a zároveň maximalizace životní úrovně obyvatel. Etablování systému funkčních vazeb a partnerství mezi klíčovými aktéry města a jejich systematické začlenění do městského rozvoje je hlavním předpokladem pro naplňování principů Smart Cities. [30]

2.1. Smart city a jiné „inteligentní“ koncepty

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%. Jedním z možných řešení této nové výzvy energetického průmyslu je koncept MicroGrid (mikrosít). [24]

MicroGridem se vyznačuje malá distribuční soustava, což je analogií konvenční centralizované napájecí sítě. Hlavním faktorem vzniku a popularizace technologie MicroGrid se stal úkol zajistit energetickou účinnost. Za původní cíl se považovalo hledání potenciálních cest úspory energie. V oblasti výroby elektrické energie investoři považují obnovitelné zdroje energie za logický doplněk stávajících tradičních paliv. Systém MicroGrid má své vlastní zdroje výroby energie a je schopen převzít úkol uspokojení poptávky spotřebitelů při maximální špičce zatížení. Jedná se o redukovanou verzi systému centralizované napájecí sítě, který má zvýšit spolehlivost dodávek elektřiny, zvýšit energetickou nezávislost, diverzifikaci energetických zdrojů, a snížit spotřebitelské náklady.

2.2. Smart grid

Koncepce Smart Grid zahrnuje širokou škálu technologií pro modernizaci elektroenergetických sítí, která zastřešuje celkový proces dodávky elektrické energie včetně řešení pro koncové uživatele, distribuční soustavy a všechno okolo.

Kvalitnější technologie pro monitorování, kontrolu a automatizaci mohou nejen stimulovat rozvoj nových obchodních modelů, ale i nabídnout další výhody jako snížení výpadků, kratší dobu odezvy, odložení investic do samotných sítí a integrace distribuovaných energetických zdrojů. Na úrovni koncových uživatelů mohou inteligentní sítě umožnit flexibilitu poptávky a zapojení spotřebitelů do zavedení fyzické vrstvy infrastruktury inteligentní sítě. Podpoření inteligentních měřičů může pomoci tyto výhody odblokovat. [29]

Investice do inteligentních sítí se nadále zaměřují na hardware, od digitálních rozveden po inteligentní měření a další zařízení energetického inženýrství. Podniky poskytující veřejné služby a distribuční sítě v Evropě (Iberdrola, Enel, Rte a e.On) a ve Spojených státech amerických (Exelon, Duke a Edison International) vykazují dnes rekordní výdaje na implementaci softwarových řešení pro optimalizaci provozu. Přestože automatizace rozveden je trendem posledních let, v roce 2020 dle reportů IEA více a více podniků rozšiřuje využívání softwarových platforem pro monitorování a řízení dodávky energie, zejména prostřednictvím vytvoření digitálních dvojčat distribuční soustavy, mapujících tok energie, napětí a infrastrukturu z rozvodny až

do domácností. Pomáhá to zabránit výpadkům proudu předpovídáním výpadků týdny předem. [24]

2.3. Městská energetická střediska

Jedná se o decentralizovaný zdroj veškerých energií a technických systémů navazující na konkrétní lokalitu. Zahrnuje dodatečné vybavení, které by do prostorů samotných budov nebylo možné z kapacitních důvodů umístit. MES se zaměřuje na získávání energie z obnovitelných a alternativních zdrojů energie. Cílem je poskytnout v dané lokalitě stabilní systém, který by dokázal pokryt dodávku energie do budov lokality, a pomůže dosáhnout maximálního využití OZE.

Pro návrh jsou důležité podmínky určující poptávku energie a potenciál zisku z OZE v daném místě. Systém řízení vyrovnává poptávku a nabídku energie, a predikuje možné průběhy spotřeby a výroby energie (ideálně v rámci minut až vteřin). Sdílená distribuční síť v kombinaci se skladováním elektrické energie vytváří stabilní a bezpečný systém. [11]

Lokalita je definována jako skupina budov, která se navzájem ovlivňuje a je propojená se stejnou energetickou infrastrukturou. V rámci lokality je definováno jejich měřítko jako blok nebo jako sousedství.

Městská energetická střediska fungují na principu výroby vlastní energie a možnosti distribuovat energii (především elektrickou) do veřejné sítě. Takový přístup by pro centralizovanou síť mohl v budoucnu představovat konkurenční možnost oproti nákupům rezerv od současných zdrojů energie. Pro řízení decentralizovaných soustav je potřeba změna v oblasti sítí PS i DS a řešení vzdáleného řízení HW, SW, SG. [31]

2.4. Digitalizace v energetice

Digitalizace umožňuje „inteligentním“ budovám, vozidlům a průmyslovým zařízením poskytovat nové zdroje pružného zatížení energetického systému, což může přispět ke snížení omezování obnovitelných zdrojů energie a podpořit komunity v tom, aby samy spotřebovávaly energii anebo ji ukládali do vlastních zásob. S větším počtem obnovitelných zdrojů v systému a větší spotřebou komunity je konečným výsledkem efektivnější energetický systém díky snížení ztrát spojených s výrobou a distribucí energie.

Digitalizace vyvolává rostoucí uplatňování ICT v celém hospodářství. Vede k rostoucímu objemu dat, rychlému vývoji pokročilé analytiky, a větší propojenosti mezi lidmi, přístroji a stroji. Od senzorů v zásobnících ropy a plynu až po vzestup automatizovaných vozidel má digitalizace významný vliv na to, jak svět vyrábí a spotřebovává energii. Dopad digitalizace na stranu poptávky je složitý. Na jednu stranu, digitální zařízení potenciálně nabízejí velké zlepšení energetické účinnosti v odvětví dopravy, stavebnictví a průmyslu. Na druhou stranu zvětšení počtu zařízení

a serverů pro ukládání dat, která ty zařízení produkují, by mohlo způsobit velký čistý nárůst spotřeby energie, pokud by nebylo řízeno opatrně. Udržitelné dodávky energie vyžadují integraci obnovitelných zdrojů energie. Tuto integraci lze uskutečnit pomocí konceptů a technologií, které promění stávající energetickou soustavu v inteligentní entitu, inteligentní síť. K vytvoření takového systému bude nezbytné transformovat současné elektrické rozvodné sítě rychlým zaváděním nových technologií, které vyžadují rozsáhlé testování a validaci. [24]

2.5. Příklad z reality

Pro dodávky tepelné energie z fosilních paliv, která je určena zejména pro otop budov a ohřev TUV, se využívají teplárny a výtopny, případně menší plynové kotelny. Z důvodu omezených vzdáleností, na které je výhodné tepelnou energii přenášet, jsou tato zařízení umístěna blíže spotřebním místům. Jde zejména o velká a větší města.

Hmotnostní průtok vody přitékající do teplárny je proměnlivý v závislosti na ročním období, dnů týdnu, denní době, počasí a dalších faktorech. Dodávka tepla v jednotlivých denních hodinách je předem sjednaná s distributorem tepla ve formě hodinového výkonu v tepelných megawattech (MWt) a je třeba ji dodržet s minimální možnou odchylkou. Na základě hmotnostního průtoku operátoři strojovny nastavují cílovou teplotu pro ohřev tak, aby byla splněna sjednaná dodávka tepla.

Vzhledem k tomu, že hmotnostní průtok přitékající vody je pro operátory předem neznámá veličina, může v rámci hodiny docházet k relativně velkým rozdílům v teplotách, na kterou má být voda ohřátá, což přirozeně způsobuje namáhání technologie. [26]

Důvodem je skutečnost, že cílově se reguluje dodávaný tepelný výkon a teplota je regulační veličina, kterou je změna průtoku kompenzována pro dodržení výkonu. Průtok je ovlivňován mnoha faktory, z nichž velká řada je spojena s chováním koncových zákazníků. Pro zachování svobodného rozhodování zákazníka je nutné dobře odhadovat jeho chování, které je ovlivněno stejně tak počasím jako i dnem v týdnu, nebo zda je svátek apod. Vlivů je celá řada.

Operátoři při dříve běžném režimu regulace dodávky zadávají do systému žádaný hodinový výkon a klasický regulátor pomocí zpětné vazby zajišťuje nastavení cílové teploty. Tento způsob regulace má zásadní nevýhodu v tom, že klasický regulátor pracuje pouze s daty již naměřenými, tedy minulými, tudíž neví, zda v dalších minutách obchodní hodiny nepříjde korekce opačným směrem proti té aktuální.

Pokud by regulátor již na počátku obchodní hodiny znal průměrný hmotnostní průtok v dané hodině, významně by se omezil nutný počet a velikost regulačního kroků a změny výstupní teploty v obchodní hodině.

Z hlediska optimalizace provozu soustav dálkového vytápění již dnes existují některé

možnosti. Příkladem je podpůrný systém pro řízení v Teplárně Mělník. Jedná se tedy o matematický model, který v téměř reálném čase umí předpovídat hmotnostní průtok vody na základě aktuálně dostupných dat. Do modelu vstupují informace o teplotě, srážkách nebo slunečnímu záření v Praze, ale především historická i okamžitá data o měření hmotnostního průtoku v horkovodu. Produkční verze modelu vyhodnocuje situaci každou minutu a v rámci právě probíhající hodiny udávané predikce neustále upřesňuje. Na základě výstupů z modelů je nastavována optimální teplota ohřevu.

Důvodem pro rozhodnutí o vytvoření a nasazení ve zkušebním režimu řízení na základě predikčního modelů, není jen efektivnější řízení výroby tepla, ale také prodloužení životnosti mnoha komponent teplárny, pro které je výraznější rozkolísání provozních teplot zbytečnou zátěží. Umožňuje to i lépe plánovat kogenerační výrobu, což znamená lepší využití primární energie. [26]

3. Komunitní energetika a energetická soběstačnost

Průmyslové, komerční a rezidenční kategorie spotřebitelů po celém světě spoléhají na různé formy energetických služeb, které v současné době poskytují různé infrastrukturní systémy. V industrializované části světa pro pokrytí této poptávky se obvykle využívá uhlí, ropné produkty, biomasa a energie předávána pomocí centralizovaných distribučních sítí, jako je elektřina, zemní plyn a dálkové vytápění / chlazení.

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 je pak z těchto výrobních center přenášena rozvodovou sítí na vzdálenost stovek 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 je individuální vytápění objektů stále v převaze. 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. [2]

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).

Na první pohled je centralizovaný systém plně funkční. Tradiční energetické firmy mají velké zkušenosti a dostatečné kapacity k řešení problémů a zajištění spolehlivosti dodávek. Současný energetický systém má ovšem řádu nevýhod, které ohrožují jeho stabilitu. Decentralizace může naopak některé hrozby omezit nebo

eliminovat. [2]

Centralizovaná energetika je konkrétně v Evropě výrazně závislá na dovozech ropy, plynu, uhlí a jaderného paliva. S tím souvisí dvojí riziko. Odběratel se 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. Zejména v případě rostoucí poptávky v různých částech světa se může cena energetických zdrojů vyšplhat k velmi vysokým hodnotám, přičemž spotřebitel nemá jinou šanci než cenu zaplatit. Decentralizovaný model postavený na lokálních zdrojích je pochopitelně méně citlivý na politický vývoj v Rusku či v Perském zálivu, stejně jako na výkyvy trhu s ropou.

Světová energetika se v dnešní době potýká i s rozsáhlými ekologickými iniciativami. Počátky těchto iniciativ můžeme hledat již v 70. letech minulého století, kdy se začala na mezinárodní úrovni projednávat problematika globálního oteplování. Tento problém se přisuzuje zvyšování koncentrace skleníkových plynů v atmosféře. [2]

Energetický sektor hraje v první fázi přechodu na nízkouhlíkové zdroje hlavní roli, přičemž velké procento snížení emisí, kterého bylo doposud dosaženo, bylo díky přechodu energetických společností z uhlí na plyn při výrobě energie a také díky masivním investicím do obnovitelných zdrojů energie.

Ale tento proces teprve začal. Používání klíčových technologií, jako jsou distribuované energetické zdroje, elektrická vozidla, systémy reakce na poptávku a systémy skladování energie, bude čím dál tím častější.

Řešením tohoto problému by mohlo být zvýšení podílu takzvané zelené energie v spotřebě odběratelů. Avšak zapojení obnovitelných zdrojů energie do českých a potažmo i evropských přenosových a distribučních soustav se v současné době jeví jako problémové. V případě elektřiny platí, že poptávka se musí rovnat nabídce. Tím se dostáváme k problému variabilní (nepředvídatelné) zelené energie a ke zvýšené potřebě takzvané poptávky vyrovnávající elektřině, kterou zase vyrábějí klasické elektrárny, většinou poháněné fosilními palivy. Ke kolísání dochází jak v pravidelných cyklech den-noc, tak také se změnou počasí nebo ročního období. Abychom se dočkali opravdového průlomu ve využívání obnovitelných zdrojů, je třeba řešit účinnější skladování energie. [2]

Dalším aspektem, který musí být zohledněn je to, že pasivní sítě nejsou připravené na dodávky energie z obnovitelných zdrojů, které závisí na rozmarech počasí. Jsou stavěné na stabilní dodávky elektrické energie z velkých elektráren a zapojení obnovitelných zdrojů je tedy vnímáno jako rušivý element.

Budeme-li chtít zachovat současnou životní úroveň, musíme se naučit používat technologie pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů a s využitím akumulace vyrovnávat jejich nepravidelný výkon závislý na přírodních cyklech. Do doby

vyčerpání neobnovitelných zdrojů energie mohou toto vyrovnávání zajišťovat konvenční elektrárny. [2]

S podobnými problémy se potýkají i ostatní energetické systémy, jako jsou centrální zásobování teplem nebo distribuční sítě zemního plynu. Na druhou stranu ale ve většině případů jsou tyto energetické systémy budovány, provozovány a řízeny odděleně jako samostatné celky. Příchod nových technologií, jako je kombinovaná výroba tepla a elektřiny (CHP), elektrická tepelná čerpadla, elektrická vozidla atd., však vede k nevyhnutelné integraci a interakci mezi různými energetickými systémy.

Energetické systémy proto musí zahrnovat spolupráce všech energetických odvětví, a nejen samostatných celků. V tomto ohledu pro dosažení udržitelnosti energetických systémů pozornost věnovaná úloze vytvoření integrovaných městských energetických středisek – Energy Hubu, v níž jsou na různých úrovních navzájem spolupracují systémy pro získávání a využívání energie k uspokojení potřeb energetických služeb určené lokality.

Jednou z konkrétních výzev, říká Kevin Schneider, hlavní inženýr v Pacifické severozápadní národní laboratoři (PNNL), bude způsob, jak nabídnout kompenzaci společnostem, které provozují distribuční sítě, protože výroba obnovitelných zdrojů oslabuje jejich příjmy. „Budou muset hledat jiné zdroje příjmů než kilowatty, jako jsou poradenské služby,“ říká. Schneider rovněž poznamenává, že komunikační kapacita modernizované rozvodné sítě bude muset být řádově větší, než je v současnosti požadováno, a bude zahrnovat operátory distribuční soustavy nebo jiné subjekty, aby byla mnohem větší kontrola nad majetkem třetích stran, jako jsou baterie a inteligentními topné a chladič systémy. Dalším často přehlíženým aspektem je pracovní síla, která bude vyžadována pro provoz stále sofistikovanějšího elektrického systému. [27]

Typ mechanismů, které existují pro řízení nabídky a poptávky na úrovni přenosu, bude třeba vyvinout na distribuční úrovni, což umožní malým zdrojům výroby obchodovat na místní úrovni. „Je třeba zavést nové automatizované technologické systémy, obchodní mechanismy a signály o ceně, které umožní vyvážení nabídky a poptávky na místní úrovni – to by pomohlo optimalizovat investice na přenosové a distribuční úrovni.“

Provozovatelé distribuovaných systémů odpovědní za připojení nové kapacity k distribuční rozvodové síti a zlepšení odolnosti systému prostřednictvím vhodného posílení – budou mít zásadní význam pro umožnění energetického přechodu a zajištění stability sítě. Prostřednictvím budoucí regulace, inteligentních technologií a větší interakce se zákazníky jim musí být umožněno využívat flexibilní mechanismy, jako je reakce na poptávku a kapacita úložiště. [27]

V případě podobného scénáře spotřebitel přestane být pouhým pasivním

odběratelem, naopak se stane aktivním spoluvýrobcem. Pro fungování tohoto modelu bude nutné, aby elektrická síť působila jako článek vyrovnávající nerovnováhu mezi jeho právě zapnutými spotřebiči a v téže chvíli vyráběnou domácí elektřinou. V době přebytků by síť elektřinu odebírala, v době deficitu naopak dodávala.

3.1. Integrované komunitní energetické systémy

Klíčovou roli v transformaci evropské energetiky mohou sehrát nejen státy a energetické společnosti, ale také samotní občané. Zatímco dosud byli vnímáni pouze jako odběratelé energií, nyní se stávají i aktivními výrobci. Stačí si pořídit vlastní zdroj energie, třeba již zmíněnou fotovoltaickou elektrárnu. Z klasických spotřebitelů energie se tak stávají tzv. samospotřebitelé (angl. prosumers), tedy lidé, kteří spotřebují, ukládají nebo prodávají energii z vlastních obnovitelných zdrojů. [28]

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. [28]

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 jejich 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.

Výraznější rozvoj obecní, ale i komunitní energetiky se však neobejde bez odstranění řady překážek. K těm nejvýznamnějším patří:

Finanční bariéry – týkají se zajištění financování výstavby a provozu obecních OZE

Právní bariéry – jde zejména o současné nastavení tarifní struktury, která neumožňuje zohlednit lokální sdílení elektřiny v ceně za dopravu elektřiny (levnější poplatky, pokud se elektřina spotřebuje v blízkosti zdroje na obnovitelnou energii) ani časový aspekt (levnější poplatky za distribuci elektřiny v době, kdy je větší nabídka než poptávka). Mezi právní překážky dále patří problematika provozování lokální distribuční soustavy, jakož i obtížné navazování vztahů přímo mezi výrobcem energie a zákazníkem bez účasti obchodníka s elektřinou jako prostředníka.

Bariéry chybějícího know-how – obecní OZE jako nekomerční subjekty nemají vlastní energetické manažery, nejsou připravené územní energetické koncepce pro

hospodaření s elektřinou v dané oblasti a rovněž chybí propagace konceptu komunitní energetiky.

Administrativní bariéry – zásadní překážkou může být nedostatečná doba na přípravu projektů a pomalejší rozhodování ve srovnání s komerčními subjekty. Obce musejí většinu svých záležitostí nejdříve projednávat na zastupitelstvu a schvalování rozhodnutí musí rovněž podléhat zákonu o obcích. Složitější vnitřní struktura a mechanismy rozhodování tak mohou obce oproti profesionálním podnikatelům v energetice znevýhodňovat. [33]

4. Energy HUB

Energy hubem se rozumějí sofistikované integrované energetické komunitní systémy. Tyto hybridní energetické systémy využívají decentralizované i místně dostupné zdroje energie pro uspokojení potřeb v rámci místní komunity cestou vzájemné kombinace a účinné transformace energetických zdrojů.

Integrované komunitní energetické systémy se skládají ze systémů výroby, přeměny, ukládání a spotřeby energie. Provoz Energy Hubu vyžaduje nastavení rámce řízení zdrojů mezi výrobcí energie a spotřebiteli, což následně umožňuje párování více nosičů energie, aby splňovali různé typy požadavků. V rámci takového centra může být energie vyráběná nebo transformována technologiemi, jako jsou větrné turbíny, fotovoltaika, solární kolektory, kombinované systémy výroby elektřiny a tepla, tepelné výměníky, generátory a kotle plus elektrochemická zařízení, jako jsou palivové články. Ukládání energie se typické řeší pomocí napojení baterieho úložiště. [2]

Kvůli minimalizaci energetických ztrát je výhodné, aby se konverze energií prováděla na jednom místě. V případě integrovaných komunitních energetických systémů připojených na distribuční sítě energií je také potřeba přípojních míst pro tyto distribuční sítě. Vhodným spojením těchto přípojních bodů s místem, kde probíhá konverze energií mezi sebou, případně probíhá dodatečná další výroba, a kde se může energie také ukládat. [1]

4.1. Architektura struktury EnergyHubu

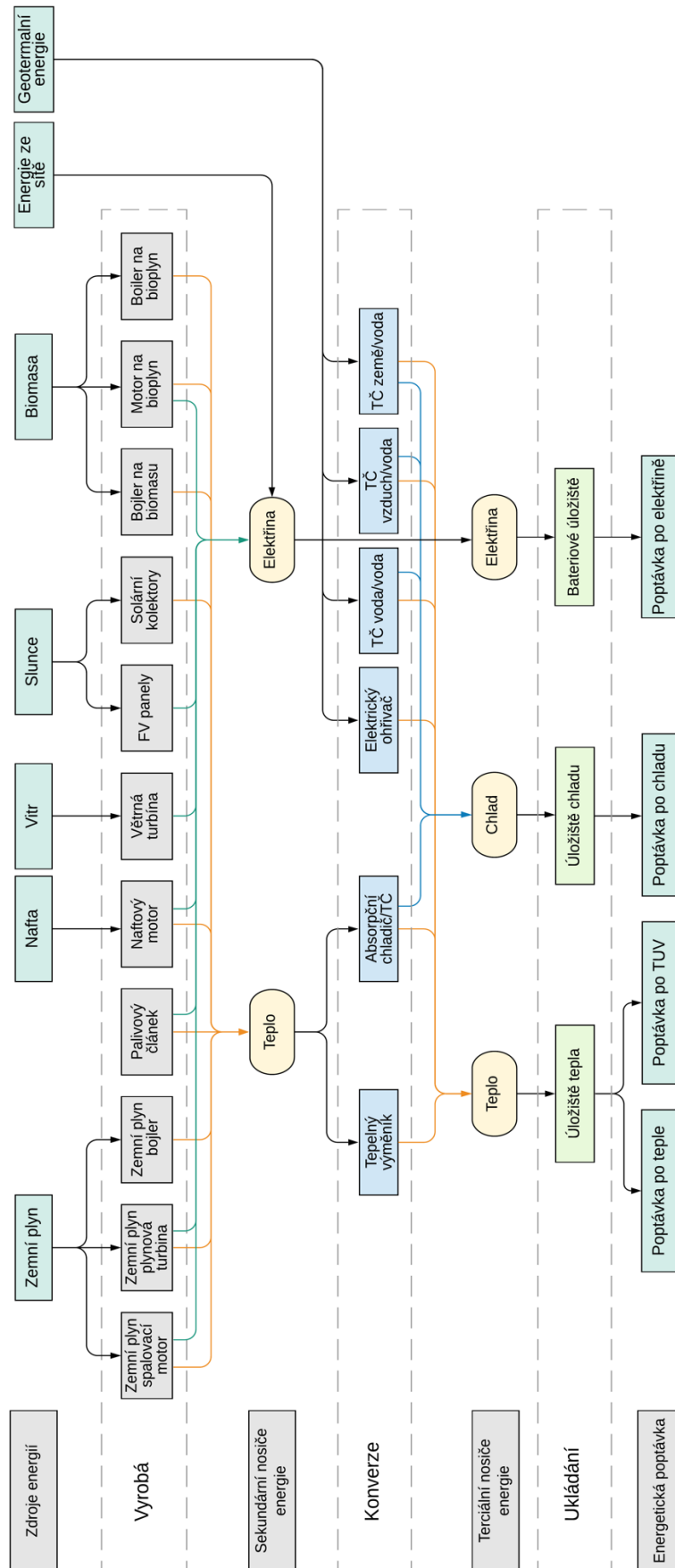
Obecný model EnergyHubu se dá rozdělit na tři odpovídající části: výroba, konverze a ukládání. Jejich organizační schéma je uvedeno na obrázku níže.

Primární energie vstupující do EnergyHubu se pak přemění na tepelnou a elektrickou energii pomocí různým produkcím technologiím v první části infrastruktury "Výroba". V další části systému pak sekundární nosiče energie (tepelná energie, elektrická energie) procházejí konverzací do terciálních druhů nosičů energie (teplo, chlad, elektrická energie). Tento proces zajišťuje konverzní část systému.

Pomocí vyvážení zátěže a řízení optimálního provozu je umožněno ukládání

terciálních nosičů energie v ukládací části struktury.

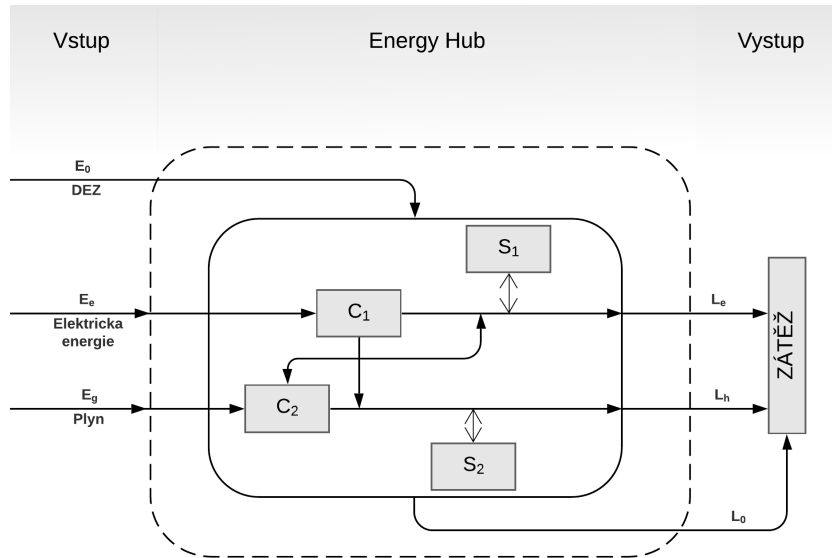
Podrobnější znázornění technologické architektury EnergyHubu je představeno na následujícím obrazce:



Obrázek 4.1.1 Technologická architektura EnergyHubu (přeloženo) [3]

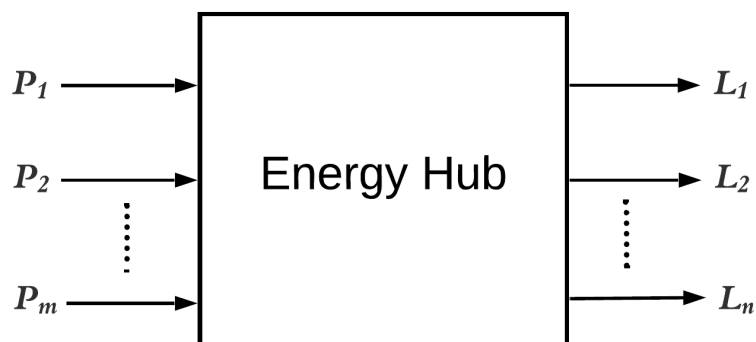
4.2. Obecný model EnergyHubu

Obecný model EnergyHubu pro zátěž specifickou pro metropolitní oblast byl představen Göranem Anderssonem ze Švýcarského federálního institutu pro technologie. Znázornění tohoto systému je na níže uvedeném obrázku. [34]



Obrázek 4.2.1 Obecný model EnergyHubu pro zátěž specifickou pro metropolitní oblast (přeloženo) [3]

Do tohoto modelu vstupují jednotlivé typy energetických nosičů, jako jsou elektrická energie E_e a zemní plyn E_g . Na výstupu z EnergyHubu jsou 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. Představenu systém zahrnuje objekty zajišťující konverze C_1 , C_2 a ukládání S_1 , S_2 výše uvedených typu energie. Základní princip vstupu, konverze a výstupy energie EnergyHubem vyjadřuje vazební matice, která je grafické znázorněna na následujících obrázcích: [1]

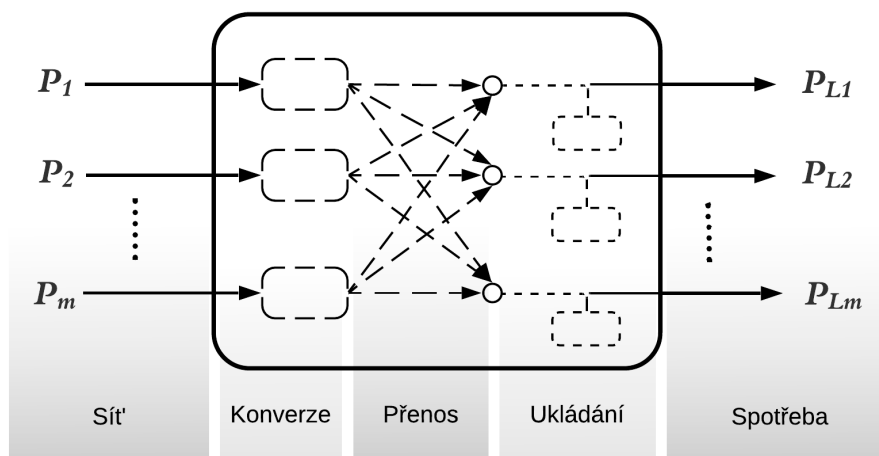


Obrázek 4.2.2 Základní princip vstupu, konverze a výstupy energie EnergyHubem [1]

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

Obrázek 3.2.3 Vazební matice EnergyHubu [1]

Kde c_{ij} je konverzní faktor mezi vstupní a výstupní formou energií $E_{(1, \dots, m)}$ (respektive $P_{(1, \dots, m)}$) je vstupní energie a $L_{(1, \dots, n)}$ je energie vystupující z EnergyHubu [1] Fungování výše uvedeného systému je znázorněno na následujícím obrázku:



Obrázek 4.2.4 Princip fungování EnergyHubu (přeloženo) [1]

Pro uspokojení poptávky po několika typech energií musí být EnergyHub vybaven takovým systémem, který umožní potřebné druhy energie vyrobit za použití jediného nosiče energie. Hybridní systém pak následně poskytuje vysokou úroveň energetické bezpečnosti prostřednictvím kombinace generačních metod pro účely zajištění maximální spolehlivosti dodávky. Napomáhá to i ke snížení nákladů na pokrytí poptávky a ke snížení emisí. [4]

Nejvýznamnějším systémem, který použitím jednoho nosiče energie umožňuje uspokojit poptávku po více druzích energie, jsou kogenerační systémy.

Nejrozšířenější variantou kogeneračních systémů jsou systémy kombinované výroby elektřiny a tepla (KVĚT). Zvýšením stupně volnosti na straně nabídky možným použitím vícera nosičů energií nebo komponent v rámci EnergyHubu vzniká prostor pro možnou optimalizaci. Vstupy a komponenty EnergyHubu se dají charakterizovat na základě ceny, emisí, dostupnosti a dalších kritériích, které umožňují optimalizovat využití zdrojů energie a komponent EnergyHubu.

4.3. Matematický model EnergyHubu

Ke studiu principů fungování tohoto systému s ohledem na jeho optimalizaci podle

jednoho nebo dalších cílových kritérií je nutné sestavit matematický model EnergyHubu jako řídicího objektu. Funkční schéma EnergyHubu, které má být vyvinuto pro analýzu provozu energetického systému s různými nosiči energie, by mělo umožnit jejich vzájemné ovlivňování a musí zohlednit následující faktory: [3]

- typy nosičů energie (elektrina, teplo, plyn atd.);
- omezení kladená na energetické nosiče, pokud jde o výkon, spotřebu,
- ztráty a nelinearitu 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 v případě výroby tepla;
- časový limit pro přepnutí na jiný nosič energie.

Algoritmická implementace bloků pro převod jednoho typu energie na jiný nebo jejich skladování energie je založená 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 rozbočovačů) víceenergetického systému je nutné vzít v úvahu charakteristiky jednotlivých komponent systému a na základě existujících podkladů určit nezbytné a dostatečné parametry těchto komponent v závislosti na zvolených objektových funkcích. [4]

4.3.1. Objektivní hodnoticí funkce

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

Objektivní hodnoticí funkce je postavená na základě cen jednotlivých energetických nosičů vstupujících do EnergyHubu a jejich denní spotřeby. Kritériem vyhodnocení této funkce je součet nákladů na tyto druhy energie. [1]

$$\min OF = \sum_t \lambda_t^a A_t + \lambda_t^b B_t + \dots + \lambda_t^n N_t \quad (4.1)$$

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

4.3.2. Poptávka a spotřeba energie

Množství energií, které vstupují do EnergyHubu, a které jsou potřebné pro uspokojení poptávky skrze přeměnu, výrobu či skladování těchto energií komponenty EnergyHubu, jsou dány součtem energií vstupující do komponent EnergyHubu [40].

$$P(t) = \sum_t A_{i,t} + A_{j,t} \dots + A_{n,t} \quad (4.2)$$

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 [4].

$$L(t) = \sum_t B_{i,t} + B_{j,t} \dots + B_{n,t} \quad (4.3)$$

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

4.3.3. Účinnost přeměny energie

Při realizace procesu technické přeměny energie z jedné formy na druhou existují omezení hustoty toku energie na výstupu konverzního systému. Každá technická komponenta má určitou mez, která vychází z velikosti tyto komponenty a schopnosti materiálu odolávat vůči teplotě, otáčkám a elektrickému proudu. Jejich hranice zařízení nemůže překročit. Přeměna, účinnost přeměny a provozní rozsahy jsou vyjádřeny jako [4]:

$$B_t^{min} < B_t < B_t^{max} \quad (4.4)$$

$$B_t = \eta_x A_t \quad (4.5)$$

$$\eta_x < 1 \quad (4.6)$$

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 [4].

4.3.4. 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 [3]:

$$SOC_t = SOC_{t-1} + \left(A_t \eta_a - \frac{B_t}{\eta_b} \right) \Delta t \quad (4.7)$$

$$A_{min} \leq A_t \leq A_{max} \quad (4.8)$$

$$B_{min} \leq B_t \leq B_{max} \quad (4.9)$$

$$SOC_{min} \leq SOC_t \leq SOC_{max} \quad (4.10)$$

Proměnná SOC vyjadřuje stav nabití úložiště, A_t je množství energie vstupující do úložiště a B_t představuje množství energie z úložiště vystupující. První rovnice 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} [3].

4.3.5. Cena energií

Pro výpočet objektivní hodnotící funkce je kritickým faktorem stanovení ceny energie. Cena energie jednotlivých komodit může být zadána jako dynamická v závislosti na časové proměnné – jako například různé cenové tarify na nákup elektřiny. Další možnost je cena statická, která zůstává konstantní v průběhu dne - to platí v případě ceny zemního plynu. [1]

4.3.6. GAMS

GAMS (General Algebraic Modeling System) je velmi pokročilý modelovací systém, kterým lze formulovat matematické modely, zejména optimalizační, pomocí výstižných algebraických výrazů a programových příkazů srozumitelných jak programátorům, tak lidem zabývajícím se návrhem matematických modelů. Nebude však činit potíže ani praktikům s pouze částečnou znalostí obojího. Skládá se z kompilátoru jazyka a sady integrovaných výkonných řešičů. GAMS je určen pro komplexní a rozsáhlé modelovací aplikace a umožňuje vytvářet obsáhlé modely, které mohou být rychle přizpůsobeny novým podmínkám a situacím. Uživatel může při úpravách měnit formulace, vybírat různé řešiče a dokonce přecházet z modelu lineárního programování do modelu nelineárního programování a to jen s velmi malými souvisejícími změnami.

Jednoduché prostředí umožňuje uživateli se soustředit na samotný problém modelování tím, že si systém sám hlídá detaily v nastavení konkrétního počítače a implementace softwaru, které by mohly zvýšit časovou náročnost výpočtů. Je uzpůsoben k řešení úloh převážně lineárního, nelineárního a celočíselného programování. Podle rozsahu a složitosti modelu je možné GAMS spustit na osobních počítačích, pracovních stanicích, sálových počítačích či super-počítačích.

Jazyk GAMS se podobá mnoha známým programovacím jazykům. Vyžaduje stručnou a exaktní specifikaci prvků a vztahů, což napomáhá k vytváření správných

modelovacích návyků. Modely jsou plně přenosné z jednoho počítače na druhý. [10]

5. Zvolená lokalita

Volba této lokality jako zájmového území pro zpracování následující praktické části diplomové práce je spojená s předchozí účastí autora ve výzkumném projektu pro Technickou agenturu ČR.

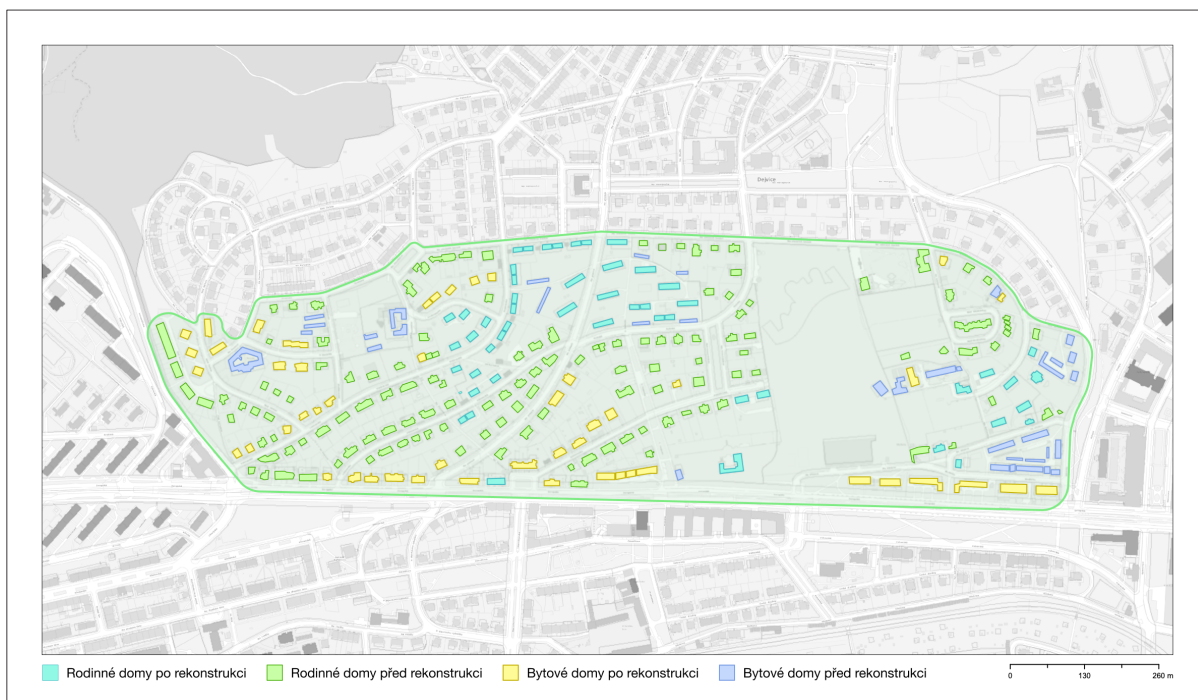
Jedná se o projekt "Národní centrum kompetence – Kybernetika a umělá inteligence TN01000024". Konkrétně autor se zúčastnil analytické přípravy pro vývoj aplikace "Městský simulační software (CSS – City Simulation Software) pro modelování, plánování a strategické rozhodování o urbánních celcích (platforma pro Smart city)", která umožňuje implementaci různých smart city modelů vytvořených v rámci dílčích odvětví (doprava, energetika, životní prostředí, urbanismus) do jednotné integrační a simulační platformy, která poskytuje holistický pohled na stávající situaci dané městské části. Pomocí integrovaných matematických modelů je možné simulovat scénáře dalšího vývoje (tzv. "what-if" scénáře). Platforma pracuje s heterogenními daty z různých informačních zdrojů, provádí jejich integraci, homogenizaci a poskytuje simulační prostředí pro porovnávání různých vývojových strategií územních celků a pro každou variantu počítá výsledné indikátory (KPI – Key Performance Indicators) a zobrazuje výsledky simulací ve webové orientovaném prostředí. [c tacr registrace]

V rámci výše uvedeného projektu autorem byl zpracován výpočet energetických spotřeb jednotlivých kategorií objektů. Následně tento výpočet a metodika jeho zpracování byli částečně použity pro stanovení požadovaných hodnot pro účely této diplomové práce.

Rozdělení území na objekty dle představených kategorií bylo zpracováno na základě mapových podkladů poskytovaných Geoportalem Praha. Jedná se primárně o mapovou aplikaci "ÚZEMNĚ ANALYTICKÉ PODKLADY HL. M. PRAHY" která nabízí možnost zobrazit si podlažnost objektu vybraného území. Další analýza týkající se počtu obyvatel řešené lokality byla provedena na základě mapové aplikace "Synthetic population model" vyvinuté v rámci projektu "Městský simulační software pro modelování, plánování a strategické rozhodování o urbánních celcích" pro TAČR (<https://starfos.tacr.cz/en/project/TN01000024#project-main>).

Zmíněná mapová aplikace udává pohled o počtu obyvatel zájmového území s přesností do jednotlivých objektů a zároveň ukazuje účely využití konkrétních objektů v této lokalitě. Mapová aplikace je přístupná na následujícím odkaze: <https://ctuprague.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6ee3c3022e3143b4856580eee5d8799a>

Vlastní rozdělení území do jednotlivých kategorií je znázorněno na následujícím obraze:



Obrázek 5.1 Rozdělení území na objekty dle představených kategorií

Řešenou lokalitou je vilová oblast v pražské čtvrti Dejvice, která zaujímá spolu s vilovou oblastí Baba vyvýšené území, vymezené údolím Šáreckého potoka, skalním ostrohem na východní straně Baby, nárazovým břehem meandrů Vltavy, údolím bývalého Dejvického potoka a umělým zářezem v místě Horoměřické ulice.

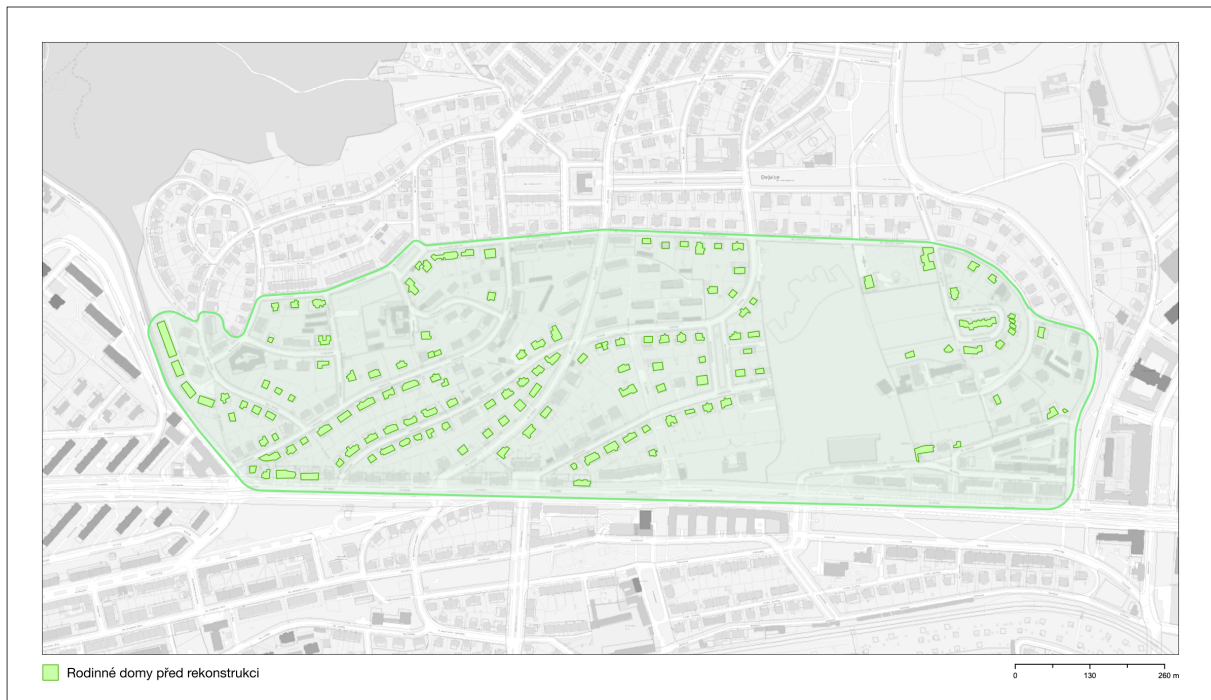
Jako obytná čtvrť vznikla ve 20. letech 20. století v rámci rozšiřování hlavního města Československa Prahy. Do druhé světové války zde bylo vystavěno mnoho architektonicky zajímavých vil a rodinných domů – především se jedná o funkcionalistické stavby, oblast získala vlastní školu a další občanskou vybavenost.

Po druhé světové válce byly dosud nezastavěné parcely zastavovány odlišným způsobem. V 50. letech 20. století byly zastavěny prostory dvoupatrovými domy ve stylu socialistického realismu, v 80. letech doplněné střešními vestavbami.

Pro potřeby zjednodušení výpočtů z celkové množiny objektů nacházejících se v řešeném území byli vybrány 4 druhy staveb, reprezentující typické stavební objekty vyskytující se v dané lokalitě. [32]

5.1. Charakteristická zástavba řešeného území

5.1.1. Rodinné domy před rekonstrukcí



Obrázek 5.1.1.1 Identifikace typologie budov – mapa území



Obrázek 5.1.1.2 Identifikace typologie budov – znázornění "Rodinný dům před rekonstrukcí" []

Běžný třípodlažní podlažní rodinný dům, bez podsklepení, jednoduchého geometrického tvaru s půdními prostory nevyužívanými k pobytu. Konstruktivní řešení domu odpovídá požadavkům roku výstavby 1932, v průběhu užívání byla provedena pouze rekonstrukce střechy a fasády bez zateplení. Veškeré vnější a vnitřní zdi včetně zdí, které nemají nosnou funkci, jsou postaveny z plných pálených cihel 290x140x65 (příloha C ČSN 730540-3). Vnější omítka je vápenocementová (d = 10mm), vnitřní omítky (d = 15mm) jsou vápenné. Stropy jsou dřevěné spřažené s betonem. V celém rozsahu objektu jsou použita dvojitá špaletová okna netěsněná. Střecha má tvar jehlanu a je pokryta pálenou hliněnou krytinou typu Bobrovka

18x38. Dům nedisponuje ústředním topením, a současnými zdroji tepla jsou elektrická akumulční kamna AEG využívající topného tarifu a ovládaní HDO v součinnosti s prostorovým tepelným termostatem. Zdrojem teplé vody pro objekt je elektrický akumulční ohřívač o objemu 125 l, který taktéž využívá ovládaní HDO. Větrání v rozsahu celého domu je zajišťováno přirozeně a závisí pouze na potřebách uživatele. [22]

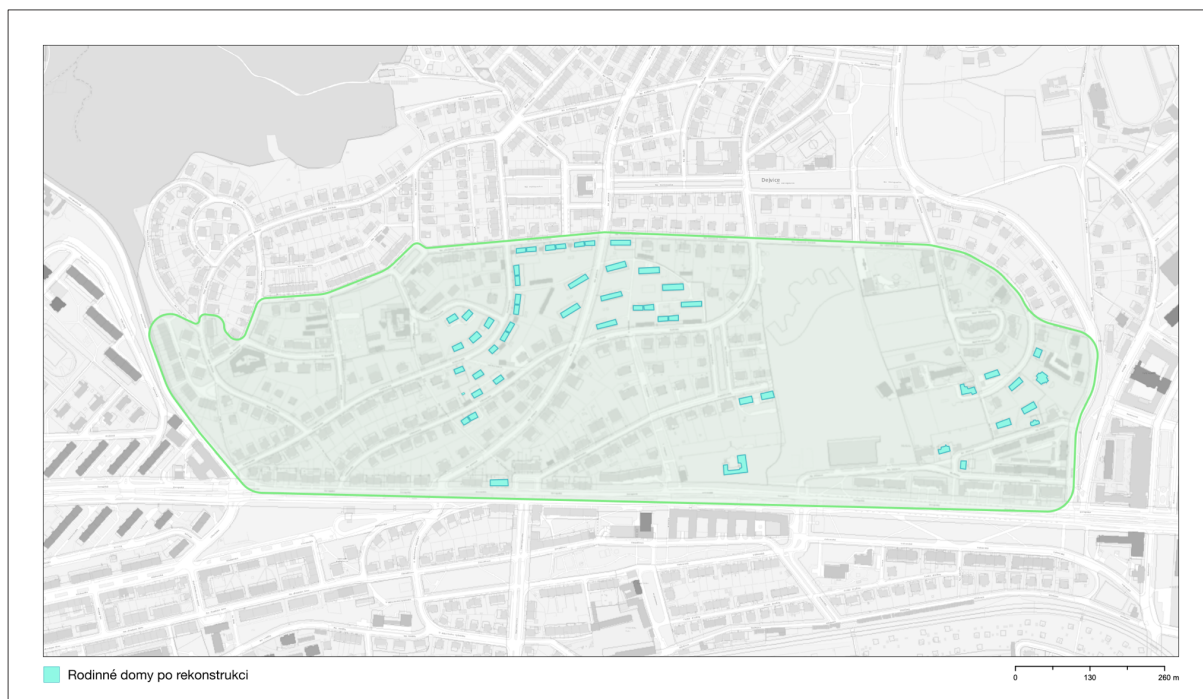
Počet podlaží	3
Celková obytná plocha [m ²]	306
Plocha obálky celkem [m ²]	809,1
Celkový vnější objem budovy [m ³]	1414,1
Pocet domacnosti	1
Fáze výstavby:	1932

Tab. 5.1.1.1 Popis budovy [22]

Typ ochlazované konstrukce	Plocha	Součinitel	Měrná ztráta
	S [m ²]	Uj [Wm ² /K]	HT [W/K]
Obvodové stěny	494,13	1,22	649,25
Podlaha na zemině	136	0,57	99,21
Střecha	134,92	1,08	159,21
Dřevěná okna dvojitá netěsněná	38,11	2,35	89,56
Vstupní dřevěné dveře	5,94	2,3	11,66
Celkem	809,1		982,98
Průměrný součinitel prostupu tepla Uj [Wm ² /K]		1,21	

Tab. 5.1.1.2 Parametry budovy [22]

5.1.2. Rodinné domy po rekonstrukci



Obrázek 5.1.2.1 Identifikace typologie budov – mapa území



Obrázek 5.1.2.2 Identifikace typologie budov – znázornění "Rodinný dům po rekonstrukci" []

Běžný rodinný dům vyprojektovaný v roce 2002. Celá stavba má dvě nadzemní podlaží a je tvořena jedním celkem rozděleným do dvou zón – obytné zóny a technického zázemí se vstupní místností. Dům je trvale obývaný 3 osobami. V přízemí se nachází obytný prostor spojený s kuchyní a jídelnou, z které je vstup na terasu, koupelna, ložnice, vstupní místnost, technická místnost a chodba se schodištěm do prvního pátrá. V patře jsou další dvě ložnice, koupelna, šatna a malá technická místnost. Nepodsklepený objekt je založen na betonových pásech. Obvodové stěny, příčky v přízemí, překlady a stropy jsou vyhotoveny z tvárnice Porotherm. Obvodové stěny jsou nezateplené vyjma severozápadní stěny. Příčky v

prvním podlaží jsou ze sádkartonových desek připevněných na ocelové konstrukci. Sedlová střecha je řešena jako dřevěný krov s pozednicí zakotvenou do železobetonového ztužujícího věnce. Střešní plášť je dvouvrstvý s řádně provětrávanou mezerou mezi střešní krytinou montovanou na křížovém laťování a krovem vyplněným tepelnou izolací z minerální vaty. Vytápění zajišťuje ocelový teplovodní kotel na tuhá paliva značky Etko s ručním přikládáním. Jedná se o starší model a jeho účinnost nepřesahuje 60%. Jako paliva se používá kusové dřevo, výjimečně, v případě nedostatku dřeva, černé uhlí. V jednotlivých místnostech je teplo sdíleno pomocí otopných těles napojených na dvoutrubkový systém. Součástí otopné soustavy je expanzní nádoba. Teplá užitková voda je během otopné sezóny ohřívána kotlem přes tepelný výměník v zásobníku teplé vody na ve zbytku roku elektrickou energií. [21]

Počet podlaží	2
Celková obytná plocha [m ²]	231
Plocha obálky celkem [m ²]	526,9
Celkový vnější objem budovy [m ³]	644,2
Pocet domacnosti	1
Fáze výstavby:	2002

Tab. 5.1.2.1 Popis budovy [21]

Typ ochlazované konstrukce	Plocha	Součinitel	Měrná ztráta
	S [m ²]	Uj [Wm ² /K]	HT [W/K]
Obvodové stěny	199,8	0,20	59,14
Podlaha na zemině	133,4	0,52	82,84
STŘECHA	177,1	0,20	52,60
Okna	20	1,20	26,00
Dveře	7,6	1,20	9,88
CELKEM	537,9		291,66
Průměrný součinitel prostupu tepla Uj [Wm ² /K]			0,54

Tab. 5.1.2.1 Parametry budovy [21]

5.1.3. Bytové domy po rekonstrukci



Obrázek 5.1.3.1 Identifikace typologie budov – mapa území



Obrázek 5.1.3.2 Identifikace typologie budov – znázornění " Bytové domy po rekonstrukci" []

Bytový dům o třech bytech, na který v západním směru navazuje řada čtyř řadových rodinných domů podobného typu. Dům je nepodsklepený a skládá se z přízemí, 1. patra a obytného podkroví. Celkem má tedy 3 podlaží nadzemní. Objekt je obdelníkového tvaru, ze kterého centricky, severozápadním směrem, mírně vystupuje schodišťový rizalit a je zastřešen šikmou sedlovou střechou, ze které vystupují výrazné vikýře. Čelní fasáda je orientována severozápadně, zadní fasáda jihovýchodně. Dům je zděný, obvodové zdivo je z cihelných bloků typu "Therm" tl. 440 mm. Západní štítová zeď je společná se sousedním domem, východní štítová zeď je volná tj. sousedí s venkovním vzduchem, štítové zdi jsou z téhož zdiva typu "Therm" tl. 440 mm. Výjimkou je lodžie centricky umístěná v podkroví směrem na jihovýchod, která je dle projektu obezděná o 40 mm tenčím zdivem. Podle zjištění na

místě bylo obvodové zdivo navíc opatřeno vnějším kontaktním zateplením, pravděpodobně v tl. 50 mm izolantu. Stropy jsou z předepjatých dutinových stropních železobetonových panelů typu Spiroll. Krov je převážně dřevěný, na střeše jsou klasické střešní tašky. Podkroví je zatepleno minerální vlnou Rockwool tl. 180 mm a to v šikminách obytné části mezi krokvy a ve střední části nad konstrukcí podhledu. Špička krovu je bez využití, nezateplená. Zateplené jsou též podlahy přízemí, podle projektu obsahují tepelnou izolaci Rockwool RT v tl. 65 mm. Okna domu, podobně jako balkónové a vstupní dveře, jsou novodobého moderního typu, s tepelně-izolačním zasklením, dle projektu s $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Objekt je vytápěný ústředním vytápěním tj. teplovodní otopnou soustavou s tepelným spádem 75/60 °C s otopnými tělesy a konvektory umístěnými převážně u vnějších stěn. Konvektory jsou bezventilátorové a jsou umístěné pod mřížkou umístěnou před jednotlivými balkonovými dveřmi. Zdroj tepla pro vytápění a ohřev vody je pro každou jednotku zvlášť, systémy jsou tedy oddělené. Tímto zdrojem situovaným v každé ze tří jednotek je nástěnný kotel na zemní plyn Protherm Condens 25 KKO-A (H-CZ) R1 o výkonu 25,0 KW, který je zapojený v sestavě s nepřímo ohříváním zásobníkem teplé vody Vaillant VIH CQ 150/2 R1 o objemu 150 litrů. Rozvody teplé vody jsou dle projektu s cirkulací. Jako doplňkové vytápění v koupelnách jsou instalovány podlahové elektrické topné rohože. [20]

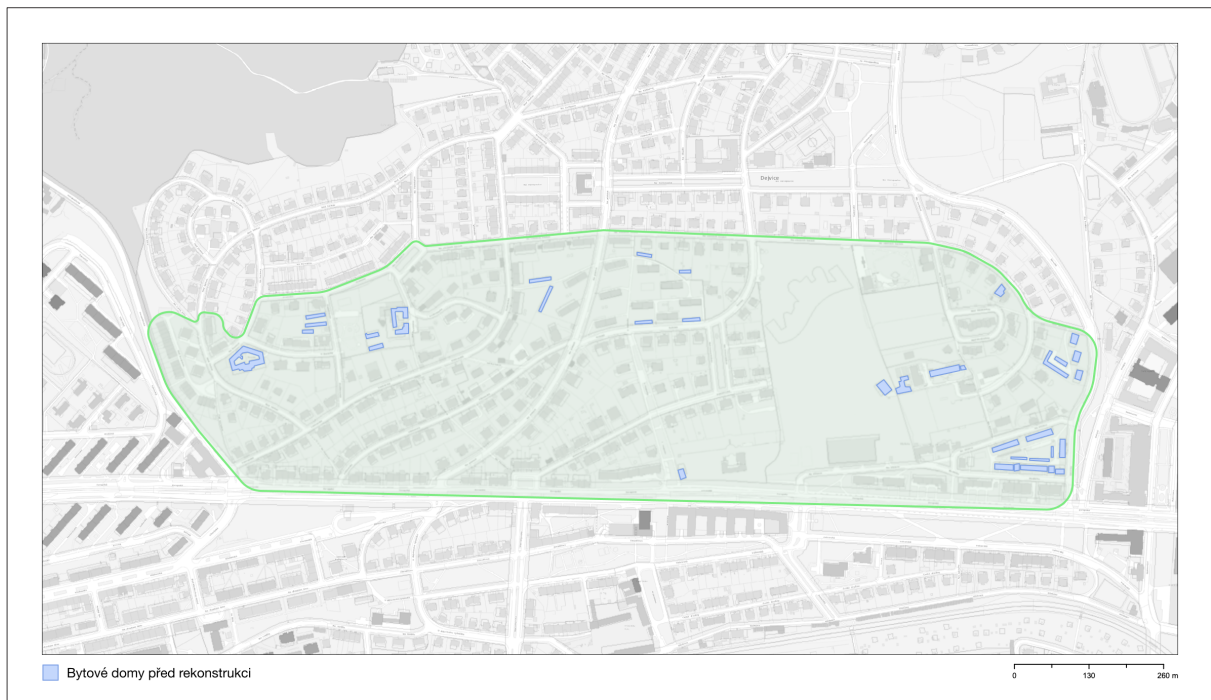
Počet podlaží	3
Celková obytná plocha [m ²]	675,1
Plocha obálky celkem [m ²]	1013,1
Celkový vnější objem budovy [m ³]	1948,2
Pocet domacnosti	3
Fáze výstavby:	2008

Tab. 5.1.3.1 Popis budovy [20]

Typ ochlazované konstrukce	Plocha	Součinitel prostupu tepla	Měrná ztráta prostupem tepla
	S [m ²]	U_j [Wm ² /K]	H_T [W/K]
Obvodové stěny	437,9	0,2	85,37
Podlaha na zemině	227,3	0,54	61
STŘECHA	86,4	0,29	25,05
Okna	45,2	1,2	54,04
Dveře	44,4	1,2	54,09
CELKEM	261,4		230,33
Průměrný součinitel prostupu tepla U_j [Wm ² /K]			0,88

Tab. 5.1.3.1 Parametry budovy[20]

5.1.4. Bytové domy před rekonstrukcí



Obrázek 5.1.4.1 Identifikace typologie budov – mapa území



Obrázek 5.1.4.1 Identifikace typologie budov – znázornění " Bytové domy před rekonstrukcí" []

Bytový dům reprezentuje typovou panelovou zástavbu objektů vybudovaných v roce 1984. Objekt je čtyřpodlažní, má plochou střechu, je podsklepený a je založený na skalnatém podkladu bez spodní vody. V každém typickém podlaží jsou 4 bytové jednotky. V suterénu je prádelna, sušárna, sklepní kóje a technická místnost. Objekt dosud neprošel žádnou rekonstrukcí obálky budovy. Dodávka tepla pro vytápění objektů je zajišťována nedalekým centrálním zásobováním teplem (CZT), v tomto případě jde o plynovou výtopnu provozovanou firmou Veolia Energie ČR, a.s. V suterénu objektu se nachází tlakově nezávislá předávací stanice. Regulace probíhá na předávací stanici kvalitativně v závislosti na venkovní teplotě (ekvitermně), ta

upravuje teplotu otopné vody tak, aby výkon systému odpovídal aktuálním tepelným ztrátám objektu. Otopná soustava v dómu je teplovodní dvoutrubková se spodním rozvodem, přirozeným oběhem ačlánekovými litinovými otopnými tělesy, umístěnými v jednotlivých bytových jednotkách na stěnách pod okny. Otopná tělesa jsou projektově navržena na teplotní spád 92,5/67,5°C. Otopná soustava plně pokrývá tepelnou ztrátu prostupem a větráním. Příprava teplé vody probíhá v každé bytové jednotce individuálně, a to přímým ohřevem elektrickými akumulacími ohříváči typu EO 903–160 I, nebo EZ125I na požadovanou teplotu 60°C. Tlakové akumulacími ohříváče jsou osazeny v prostoru vstupní chodby každé bytové jednotky. [19]

Počet podlaží	3
Celková obytná plocha [m ²]	1461,6
Plocha obálky celkem [m ²]	1952,04
Celkový vnější objem budovy [m ³]	4880,4
Pocet domacnosti	17
Fáze výstavby:	1984

Tab. 5.1.4.1 Popis budovy [19]

Typ ochlazované konstrukce	Plocha	Součinitel prostupu tepla	Měrná ztráta prostupem tepla
	S [m ²]	U _j [Wm ² /K]	H _T [W/K]
Obvodové stěny	808,96	0,6	565,32
Strop nad suterénem	365,4	0,9	164,78
STŘECHA	348,6	0,317	145,53
Okna	257,28	2,9	771,84
Dveře			
CELKEM	1238,04		1337,16
Průměrný součinitel prostupu tepla U _j [Wm ² /K]			1,08

Tab. 5.1.4.1 Parametry budovy [19]

5.2. Celkový počet staveb v řešeném území dle jednotlivých klastrů

Klastr	Klastry zahrnují seskupení objektu v ulicích:	Kategorie	Počet objektů	Počet osob	Počet domácností
1	Na bartonce Na pískách U hadovky	3	24	216	72
2	U Hadovky Na pískách	3	13	117	39
3	Vilímovská Na pískách	3	17	153	51
4	Vilímovská Na pískách	1	4	12	4

5	Na stupních Evropská	1	8	24	8
6	Na stupních Evropská	3	4	36	12
7	Vostrovska Vilímovská	1	2	6	2
8	Vostrovska Vilímovská	3	12	108	36
9	Pod Berankou Na stupních	3	8	72	24
10	Pod Berankou Na stupních	1	2	6	2
11	Pod Berankou Vostrovska	3	10	90	30
12	Na černé hore Na Berance Zvonicka	1	20	60	20
13	Horomericka Pod Berankou	2	10	30	10
14	Prazakovska Na viničných horách	1	10	30	10
15	Prazakovska Na viničných horách	3	21	189	63
16	Na vinných horách Na karlovce Kozlovská Na kotlarce	3	31	279	93
17	Na vinných horách Na karlovce Kozlovská Na kotlarce	2	25	75	25
18	Na vinných horách Na karlovce Kozlovská Na kotlarce	1	12	36	12
19	Evropská U hadovky	2	12	36	12
20	Sušička Nad Komornickou	3	10	90	30
21	Sušička Nad Komornickou	1	3	9	3
22	Duchoslavka	4	7	336	112
23	Šárecká Karlovka	4	5	240	80

Tab. 5.2.1 Počet staveb v řešeném území dle jednotlivých klastrů

6. Spotřeby energií

Pro zjištění poptávek po energiích spotřebiteli vdané oblasti, která jsou vstupními daty do modelu EnergyHubu, je potřeba stanovit spotřeby jednotlivých energií.

Jako výpočtový den byl stanoven 15. leden, jelikož je statisticky nejčastěji nejchladnějším dnem v roce [56]. Jelikož jsou dány spotřeby elektrické energie za rok 2015, bylo počítáno i s cenami jednotlivých energií za rok 2015.

Pro potřeby výpočtů bylo uvažováno, že jeden byt obývají 3 lidé [23].

6.1. Spotřeba tepla na vytápění

Hodinovou spotřebu tepla na vytápění určíme podle vztahu: [34]

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

Kde $Q_{VYT,H}$ je hodinová spotřeba tepla na vytápění a Q_c je tepelná ztráta objektu

Tepelnou ztrátu objektu můžeme vyjádřit jako: [34]

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

Kde U_{em} je průměrný součinitel prostupu tepla, S je plocha obálky budovy a $(t_i - t_e)$ je rozdíl exteriérové a interiérové teploty.

Venkovní výpočtová teplota pro Prahu je stanovena na -12 °C a interiérová teplota byla stanovena na 20 °C.

Hodinová spotřeba tepla na vytápění stanovena z parametrů budov a teplot a je shrnuta v následující tabulce: [34]

Kategorie objektu	Plocha obálky budovy	Průměrný součinitel prostupu tepla	Exteriérová teplota	Interiérová teplota	Tepelná ztráta objektu	Hodinová spotřeba tepla na vytápění	Počet objektů v dané kategorii	Hodinová spotřeba tepla na vytápění v dané kategorii
	S [m ²]	U_j [Wm ² /K]	t_e [c°]	t_i [c°]	Q_c [W]	$Q_{vyt,h}$ [kW]		$Q_{vyt,h}$ [kW]
Rodinný dům 1	809,1	1,21	-12	20	31 455,36	31,46	61	1918,78
Rodinný	526,9	0,54	-12	20	9 142,29	9,14	47	429,69

dům 2								
Bytový dům 3	1013	0,88	-12	20	28 563,03	28,56	150	4284,46
Bytový dům 4	1952,04	1,08	-12	20	67 466,38	67,47	12	809,60
							Celkem [kW]	7442,52

Tab. 6.1.1 Hodinová spotřeba tepla

Hodinová spotřeba tepla na vytápění v dané oblasti je:

7442,52 kW.

6.2. 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: [34]

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

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 $10 \text{ }^\circ\text{C}$).

Počet osob žijících v dané oblasti a množství denně spotřebované teplé vody:

Klastr	Počet osob	Množství teplé vody na osobu a den [m ³]	Množství teplé vody na den [m ³]
1	216	0,082	17,71
2	117		9,59
3	153		12,55
4	12		0,98
5	24		1,97
6	36		2,95
7	6		0,49
8	108		8,86
9	72		5,90
10	6		0,49
11	90		7,38
12	60		4,92

13	30		2,46
14	30		2,46
15	189		15,50
16	279		22,88
17	75		6,15
18	36		2,95
19	36		2,95
20	90		7,38
21	9		0,74
22	336		27,55
23	240		19,68
		CELKEM	184,50

Tab. 6.2.1 Množství denně spotřebované teplé vody

Hodinová potřeba TV je denní potřeba TV vztažená na jednu hodinu, tzn. vydělená počtem hodin během dne, tj. 24 hodinami.

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

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) [34]

Hodinová spotřebu tepla na ohřev teplé vody [kW]	Denní spotřeba tepla na ohřev teplé vody [kW]
401,86	9644,74

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

9 644,74 kW.

6.3. Spotřeba plynu

Předpokladem pro určení spotřeby plynu v zadané oblasti je, že se plyn používá pouze na vaření. Roční průměrná spotřeba plynu na vaření je odhadována na 200 kWh/osobu za rok. [34]

Jelikož jde o dané množství spotřeby plynu za rok na osobu a cena plynu je povětšinou v průběhu roku neměnná, je tato roční spotřeba plynu rozpočítána do každé hodiny stejně nehlédě na hodinu v daném dni:

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

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). [34]

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

Kde $Q_{p,h}$ je hodinová spotřeba plynu, $Q_{p,d}$ je denní spotřeba plynu a τ počet hodin ve dni (24 hodin).

$$Q_{p,d} = \frac{200}{365} \quad (6.7)$$

$$Q_{p,d} = 0,55 \text{ kW/osobu za den} \quad (6.8)$$

$$Q_{p,h} = \frac{0,55}{24} \quad (6.9)$$

$$Q_{p,h} = 0,02 \text{ kW/osobu za hodinu} \quad (6.10)$$

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

Spotřeba plynu na vaření je shrnuta v tabulce Tab. 6.3.1

Klastr	Počet osob	Hodinová spotřeba plynu na osobu [kW]	Hodinová potřeba plynu [kW]
1	216	0,02	4,32
2	117		2,34
3	153		3,06
4	12		0,24
5	24		0,48
6	36		0,72
7	6		0,12
8	108		2,16
9	72		1,44
10	6		0,12
11	90		1,80
12	60		1,20

13	30		0,60
14	30		0,60
15	189		3,78
16	279		5,58
17	75		1,50
18	36		0,72
19	36		0,72
20	90		1,80
21	9		0,18
22	336		6,72
23	240		4,80
	CELKEM		45,00

Tab. 6.3.1 Spotřeba plynu na vaření

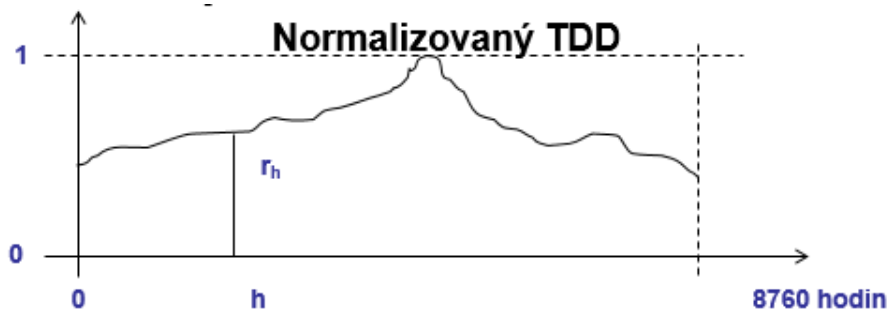
6.4. Spotřeba elektrické energie

Skutečnou hodinovou spotřebu elektrické energie jedné domácnosti vypočteme podle přepočtených 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. Problematika tvorby a aplikace TDD je podrobně popsána ve vyhlášce č. 541/2005 Sb., o pravidlech trhu s elektřinou. Jsou využívány ke stanovení odhadu pravděpodobného průběhu spotřeby konkrétního odběrného místa v čase a zohledňují celou řadu faktorů, které ovlivňují modelování spotřeby [12]:

- Spotřeba různých typů odběratelů v čase
- Rozdílná spotřeba v průběhu roku
- Vytvoření diagramů na základě skutečných měření reprezentativního prvku odběratelů
- Výsledkem jsou průměrné hodinové hodnoty pro každý den v roce
- Pro každý kalendářní rok jsou vždy vytvářeny nové TDD

Tímto způsobem jsou vytvořeny normalizované TDD. Normalizovaný TDD_n je 8760 relativních hodnot průměrných hodinových odběrů v roce, které jsou vztaženy k hodnotě ročního maxima z těchto průměrných hodinových odběrů, které byly určeny z měření reprezentativních vzorků. To dokládá následující obrázek. [12]



Obrázek 6.4.1 Typový diagram dodávek (TDD) [12]

Konkrétně použijeme typový diagram dodávek 4, který je určen pro domácnosti bez tepelného využití elektrické energie.

Typové diagramy dodávek byly získány ze stránek OTE [12]. Výpočet podle vzorce:

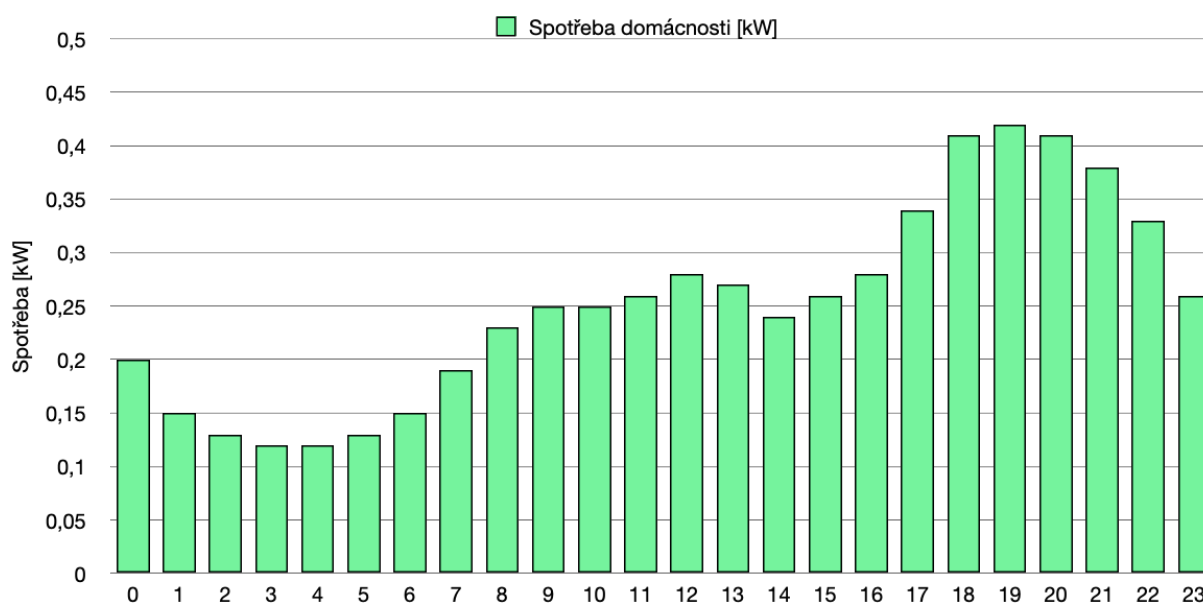
$$O_h = O_r * \frac{r_h}{\sum_{h=1}^{8760} r_h} \quad (6.11)$$

Kde O_h je hodinová spotřeba elektrické energie, O_r je roční spotřeba odběrového místa, r je hodinový koeficient a $\sum_{h=1}^{8760} r_h$ je součet hodinových koeficientů celého daného roku [34].

Hodina	Koeficient	Součet koef.	Spotřeba domácnosti [kW]
0	0,3530899	3 865,95	0,20
1	0,268954		0,15
2	0,2377329		0,13
3	0,2111445		0,12
4	0,2183508		0,12
5	0,2414484		0,13
6	0,2692067		0,15
7	0,3456215		0,19
8	0,4094955		0,23
9	0,4487839		0,25
10	0,4534914		0,25
11	0,4741837		0,26
12	0,4967853		0,28

13	0,4790129		0,27
14	0,4378808		0,24
15	0,467305		0,26
16	0,5120402		0,28
17	0,6165128		0,34
18	0,73712		0,41
19	0,7525153		0,42
20	0,7441204		0,41
21	0,6907377		0,38
22	0,5952402		0,33
23	0,4697944		0,26

Tab. 6.4.1 Hodinová spotřeba elektrické energie



Obrázek 4.4.1 Profil spotřeby elektřiny jednou domácností

Pro potřeby výpočtu se počítá jeden byt jako jedna domácnost. Každá domácnost se skládá ze 3 osob.

Podrobný výpočet hodinové spotřeby elektřiny pro každý samostatný klášter objektů je v příloze diplomové práce. Hodinová spotřeba elektrické energie pro celkový soubor všech klastrů dohromady je shrnutý v následující tabulce:

Počet klastrů	23
Celkový počet objektů	270
Celkový počet domácností	750
Celkový počet osob	2250

Tab. 6.4.2 Parametry území

Hodinová spotřeba elektrické energie v zadané oblasti :

Hodiny	Počet domácností v oblasti	Spotřeba 1 domácnosti [kW]	Celková Hodinová spotřeba oblasti [kW]
0	750	0,20	150,0
1		0,15	112,5
2		0,13	97,5
3		0,12	90,0
4		0,12	90,0
5		0,13	97,5
6		0,15	112,5
7		0,19	142,5
8		0,23	172,5
9		0,25	187,5
10		0,25	187,5
11		0,26	195,0
12		0,28	210,0
13		0,27	202,5
14		0,24	180,0
15		0,26	195,0
16		0,28	210,0
17		0,34	255,0
18		0,41	307,5
19		0,42	315,0
20		0,41	307,5
21		0,38	285,0
22		0,33	247,5
23		0,26	195,0

Tab. 6.4.3 Hodinová spotřeba elektrické energie

Denní spotřeba elektrické energie v zadané oblasti je dána součtem hodinových

spotřeb elektrické energie v zadané oblasti. Denní spotřeba elektrické energie v zadané oblasti činí:

4 545 kWh.

7. Fotovoltaické panely

Snížení množství síťově dodávané elektřiny se dá dosáhnout pomocí zapojení obnovitelných zdrojů energie. V současné době jedním z nejpobulárnějších řešení z dostupných na českém trhu je zapojení systému fotovoltaických panelů. Využití solární energie je ekologické šetrné vůči okolnímu prostředí a přináší spousty výhod.

Výkon a velikost fotovoltaické elektrárny je závislý na ploše, která je k dispozici pro umístění fotovoltaických panelů a liší se pro šikmé a rovné střechy. Na rovné střechy se panely naklání pomocí konstrukce na jih ideálně s úhlem 15° . Mezi panely je potřeba nechat rozestupy, aby si nestínily. Nutná plocha pro 1 kWp je cca 10 m². [15]

Řešená lokalita je ve větší míře zastavena historickou vilovou zástavbou, zejména jsou to objekty s šikmou střechou.

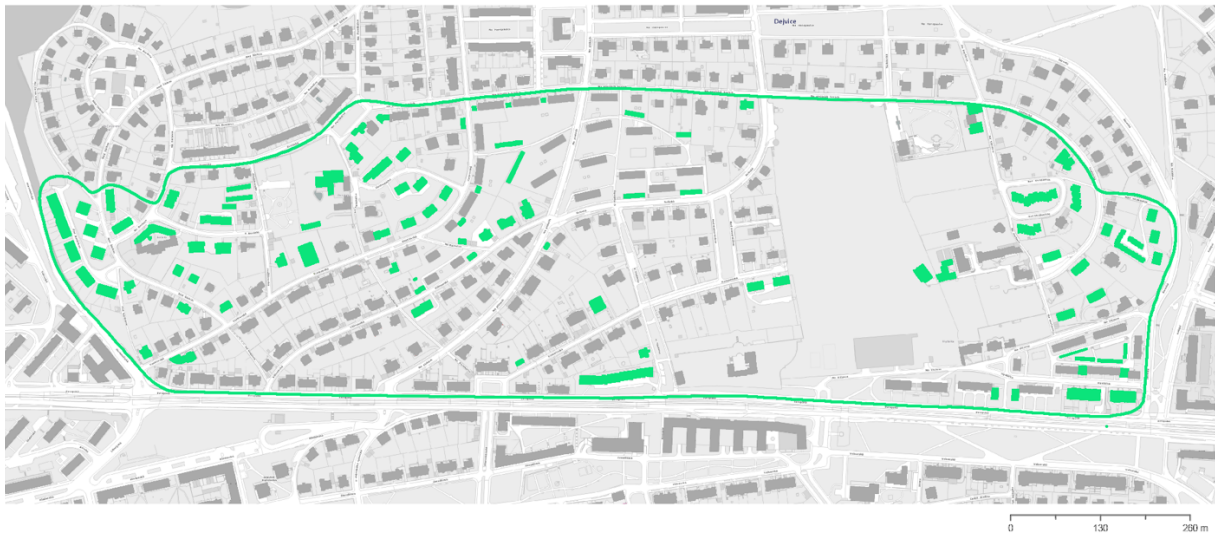
Pro tento druh staveb nebylo z technického hlediska možné spočítat odhad plochy dostupné pro instalace panelů z důvodu rozmanité velikosti stavebních objektů a jejich velkému počtu. Proto pro účely simulace energy hubu bylo řešeno uvažovat pro návrh solární elektrárny pouze prostor dostupný na střechách staveb s plochou střechou.

7.1. Dostupná plocha pro instalaci fotovoltaických panelů

Pro identifikaci objektů s plochou střechou byla použita mapa střešní krajiny Prahy, která je přístupná na stránkách Geoportalu Praha. Z této mapy pak byla vypočítána střešní plocha jednotlivých objektů a vzhledem k typickému umístění na střechách obytných objektů technických zařízení, změřené hodnoty pak byly zredukované o 50%. Navzdory poměrně velké ploše střech je prostor pro instalaci fotovoltaických panelů velmi malý: vzhledem k přítomnosti fyzických překážek – větrací šachty, komíny, hromosvody, parabolické antény;

Tento postup v podstatě umožňuje návrh minimálně možného počtu panelů pro zkoumanou lokalitu.

Objekty s plochou střechou v řešeném území ukazuje následující obrázek:



Obrázek 5.1.1 Celkový přehled – objekty s plochou střechou v řešené lokalitě

Pro účely vytvoření matematického modelu Energy Hubu byli vybrány fotovoltaické panely od firmy Trina Solar. Velikost a výkonové charakteristiky panelu jsou shrnuté v následující tabulce:

Název	Trina Solar TSM-300DD05A.08(II)
Výrobce	Trina Solar
Délka [mm]	1650
Šířka [mm]	992
Plocha [m ²]	1,64
Max. účinnost panelu	18,9 %
Maximální systémové napětí	1000V
Typ buněk	Mono-c-Si
Nominální výkon panelu [Wp]	300
Jmenovité napětí [Vmpp]	32.6V
Maximální proud při zátěži [Impp]	9.19A
Napětí naprázdno [Voc]	39.8V

Tab. 7.1.1 Výkonové charakteristiky panelu Trina Solar

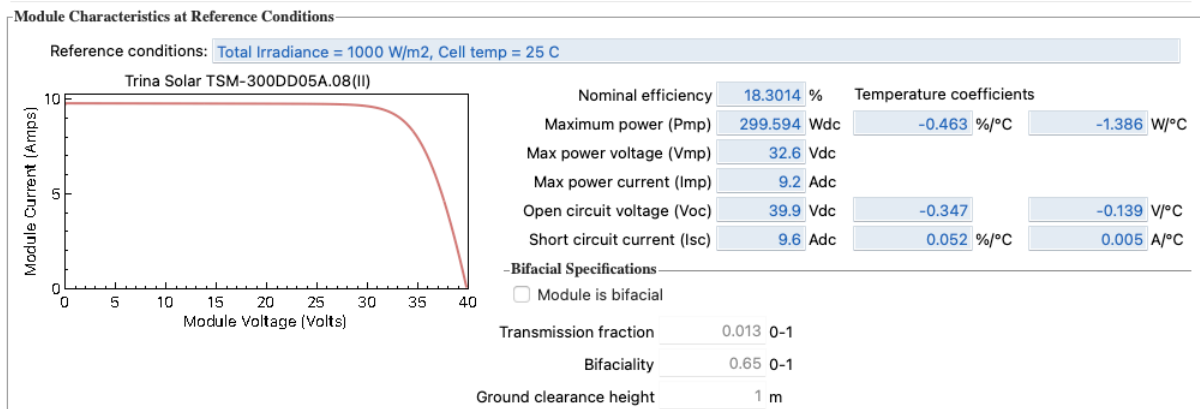
Pomocí softwaru Archicad byla dopočítána plocha střech jednotlivých objektů a následně dostupné množství panelů, vycházející z rozměrů jednotlivých modulu. Z výpočtů vychází, že v řešeném území se nachází 90 objektů s plochou střechou.

7.2. Simulace výkonu FV panelu pomocí výpočtového nástroje SAM

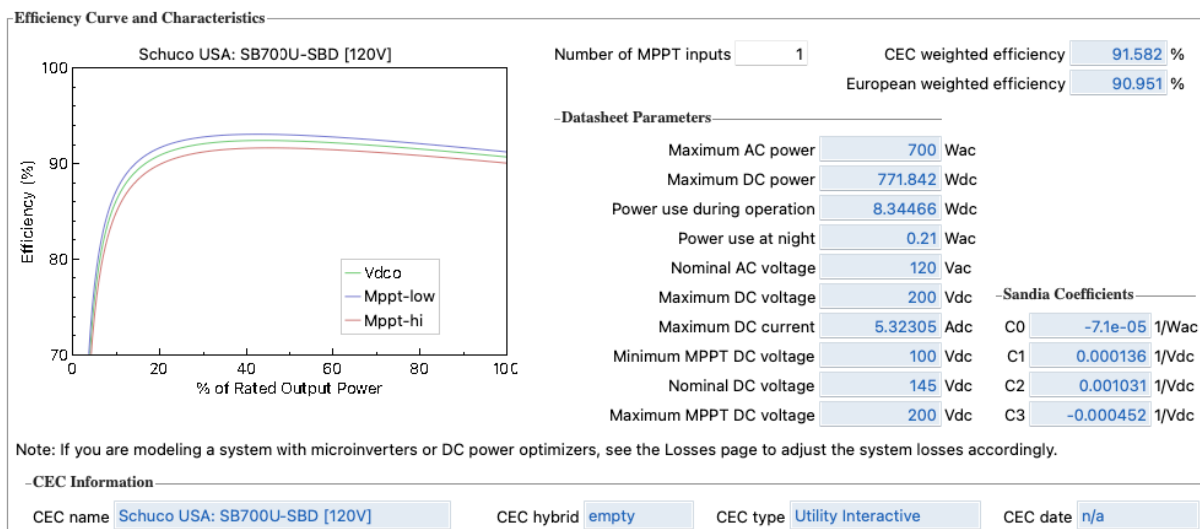
Z důvodu potřeby nalezení přesnějšího teoretického výkonu

fotovoltaického systému byl pro návrh použit simulační výpočtový nástroj SAM (Systém Advisir Model), který poskytuje Národní laboratoř pro obnovitelné zdroje energie („NREL“), kterou provozuje Aliance pro udržitelnou energii, LLC („Aliance“) pro americké ministerstvo energetiky („DOE“).

V výše uvedené softwaru byla nasimulována konfigurace modulu, který se skládá z 4 panelů Trina Solar a inverteru Schuco USA: SB700U-SBD [120V]. Panely jsou zapojené sériově-parallelně. Na základě dané konfigurace pak byl stanoven maximální možný počet panelů/objekt.



Obrázek 7.2.1 Charakteristiky panelu Trina Solar v simulačním nástroji SAM



Obrázek 7.2.2 Charakteristiky střídače Schuco USA v simulačním nástroji SAM

Následující tabulka obsahuje podrobný výpočet dostupných ploch a navržený počet panelů pro objekty s plochou střechou v řešeném území.

Objekt	Plocha střechy [m2]	Použitelná plocha (50%)	Navržený počet panelů
1	271,6	135,8	84
2	451,2	225,6	136
3	348,1	174,05	104
4	257,7	128,85	80
5	263,8	131,9	80
6	262,0	131	80
7	262,3	131,15	80
8	405,5	202,75	124
9	148,2	74,1	44
10	184,8	92,4	56
11	177,4	88,7	52
12	180,1	90,05	56
13	177,8	88,9	52
14	381,0	190,5	116
15	265,2	132,6	80
16	100,0	50	32
17	585,5	292,75	176
18	142,7	71,35	44
19	115,0	57,5	36
20	192,4	96,2	60
21	161,6	80,8	48
22	233,6	116,8	72
23	211,8	105,9	64
24	108,1	54,05	32
25	111,8	55,9	32
26	73,2	36,6	24
27	89,9	44,95	28
28	64,7	32,35	20
29	188,6	94,3	56
30	116,7	58,35	36
31	206,9	103,45	64
32	157,9	78,95	48
33	284,5	142,25	88
34	292,0	146	88
35	290,9	145,45	88
36	143,8	71,9	44
37	107,0	53,5	32

38	302,8	151,4	92
39	241,5	120,75	72
40	238,8	119,4	72
41	237,2	118,6	72
42	415,7	207,85	128
43	405,0	202,5	124
44	355,9	177,95	108
45	355,4	177,7	108
46	165,0	82,5	52
47	170,6	85,3	52
48	338,3	169,15	104
49	172,4	86,2	52
50	359,2	179,6	108
51	877,1	438,55	268
52	366,3	183,15	112
53	190,7	95,35	56
54	313,1	156,55	96
55	127,7	63,85	40
56	86,5	43,25	28
57	203,1	101,55	60
58	249,0	124,5	76
59	292,6	146,3	88
60	241,4	120,7	72
61	176,4	88,2	52
62	74,9	37,45	24
63	80,3	40,15	24
64	77,5	38,75	24
65	113,7	56,85	36
66	66,1	33,05	20
67	54,6	27,3	16
68	187,6	93,8	56
69	189,6	94,8	56
70	189,1	94,55	56
71	373,8	186,9	112
72	190,4	95,2	56
73	187,3	93,65	56
74	589,0	294,5	180
75	178,4	89,2	56
76	171,3	85,65	52
77	65,6	32,8	20

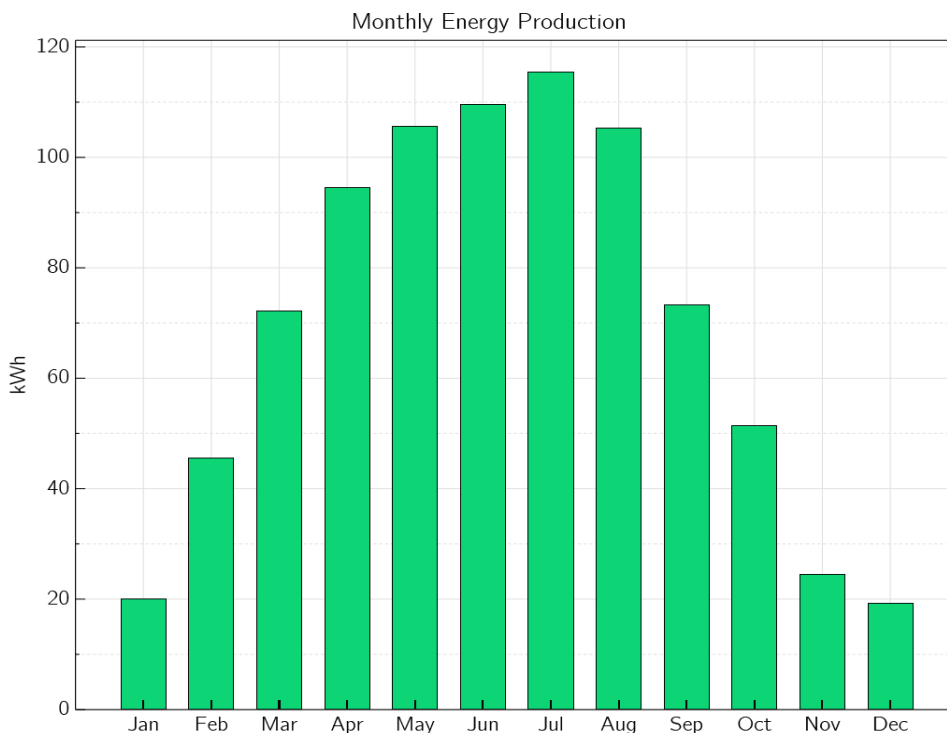
78	318,8	159,4	96
79	137,3	68,65	40
80	602,0	301	184
81	355,5	177,75	108
82	198,7	99,35	60
83	234,7	117,35	72
84	235,9	117,95	72
85	597,1	298,55	180
86	680,7	340,35	208
87	244,3	122,15	76
88	1 150,5	575,25	348
89	86,8	43,4	28
90	422,7	211,35	128

Tab. 7.2.1 Výpočet dostupných ploch a navřený počet panelu pro objekty s plochou střechou v řešeném území

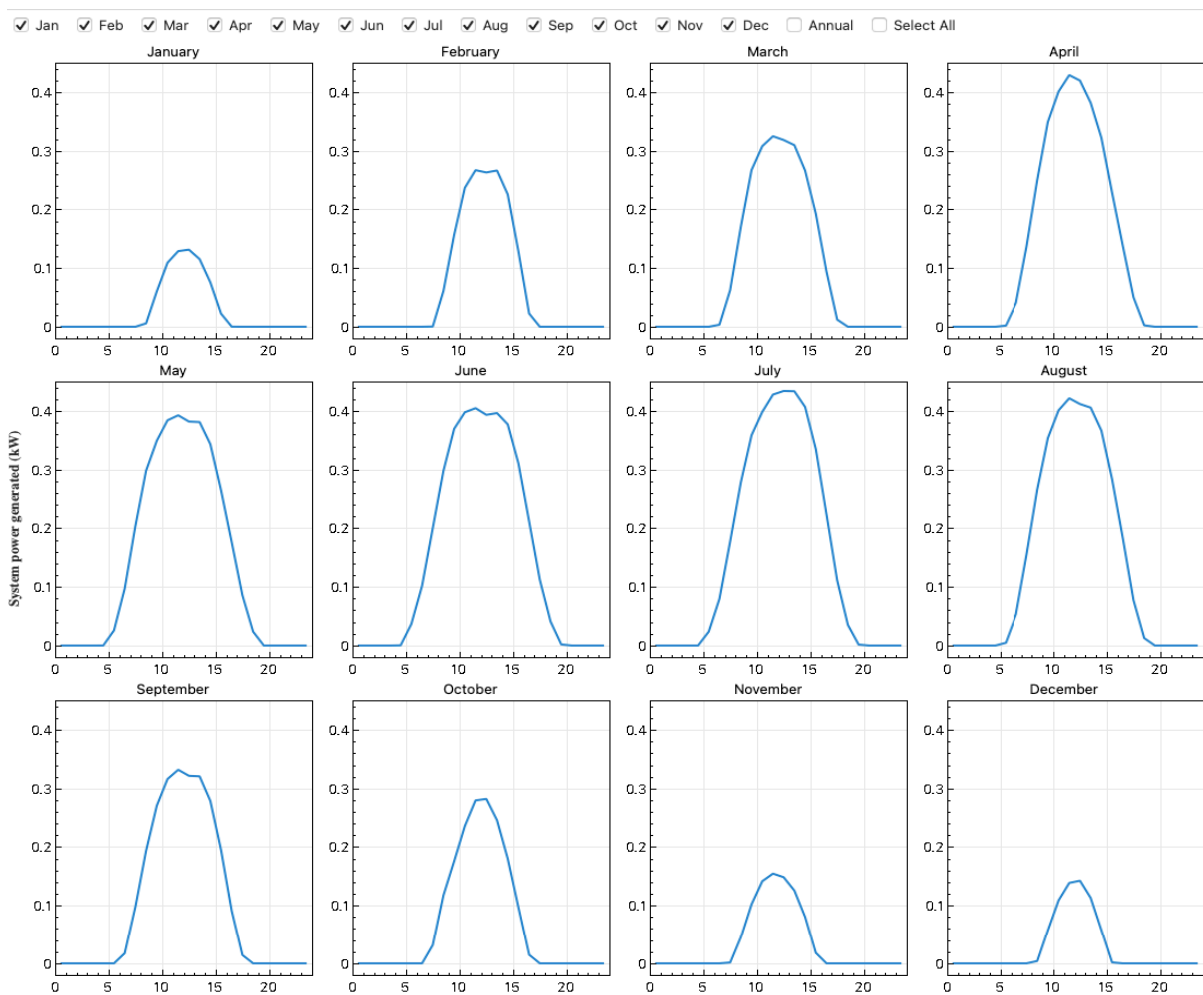
7.3. Výsledky simulace

Následující výstupy ze simulačního nástroje ukazují teoretický výkon fotovoltaického modulu Trina Solar, který se skládá z 4 panelů a invertoru.

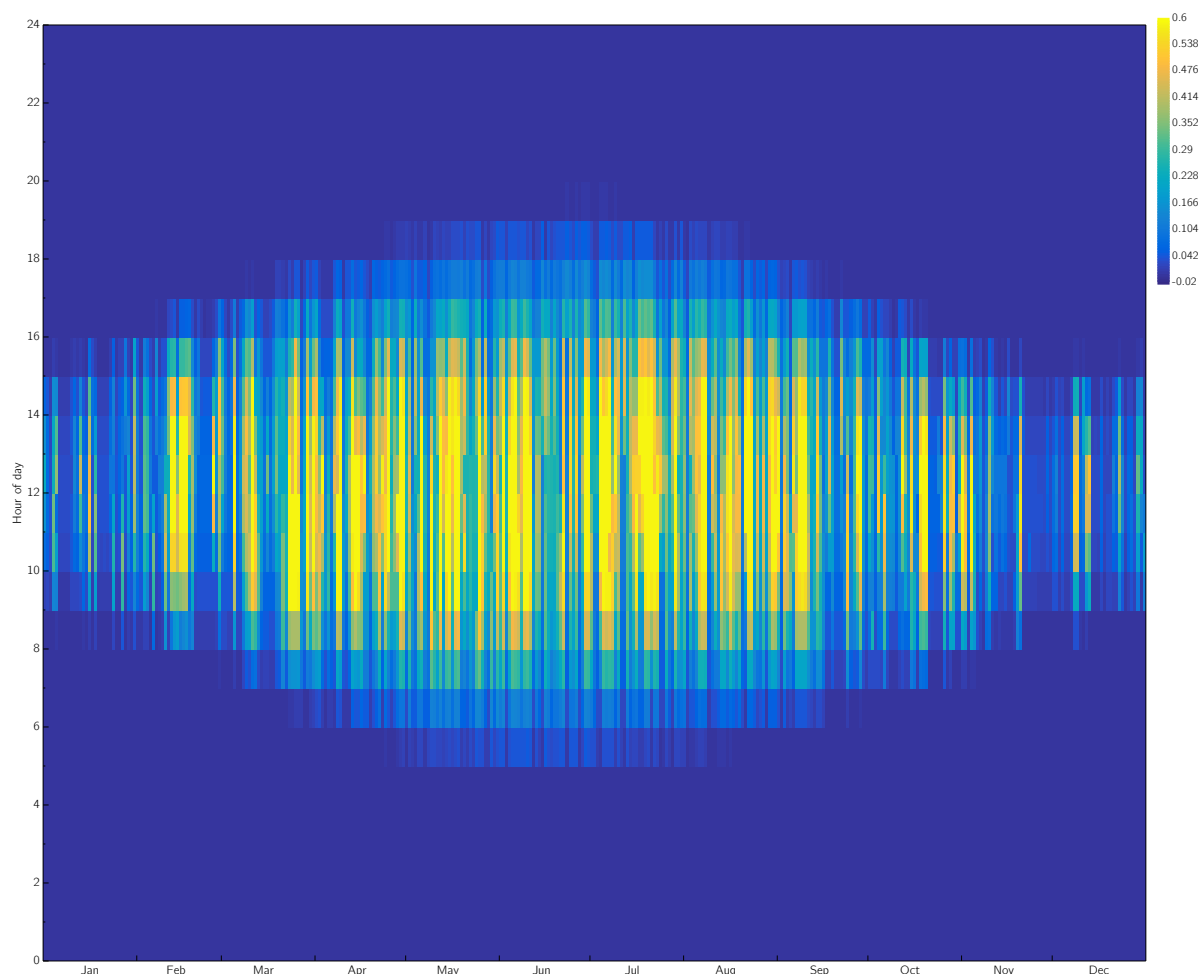
Součástí programu jsou klimatická data, která obsahují hodnoty slunečního záření a teploty v měsíčním, resp. hodinovém intervalu. Na základě těchto výstupů pak byl pro každý objekt dopočítán hodinový výkon solární elektrárny, vycházející z navřeného počtu fotovoltaických modulů.



Obrázek 7.3.1 Výsledky simulace v SAM, produkce elektřiny 1 modulu – roční přehled



Obrázek 7.3.2 Výsledky simulace v SAM, produkce elektřiny 1 modulu – měsíční přehled



Obrázek 7.3.3 Hodinový profil produkce elektřiny pro 1 modulem, zobrazení dané do formy "heat map" pro celkový přehled za celý rok.

Jako výpočtový den byl stanoven 15. leden, jelikož je statisticky nejčastěji nejchladnějším a nejnáročnějším z hlediska produkce solární energie dnem v roce.

Dostupný výkon fotovoltaických panelů [kW]:

Hodiny	Výkon 1 modulu [kW]	Výsledný součtový výkon všech navřených modulů pro celkový počet objektů [kW]
Jan 15, 01:00 am	0,000	0,00
Jan 15, 02:00 am	0,000	0,00
Jan 15, 03:00 am	0,000	0,00
Jan 15, 04:00 am	0,000	0,00
Jan 15, 05:00 am	0,000	0,00
Jan 15, 06:00 am	0,000	0,00
Jan 15, 07:00 am	0,000	0,00
Jan 15, 08:00 am	0,000	0,00
Jan 15, 09:00 am	0,031	212,89
Jan 15, 10:00 am	0,065	456,28
Jan 15, 11:00 am	0,087	608,17
Jan 15, 12:00 pm	0,090	626,22
Jan 15, 01:00 pm	0,059	412,39
Jan 15, 02:00 pm	0,026	181,79
Jan 15, 03:00 pm	0,001	7,24
Jan 15, 04:00 pm	0,000	0,00
Jan 15, 05:00 pm	0,000	0,00
Jan 15, 06:00 pm	0,000	0,00
Jan 15, 07:00 pm	0,000	0,00
Jan 15, 08:00 pm	0,000	0,00
Jan 15, 09:00 pm	0,000	0,00
Jan 15, 10:00 pm	0,000	0,00
Jan 15, 11:00 pm	0,000	0,00
Jan 16, 12:00 am	0,000	0,00

Tab. 7.3.1 Dostupný výkon fotovoltaických panelů

8. Ceny energií

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

8.1. Cena elektrické energie

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

4,433 Kč/kWh

Pro účely výpočtu nákladů výroby energie a provozu Energy Hubu byla zvolena

dvoutarifova sazba D57d od distributora elektrické energie PRE. Distribuční sazba D57d je takzvaně dvoutarifní, což znamená, že odběr elektřiny je realizován jak ve vysokém, tak i v nízkém tarifu. Jejich poměr je přitom opravdu výhodný. Zatímco vysoký tarif trvá 4 hodiny, toho nízkého, v minulosti označovaného jako „noční“, si můžete užívat po zbytek dne. Během této doby pak spínají spotřebiče s větším elektrickým odběrem, jako je například bojler pro ohřev teplé vody, elektrokotel pro vytápění domu, pračka anebo třeba myčka. Toto přepínání je nastaveno automaticky, pomocí hromadného dálkového ovládání. [13]

Cena energie ve vysokém tarifu je:

2 547,22 [Kč/MWh]

Cena energie v nízkém tarifu je:

2 130,50 [Kč/MWh]

Platnost nízkého a vysokého tarifu je uvedena v následujícím grafu:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
VT																									
NT																									

Obrázek 8.1.1 Platnost nízkého a vysokého tarifu

8.2. Cena plynu

Cena dodávky zemního plynu Pražské plynárenské, a. s., pro zákazníky v kategorii Maloodběr a Domácnost, kteří jsou připojeni k distribuční soustavě Pražská plynárenská Distribuce, a. s. je 1 231,21 Kč/MWh. Platnost ceníku je od 1.1.2021.

8.3. Denní náklady na energii

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

8.3.1. Denní náklady na tepelnou energii

Náklady na tepelnou energii vypočítáme jako součet nákladů na ohřev teplé vody a vytápění

Hodinová spotřeba tepla na vytápění ve zkoumané lokalitě je:

7442,52 kW

Denní spotřeba je:

$$7442,52 \times 24 = 188\,265,13 \text{ kWh} \quad (8.1)$$

Vynásobením denní spotřeby tepla na vytápění cenou tepelné energie dostaneme denní náklady na vytápění objektů. Vzhledem k tomu, že v daném území neexistuje napojení na dálkové vytápění a s ohledem na charakter typické obytné zástavby v této lokalitě budeme vycházet z předpokladu, že vytápění v objektech zajištěno pomocí plynových kotlů. Z toho vyplývá, že náklady na vytápění jsou daně cenou distributora zemního plynu a vynásobením této částky denní spotřebou tepla na vytápění vypočítáme celkové náklady na vytápění objektů. [34]

Denní náklady na vytápění:

$$188\,265,13 \times 1,231 = 263\,571,18 \text{ Kč} \quad (8.2)$$

Zároveň předpokládáme, že ohřev teplé vody bude zajištěn podobným způsobem. Zejména pro výpočet denních nákladů na ohřev vody vynásobíme denní spotřebu teplé vody cenou dodávaného do objektu zemního plynu.

Denní spotřeba teplé vody v území:

$$9\,644,74 \text{ kWh}$$

Denní náklady na ohřev vody:

$$9\,644,74 \times 1,231 = 11\,872,67 \text{ Kč} \quad (8.3)$$

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:

$$243\,627,04 \text{ Kč}$$

8.3.2. 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. [34]

Denní spotřeba plynu pro vaření:

$$45,0 \times 24 = 1080 \text{ kWh} \quad (8.4)$$

Denní náklady na plyn pro vaření:

$$1080 \times 1,231 = 1\,329,48 \text{ Kč} \quad (8.5)$$

8.3.3. 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. [34]

Denní spotřeba elektrické energie:

4 545,0 kWh

Denní náklady na elektrickou energii:

$$4\,545,0 \times 4,433 = 20\,147,99 \text{ Kč} \quad (8.6)$$

8.3.4. Celkové denní náklady na energie

Shrnutí celkových nákladů na energie pro zkoumanou lokalitu jsou uvedené v následující tabulce:

	Spotřeba [kW]	Cena [Kč /kWh]	Denní náklady [Kč]
Denní spotřeba tepla na vytápění	188 265,13	1,231	231 754,37
Denní náklady na ohřev teplé vody	9 644,74	1,231	11 872,67
Denní náklady na plyn	1 080,00	1,231	1 329,48
Denní náklady na elektrickou energii	4 545,0	4,433	20 147,99
		Celkem	265 104,51

Tab. 8.3.4.1 Celkové denní náklady na energie v zadané oblasti

Celkové denní náklady na energie v zadané oblasti činí **265 104,51 Kč**

9. Konfigurace modelu Energy Hubu

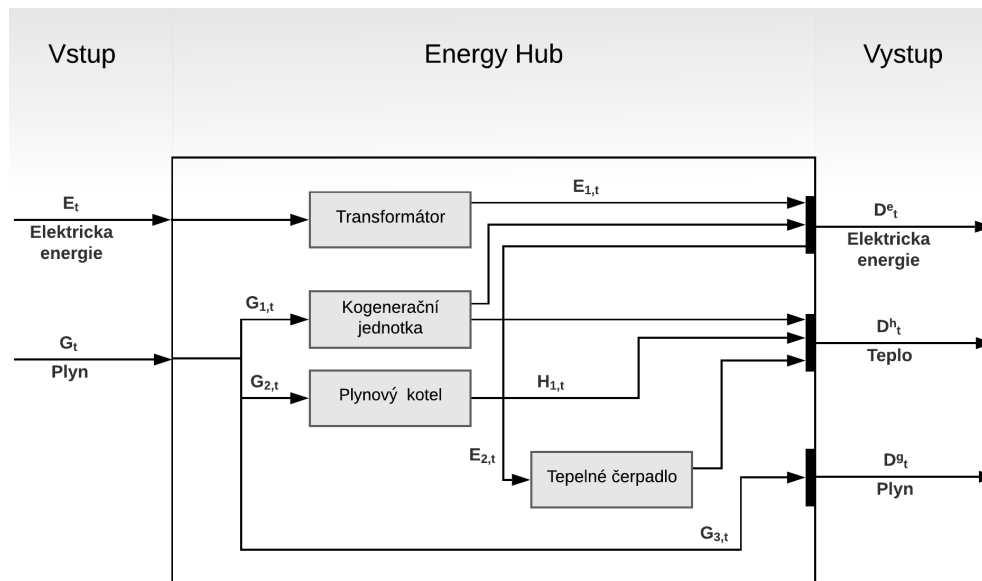
V této práci navrhujeme 3 odlišné varianty konfigurace Energy Hubu pro zkoumanou oblast, které následně porovnáme. Model Energy Hubu vychází ze specifiky místních energetických podmínek řešené lokality.

9.1. Varianta 1

První varianta uvažuje použití elektrické energie a plynu z distribuční sítě.

Do modelu jsou zapojené Kogenerační jednotka a Tepelné čerpadlo. Jako vstupní údaje pro simulace slouží poptávky po tepelné energii, elektrické energie a plynu pro potřeby vaření.

Jednotlivé komponenty Energy Hubu pro Variantu 1 jsou zobrazeny na následujícím obrázku: [1]



Obrázek 9.1.1 Jednotlivé komponenty Energy Hubu pro Variantu 1

Použité komponenty:

- Transformátor
- Kogenerační jednotka
- Plynový kotel
- Tepelné čerpadlo

9.1.1. Návrh matematického modelu EnergyHubu - Varianta 1

Matematický model Energy Hubu pro danou variantu je definován následujícími rovnicemi: [1]

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

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. [1]

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

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 $E_{1,t}$. [1]

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

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 $E_{2,t}$. [1]

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

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 $G_{3,t}$. [1]

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

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 . [1]

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

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 čerpadlem H_t^{EHP} , na pravé straně rovnice stojí poptávka po tepelné energii spotřebiteli připojenými na EnergyHub v zadané oblasti D_t^h . [1]

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

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 vyrobení 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.

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

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

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

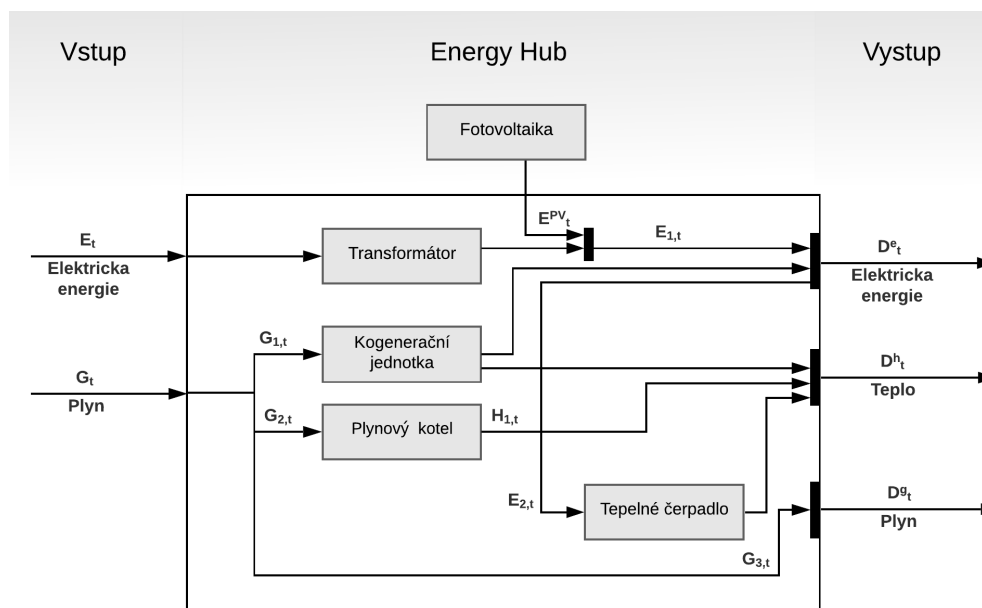
$$H_t^{min} I_t^h \leq H_t^{EHP} \leq H_t^{max} I_t^h \quad (9.11)$$

9.2. Varianta 2

Další varianta má podobnou konfiguraci jako Varianta 1, ale je rozšířena o vstup elektrické energie z fotovoltaických panelů. Složení systému pro Variantu 2 je znázorněno na obrázku dolů. [1]

Použité komponenty:

- Transformátor
- Kogenerační jednotka
- Plynový kotel
- Tepelné čerpadlo



Obrázek 9.2.1 Jednotlivé komponenty Energy Hubu pro Variantu 2

9.2.1. Návrh matematického modelu EnergyHubu Varianta 2

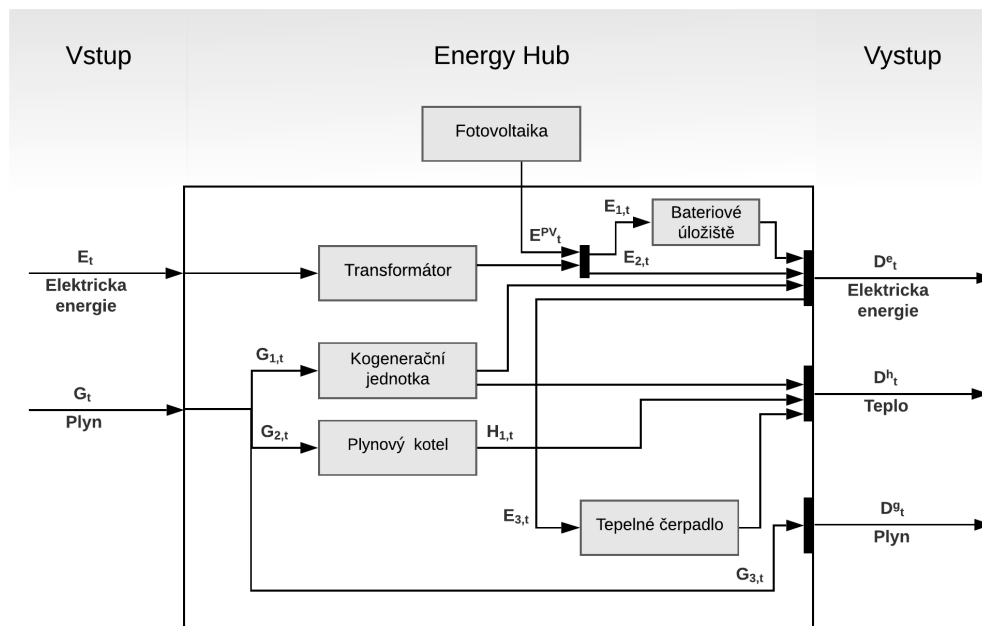
Ve variantě 2 přidáváme do matematického modelu Energy Hubu další zdroj elektrické energie na vstupu. Do systému doplníme fotovoltaické panely. Pro účely výpočtu upravíme rovnice toku elektrické energie na vstupu do Energy Hubu, ostatní rovnice zůstanou totožné s variantou 1:

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

Do rovnice elektrické energie vstupující do EnergyHubu vstupuje člen vyjadřující elektrickou energii získanou z fotovoltaického systému E_t^{PV} . [1]

9.3. Varianta 3

Do třetí varianty přidáváme možnost zapojení bateriového úložiště. [1]



Obrázek 6.3.1 Jednotlivé komponenty Energy Hubu pro Variantu 3

Komponenty:

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

9.3.1. Návrh matematického modelu EnergyHubu Varianta 3

Ve variantě 3 se do modelu zapojuje bateriové úložiště. Následující rovnice vyjadřují změny provedené oproti variantě 2, zbylé rovnice zůstávají stejné: [34]

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

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 $E_{2,t}$. [34]

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

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. [34]

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

Do modelu je přidána rovnice přiřazující tok elektrické energie $E_{1,t}$ jako tok elektrické energie do bateriového úložiště E_t^{ch} . [7]

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

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

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

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

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

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

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} . [7]

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

Poslední změnou v matematickém modelu pro variantu 3 je změna indexu toku elektrické energie pro tepelné čerpadlo. [7]

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

Hodina	D_t^h	D_t^e	D_t^g	E_t^{PV}	λ_t^e
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[Kč/kW]
	Dh	De	Dg	PV	Lambda_e
t1	7844,38	112,50	45,00	0,00	2,13
t2	7844,38	97,50	45,00	0,00	2,13
t3	7844,38	90,00	45,00	0,00	2,13
t4	7844,38	90,00	45,00	0,00	2,13
t5	7844,38	97,50	45,00	0,00	2,13
t6	7844,38	112,50	45,00	0,00	2,13
t7	7844,38	142,50	45,00	0,00	2,13
t8	7844,38	172,50	45,00	0,00	2,13
t9	7844,38	187,50	45,00	212,89	2,13
t10	7844,38	187,50	45,00	456,28	2,13
t11	7844,38	195,00	45,00	608,17	2,55
t12	7844,38	210,00	45,00	626,22	2,55
t13	7844,38	202,50	45,00	412,39	2,55
t14	7844,38	180,00	45,00	181,79	2,13
t15	7844,38	195,00	45,00	7,24	2,13
t16	7844,38	210,00	45,00	0,00	2,13
t17	7844,38	255,00	45,00	0,00	2,13
t18	7844,38	307,50	45,00	0,00	2,13
t19	7844,38	315,00	45,00	0,00	2,13
t20	7844,38	307,50	45,00	0,00	2,13
t21	7844,38	285,00	45,00	0,00	2,55
t22	7844,38	247,50	45,00	0,00	2,55
t23	7844,38	195,00	45,00	0,00	2,55
t24	7844,38	150,00	45,00	0,00	2,13

Tab. 9.4.1 Shrnutí: hodinové spotřeby, dostupný výkon FV systému, ceny energií

9.5. Charakteristiky jednotlivých komponent Energy Hubu

9.5.1. Plynový kotel

Ocelový kotel Logano S825L-6500 na olej/plyn s třítahovým vedením spalin, s kruhově uspořádanou doplňkovou teplosměnnou plochou z hladkých trubek. Pro vytápěcí zařízení dle EN 12828 k výrobě nízkotlaké teplé vody do 110 °C (havarijní termostat, mez jistění) a přípustného celkového přetlaku 6 resp. 10 bar. [18]

Buderus – Logano S825L-6500	
Jmenovitý tepelný výkon:	6500 kW
Jmenovitý tepelný příkon:	7052 kW
Účinnost:	0,915
Palivo:	Zemní plyn

Tab. 9.5.1.1 Plynový kotel – parametry

9.5.2. Tepelné čerpadlo

Vitocal 350-HT Pro: Tepelné čerpadlo země/voda do 90 °C. Vysokoteplotní tepelné čerpadlo pro využití odpadního a regenerativního tepla.

Vitocal 350-HT Pro - 353.AHT147	
Jmenovitý tepelný výkon:	428,3 kW
Výkon v kaskádě s nadřazenou regulací:	2000 kW
Topný faktor (COP):	4,1
Technologie:	Země/voda

Tab. 9.5.2.1 Tepelné čerpadlo – parametry

9.5.3. Kogenerační jednotka

Kogenerační jednotky řady TEDOM Quanto disponují velkým výkonem. Generátor jednotek Quanto je možné připojit do sítí nízkého i vysokého napětí. Kogenerační jednotky Quanto se často využívají jako vysoce efektivní zdroje v systémech zásobování teplem. Vyrobenou elektřinu dodávají do sítě, čímž snižují náklady na výrobu tepla. [17]

TEDOM Quanto 600	
Elektrický výkon	600 kW
Tepelný výkon:	639 kW
Účinnost – elektrická energie:	0,429
Účinnost – tepelná energie:	0,456
Maximální výkon paliva na vstupu:	1400 kW
Palivo:	Zemní plyn

Tab. 9.5.3.1 Tepelné čerpadlo – parametry

9.5.4. Bateriové úložiště

Tesla powerpack x 2	
Kapacita /1 Powerpack :	232 kWh
Celková kapacita:	464 kWh
Výkon:	130 kW (AC) / Powerpack
Napětí:	380 – 480 V, 3 fáze
Hloubka vybití:	100 %

Počáteční nabití bateriového úložiště je počítáno jako 20 % jeho kapacity. Účinnost nabíjení a vybíjení byla stanovena jako 0,9. [14]

9.5.5. Transformátor

Zvolení vhodného typu transformátoru vyžaduje podrobnější technické specifikace celého systému, což není předmětem této práce. Pro účely výpočtu byla zvolena hodnota 0,96 která odpovídá běžné účinnosti transformátorů. [34]

10. Skripty a nastavení modelu v prostředí programu GAMS

Následující kapitola je věnována představení zdrojových kódů pro sestavení a výpočet navřených variant Energy Hubu.

10.1. Vstupní data

Aby bylo možné automaticky zkompilevat kód modelů a spustit výpočet je potřeba žádat vstupní údaje, na základě kterých pak vypočte program hodnotu objektivní funkce. Podkladem k výpočtu slouží hodinové hodnoty poptávek energií a ceny elektrické energie v závislosti na aktuálním tarifu. Následující obrázek ukazuje zavedení proměnné pro čas, vytvoření tabulky spotřeb energie, dostupného výkonu solárních panelů a hodinové ceny za elektřinu:

```

1 $title Optimal operation of energy hub
2 */ vytvoreni promenne t
3 Set t 'hours' / t1*t24 /;
4 */ vytvoreni tabulky data s promennou t
5
6 Table data(t,*)
7 */ vstup hodnot do tabulky data
8      Dh      De      Dg      PV      Lambda_e
9 t1  7844.38  112.50  45.00  0.00  2.13
10 t2  7844.38  97.50   45.00  0.00  2.13
11 t3  7844.38  90.00   45.00  0.00  2.13
12 t4  7844.38  90.00   45.00  0.00  2.13
13 t5  7844.38  97.50   45.00  0.00  2.13
14 t6  7844.38  112.50  45.00  0.00  2.13
15 t7  7844.38  142.50  45.00  0.00  2.13
16 t8  7844.38  172.50  45.00  0.00  2.13
17 t9  7844.38  187.50  45.00  212.89 2.13
18 t10 7844.38  187.50  45.00  456.28 2.13
19 t11 7844.38  195.00  45.00  608.17 2.55
20 t12 7844.38  210.00  45.00  626.22 2.55
21 t13 7844.38  202.50  45.00  412.39 2.55
22 t14 7844.38  180.00  45.00  181.79 2.13
23 t15 7844.38  195.00  45.00  7.24  2.13
24 t16 7844.38  210.00  45.00  0.00  2.13
25 t17 7844.38  255.00  45.00  0.00  2.13
26 t18 7844.38  307.50  45.00  0.00  2.13
27 t19 7844.38  315.00  45.00  0.00  2.13
28 t20 7844.38  307.50  45.00  0.00  2.13
29 t21 7844.38  285.00  45.00  0.00  2.55
30 t22 7844.38  247.50  45.00  0.00  2.55
31 t23 7844.38  195.00  45.00  0.00  2.55
32 t24 7844.38  150.00  45.00  0.00  2.13;
33

```

Obrázek 7.1 Vstupní data v prostředí GAMS

10.2. Zavedení proměnné vyjadřující provozní náklady

Na základě výsledné hodnoty proměnné *cost* pak nalezneme nejoptimálnější řešení fungování celého modelu.

```

33
34 */ zavedeni promenne cost - provozni naklady
35 Variable cost;
36

```

Obrázek 10.2.1 Zavedení proměnné *cost*

10.3. Varianta 1

10.3.1. Deklarace proměnných pro variantu 1

```
36
37 */ zavedeni kladnych promennych
38 Positive Variables E(t), E1(t), E2(t), G(t), G1(t), G2(t), G3(t),
39 H1(t), H_ehp(t);
40
41 */ zavedeni binarnich promennych
42 binary variables Ih(t);
43
44 $onEolCom
45 */ zavedeni promennych s danymi hodnotami
46 scalar eta_ee / 0.96 / ,!! účinnost transformatoru
47 eta_ge / 0.429 / ,      !! účinnost kogenerační jednotky výroba elektro
48 eta_gh / 0.456 / ,      !! účinnost kogenerační jednotky výroba teplo
49 COP / 4.1 / ,          !! topný faktor tepelného čerpadla
50 H_ehpMax / 2000 / ,     !! výkon tepelného čerpadla max
51 H_ehpMin / 0.5 / ,      !! výkon tepelného čerpadla min
52 Chpmax / 1400 / ,       !! max výkon kogenerační jednotky
53 Fmax / 6500 / ,        !! výkon plynový kotel
54 eta_ghf / 0.915 / ,     !! účinnost spalování plynu plynovým kotlem
55 lambda_g / 1.231 / ;    !! cena plyn
56
57 */ dodatecne upresneni hodnot promennych
58 H_ehp.up(t) = H_ehpMax ; !! MAX výkon tepelného čerpadla
59 G1.up(t)=Chpmax ;      !! MAX výkon KVET
60 G2.up(t)=Fmax ;        !! MAX výkon plynový kotel
61
```

Obrázek 10.3.1 Zavedení proměnných pro variantu 1

10.3.2. Zavedení rovnic a spuštění vlastního řešení úlohy.

```
62 */ zavedeni potrebného počtu rovnic s označením
63 Equation eq1, eq2, eq3, eq4, eq5, eq6, eq7, eq8, eq9, eq10, eq11 ;
64
65 */ rovnice definující matematicky model EnergyHub:
66
67 */ objektivní hodnotící funkce - součet nakladu na energii
68 eq1.. cost =e= sum(t, data(t,'lambda_e')*E(t)+lambda_g*G(t));
69 */ tok elektrické energie z EnergyHubu
70 eq2(t).. E1(t)+eta_ge*G1(t) =e= data(t, 'De')+E2(t) ;
71 */ tok elektrické energie do EnergyHubu
72 eq3(t).. eta_ee*E(t) =e= E1(t) ;
73 */ tok plynu do EnergyHubu
74 eq4(t).. G(t) =e= G1(t)+G2(t)+G3(t) ;
75 */ tok plynu z EnergyHubu
76 eq5(t).. G3(t) =e= data(t, 'Dg') ;
77 */ tok tepla z EnergyHubu
78 eq6(t).. eta_gh*G1(t)+H1(t)+H_ehp(t) =e= data(t, 'Dh') ;
79 */ fungování plynového kotle
80 eq7(t).. eta_ghf*G2(t) =e= H1(t) ;
81 */ výkon tepelného čerpadla
82 eq8(t).. H_ehp(t) =e= E2(t)*COP ;
83 */ omezení maximálního tepelného výkonu tepelného čerpadla
84 eq9(t).. H_ehp(t) =l= H_ehpMax*Ih(t) ;
85 */ omezení minimálního tepelného výkonu tepelného čerpadla
86 eq10(t).. H_ehp(t) =g= H_ehpMax*Ih(t)*H_ehpMin ;
87 */ provozní režim tepelného čerpadla (chlazení/topení)
88 eq11(t).. Ih(t) =l= 1 ;
89
90 */ vytvoření matematického modelu ze zadanych dat
91 Model Hub / all /;
92
93 */ prikaz pro řešení daného modelu pomocí MIP resitele s minimalizací proměnné cost
94 solve hub us mip min cost;
95
```

Obrázek 10.3.2 Zavedení rovnic pro variantu 1

10.4. Varianta 2

10.4.1. Deklarace proměnných pro variantu 2

```
35
36  */ zavedeni promenne cost - provozni naklady
37  Variable cost;
38
39  */ zavedeni kladnych promennych
40  Positive Variables E(t), E1(t), E2(t), G(t), G1(t), G2(t), G3(t),
41  H1(t), H_ehp(t);
42
43  */ zavedeni binarnich promennych
44  binary variables Ih(t);
45
46  $onEoICom
47  */ zavedeni promennych s danymi hodnotami
48  scalar eta_ee / 0.96 / , !! účinnost transformatoru
49  eta_ge / 0.429 / ,      !! účinnost kogenerační jednotky výroba elektro
50  eta_gh / 0.456 / ,      !! účinnost kogenerační jednotky výroba teplo
51  COP / 4.1 / ,          !! topný faktor tepelného čerpadla
52  H_ehpMax / 2000 / ,     !! výkon tepelného čerpadla max
53  H_ehpMin / 0.5 / ,     !! výkon tepelného čerpadla min
54  Chpmax / 1400 / ,      !! max výkon kogenerační jednotky
55  Fmax / 6500 / ,        !! výkon plynový kotel
56  eta_ghf / 0.915 / ,    !! účinnost spalování plynu plynovým kotlem
57  lambda_g / 1.231 / ;    !! cena plyn
58
59  */ dodatecne upresneni hodnot promennych
60  H_ehp.up(t) = H_ehpMax ; !! MAX výkon tepelného čerpadla
61  G1.up(t)=Chpmax ;      !! MAX výkon KVET
62  G2.up(t)=Fmax ;        !! MAX výkon plynový kotel
63
```

Obrázek 10.4.1 Zavedení proměnných pro variantu 2

10.4.2. Zavedení rovnic a spuštění vlastního řešení úlohy.

```
64  */ zavedeni potrebného počtu rovnic s oznacením
65  Equation eq1, eq2, eq3, eq4, eq5, eq6, eq7, eq8, eq9, eq10, eq11 ;
66
67  */ rovnice definující matematický model EnergyHub
68
69  */ objektivní hodnotící funkce - součet nakladu na energii
70  eq1.. cost =e= sum(t, data(t,'lambda_e')*E(t)+lambda_g*G(t));
71  */ tok elektrické energie z EnergyHubu
72  eq2(t).. E1(t)+eta_ge*G1(t) =e= data(t, 'De')+E2(t) ;
73  */ tok elektrické energie do EnergyHubu
74  eq3(t).. eta_ee*E(t) + data(t, 'PV') =e= E1(t) ;
75  */ tok plynu do EnergyHubu
76  eq4(t).. G(t) =e= G1(t)+G2(t)+G3(t) ;
77  */ tok plynu z EnergyHubu
78  eq5(t).. G3(t) =e= data(t, 'Dg') ;
79  */ tok tepla z EnergyHubu
80  eq6(t).. eta_gh*G1(t)+H1(t)+H_ehp(t) =e= data(t, 'Dh') ;
81  */ tok tepla z EnergyHubu
82  eq7(t).. eta_ghf*G2(t) =e= H1(t) ;
83  */ výkon tepelného čerpadla
84  eq8(t).. H_ehp(t) =e= E2(t)*COP ;
85  */ omezení maximálního tepelného výkonu tepelného čerpadla
86  eq9(t).. H_ehp(t) =l= H_ehpMax*Ih(t) ;
87  */ omezení minimálního tepelného výkonu tepelného čerpadla
88  eq10(t).. H_ehp(t) =g= H_ehpMax*Ih(t)*H_ehpMin ;
89  */ provozní režim tepelného čerpadla (chlazení/topení)
90  eq11(t).. Ih(t) =l= 1 ;
91
92  */ vytvoření matematického modelu ze zadanych dat
93  Model Hub / all / ;
94
95  */ příkaz pro řešení daného modelu pomocí MIP resitele s minimalizací promenne cost
96  solve hub us mip min cost;
97
```

Obrázek 10.4.2 Zavedení rovnic pro variantu 2

10.5. Varianta 3

10.5.1. Deklarace proměnných pro variantu 3

```
39  */ zavedení kladných proměnných
40  Positive Variables E(t), E1(t), E2(t), E3(t), G(t), G1(t), G2(t), G3(t), Ed(t), Ec(t),
41  H1(t), H_ehp(t), SOC(t) ;
42
43  */ zavedení binárních proměnných
44  binary variables Ih(t), Idch(t), Ich(t) ;
45
46  $onEolCom
47  */ zavedení proměnných s danými hodnotami
48  scalar eta_ee / 0.96 / ,!! účinnost transformatoru
49  eta_ge / 0.429 / ,      !! účinnost kogenerační jednotky výroba elektro
50  eta_gh / 0.456 / ,      !! účinnost kogenerační jednotky výroba teplo
51  eta_c / 0.9 / ,         !! účinnost nabíjení bateriového úložiště
52  eta_d / 0.9 / ,         !! účinnost vybíjení bateriového úložiště
53  COP / 4.1 / ,          !! topný faktor tepelného čerpadla
54  H_ehpMax / 2000 / ,     !! výkon tepelného čerpadla max
55  H_ehpMin / 0.5 / ,     !! výkon tepelného čerpadla min
56  Chpmax / 1400 / ,      !! max výkon kogenerační jednotky
57  Fmax / 6500 / ,        !! výkon plynový kotel
58  eta_ghf / 0.915 / ,    !! účinnost spalování plynu plynovým kotlem
59  lambda_g / 1.231 / ,   !! cena plyn
60  SOCmax / 464 / ,       !! max stav nabití bateriového úložiště
61  SOC0 / 0 / ;          !! min stav nabití bateriového úložiště
62
63  */ dodatečně upřesnění hodnot proměnných
64  H_ehp.up(t) = H_ehpMax ;!! max výkon tepelného čerpadla
65  G1.up(t)=Chpmax ;      !! max výkon KVET
66  G2.up(t)=Fmax ;       !! max výkon plynový kotel
67  SOC0=0.2*SOCmax ;     !! počáteční stav bat. úložiště
68  SOC.up(t)=SOCmax ;    !! maximální kapacita bat. úložiště
69  SOC.lo(t)=0.2*SOCmax ;!! minimální kapacita bat. úložiště
70  SOC.fx('t24')=SOC0 ;  !! cyklus bat. úložiště
71  EC.up(t)=0.2*SOCmax ; !! maximum nabíjení
72  EC.lo(t)=0 ;          !! minimum nabíjení
73  Ed.up(t)=0.2*SOCmax ; !! maximum vybíjení
74  Ed.lo(t)=0 ;          !! minimum vybíjení
75
```

Obrázek 10.5.1 Zavedení proměnných pro variantu 3

10.5.2. Zavedení rovnic a spuštění vlastního řešení úlohy.

```
75
76 */ zavedeni potrebného počtu rovnic s oznacením
77 Equation eq1, eq2, eq3, eq4, eq5, eq6, eq7, eq8, eq9, eq10, eq11,
78 eq12, eq13, eq14, eq15, eq16 ;
79
80 */ rovnice definující matematický model EnergyHub:
81
82 */ objektivní hodnotící funkce - součet nákladu na energii
83 eq1.. cost =e= sum(t, data(t, 'lambda_e')*E(t)+lambda_g*G(t));
84 */ tok elektrické energie z EnergyHubu
85 eq2(t).. E2(t)+eta_ge*G1(t)+Ed(t) =e= data(t, 'De')+E3(t) ;
86 */ tok elektrické energie do EnergyHubu
87 eq3(t).. eta_ee*E(t) + data(t, 'PV') =e= E1(t) + E2(t) ;
88 */ definování vstupu elektrické energie do bateriového uložiste
89 eq4(t).. E1(t) =e= Ec(t) ;
90 */ změna stavu úrovně nabití bateriového uložiste
91 eq5(t).. SOC(t) =e= SOC0$(ord(t)=1)+SOC(t-1)$ (ord(t)>1)+Ec(t)*eta_c-Ed(t)/eta_d ;
92 */ omezení vybití bateriového uložiste
93 eq6(t).. Ed(t) =l= 0.2*SOCmax*Idch(t) ;
94 */ omezení nabíjení bateriového uložiste
95 eq7(t).. Ec(t) =l= 0.2*SOCmax*Idch(t) ;
96 */ provozní režim bateriového uložiste (nabíjení/vybití)
97 eq8(t).. Idch(t)+Ich(t) =l= 1 ;
98 */ tok plynu do EnergyHubu
99 eq9(t).. G(t) =e= G1(t)+G2(t)+G3(t) ;
100 */ tok plynu z EnergyHubu
101 eq10(t).. G3(t) =e= data(t, 'Dg') ;
102 */ tok tepla z EnergyHubu
103 eq11(t).. eta_gh*G1(t)+H1(t)+H_ehp(t) =e= data(t, 'Dh') ;
104 */ fungování plynové kotle
105 eq12(t).. eta_ghf*G2(t) =e= H1(t) ;
106 */ výkon tepelného čerpadla
107 eq13(t).. H_ehp(t) =e= E3(t)*COP ;
108 */ omezení maximálního tepelného výkonu tepelného čerpadla
109 eq14(t).. H_ehp(t) =l= H_ehpMax*Ih(t) ;
110 */ omezení minimálního tepelného výkonu tepelného čerpadla
111 eq15(t).. H_ehp(t) =g= H_ehpMax*Ih(t)*H_ehpMin ;
112 */ provozní režim tepelného čerpadla (chlazení/topení)
113 eq16(t).. Ih(t) =l= 1 ;
114
115 */ vytvoření matematického modelu ze zadanych dat
116 Model Hub / all ;
117
118 */ příkaz pro řešení daného modelu pomocí MIP resitele s minimalizací proměnné cost
119 solve hub us mip min cost ;
120
```

Obrázek 10.5.2 Zavedení rovnic pro variantu 3

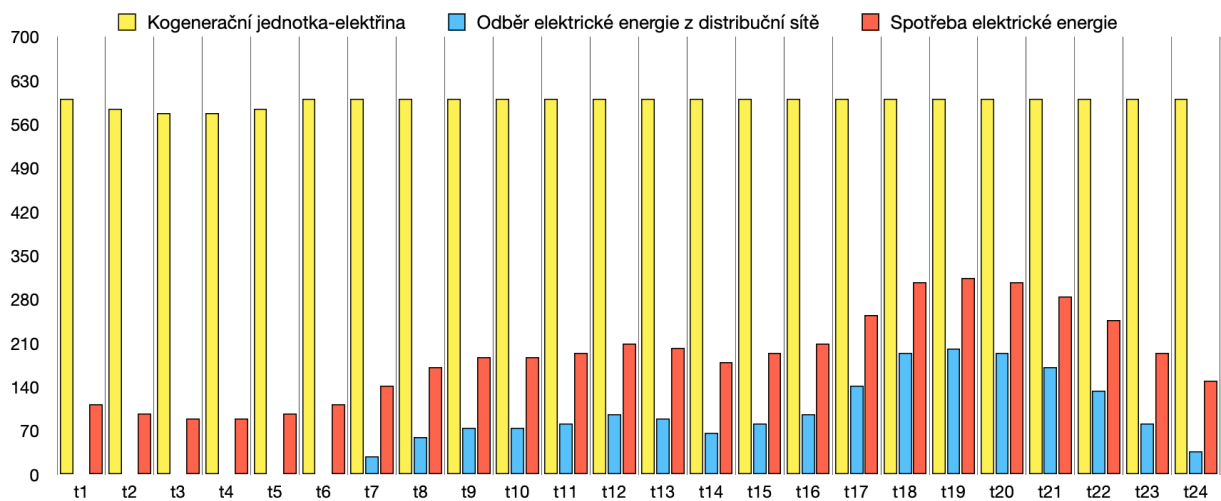
11. Vyhodnocení výsledků

11.1. Varianta 1

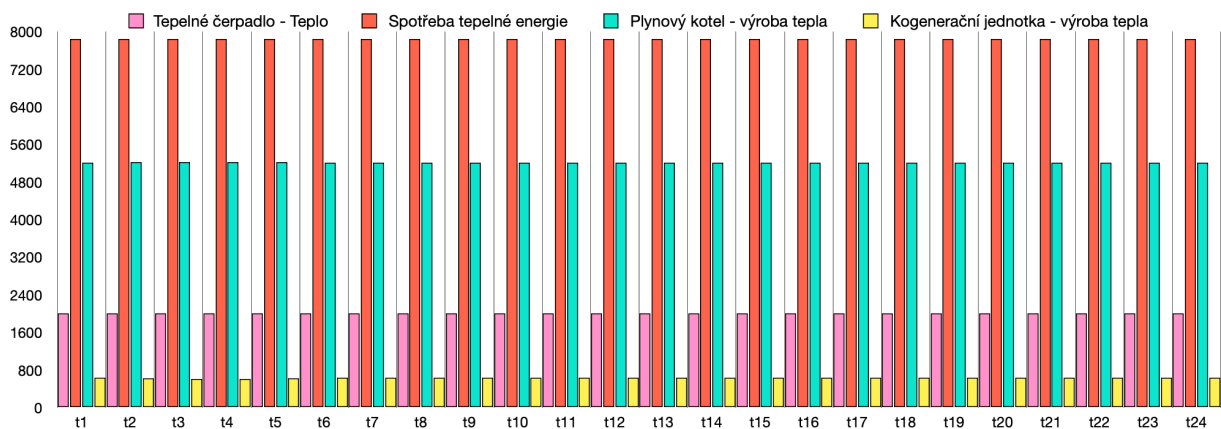
Nalezená hodnota objektivní funkce pro variantu 1 je:

215 210,175 Kč

V porovnání s původní hodnotou denních nákladů na energie dostáváme úsporu 18,82 %. Průběh výroby jednotlivých složek energie a tepla se dá sledovat na následujících grafech



Obrázek 11.1.1 Graf – elektrická energie varianta 1



Obrázek 11.1.2 Graf – bilance tepelné energie varianta 1

Report z řešitele 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  96

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE    211102.5017

RESOURCE USAGE, LIMIT      0.963 10000000000.000
ITERATION COUNT, LIMIT    2    2147483647
--- *** This solver runs with a demo license. No commercial use.
--- GMP memory 0.56 Mb (peak 0.56 Mb)
--- Dictionary memory 0.00 Mb
--- Cplex 20.1.0.0 link memory 0.01 Mb (peak 0.03 Mb)
--- Starting Cplex

--- MIP status (101): integer optimal solution.
--- Cplex Time: 0.04sec (det. 19.55 ticks)

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

--- Fixed MIP status (1): optimal.
--- Cplex Time: 0.00sec (det. 0.32 ticks)

Proven optimal solution
MIP Solution:      211102.501721    (2 iterations, 0 nodes)
Final Solve:      211102.501721    (48 iterations)

Best possible:    211102.501721
Absolute gap:     0.000000
Relative gap:     0.000000

```

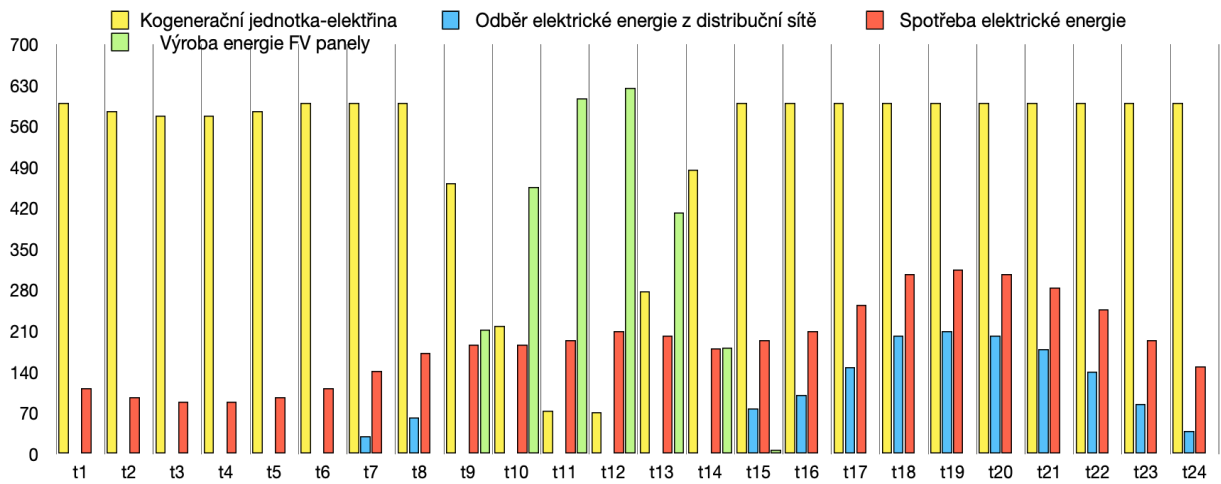
Obrázek 11.1. GAMS – výslední report pro variantu 1

11.2. Varianta 2

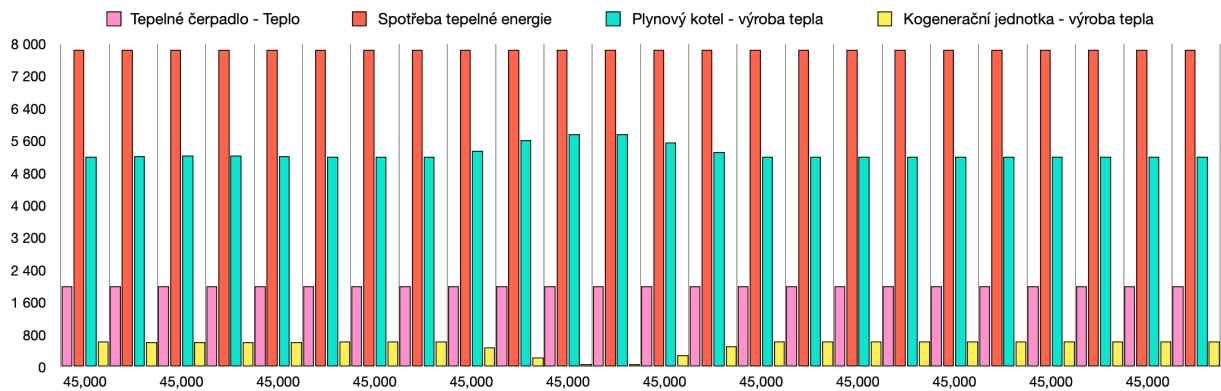
Nalezená hodnota objektivní funkce pro variantu 2 je:

211 102,50 Kč

V porovnání s původní hodnotou denních nákladů na energie dostáváme úsporu 20,37 %. Průběh výroby jednotlivých složek energie a tepla se dá sledovat na následujících grafech:



Obrázek 11.2.1 Graf – elektrická energie varianta 2



Obrázek 11.2.2 Graf – bilance tepelné energie varianta 2

Report z řešitele 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    211102.5017

RESOURCE USAGE, LIMIT      0.963 10000000000.000
ITERATION COUNT, LIMIT    2     2147483647
--- ** This solver runs with a demo license. No commercial use.
--- GMO memory 0.56 Mb (peak 0.56 Mb)
--- Dictionary memory 0.00 Mb
--- Cplex 20.1.0.0 link memory 0.01 Mb (peak 0.03 Mb)
--- Starting Cplex

--- MIP status (101): integer optimal solution.
--- Cplex Time: 0.04sec (det. 19.55 ticks)

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

--- Fixed MIP status (1): optimal.
--- Cplex Time: 0.00sec (det. 0.32 ticks)

Proven optimal solution
MIP Solution:      211102.501721      (2 iterations, 0 nodes)
Final Solve:      211102.501721      (48 iterations)

Best possible:    211102.501721
Absolute gap:     0.000000
Relative gap:     0.000000

```

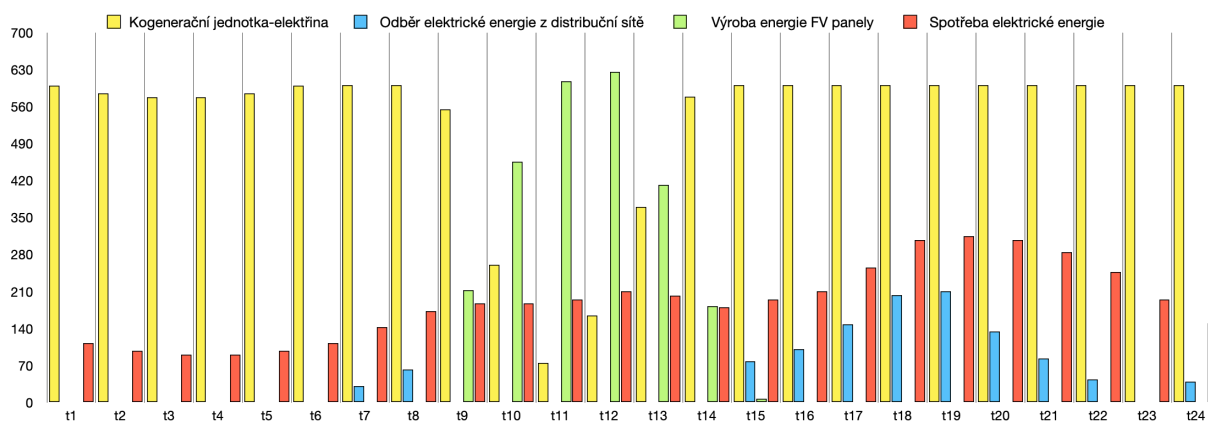
Obrázek 11.2.3 GAMS – výslední report pro variantu 2

11.3. Varianta 3

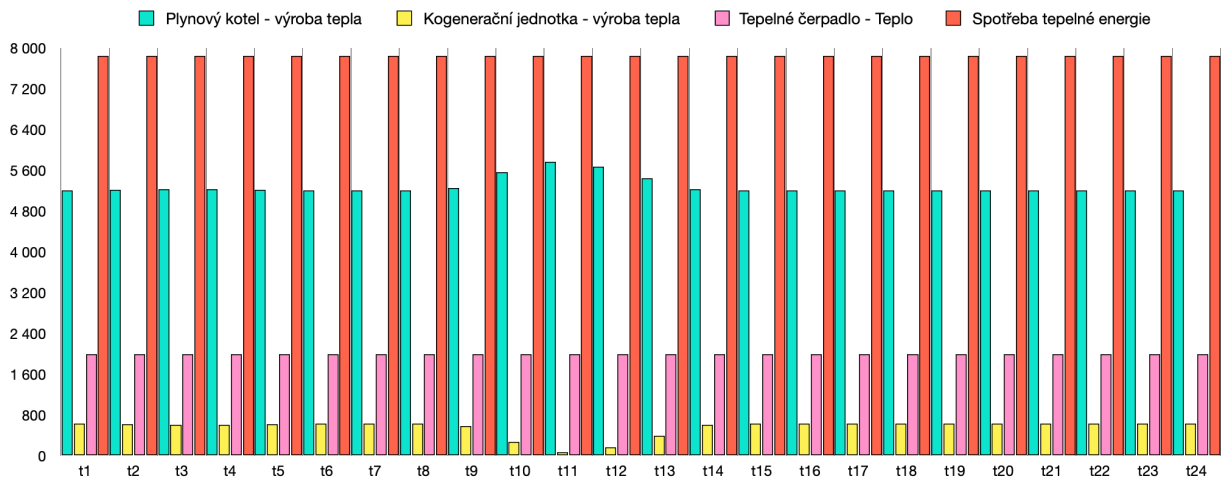
Nalezená hodnota objektivní funkce pro variantu 3 je:

210 837,78 Kč

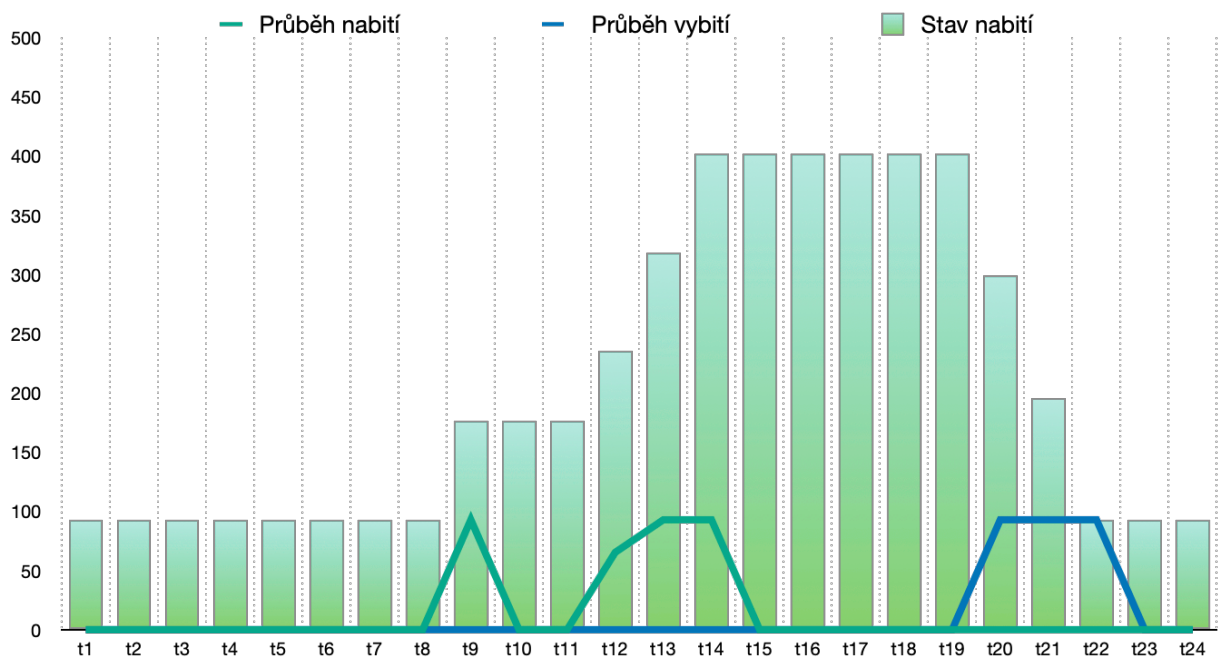
V porovnání s původní hodnotou denních nákladů na energie dostáváme úsporu 20,47 %. Průběh výroby jednotlivých složek energie a tepla se dá sledovat na následujících grafech:



Obrázek 11.3.1 Graf – elektrická energie varianta 3



Obrázek 11.3.2 Graf – bilance tepelné energie varianta 3



Obrázek 11.3.3 Graf – Bateriové úložiště

Report z řešitele pro variantu 3:

```

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

MODEL   Hub           OBJECTIVE cost
TYPE    MIP           DIRECTION MINIMIZE
SOLVER  CPLEX        FROM LINE 119

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE    210837.7845

RESOURCE USAGE, LIMIT      0.027 10000000000.000
ITERATION COUNT, LIMIT    55 2147483647
--- *** This solver runs with a demo license. No commercial use.
--- 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 20.1.0.0 link memory 0.01 Mb (peak 0.04 Mb)
--- Starting Cplex

--- MIP status (101): integer optimal solution.
--- Cplex Time: 0.01sec (det. 0.91 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:      210837.784458 (55 iterations, 0 nodes)
Final Solve:      210837.784458 (69 iterations)

Best possible:    210837.784458
Absolute gap:     0.000000
Relative gap:     0.000000

```

Obrázek 11.3.3 GAMS – výslední report pro variantu 3

12. Shrnutí

Varianta	Denní náklady [Kč]
Varianta 0	215 210,07
uspora [%]	18,82
Varianta 1	211 102,50
uspora [%]	20,37
Varianta 2	210 837,78
uspora [%]	20,47

Tab. 12.1 Shrnutí

Z výsledky vidíme, že zapojením do systému fotovoltaických panely a bateriového úložiště došlo k výraznému poklesu denních nákladů na energie. S ohledem na to, že výpočet byl proveden pro nejpříznivější z hlediska počasí den, úspora dosahuje víc než 20 % z počáteční částky. V případě zkoumání jiných dnů, například letních – dosáhli bychom jiných výsledků. Samozřejmě výkon jednotlivých součástí Energy Hubu je závislý na okolním prostředí.

Nejsou do výpočtu zahrnuté náklady na provoz a opravy Energy Hubu. Pro účely dosažení nejobektivnějších výsledků museli bychom model výrazně rozšířit,

alespoň časově na fungování Energy Hubu po celém roce.

13. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo návrh a nalezení optimální varianty konfigurace Energy Hubu pro zkoumanou lokalitu. Tohoto cíle bylo dosaženo skrze analýzu energetických potřeb celého řešeného území a studium současných dostupných energetických technologií. Použitím simulačního softwaru GAMS byli navřené varianty vypočítány a následně mezi sebou porovnány.

Z dostupných výsledků můžeme zřejmě vidět potenciál použití systému EnergyHubu pro snížení nákladů na energie a účinnější zapojení obnovitelných zdrojů energie.

14. Bibliografie

- [1] 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]. 2017, 80, 1512-1527 [cit. 2020-04-24]. DOI: 10.1016/j.rser.2017.07.030. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117310985>
- [2] Energie nadosah: bezpečnostní, sociální a ekonomické výzvy decentralizované energetiky. Praha: Zelený kruh, 2008. APEL. ISBN 978-80-903968-3-8.
- [3] 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>
- [4] HA, Thanh, Yongjun 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) DOI: 10.3390/en11040707. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1996-1073/11/4/707>
- [5] THANH-TUNG HA, YONG-JUN ZHANG, JIAN-ANG HUANG a V. THANG. Energy Hub 1] modeling for minimal energy usage cost in residential areas. In: 2016 IEEE International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE) [online]. IEEE, 2016, s. 659-663. DOI: 10.1109/ICPRE.2016.7871161. ISBN 978-1- 5090-3068-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7871161/>
- [6] THANG, V., Yongjun ZHANG, Thanh tung HA a Siliang LIU. Optimal operation of energy hub in competitive electricity market considering uncertainties. *International Journal of Energy and Environmental Engineering* [online]. 2018, 9(3), 351-362 [cit. 2020-05-24]. DOI: 10.1007/s40095-018-0274-8. ISSN 2008-9163. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s40095-018-0274-8>
- [7] SOROUDI, Alireza. Power System Optimization Modeling in GAMS. První vydání. Cham: Springer International Publishing, 2017. ISBN 978-3-319-62349-8.
- [8] 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 DOI: 10.1109/ICPRE.2017.8390495. ISBN 978-1-5386-2156-1. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8390495/>
- [9] HA, Thanh tung, 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 DOI: 10.1007/s40565-017-0281-4. ISSN 2196-5625. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s40565-017-0281-4>
- [10] An Introduction to GAMS. GAMS - Cutting Edge Modeling [online]. [cit. 2020-05-18]. 6] Dostupné z: <https://www.gams.com/products/introduction/>
- [11] Bc. Adéla Holasová, EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ MODELU KONCEPTU SMART GRIDS, Diplomová práce [online]. Praha, 2019, <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/23736/F3-DP-2014-Holasova-Adela-prace.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [12] Statistika: Normalizované TDD [online]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/normalizovane-tdd?date=2015-01-15>
- [13] Platnost HDO [online]. Dostupné z: 3] <https://www.predistribuce.cz/cs/potrebuji-zaridit/zakaznici/stav-hdo/>
- [14] POWERPACK: Utility and Business Energy Storage. Electric Cars, Solar Panels & Clean Energy Storage | Tesla [online]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/powerpack>

- [15] Optimální velikost fotovoltaické elektrárny [online]
<https://www.silekro.cz/fotovoltaiicke-elektrarny/velikost-fotovoltaiicke-elektrarny/>
- [16] Maroufmashat, Azadeh & Taqvi, & Miragha, & Fowler, & Elkamel, A.. (2019). Modeling and Optimization of Energy Hubs: A Comprehensive Review. *Inventions*. 4. 50.
 10.3390/inventions4030050. Available from:
https://www.researchgate.net/publication/335398747_Modeling_and_Optimization_of_Energy_Hubs_A_Comprehensive_Review
- [17] KOGENERAČNÍ JEDNOTKY, <https://www.tedom.com/wp-content/uploads/2020/06/Přehled-kogeneračn%C3%ADch-jednotek-TEDOM-06-2020.pdf>
- [18] Teplovodní ocelový kotel pro spalování oleje nebo plynu <https://www.atservis-teplo.cz/wp-content/uploads/2014/04/201107261749200.katalog-12.pdf>
- [19] PETR STANOŠEK, REKONSTRUKCE SOUBORU BUDOV, DIPLOMOVÁ PRÁCE, 5 – IB – 2020, Dostupné z https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/93641/F2-DP-2021-Stanosek-Petr-DP_5_IB_2020_STANOSEK%20PETR.pdf?sequence=-1&isAllowed=y
- [20] Průkaz energetické náročnosti budovy, https://d18a.sdn.cz/d_18/c_attachment_G_Z/E6D3TB.pdf
- [21] Anna Smolíková, REKONSTRUKCE SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU, bakalářská práce, <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/83918>
- [22] Jan Votava, PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI RODINNÉHO DOMU, bakalářská práce, <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/61927/F3-BP-2015-Votava-Jan-Bakalarska%20prace%20PDF.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [23] zdroj hodnot: Název: KLÍČOVÉ HODNOTY POTŘEBY TEPLA BYTOVÝCH A RODINNÝCH DOMŮ A OBČANSKÝCH BUDOVESTŮ-E, a.s.
- [24] IEA (2019), Global patent applications for climate change mitigation technologies – a key measure of innovation – are trending down, IEA, Paris <https://www.iea.org/commentaries/global-patent-applications-for-climate-change-mitigation-technologies-a-key-measure-of-innovation-are-trending-down>
- [25] MOLLIKOVÁ, E. Modelovací jazyky v optimalizaci. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 54 s. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Pavel Popela, Ph.D.
- [26] V mělnické teplárně tahá za páky umělá inteligence, ušetří stroje i peníze
 Zdroj: https://www.idnes.cz/technet/technika/cez-ict-services-energotrans-predikcni-model-melnik-sarka-mala.A201201_162848_tec_technika_nyv
- [27] Jakým způsobem nulové čisté emise představují příležitost pro energetický sektor
https://www.ey.com/cs_cz/power-utilities/how-net-zero-emissions-present-the-power-sector-with-an-opportunity
- [28] Vyrábět elektřinu může každý. Evropa sází na komunitní energetiku
<https://euractiv.cz/section/energetika/linksdossier/vyrabet-elektřinu-muze-kazdy-evropa-sazi-na-komunitni-energetiku/>
- [29] SMART Cities <https://www.iprpraha.cz/vytisknout-clanek/308>
- [30] Koncept strategického rámce Smart Prague <https://www.architectureweek.cz/koncept-strategickeho-ramce-smart-prague/>
- [31] <https://www.iprpraha.cz/clanek/308/smart-cities>
- [32] Hanspaulka <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hanspaulka>
- [33] OBECNÍ OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE
https://www.hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/2021/01/obecni_obnovitelne_zdroje_energie.pdf

[34] MODELOVÁNÍ ENERGETICKÝCH STŘEDISEK, JOSEF KUŘÁTKO,
<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/89007?show=full>

15. Seznam obrázků

OBRÁZEK 4.1.1 TECHNOLOGICKÁ ARCHITEKTURA ENERGYHUBU (PŘELOŽENO) []	18 -
OBRÁZEK 4.2.1 OBECNÝ MODEL ENERGYHUBU PRO ZÁTĚŽ SPECIFICKOU PRO METROPOLITNÍ OBLAST (PŘELOŽENO) []	19 -
OBRÁZEK 4.2.2 ZÁKLADNÍ PRINCIP VSTUPU, KONVERZE A VÝSTUPY ENERGIE ENERGYHUBEM []	19 -
OBRÁZEK 3.2.3 VAZEBNÍ MATICE ENERGYHUBU []	20 -
OBRÁZEK 4.2.4 PRINCIP FUNGOVÁNÍ ENERGYHUBU (PŘELOŽENO) []	20 -
OBRÁZEK 5.1 ROZDĚLENÍ ÚZEMÍ NA OBJEKTY DLE PŘEDSTAVENÝCH KATEGORIÍ	25 -
OBRÁZEK 5.1.1.1 IDENTIFIKACE TYPOLOGIE BUDOV – MAPA ÚZEMÍ	26 -
OBRÁZEK 5.1.1.2 IDENTIFIKACE TYPOLOGIE BUDOV – ZNÁZORNĚNÍ "RODINNÝ DŮM PŘED REKONSTRUKCÍ" [] ...-	26 -
OBRÁZEK 5.1.2.1 IDENTIFIKACE TYPOLOGIE BUDOV – MAPA ÚZEMÍ	28 -
OBRÁZEK 5.1.2.2 IDENTIFIKACE TYPOLOGIE BUDOV – ZNÁZORNĚNÍ "RODINNÝ DŮM PO REKONSTRUKCÍ" [] -	28 -
OBRÁZEK 5.1.3.1 IDENTIFIKACE TYPOLOGIE BUDOV – MAPA ÚZEMÍ	30 -
OBRÁZEK 5.1.3.2 IDENTIFIKACE TYPOLOGIE BUDOV – ZNÁZORNĚNÍ " BYTOVÉ DOMY PO REKONSTRUKCÍ" [] -	30 -
OBRÁZEK 5.1.4.1 IDENTIFIKACE TYPOLOGIE BUDOV – MAPA ÚZEMÍ	32 -
OBRÁZEK 5.1.4.1 IDENTIFIKACE TYPOLOGIE BUDOV – ZNÁZORNĚNÍ " BYTOVÉ DOMY PŘED REKONSTRUKCÍ" [] ...-	32 -
OBRÁZEK 6.4.1 TYPOVÝ DIAGRAM DODÁVEK (TDD) []	40 -
OBRÁZEK 6.4.1 PROFIL SPOTŘEBY ELEKTŘINY JEDNOU DOMÁCNOSTÍ	41 -
OBRÁZEK 7.1.1 CELKOVÝ PŘEHLED – OBJEKTY S PLOCHOU STŘECHOU V ŘEŠENÉ LOKALITĚ	44 -
OBRÁZEK 7.2.1 CHARAKTERISTIKY PANELU TRINA SOLAR V SIMULAČNÍM NÁSTROJE SAM	45 -
OBRÁZEK 7.2.2 CHARAKTERISTIKY STŘÍDAČE SCHUCO USA V SIMULAČNÍM NÁSTROJE SAM	45 -
OBRÁZEK 7.3.1 VÝSLEDKY SIMULACE V SAM, PRODUKCE ELEKTŘINY 1 MODULU – ROČNÍ PŘEHLED	48 -
OBRÁZEK 7.3.2 VÝSLEDKY SIMULACE V SAM, PRODUKCE ELEKTŘINY 1 MODULU – MĚSÍČNÍ PŘEHLED	49 -
OBRÁZEK 7.3.3 HODINOVÝ PROFIL PRODUKCE ELEKTŘINY PRO 1 MODULEM, ZOBRAZENÍ DANÉ DO FORMY "HEAT MAP" PRO CELKOVÝ PŘEHLED ZA CELÝ ROK	50 -
OBRÁZEK 8.1.1 PLATNOST NÍZKÉHO A VYSOKÉHO TARIFU	52 -
OBRÁZEK 9.1.1 JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY ENERGY HUBU PRO VARIANTU 1	55 -
OBRÁZEK 9.2.1 JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY ENERGY HUBU PRO VARIANTU 2	57 -
OBRÁZEK 8.3.1 JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY ENERGY HUBU PRO VARIANTU 3	58 -
OBRÁZEK 9.1 VSTUPNÍ DATA V PROSTŘEDÍ GAMS	63 -
OBRÁZEK 10.2.1 ZAVEDENÍ PROMĚNNÉ COST	63 -
OBRÁZEK 10.3.1 ZAVEDENÍ PROMĚNNÝCH PRO VARIANTU 1	64 -
OBRÁZEK 10.3.2 ZAVEDENÍ ROVNIC PRO VARIANTU 1	64 -
OBRÁZEK 10.4.1 ZAVEDENÍ PROMĚNNÝCH PRO VARIANTU 2	65 -
OBRÁZEK 10.4.2 ZAVEDENÍ ROVNIC PRO VARIANTU 2	65 -
OBRÁZEK 10.5.1 ZAVEDENÍ PROMĚNNÝCH PRO VARIANTU 3	66 -
OBRÁZEK 10.5.2 ZAVEDENÍ ROVNIC PRO VARIANTU 3	67 -
OBRÁZEK 11.1.1 GRAF – ELEKTRICKÁ ENERGIE VARIANTA 1	68 -
OBRÁZEK 11.1.2 GRAF – BILANCE TEPELNÉ ENERGIE VARIANTA 1	68 -
OBRÁZEK 11.1. GAMS – VÝLEDNÍ REPORT PRO VARIANTU 1	69 -
OBRÁZEK 11.2.1 GRAF – ELEKTRICKÁ ENERGIE VARIANTA 2	70 -
OBRÁZEK 11.2.2 GRAF – BILANCE TEPELNÉ ENERGIE VARIANTA 2	70 -
OBRÁZEK 11.2.3 GAMS – VÝLEDNÍ REPORT PRO VARIANTU 2	71 -
OBRÁZEK 11.3.1 GRAF – ELEKTRICKÁ ENERGIE VARIANTA 3	71 -
OBRÁZEK 11.3.2 GRAF – BILANCE TEPELNÉ ENERGIE VARIANTA 3	72 -
OBRÁZEK 11.3.3 GRAF – BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ	72 -
OBRÁZEK 11.3.3 GAMS – VÝLEDNÍ REPORT PRO VARIANTU 3	73 -

16. Seznam tabulek

TAB. 5.1.1.1 POPIS BUDOVY	- 27 -
TAB. 5.1.1.2 PARAMETRY BUDOVY	- 27 -
TAB. 5.1.2.1 POPIS BUDOVY	- 29 -
TAB. 5.1.2.1 PARAMETRY BUDOVY	- 29 -
TAB. 5.1.3.1 POPIS BUDOVY	- 31 -
TAB. 5.1.3.1 PARAMETRY BUDOVY	- 31 -
TAB. 5.1.4.1 POPIS BUDOVY	- 33 -
TAB. 5.1.4.1 PARAMETRY BUDOVY	- 33 -
TAB. 5.2.1 POČET STAVEB V ŘEŠENÉM ÚZEMÍ DLE JEDNOTLIVÝCH KLASTRŮ	- 35 -
TAB. 6.1.1 HODINOVÁ SPOTŘEBA TEPLA.....	- 36 -
TAB. 6.2.1 MNOŽSTVÍ DENNĚ SPOTŘEBOVANÉ TEPLÉ VODY	- 37 -
TAB. 6.3.1 SPOTŘEBA PLYNU NA VAŘENÍ.....	- 39 -
TAB. 6.4.1 HODINOVÁ SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE	- 41 -
TAB. 6.4.2 PARAMETRY ÚZEMÍ.....	- 42 -
TAB. 6.4.3 HODINOVÁ SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE	- 42 -
TAB. 7.1.1 VÝKONOVÉ CHARAKTERISTIKY PANELU TRINA SOLAR	- 44 -
TAB. 7.2.1 VÝPOČET DOSTUPNÝCH PLOCH A NAVŘENÝ POČET PANELU PRO OBJEKTY S PLOCHOU STŘECHOU V ŘEŠENÉM ÚZEMÍ.....	- 48 -
TAB. 7.3.1 DOSTUPNÝ VÝKON FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	- 51 -
TAB. 8.3.4.1 CELKOVÉ DENNÍ NÁKLADY NA ENERGIE V ZADANÉ OBLASTI	- 54 -
TAB. 9.4.1 SHRNUÍ: HODINOVÉ SPOTŘEBY, DOSTUPNÝ VÝKON FV SYSTÉMU, CENY ENERGIÍ	- 60 -
TAB. 9.5.1.1 PLYNOVÝ KOTEL – PARAMETRY	- 61 -
TAB. 9.5.2.1 TEPELNÉ ČERPADLO – PARAMETRY	- 61 -
TAB. 9.5.3.1 TEPELNÉ ČERPADLO – PARAMETRY	- 61 -
TAB. 9.5.4.1 BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ	- 62 -
TAB. 12.1 SHRNUÍ	- 73 -

