

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra zadávající téma diplomové práce

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Simulace provozu lokální distribuční soustavy v podmínkách ČR

Autor práce: **Bc. Jan Smeták**
Vedoucí práce: **Ing. Václav Mužík, PhD.**

2024

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan SMETÁK**
Osobní číslo: **E22N0028P**
Studijní program: **N0713A060013 Výkonové systémy a elektroenergetika**
Specializace: **Elektroenergetika**
Téma práce: **Simulace provozu lokální distribuční soustavy v podmínkách ČR**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky**

Zásady pro vypracování

1. Popište aktuálně dostupný legislativní a provozní rámec uvažované konfigurace LDS.
2. Navrhněte LDS včetně technického uspořádání a vytvořte model provozu této soustavy.
3. Navrhněte algoritmus řízení toků mezi subjekty v LDS včetně fakturace.
4. Vyhodnoťte testovací provoz a uveďte obecně aplikovatelné principy na provoz LDS v prostředí české energetiky.

Rozsah diplomové práce: **40-60**
Rozsah grafických prací: **2**
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

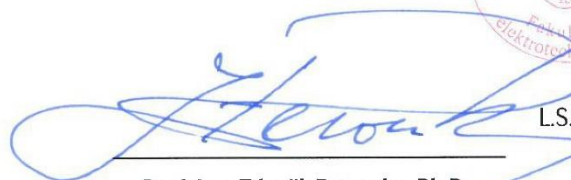
Seznam doporučené literatury:

1. L. He, Z. Wei, H. Yan, K. -Y. Xv, M. -y. Zhao and S. Cheng, "A Day-ahead Scheduling Optimization Model of Multi-Microgrid Considering Interactive Power Control," *2019 4th International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)*, Hubei, China, 2019.
2. H. Palahalli, E. Ragaini and G. Grusso, "Real-time Smart Microgrid Simulation: The integration of communication layer in electrical simulation," *2021 22nd IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, Valencia, Spain, 2021.
3. O. Nzimako and A. Rajapakse, "Real time simulation of a microgrid with multiple distributed energy resources," *2016 International Conference on Cogeneration, Small Power Plants and District Energy (ICUE)*, Bangkok, Thailand, 2016.
4. Aktuální platná legislativa ČR (Energetický zákon, Pravidla provozování distribuční soustav v uvažované distribuční soustavě).

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Mužík, Ph.D.**
Research and Innovation Centre for Electrical Engineering

Datum zadání diplomové práce: **6. října 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**




L.S.

Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 6. října 2023

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na energetické komunity, simulaci provozu a možnosti fakturace mezi jednotlivými zákazníky. Cílem práce je zjistit jednoduchý systém pro fakturaci mezi jednotlivými zákazníky, vytvořit simulaci toků energií mezi jednotlivými objekty a následné vyhodnocení simulace. Hlavními body této práce jsou provedení rešerše na aktuální legislativní rámec pro energetické komunity, seznámení se s energetickými společenstvími, vytvoření simulace provozu mezi objekty včetně fakturace a na závěr vyhodnocení simulace provozu v podmínkách České republiky.

Klíčová slova

Energetický management, lokální distribuční síť, fakturace mezi zákazníky, novela zákona, výkonové toky, energetické společenství

Abstract

This master's thesis focuses on energy communities and the simulation of operation and billing possibilities between users. The aim of the thesis is to find out a simple system for billing between customers and to create a simulation of energy flows between objects and a subsequent evaluation of the simulation. The main points of this work are to conduct research on the current legislative framework for energy communities, to learn about energy communities, to create a simulation of the operation between objects including billing and finally to evaluate the simulation of the operation in the context of the Czech Republic.

Key Words

Energy management, local distribution network, billing between customers, amendment of the law, power flows, energy community

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Václavu Mužikovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat pražské ČVUT UCEEB za poskytnutá data a firmě AIRS s.r.o. za poskytnuté softwarové zázemí a odbornou pomoc.

Obsah

Úvod	1
1 Komunitní energetika	1
1.1 Princip.....	1
1.2 Metody sdílení elektřiny	2
1.2.1 Statická metoda sdílení elektrické energie	2
1.2.2 Dynamická metoda sdílení elektrické energie.....	2
1.2.3 Hybridní metoda sdílení elektrické energie.....	3
1.2.4 Metody rozdělení elektrické energie v členských státech Evropské unie	3
1.2.5 Rakousko a komunitní energetika	4
1.3 Komunitní energetika v bytových domech.....	4
1.4 Definice základních pojmů.....	6
1.4.1 Lokální distribuční soustava.....	6
1.4.2 Občanské energetické společenství	6
1.4.3 Společenství pro obnovitelné zdroje.....	7
1.5 Implementace Agrovoltaiky	8
2 Legislativa LEX OZE.....	11
2.1.1 Novinky v zákoně č. 458/2000 Sb.....	11
2.1.2 Podmínky pro udělení licence podle § 5	11
2.1.3 Práva a povinnosti držitelů licencí podle § 11.....	12
2.1.4 Poplatek na činnost Energetického regulačního úřadu dle § 17d.....	12
2.1.5 Energetické společenství a společenství pro obnovitelné zdroje dle § 20b.....	13
2.1.6 Datové centrum.....	13
3 Technické uspořádání komunity.....	14
3.1 Připojování členů přímo u domu	14
3.2 Využití centrální baterie	15
3.3 Připojování členů ve společném odběrovém místě	16
3.4 Průmyslový závod	17
3.5 Energetické společenství využívající nadřazenou síť	18
4 Simulace provozu	19

4.1	Popis energetického systému.....	19
4.2	Popis simulace v prostředí Matlab.....	20
4.3	Popis fungování simulace.....	23
4.4	Simulace jedné budovy.....	24
4.5	Využití komunitního sdílení v simulaci se dvěma budovami	27
4.6	Využití komunitního sdílení na dvou budovách s centrální baterií.....	28
4.7	Využití komunitního sdílení na dvou budovách bez centrální baterie	29
4.8	Simulace energetické komunity na osmi budovách	30
4.9	Simulace energetické komunity s centrální baterií 500 kWh.....	34
4.9.1	Grafy komunity složené z osmi budov	34
4.9.2	Přiblížení prvního týdne v srpnu	36
4.10	Vyčíslení ztrát.....	39
4.11	Možnosti komunitního sdílení v podmínkách ČR.....	40
5	Možnosti fakturace mezi subjekty.....	41
5.1	Optimalizace využití bateriového uložení s různými tarify baterie.....	41
6	Fakturace a vyčíslení návratnosti za fixní ceny elektřiny.....	47
6.1	Ekonomické zhodnocení návratnosti investice.....	48
6.1.1	Budovy s FVE	48
6.1.2	Budovy využívající komunitní sdílení s centrální baterií.....	49
6.1.3	Budovy využívající komunitního sdílení s individuálními bateriemi	49
6.1.4	Budovy s individuální baterií a FVE bez využití komunitního sdílení	50
6.1.5	Zhodnocení odběru z nadřazené sítě	51
6.1.6	Různé kombinace tarifů za elektrickou energii	51
6.2	Vliv změny jednotlivých tarifů na době návratnosti	52
6.3	Cenotvorba v České republice.....	54
	Zhodnocení a závěr.....	56
	Seznam obrázků.....	58
	Seznam tabulek.....	60
	Citovaná literatura	61

Seznam symbolů a zkratek

ERÚ	<i>Energetický regulační úřad</i>
CoF	<i>Cena za spotřebovanou elektrickou energii</i>
ČEPS	<i>Česká elektroenergetická přenosová soustava</i>
DoD	<i>Hloubka vybití</i>
EU	<i>Evropská unie</i>
FVE	<i>Fotovoltaická elektrárna</i>
Kč	<i>Koruna česká</i>
LDS	<i>Lokální distribuční soustava</i>
OES	<i>Občanské energetické společenství</i>
OTE	<i>Operátor trhu s elektřinou</i>
SOZE	<i>Společenství pro obnovitelné zdroje</i>
SOE	<i>Stav nabití baterie</i>
SVJ	<i>Společenství vlastníků jednotek</i>
C(t)	<i>Rezervovaná kapacita pro vybití v čase</i>
kW	<i>Kilowatt</i>
kWh	<i>Kilowatt hodina</i>
MWh	<i>Megawatt hodina</i>
t	<i>Čas</i>
C_{gbuy}	<i>Cena za nákup elektrické energie z nadřazené sítě</i>
P_{gbuy}^i	<i>Celková nakoupená elektrická energie</i>
C_{gfit}	<i>Cena za prodej elektrické energie do nadřazené sítě</i>
P_{gsell}^i	<i>Celková prodaná elektrická energie nadřazené síti</i>
C_{bbuy}^i	<i>Cena za nákup elektrické energie z centrální baterie</i>
P_{bd}^i	<i>Celková energie dodaná centrální baterii</i>
C_{bsell}^i	<i>Cena za prodej elektrické energie do centrální baterie</i>
P_{bc}^i	<i>Celková energie nakoupená z centrální baterie</i>
P_v^i	<i>Vyrobená elektrická energie budovou</i>
P_d^i	<i>Celková spotřeba elektrická energie budovou</i>
D_{lmt}	<i>Vybíjecí limit baterie</i>
C_{lmt}	<i>Nabíjecí limit baterie</i>

Úvod

V mé práci jsem se zaměřil na problematiku komunitní energetiky. V České republice je komunitní energetika v začátcích. Důvodem je, že novela zákona byla schválena nedávno a aktuálně se mnoho vesnic a obcí angažuje v tomto tématu tím, že instalují fotovoltaické systémy na nevyužité pozemky a obecní budovy. Fotovoltaickými systémy chtějí obce a města získanou energii distribuovat za nižší cenu svým obyvatelům. Je potřeba vymyslet systém, který bude řídit a sledovat toky energií mezi zákazníky a vytvářet spravedlivé společenství, kde nebude nikdo zvýhodněn, a následně generovat co nejjednodušším způsobem vyúčtování. Jednou z možností je inspirace od států, kde se tento trend také rozmáhá.

Nasimuloval jsem nejdříve jednu budovu, na které byla znázorněna funkce fotovoltaického systému. Využity byly naměřené hodnoty z města Slaný u Prahy, na které jsem nasadil simulaci a nasimuloval tyto budovy, jakožto komunitu a zkusil vymyslet systém, který bude řídit vyúčtování za energii. Vyúčtování by takto mělo být spravedlivé a nemělo by žádného člena zvýhodňovat.

Dále se zabývám otázkami, jaká je nejvýhodnější kombinace budov pro komunitu, vytvoření spravedlivého systému fakturace a výhodnost investice do centrální baterie místo individuálních baterií.

V teoretické části interpretuji pojem komunitní energetika a uvádím její typy. Vysvětluji základní pojmy, charakterizuji možnosti sdílení elektrické energie a jako příklad uvádím jiné státy Evropské unie. Dále popisuji možnost zapojení Agro fotovoltaiky, která je též blízkou budoucností. Následně se zaměřuji na legislativní rámec komunitní energetiky, její úskalí, výhody a nevýhody a můj pohled na tuto novelu zákona.

V praktické části jsem provedl simulaci jedné budovy, poté byla tato simulace provedena na datech z osmi budov města Slaný u Prahy a byl aplikován systém, který simuloval komunitní sdílení mezi těmito budovami. Následně jsem provedl vyúčtování mezi všemi objekty a zhodnotil, jaký vliv mají jednotlivé položky ve vyúčtování na výslednou hrubou dobu návratnosti.

1 Komunitní energetika

V této kapitole se budu zabývat vysvětlením principu komunitní energetiky. Komunitní energetika se může teoreticky dělit na komunitní energetiku v bytových a panelových domech nebo komunitní energetiku v rámci energetického společenství, například v obci mezi obecními a rezidentními domy.

1.1 Princip

Komunitní energetika pracuje na principu vzájemné ochoty sdílet si elektrickou energii, kterou vyrobí fotovoltaická nebo větrná elektrárna na některé z budov zapojených v energetickém společenství, případně na fotovoltaické nebo větrné farmě, jenž náleží dané obci nebo zemědělci. Dále se může jednat o plyn nebo energii ve formě tepla. V případě zemědělců se jedná o agrovoltaice nebo také agrivoltaice, o které se budu zmiňovat následně.

Komunitní energetika vznikla za účelem podpory decentralizace a demokratizace samotné energetiky. Komunitní energetika přispívá k tomu, aby se do sítě připojovalo více obnovitelných zdrojů elektrické energie, podpořilo se opatření proti energetické chudobě a zvýšila se energetická účinnost a spolehlivost dodávky elektrické energie. Tato hlediska řeší zejména domácnosti a malé a střední podniky (1). Na stránce Ministerstva životního prostředí uvádí: *„Legislativně podpora energetických komunit a komunit obnovitelných zdrojů energie vychází z požadavků Směrnic (EU) 2018/2001 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a (EU) 2019/944 o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou.“* (1)

Aktuálně však nemáme poznání o fungování energetických komunit v podmínkách ČR. Nemáme jejich modely fungování jak na technické, tak na ekonomické úrovni. *„Ministerstvo životního prostředí zadavatelem a konečným uživatelem výsledků projektu TITSMZP102 „Komplexní nastavení podmínek pro vznik a provozování energetických komunit v podmínkách ČR včetně pilotních projektů“ v programu BETA 2 Technologické agentury ČR.“* (1)

1.2 Metody sdílení elektřiny

V této podkapitole se budu věnovat metodám sdílení elektrické energie. Sdílení je virtuální účetní operace, kdy se elektrická energie rozděluje mezi členy komunity a na konci procesu vyúčtuje, kolik energie jaký člen odebral z komunity, kolik energie komunitě dodal, případně se může jednat o obchodování s centrální baterií. Na konci zúčtovacího období je vygenerována faktura za elektrickou energii, kde jsou uvedeny veškeré již zmíněné položky za elektrickou energii. Hovoříme zejména o třech základních principech, kterými jsou statická, dynamická a hybridní metoda. Veškeré tyto metody budou následně popsány.

1.2.1 Statická metoda sdílení elektrické energie

Statická metoda je založená na principu, kdy rozdělení elektřiny proběhne na základě pevně daného procentuálního nároku. Sdílená elektrická energie se rozděluje na základě předem stanovených procent. Elektrická energie se rozděluje v patnáctiminutových intervalech. Pokud zákazník elektřinu v daném intervalu nespotřebuje, pak nemůže být přiřazena žádnému jinému členovi společenství. Výhodou této metody je fakt, že dokážeme lépe předvídat rozložení elektrické energie v síti, díky předem dohodnutým podílům sdílené elektřiny. Velkou nevýhodou je nemožnost využití většiny vyrobené energie kvůli statickému procentnímu alokování elektrické energie. Tím pádem není využita veškerá elektrická energie v rámci společenství. Tento vzniklý přetok elektrické energie se poté prodá do nadřazené sítě. Do budoucna Energetický regulační úřad uvažuje o tom, že bude možné rozdělovat elektřinu se statickým klíčem vícekolově. (2)

1.2.2 Dynamická metoda sdílení elektrické energie

Dynamická metoda je založena na principu rozdělení elektrické energie na základě jednoho parametru. Na rozdíl od statické metody je rozdíl ten, že je zohledněna aktuální spotřeba elektřiny každého účastníka energetické komunity. Základním principem je podmínka, kdy nejvíce elektrické energie dostane právě ten, který v daném patnáctiminutovém intervalu nejvíce energii spotřebovává. Oproti statické metodě se v té dynamické spotřebuje větší množství elektřiny a teoreticky až do maximální výše potřeby elektrické energie v dané komunitě v daném okamžiku. Tato metoda své členy oproti statické metodě více motivuje k soudobosti výroby a spotřeby. Velkou nevýhodou se na první pohled zdá, že tato metoda přímo zvýhodňuje právě ty členy komunity, kteří mají nejvyšší spotřebu elektrické energie oproti ostatním členům, kteří mají snahu svou spotřebu snižovat. (2)

1.2.3 Hybridní metoda sdílení elektrické energie

Tato metoda je oproti prvním dvěma odlišena tím, že probíhá rozdělení elektrické energie na základě více parametrů, po rozdělení dle prvního parametru následuje rozdělení dle dalšího. První rozdělení probíhá staticky, tedy dle fixně určených procent. Jestliže člen komunity ve svém patnáctiminutovém intervalu není schopen spotřebovat elektrickou energii, nebo jí zkrátka nepotřebuje, tak se zbývající elektřina rozdělí dynamicky v dalších krocích mezi ostatní členy komunity. Uvedená metoda z velké části eliminuje jednotlivé nedostatky předchozích metod. Metoda se jeví jako nejvíce spravedlivá, protože každý člen dostane nejdříve svůj podíl elektřiny, na kterou má nárok, a zbytek se rozdělí spravedlivě mezi zbývající členy. (2) Tato metoda by se dala v praxi využít velice efektivně. Dle návrhu zákona o komunitní energetice, *zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony* (3), může být členem komunity kdokoliv, tedy i člověk, který nevlastní žádnou výrobu elektrické energie. Tohoto faktu by se využilo tak, že by se elektrická energie nejdříve rozdělila staticky mezi členy, kteří aktivně přispívají svou výrobou do komunity, poté by se elektrická energie rozdělila dynamicky mezi zbytek členů energetické komunity. (2)

1.2.4 Metody rozdělení elektrické energie v členských státech Evropské unie

V členských státech Evropské unie se využívají různé způsoby rozdělování elektrické energie. Hybridní způsob rozdělení elektrické energie využívá Francie, Belgie nebo Rakousko. Jiné země jako jsou Polsko nebo Řecko, využívají rozdělování elektrické energie pomocí net-meteringu, který umožňuje vyrobenou elektrickou energii využívat ze sítě později, když už elektrickou energii nevyrábí. (2) Problém této metody je v tom, že nemotivuje členy komunity k žádné soudobosti mezi výrobou a spotřebou a ve výsledku může velmi nepříjemně ovlivnit kvalitu elektrické energie v nadřazené síti a přispět k jejímu většímu zatěžování. Pokud má zákazník přetoky, má vyšší výrobu nežli spotřebu, pak mu elektroměr načítá virtuální kredit, ze kterého čerpá v noci nebo ve dnech kdy není jasné počasí. Z virtuálního kreditu pak nakupuje elektrickou energii. Na konci měsíce se mu vyúčtuje, kolik energie odebral z nadřazené sítě, kolik prodal do nadřazené sítě a zaplatí jen čistou částku za energii kterou z nadřazené sítě odebral. Také je možný způsob „Buy all/sell all“, kdy veškerou energii, kterou zákazník vyrobí navíc, prodá do sítě a nenačítá se žádný virtuální kredit a když je naopak poptávka po elektrické energii tak se veškerá energie nakoupí za nasmlouvanou cenu. (4)

Netradiční cestou se vydala Itálie, která využívá sice net-metering, ale doplňuje ho metoda takzvaného feed-in tarifu (jedná se o garantovanou výkupní cenu elektrické energie z obnovitelných zdrojů) a také slevy na poplatku distribuční síti. Kombinace těchto systémů vede k posílení celkové soudobosti výroby a spotřeby elektrické energie. Jedná se o model, který je velmi komplexní a administrativně náročný.

Existují i další metody, nebo spíše kombinace zmíněných metod, jako je například statické rozdělení, kde záleží na aktuálním dnu v týdnu. Rozlišuje se, zda se jedná o pracovní den nebo víkend, jaké je období v roce a tak podobně. (2)

1.2.5 Rakousko a komunitní energetika

Rakousko se aktuálně bere jako průkopník v komunitní energetice. Rakousko schválilo v červenci roku 2021 transpoziční zákon o obnovitelných zdrojích EAG (Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz), který stanovuje: „*Do roku 2023 bude veškerá elektřina pocházet z obnovitelných zdrojů a do roku 2040 dosáhne Rakousko klimatické neutrality.*“. V Rakousku je celková spotřeba elektřiny zhruba 73 TWh ročně (údaj za rok 2022) a obnovitelné zdroje již dnes vyrobí až 68 % tohoto objemu (za rok 2022 cca 49,5 TWh). Nejvyšší podíl má na této hodnotě elektrická energie z vodních elektráren, který činí 73 %, dále podíl z větrných elektráren, který je 14 % a fotovoltaické elektrárny mají podíl 5.5 %. Nejmasivnější rozvoj v Rakousku, stejně jako u nás, mají fotovoltaické elektrárny, kdy se instalovaný výkon fotovoltaických elektráren za poslední tři roky více než zdvojnásobil. (5)

1.3 Komunitní energetika v bytových domech

Společenství pro bytové domy je také mladou záležitostí. V rámci komunitní energetiky se jedná o velice zajímavé místo pro sdílení elektrické energie. Jedná se zejména o to, že si majitelé domů mohou pořídit fotovoltaické elektrárny na střechy panelových domů, kde je místa většinou dostatek, nebo nainstalovat fotovoltaická zábradlí na balkony a v rámci jedné budovy elektřinu sdílet s ostatními obyvateli. Společenství pro bytové domy je založeno na dobrovolné a otevřené účasti členů. Společenství spravují osoby, které jsou fyzickými osobami nebo malými podnikateli a účastní se sdílení elektřiny v dané lokalitě. O pořízení FVE rozhoduje shromáždění vlastníků nadpoloviční většinou přítomných. Pokud jde o spolek založený částí obyvatel SVJ, pak musí schůze SVJ schválit pronájem střechy pro výstavbu FVE a to, že se elektrárna nestane součástí nemovitosti. (6) Také je zde možnost, aby byl v rámci jednoho domu jeden správce, který bude řešit fakturace a vše ohledně sdílené elektřiny. V rámci jednoho bytového domu je hlavním účelem komunitní

energetiky zajištění dodávky elektrické energie, přičemž po souhlasu se členstvím nesmí být členům sebrána práva a povinnosti zákazníků. Při pohledu na distribuční část, je distributor povinen spolupracovat s energetickými společnostmi za poskytnutí náhrady. (7)

Od 1.1.2023 platí zjednodušené principy sdílení elektřiny v bytových domech. Prvním základním bodem je, že elektřina musí být sdílena pouze v jednom bytovém domě pod jedním přívodním vedením, které je připojeno na nadřazenou síť. Žádost se podává u příslušného provozovatele nadřazené sítě. Jelikož se jedná o sdílenou elektřinu, musí být nainstalovány elektroměry průběhové s typem měření B, umožňující průběžně zaznamenávat údaje o množství vyrobené a odebrané elektřiny ve čtvrt hodinové periodě a také vzdálený odečet, které na své náklady osadí provozovatel distribuční sítě. (6) Je zde pravděpodobnost, že vyrobená energie nebude v místě spotřeby využita a dojde k přetokům do nadřazené sítě. V takovémto případě se správce společenství, společně se členy, dohodne s obchodníkem na způsobu vyrovnání přetoků do nadřazené sítě. V opačném případě, kdy je výroba menší než spotřeba, je elektřina dodávána podle stávajících individuálních obchodních smluv jednotlivých odběrných míst. (7)



Obrázek 1 - Příklad panelového domu s nainstalovanou fotovoltaickou elektrárnou (8)

1.4 Definice základních pojmů

V této podkapitole rozvedu různé pojmy na téma komunitní energetiky. Existuje několik pojmů, které se mohou zaměnit: LDS – Lokální distribuční soustava, OES – Občanské energetické společenství nebo SOZE – Společenství pro obnovitelné zdroje.

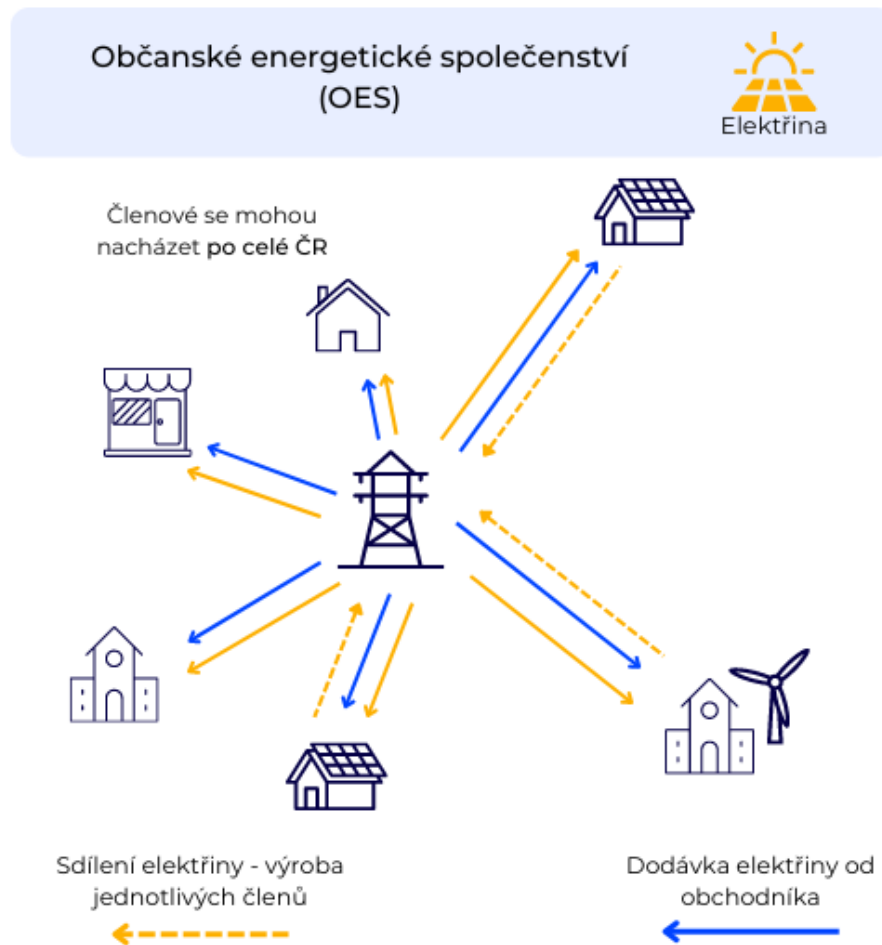
1.4.1 Lokální distribuční soustava

LDS neboli lokální distribuční soustava je pojem pro soustavu, která slouží k připojení koncových odběratelů k elektrické síti. Distribuční soustava je provozována licencovanými distributory v rámci území, které je těmito licencemi vymezené. Jedná se o lokální, vzájemně propojený soubor budov vlastním vedením, které je určeno k zajištění distribuce elektrické energie. Může být provozováno na hladině nízkého napětí, vysokého napětí nebo i na hladině velmi vysokého napětí. V případě LDS u obcí a vesnic ovšem operujeme na hladině nízkého napětí. Lokální distribuční soustava může vzniknout všude tam, kde je více zákazníků připojeno k distribuční síti pomocí jednoho jediného připojovacího bodu. Typicky jsou tyto objekty komerční zóny, obchodní centra, panelové domy, bytové komplexy, množství rodinných domů nebo průmyslové zóny. (9; 10) LDS slouží k zajištění distribuce elektřiny a není přímo připojen k přenosové soustavě. Rozhraní mezi provozovatelem distribuční soustavy a LDS je připojovací bod. (10, 11)

1.4.2 Občanské energetické společenství

Pro občanské energetické společenství i pro společenství pro obnovitelné zdroje platí jedna společná vlastnost a tou je, že ani jedno společenství není založeno za účelem zisku, nýbrž za účelem poskytování environmentálních, hospodářských a sociálních výhod členům a dané lokalitě. Mají shodné oprávnění a těmi jsou sdílení elektřiny, výroba elektřiny, její dodávka nebo obchod s elektřinou. (12)

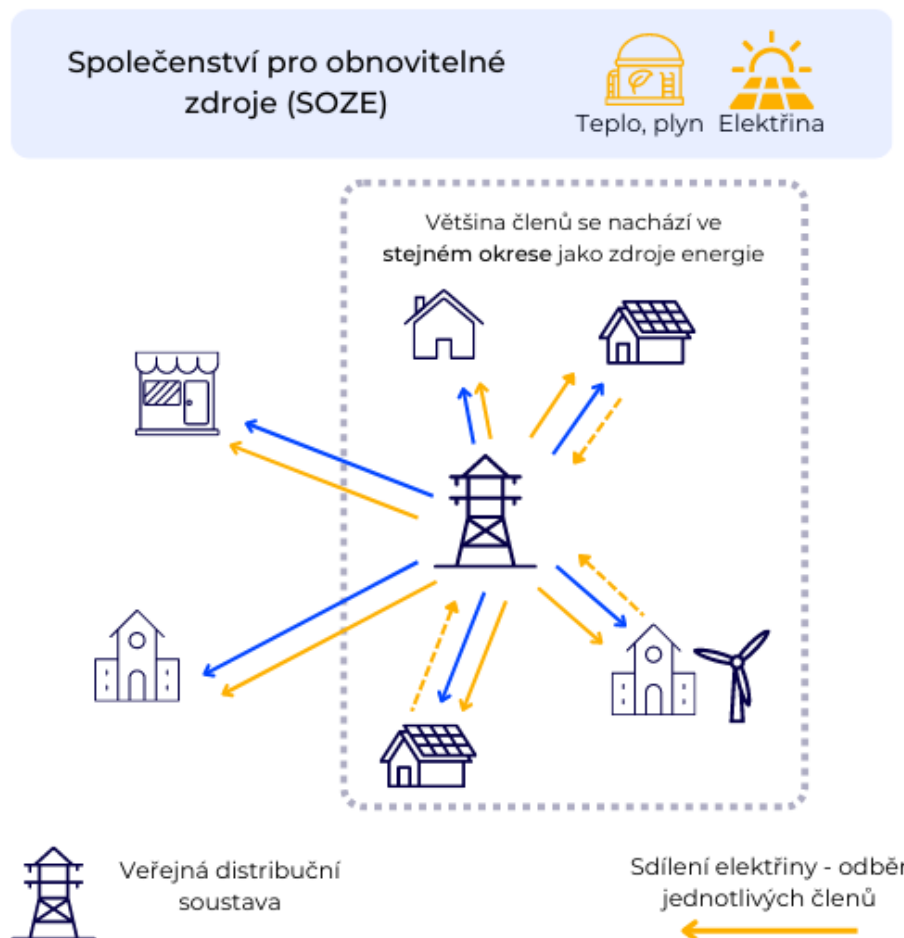
Občanské energetické společenství se v českém návrhu zákona nazývá Energetické společenství. Toto společenství je limitováno pouze na elektřinu, tedy výhradně zdroje, které vyrábějí elektrickou energii jako jsou fotovoltaické systémy, malé vodní elektrárny nebo větrné elektrárny. Členem v tomto společenství může být kdokoli, jak fyzické osoby, tak i například podniky nebo samosprávné celky. (12)



Obrázek 2 - Schéma OES (12)

1.4.3 Společenství pro obnovitelné zdroje

Od Občanského energetického společenství se liší zejména v druhu energie, kterou společenství může produkovat. Tedy Společenství pro obnovitelné zdroje má pravomoc, kromě výroby elektrické energie, investovat do tepelné energie nebo plynu. Členem mohou být fyzické osoby nebo samosprávné celky a jejich právnické osoby. Nikdy se členem však nemůže stát velký podnik. (12)



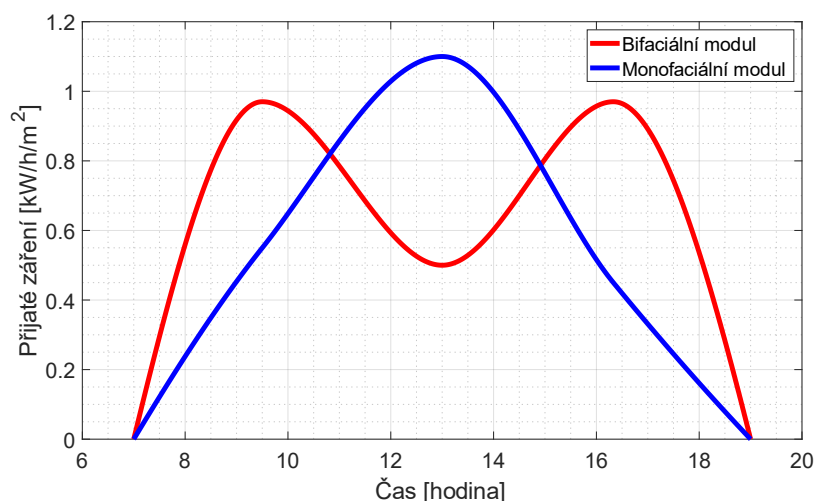
Obrázek 3 - Schéma SOZE (12)

1.5 Implementace Agrovoltaiky

Novou, a přesto stále nejasnou věcí, je pro Českou republiku agrovoltaika, neboli spojení zemědělství a fotovoltaiky. Jedná se o nový přístup k výrobě elektrické energie pro zemědělce, kteří mají například velké statky, do kterých si díky svým fotovoltaickým elektrárnám mohou posílat elektrickou energii a zároveň být na základě této zkušenosti ziskoví, když přebytek energie budou prodávat do nadřazené sítě. Výroba elektrické energie je zde spíše druhotná. Primárním účelem podnikání je stále pěstování plodin. Z toho důvodu agrovoltaický systém zabírá malou plochu pouze svojí konstrukcí. Jeho základy jsou řešeny bez jakéhokoliv využití betonu, využívají se hluboké zemní vruty. Je to z důvodu, aby se na konci životnosti elektrárny dalo případně vše vrátit do původního stavu bez ekologického zásahu do půdy. (13)

Agrovoltaika má velké zastoupení v sousedních státech, kde například v Německu a Rakousku má největší zastoupení firma Next2Sun. Základem pro samotnou výstavbu agrovoltaiky je na prvním místě průzkum plodin, které by se měly pěstovat pod fotovoltaickými panely. Fotovoltaické panely mohou rostlinám přinést stín, tím pádem ochranu proti vysychání, ochranu proti přírodním živlům jako je prudký déšť, vítr, kroupy a tak podobně. V neposlední řadě je agrovoltaika velkou výhodou pro zemědělce z hlediska využití remízků. Každý zemědělec musí určité procento z orné půdy nechat jako remízek kvůli přirozené biodiverzitě. Tím, že si zemědělec na svém pozemku vystaví fotovoltaickou elektrárnu, vznikne prostor pod fotovoltaickými panely a tím pádem může využívat i okraje svých polí. (13, 14)

Jak již bylo zmíněno, pro různé rostliny se hodí různé konstrukce fotovoltaických elektráren. Existují jak horizontální, tak vertikální způsoby uložení, ale například i skleníkové konstrukce. Nejběžnější jsou horizontální konstrukce pro uložení fotovoltaických panelů na vyvýšených konstrukcích tak, aby se pod nimi mohla pohybovat zemědělská technika. Výška konstrukcí může dosahovat až pěti metrů a u chmele dokonce přes osm metrů. Dalším způsobem jsou vertikální konstrukce, které si můžeme představit jako fotovoltaický plot, kde se využívají bifaciální fotovoltaické panely. Ty nemají sice takovou účinnost jako klasické fotovoltaické panely, ale jelikož dokáží vyrábět elektrickou energii delší dobu během dne, je jejich výrobní křivka pro síť mnohem přívětivější než křivka výroby standartních fotovoltaických panelů (viz. Obrázek 4). Zároveň více odpovídá denní spotřebě. Šířka konstrukce je kolem 20 cm a k tomu se musí připočítat ochranné pásmo 0,5 m z každé strany. Vzdálenost mezi jednotlivými řadami fotovoltaických plotů se pohybuje od 9 m do 25 m. Orientace bifaciálních panelů je co možná nejvíce na východ a západ. Tato orientace, v našich zeměpisných podmínkách, vyrobí zhruba stejně jako klasické panely orientované na jih. (14, 15)



Obrázek 4 - Křivka generované energie vertikálních bifaciálních panelů orientovaných východ-západ (24)

Z křivky (Obrázek 4) lze vidět velmi zřetelnou výhodu bifaciálních fotovoltaických panelů, kdy v poledne je elektrické energie během slunného dne z konvenčních fotovoltaických panelů nejvíce, bifaciální panel vyrábí nejméně. V minulosti se právě lokální maximum v poledních hodinách ukázalo jako velký problém pro distribuční síť a muselo docházet i k částečnému odpojování některých fotovoltaických elektráren. (15)

Testují se také agrovoltaické systémy pro pěstování ovoce, kdy fotovoltaické panely chrání plodiny před nepříznivými vlivy počasí. V Holandsku tento systém využili pro pěstování malin tak, že místo fóliových přístřešků postavili semitransparentní fotovoltaické panely. Došlo zde ke snížení produkce o zhruba 3.5 % - to je zanedbatelné vzhledem k tomu, že zemědělec snížil náklady na elektrickou energii a získal dodatečný příjem z prodané elektrické energie. (13, 14)

2 Legislativa LEX OZE

V této podkapitole se budu zabývat návrhem úpravy legislativy o komunitní energetice pod názvem LEX OZE, neboli úpravu *Zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, s vyznačením navrhovaných změn.*

2.1.1 Novinky v zákoně č. 458/2000 Sb.

Oproti původnímu znění energetického zákona je v novele zákona, která se nazývá LEX OZE několik zásadních změn pro fungování energetických komunit. V paragrafu 3 o podnikání v energetických odvětvích zní následující: „ *Podnikat v energetických odvětvích na území České republiky mohou za podmínek stanovených tímto zákonem osoby pouze na základě licence udělené Energetickým regulačním úřadem.*“ Dle úpravy se nyní vyžaduje licence, oproti předchozímu znění, kde mohl zákazník vystavět novou výrobu elektrické energie nad 50 kWp s cílem uspokojit vlastní spotřebu bez licence, bez ohledu na povahu činnosti pro výroby s výkonem nad 50 kWp. (3)

Licence se uděluje nejvýše na 25 let, a to na výrobu elektřiny, plynu nebo tepelné energie. Na dobu neurčitou na přenos elektřiny, distribuci elektřiny a mimo jiné nově i na činnost datového centra. Novinkou je také, že pro celé území České republiky jsou vydávány jako výlučné licence na činnost datového centra. (3)

2.1.2 Podmínky pro udělení licence podle § 5

Základní podmínkou pro udělení licence zůstává plná svéprávnost, bezúhonnost a odborná způsobilost nebo ustanovení odpovědného zástupce podle §6.

Dále žádá-li o udělení licence právnická osoba: „ *musí podmínky podle odstavce 1 písm. a) a b) splňovat členové statutárního orgánu. Je-li členem statutárního orgánu právnická osoba, musí tyto podmínky splňovat její zástupce. Právnická osoba je také povinna splnit podmínku bezúhonnosti. Dále je podmínkou pro udělení licence právnické osobě ustanovení odpovědného zástupce; to neplatí v případě licence na činnosti operátora trhu a licence na činnost datového centra.*“ (3)

2.1.3 Práva a povinnosti držitelů licencí podle § 11

Základní povinností je zejména to, aby byla k výkonu licencované činnosti používána zařízení splňující požadavky na bezpečnost a spolehlivost. Například: „Zákon č. 250/2021 Sb., o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení a o změně souvisejících zákonů, a nařízení vlády č. 191/2022 Sb., o vyhrazených technických plynových zařízeních a požadavcích na zajištění jejich bezpečnosti.“

Pro distribuční soustavu je stěžejní odstavec 9, který říká následující: „Zajišťuje-li držitel licence na distribuci elektřiny související službu v elektroenergetice do předávacího místa přiřazeného do skupiny sdílení, je povinen vyúčtovat související službu v elektroenergetice a její cenu i za množství elektřiny sdílené do předávacího místa s využitím distribuční soustavy.“ (3)

2.1.4 Poplatek na činnost Energetického regulačního úřadu dle § 17d

Každý účastník, který hradí poplatky za provoz nesíťové infrastruktury dle předem stanovených cen, je povinen hradit poplatek na činnost Energetického regulačního úřadu. Tento poplatek je nyní zvýšen. Původně byl limit minimálně 1,70 Kč za měsíc a nejvýše 2,50 Kč za měsíc a nově se tento limit zvýšil na nejvýše 4,40 Kč za měsíc na každé odběrné místo zákazníka.

Aby Energetický regulační úřad nepřišel zkrátka, tak si nově dle § 19ca účtuje cenu za provoz nesíťové infrastruktury, která se skládá z částky za činnost operátora trhu, činnost datového centra a poplatku Energetickému regulačnímu úřadu. Dále: „Cenu za provoz nesíťové infrastruktury v části, kterou tvoří poplatek na činnost Energetického regulačního úřadu a cena za činnosti operátora trhu, hradí účastníci trhu s elektřinou operátorovi trhu v ceně za související služby v elektroenergetice prostřednictvím provozovatele přenosové soustavy a provozovatele regionální distribuční soustavy.“ A pro datové centrum: „Cenu za provoz nesíťové infrastruktury v části, kterou tvoří cena za činnost datového centra, hradí účastníci trhu s elektřinou v ceně za související služby v elektroenergetice prostřednictvím provozovatele přenosové soustavy nebo provozovatele regionální distribuční soustavy datovému centru.“ (3)

2.1.5 Energetické společenství a společenství pro obnovitelné zdroje dle § 20b

Úplně novým paragrafem je v zákoně § 20b, který pojednává o energetickém společenství a společenství pro obnovitelné zdroje. Tento paragraf se zabývá zejména definicí energetického společenství nebo společenství pro obnovitelné zdroje. Základní definicí je to, že tyto dva již zmíněné subjekty jsou oba brány jako *společenství*.

První je základní definice energetického společenství, která je dle odstavce 2 právnická osoba formou spolku, družstva nebo jiná korporace. Důležitým znakem energetického společenství je environmentální, hospodářský nebo sociální přínos a jejímž předmětem je zejména výroba elektřiny, její sdílení a dodávka svým členům. Hlasovací právo náleží jen a pouze členům energetického společenství, kteří nejsou podnikem. Členství je možné ukončit právním jednáním pouze vůči energetickému společenství, a to kdykoliv a bezplatně.

Společenství pro obnovitelné zdroje je velice podobné energetickému společenství s tím rozdílem, že kromě výroby elektřiny je toto společenství oprávněno vyrábět i jiné formy energie z obnovitelných zdrojů. Rozdílem je hlasovací právo, které náleží také jen členům, ale jen těm, kteří se nacházejí v blízkosti zařízení provozovaných touto právnickou osobou.

Společenství je také povinno vést seznam členů, který obsahuje informace dle odstavce 7 § 20b. (3)

2.1.6 Datové centrum

V novele zákona je velmi často zdůrazněno, že zákazník je povinen používat datové centrum a platit poplatky za datové centrum. Podle novely zákona je datové centrum akciová společnost. Datové centrum má povinnost vést veškeré údaje o odběratelích elektrické energie a všem, kteří na to mají právo na vyžádání tyto informace sdělit. Stejně tak má každý zákazník povinnost poskytovat veškeré zákonem dané údaje. Datové centrum má právo na: *„naměřené a vyhodnocené údaje o dodávkách a odběrech elektřiny v předávacích místech přiřazených do skupiny sdílení od provozovatele distribuční soustavy.“* (3)

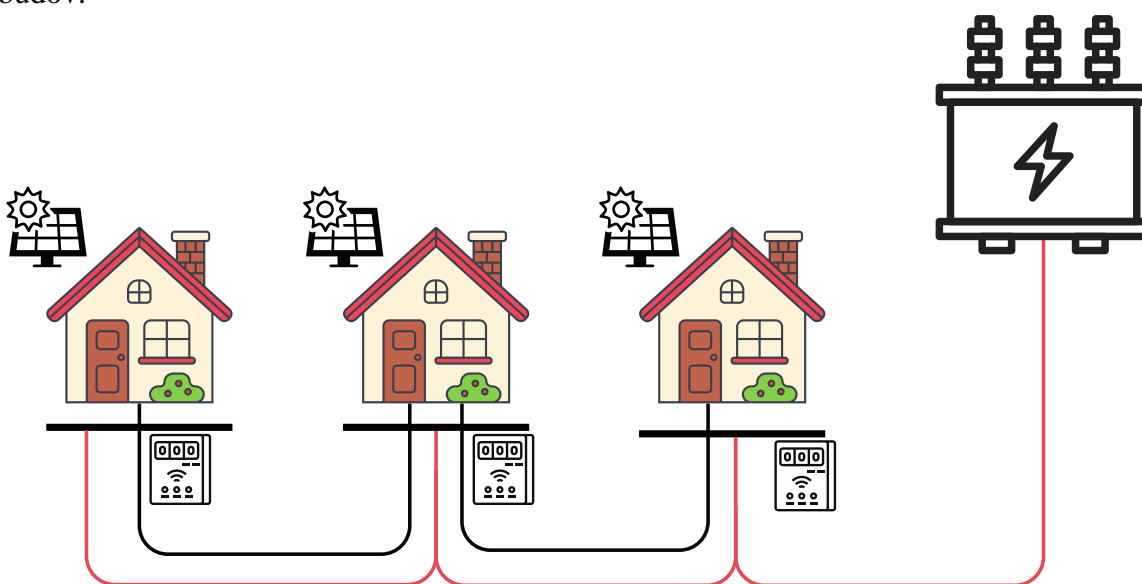
3 Technické uspořádání komunity

V této kapitole znázorním několik možných technických řešení energetické komunity. Každý člen komunity musí mít dům nebo odběrové místo vybavené smart metrem a pro komunikaci mezi jednotlivými odběrovými místy také například routerem, který bude zajišťovat komunikaci, měření elektrické energie, případně nastavování určitých hodnot v systému pro následnou fakturaci.

V podmínkách České republiky vidím potenciál ve využívání stávající sítě u obcí, kde je infrastruktura již pevně vybudována. Vybudování nové sítě pro LDS v místech, kde vznikají nové čtvrtě u měst, obcí nebo vesnic. Technické uspořádání typu LDS, by mohlo být dle mého názoru v budoucnosti hojně využíváno v ostrovních systémech u obcí či vesnic o malé rozloze.

3.1 Připojování členů přímo u domu

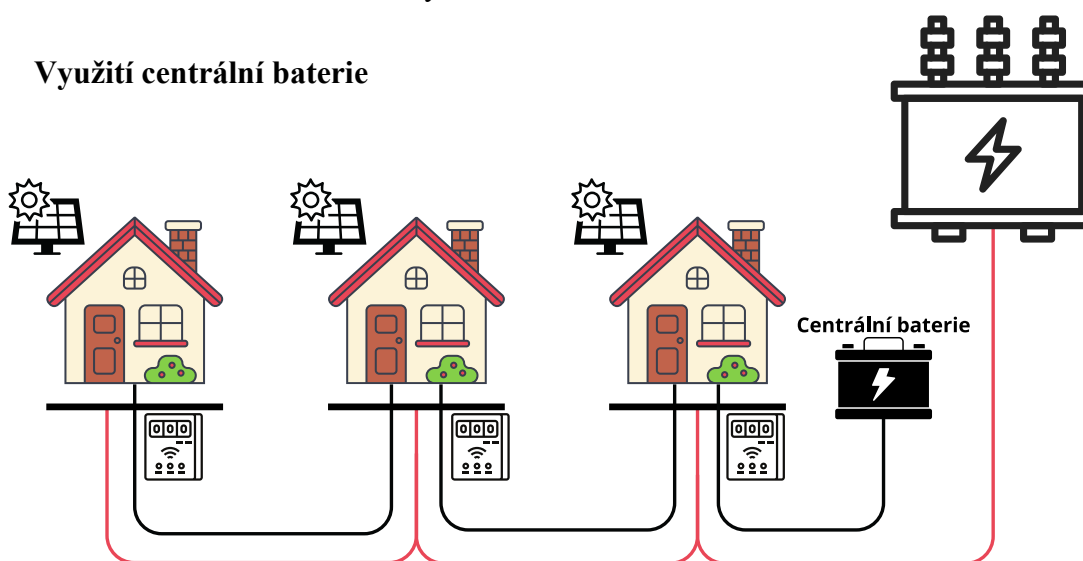
Tento způsob zapojení má výhodu v tom, že se využívá jen jednoho společného připojovacího bodu. Jedná se o lokální distribuční síť, kde má komunita svůj vlastní rozvod elektrické energie. Dochází zde k velkému přínosu, kdy komunita neplatí poplatky distributorovi za kWh. Zároveň to řeší problém s aktuální legislativou, kde je přetok jednotlivé budovy omezen na pouhých 50 % celkové kapacity fotovoltaické elektrárny do nadřazené sítě. Na druhou stranu si jakékoliv závady musí hradit komunita na své vlastní náklady sama, včetně vybudování nových přípojných míst v případě rostoucího počtu budov.



Obrázek 5 - Schématické znázornění LDS (černě rozvod komunity, červeně distributor)

V případě, že je v rámci komunity distribuce jednotlivým členům rozdělována na základě statického alokačního klíče, probíhá odpojení členů přímo na domovní přípojnicí a na základě toho nastávají komplikace. V případě, že člen komunity vyčerpá svou kapacitu a jeho vlastní výroba mu na ostrovní provoz nestačí, je nutné, aby byl přepnut na nadřazenou síť. Paralelně s vedením komunity musí vést vedení nadřazené sítě. Jednoduchým přepínáním se docílí selektivity jednotlivých členů. Řídící systém komunity rozhoduje, který člen v aktuální čas bude připnut na nadřazenou síť, kde bude fakturován dle sjednané sazby s distributorem, nebo na síť komunity.

3.2 Využití centrální baterie

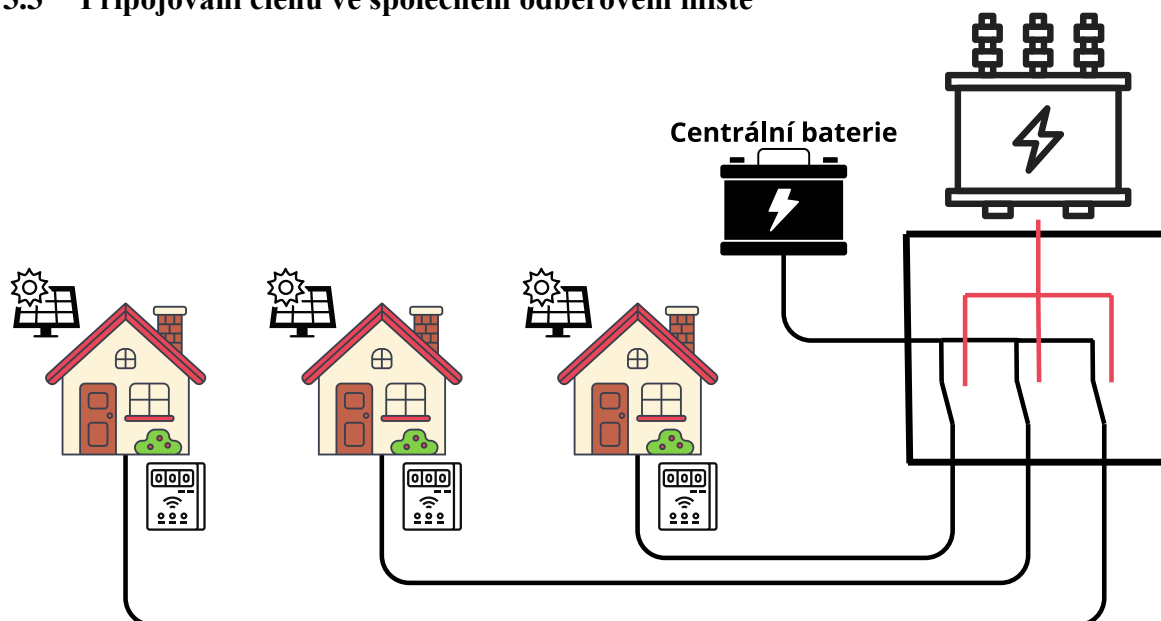


Obrázek 6 - Schématické znázornění LDS s centrální baterií (černě rozvod komunity, červeně distributor)

Komunity mohou využívat centrální baterie, tedy baterii může mít každý člen komunity a zároveň, pro zlepšení ekonomičnosti a spolehlivosti dodávky celé komunity, lze nainstalovat centrální baterie pro celou komunitu. Každý člen komunity na základě domluvy, nebo rozdělení dle instalovaného výkonu, může mít statickým alokačním klíčem přidělenou kapacitu v baterii, kterou smí kdykoliv čerpat. Po jejím vyčerpání dojde k přepnutí uživatele na nadřazenou síť. Opět se zde jedná o čerpání z LDS tedy sítě, která je oddělena od té nadřazené.

Centrální baterie by mohla nést několik pozitiv. Například pokud se člen komunity nachází ve své domácnosti v době, kdy fotovoltaická elektrárna nevyrábí dost elektrické energie a do komunity nejsou žádné přetoky, může i tak čerpat komunitní elektrickou energii. Teoreticky by se tím mohlo docílit stavu, kdy členové komunity, kteří nejsou v době největší výroby doma, budou mít stále rezervovaný výkon. Toto tvrzení by se ovšem muselo nejdříve důkladně propočítat a zjistit jeho reálný přínos.

3.3 Připojování členů ve společném odběrovém místě



Obrázek 7 - Schématické znázornění LDS s připojováním v odběrovém místě (černě rozvod komunity, červeně distributor)

V tomto případě se jedná o velice nákladnou záležitost, kdy je každý člen připojen separátně do rozvodny. Řídící systém rozhoduje, zda člen komunity ještě nevyčerpal svou rezervovanou kapacitu a může čerpat elektrickou energii z komunity, nebo je jeho kapacita již vyčerpaná a je potřeba účastníka připnout k distributorovi. Toto řešení je ekonomicky nejméně výhodné. Člen, který je nejbliž rozvodně má nejkratší délku vedení a zaplatí za ní tedy méně a ten, kdo je nejdál od rozvodny bude mít cenu nejvyšší. Pokud by se cena za rozvod nerozpočítala mezi všechny rovnoměrně, každý by zaplatil ten úsek, který vede k jeho místu připojení. Jestliže by k rozpočítání došlo, všichni by zaplatili stejnou částku. Toto řešení by se dalo využít u nově vznikajících vesnic či obytných částí, kde se infrastruktura teprve buduje. V takovém případě by se vytyčilo jedno místo, do kterého by vedly přívody všech členů komunity a v tomto místě by probíhalo jednotlivé připojování nebo odpojování.

Odpadá zde samotné vedení nadřazené sítě, jelikož jsou členové buď spojeni navzájem v rámci komunity nebo připojeni na nadřazenou síť. Zároveň může komunita velmi efektivně pracovat v ostrovním režimu.

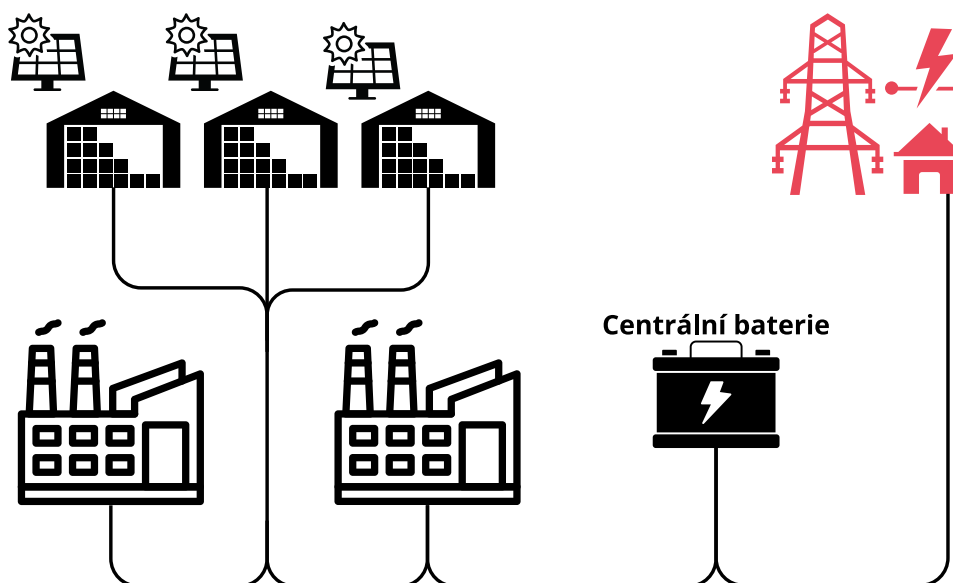
Pokud se budeme bavit o komunitě typu LDS, přináší to sebou řadu výhod. Přínosem je například oddělení od nadřazené sítě, kde nedochází k jejímu přetěžování a případným penalizacím, možnost komunity fungovat v ostrovním režimu anebo skutečnost, že členové nemusí platit poplatek za využívání sítě. Zároveň stejně jako výhody má toto řešení spoustu nevýhod. Tou největší z nich jsou pořizovací náklady, kdy se musí rozvést nové vedení, což

sebou přináší náklady na materiál, práci, na rozvod vedení nebo výkopové práce, údržbu a opravu vedení. V neposlední řadě si komunita musí zřídit licenci na provozování lokální distribuční sítě. Posledním problémem u této metody, při velkých vzdálenostech budov od místa přepínání, by mohly být úbytky napětí a vzniklé ztráty na vedení. To by mohlo negativně ovlivnit kvalitu elektrické energie. Bylo by to nutné u každé instalace důkladně propočítat a zhodnotit.

Na obrázku (Obrázek 7) je znázorněná centrální baterie, která by dle mého názoru mohla mít dopad na celkovou stabilitu a fungování energetické komunity.

3.4 Průmyslový závod

Je důležité poukázat na to, že i velký průmyslový závod má elektrický rozvod typu LDS. Průmyslový závod se sám stará o vnitřní rozvod elektrické energie. I tento případ by se dal přirovnat k energetické komunitě, kdy na skladištích může mít daný závod velké fotovoltaické elektrárny a v závodě mít také centrální baterie. V dnešní době jsem se setkal s mnoha firmami, které si plánují vystavět vlastní fotovoltaickou elektrárnu nebo už dokonce takovou elektrárnou disponují. Tuto energii mohou využívat například na osvětlení nebo na provoz kanceláří.

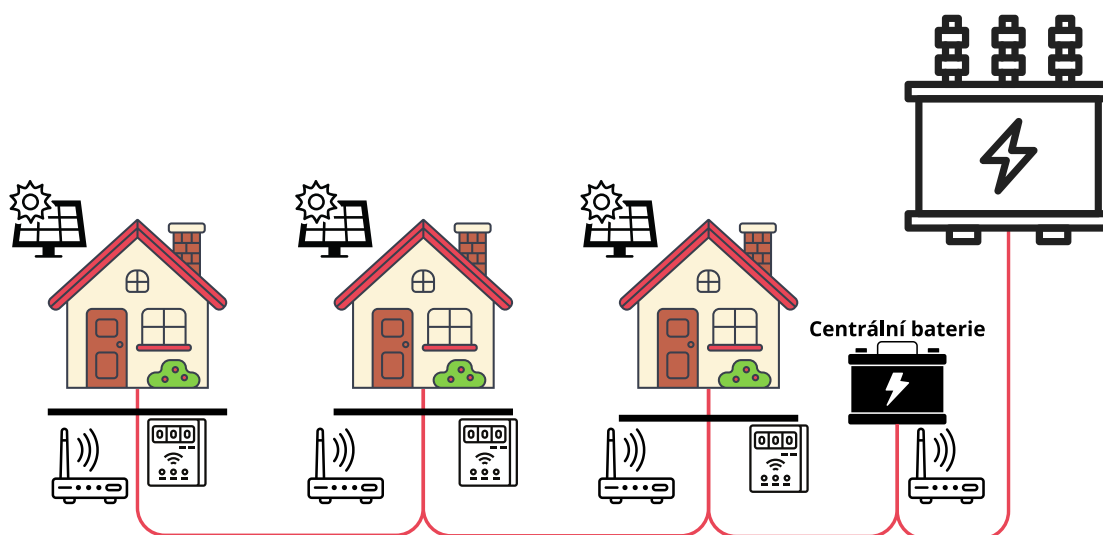


Obrázek 8 - Schématické znázornění LDS v průmyslovém závodě (černě interní rozvod, červeně distributor)

3.5 Energetické společenství využívající nadřazenou síť

Aktuálně bude, dle mého názoru, nejčastějším případem energetické společenství, které využívá nadřazenou síť. Nese to sebou určité nevýhody. Jednou z těch hlavních je poplatek za využívání nadřazené sítě, druhým problémem je aktuální legislativa, ve které se píše, že přebytky do nadřazené sítě jsou omezeny na 50 % celkového instalovaného výkonu.

U všech instalací jsou uvažované nové měřicí jednotky, takzvané „Smart metery“, které mezi sebou dokáží komunikovat, v intervalech snímat směr toku výkonů a všechna data ukládat. Pro energetické společenství zde bude stěžejní, aby bylo každé odběrové místo vybavené speciálním zařízením, kterým může být například router vybavený řídicím systémem, jak je uvedeno na obrázku níže (Obrázek 9). Ten bude prostřednictvím střídače a měřících zařízení měřit odběr a výrobu objektu. Dle těchto dat, bude systém schopen řídit jednotlivé objekty v komunitě a řídit mezi nimi energetickou bilanci. Na základě těchto údajů bude rozhodovat, zda v daných čtvrt hodinových intervalech odebírá zákazník elektrickou energii z komunity, nebo přímo z nadřazené sítě. Systém by měl být schopný rozdělovat energii rovnoměrně mezi členy komunity a mít například zabudovaný systém hierarchie. Bude důležité rozdělovat, zda-li se má první přebytek energie ukládat do teplé vody, do bateriových systémů zákazníků, do centrální baterie, nebo přebytek posílat ostatním členům, jednak pro dobíjení baterií, ohřevu vody nebo pro samotnou spotřebu jejich objektu. Uvedl jsem slovo objektu, jelikož se může jednat i o obecní budovy, kterými může být hasičská stanice, škola, školka, sportovní nebo kulturní areál.



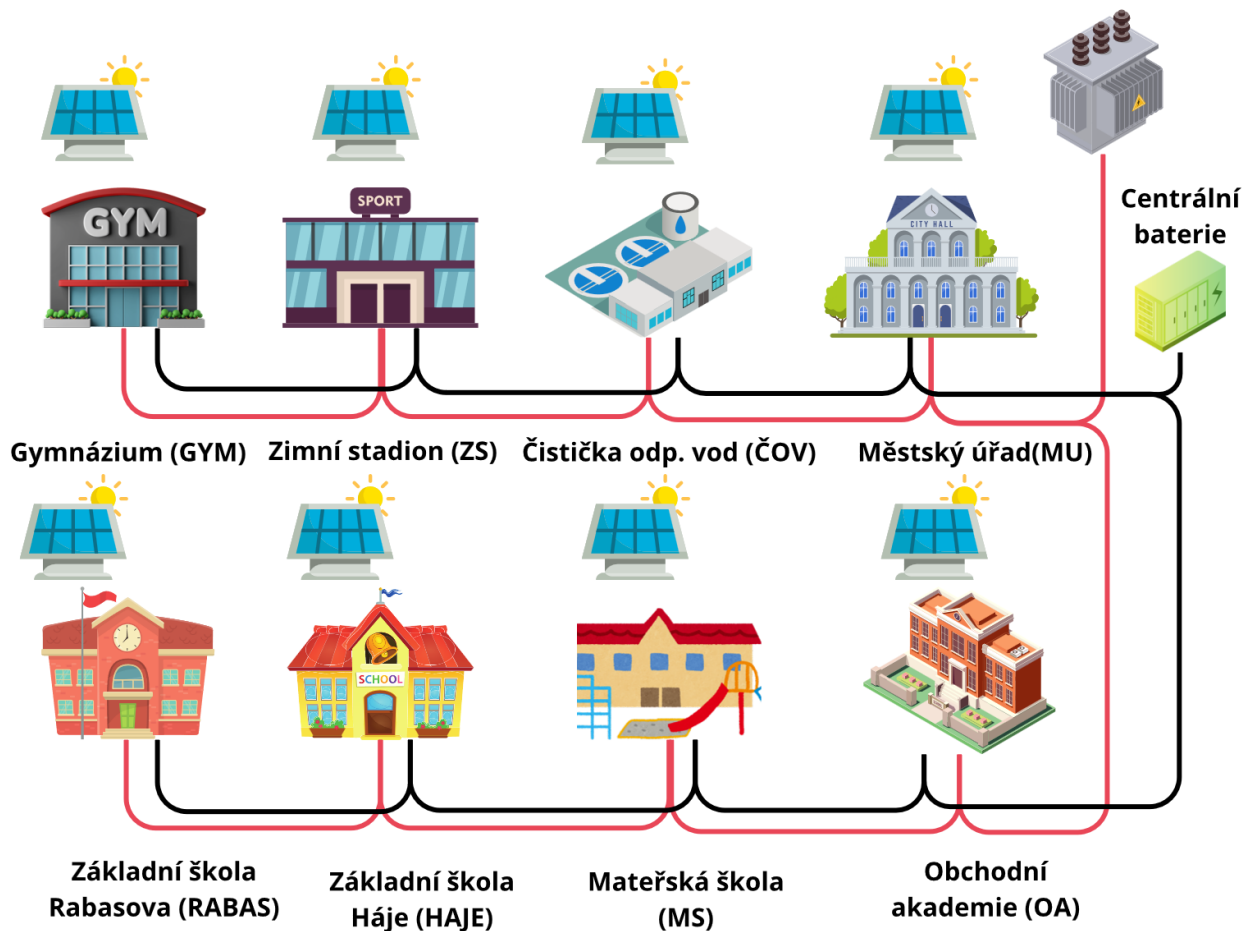
Obrázek 9 - Schématické znázornění energetické komunity s využitím sítě distributora

4 Simulace provozu

V následující kapitole jsem se zaměřil na simulaci komunity využívající komunitní sdílení elektrické energie. Simulaci jsem provedl na datech, která jsem obdržel od pražského UCEEB. V simulaci uvažuji **pouze LDS** (varianta 3.2 v předchozí kapitole) tedy uspořádání, kdy budovy využívaly vlastní elektrické sítě. Zároveň v simulaci neřeším ztráty vlivem přenosu elektrické energie, ani degradaci baterií, snižování kapacity a ztráty v průběhu let.

4.1 Popis energetického systému

Energetický systém, ze kterého jsem obdržel data se skládá celkem z osmi budov. Jedná se o čističku odpadních vod Slaný (COV), Víceúčelová sportovní hala Slaný (ZS), Základní škola Rabasova Slaný (RABAS), Základní škola ve Slaném na Hájích (HAJE), Obchodní akademie Slaný (OA), Gymnázium Václava Beneše Třebízského ve Slaném (GYM), Mateřská škola Slaný (MS) a Městský úřad (MU).



Obrázek 10 - Ilustrace konfigurace uvažované LDS (červeně nadřazená síť, černě síť LDS)

Na ilustračním obrázku (Obrázek 10) je model s centrální baterií. V simulaci využívám různé konfigurace i bez centrální baterie, nebo i s individuálními bateriemi. Stejně jako počítám i možnosti bez využití komunitního sdílení.

Tabulka 1 - Instalované výkony na budovách v LDS

Budova	Instalovaný výkon FVE (kWh)
COV	293
ZS	533
RABAS	260
HAJE	68
OA	94
GYM	63
MS	57
MU	36

Budovy mají všechny nainstalované fotovoltaické elektrárny. Výkony elektráren jsou vypsány v tabulce výše (Tabulka 1).

4.2 Popis simulace v prostředí Matlab

Simulaci jsem provedl v softwaru Matlab. Ze začátku jsem při vytváření simulace pro jednu budovu musel načíst data z excelovského souboru, ve kterém jsem obdržel ve sloupcích data o celkové spotřebě budovy a o výrobě fotovoltaické elektrárny. K tomu jsem využil funkci *readtable* a uložil jsem vše do pole, ze kterého jsem si následně četl jednotlivé sloupce a ukládal je do proměnných k jednotlivým budovám. Stanovil jsem si časovou osu abych určil počet kroků simulace pro následné vytvoření cyklu. V dalším kroku jsem omezil nabíjecí a vybíjecí výkon baterií a nastavil jejich maximální kapacitu.

```
filename = 'Data.xlsx';
tabulka = readtable(filename);
spotreba = tabulka(:, 2);
vyroba = tabulka(:, 1);
cas = datetime(2023,1,1,0,0,0):hours(1):datetime(2023,12,31,23,0,0); %
N = length(cas);
max_nabijeci_vykon = 9;
max_vybijeci_vykon = 9;
max_kapacita = 70;
```

Od inicializace jsem se přesunul k vytvoření vektorů, do kterých jsem v průběhu ukládal data o spotřebě bez FVE a s FVE a o výrobě FVE. Vytvořil jsem si cyklus `while` ve kterém jsem prováděl všechny důležité matematické operace. Nejprve jsem si ošetřil špatná data o výrobě FVE, kdy se stávalo, že měření vyhodnotilo výkon z FVE jako záporný

v tisícinách, to jsem ošetřil jednoduchou podmínkou `if (vyroba(i)<0)` pak se na dané místo ve vektoru uložila místo záporné hodnoty 0. V cyklu jsem nejdříve zjišťoval, zda je spotřeba větší než výroba a pokud tato podmínka platila, odečetl jsem spotřebu od výroby a tím získal odběr ze sítě. Pokud podmínka neplatila odečetl jsem výrobu od spotřeby a tím jsem získal vzniklý přetok elektrické energie.

Následovalo vyhodnocení výroby a spotřeby v případě s baterií, to jsem vyřešil touto částí kódu.

```
stav_baterie (i) = stav_baterie(i-1);

if (spotreba(i) > vyroba(i)) && (stav_baterie(i)>0)

vybijeni = min(max_vybijeci_vykon, (spotreba(i)-vyroba(i)));
stav_baterie(i) = stav_baterie(i-1) - vybijeni;
energie_ze_site_s_FVE_s_baterii(i) = spotreba(i) - vyroba(i) - vybijeni;
end

if (vyroba(i) < spotreba(i)) && stav_baterie(i)==0
energie_ze_site_s_FVE_s_baterii(i) = spotreba(i) - vyroba(i);
end

if (vyroba(i) > spotreba(i)) && (stav_baterie(i) < max_kapacita)
nabijeni = min(max_nabijeci_vykon, (vyroba(i)-spotreba(i)));
pretoky(i)=vyroba(i)-spotreba(i)-nabijeni;
stav_baterie(i) = min(stav_baterie(i-1) + nabijeni, max_kapacita);
energie_ze_site_s_FVE_s_baterii(i) = 0;
end

if (vyroba(i) > spotreba(i)) && (stav_baterie(i)==max_kapacita)
pretoky(i) = vyroba(i)-spotreba(i);
energie_ze_site_s_FVE_s_baterii (i) = 0;
end

if (stav_baterie(i)<=0)
    stav_baterie(i) = 0;
elseif stav_baterie(i) >= max_kapacita
    stav_baterie(i) = max_kapacita;
end
```

V této části kódu jsem ošetřil maximální limit pro nabíjení a vybíjení baterie. Důležitou součástí bylo před začátkem počítání jakýchkoli operací s baterií aktualizovat její stav načtením její předešlé hodnoty. V podmínkách jsem ošetřil všechny stavy, které mohly nastat. Jednalo se o stavy kdy se baterie nabíjela a nesměla být přebíhá přes horní limit nabití. Limit vybití baterie jsem nastavil na 0 kWh, to odpovídá vybití na 0 % (použito pro simulaci jedné budovy). Spodní limit by se dal velice jednoduše změnit v podmínce, kde zjišťuji `stav_baterie(i)==0`, změnou čísla se nastaví spodní limit vybití a potom na konci kódu, kde zjišťuji, zda není baterie vybitá pod 0 kWh, nastavit místo čísla 0 požadovaný spodní limit baterie.

Když jsem tento systém nasadil na všechna data a dodělal podmínky pro komunitu, tedy v případě, kdy někdo potřeboval elektrickou energii poslala se jemu, v případě že už nikdo elektrickou energii nepotřeboval tak se poslala, v případě centrální baterie, do baterie a v případě bez centrální baterie do sítě jako přetok. Abych věděl, jak vypadají hodnoty přetoků všech budov, vyúčtování, návratnosti, toky elektrické energie a tak podobně, nechal jsem si veškerá data vypsát na obrazovku.

```

-----
MU prodala do sítě: 4499.3719
MU prodala komunitě: 2092.4474
MU nakoupila z komunity: 13463.1992
MU nakoupila ze sítě: 42862.4776
MU nakoupila ze komunitní baterie: 2857.8432
MU prodala do komunitní baterie: 1674.2507
MU prodala do sítě za: 4724.3405,-Kč
MU prodala komunitě za: 5231.1185,-Kč
MU nakoupila z komunity za: 60584.3964,-Kč
MU nakoupila ze sítě za: 257174.8656,-Kč
MU nakoupila ze komunitní baterie za: 14289.2160,-Kč
MU prodala do komunitní baterie za: 2511.3761,-Kč
-----

COV uspořila za rok: 1958579.9889,-Kč
COV roční náklady: 4456553.5411,-Kč
COV roční náklady na elektřinu bez FVE: 6415133.5300,-Kč
COV investovalo: 5937500.0000,-Kč
COV Návratnost investice: 3.0315 let
-----

ZS uspořila za rok: 2988973.1544,-Kč
ZS roční náklady: 4283363.3456,-Kč
ZS roční náklady na elektřinu bez FVE: 7272336.5000,-Kč
ZS investovalo: 10937500.0000,-Kč
ZS Návratnost investice: 3.6593 let
-----

RABAS uspořila za rok: 650814.0798,-Kč
RABAS roční náklady: 105296.1452,-Kč
RABAS roční náklady na elektřinu bez FVE: 756110.2250,-Kč
RABAS investovalo: 5837500.0000,-Kč
RABAS Návratnost investice: 8.9695 let
-----

HAJE uspořila za rok: 386936.0403,-Kč
HAJE roční náklady: 452093.5147,-Kč
HAJE roční náklady na elektřinu bez FVE: 839029.5550,-Kč
HAJE investovalo: 2287500.0000,-Kč
HAJE Návratnost investice: 5.9118 let
-----

```

Obrázek 11 - Část výpisu dat na obrazovku

4.3 Popis fungování simulace

Simulaci jsem provedl tak, že baterie měla maximální vybíjecí výkon 9 kW a maximální nabíjecí výkon 9 kW. Pokud byla výroba menší než spotřeba a stav baterie byl větší než 0, tak docházelo k vybití baterie dostupným výkonem a případný zbytek elektrické energie byl odebrán z nadřazené sítě. Podobnou analogii jsem postupoval, v případě, kdy byla výroba větší než spotřeba a stav nabití baterie byl pod maximální hodnotou, pak docházelo k nabíjení baterie a případný zbytkový výkon byl počítán jako přetok do nadřazené sítě.

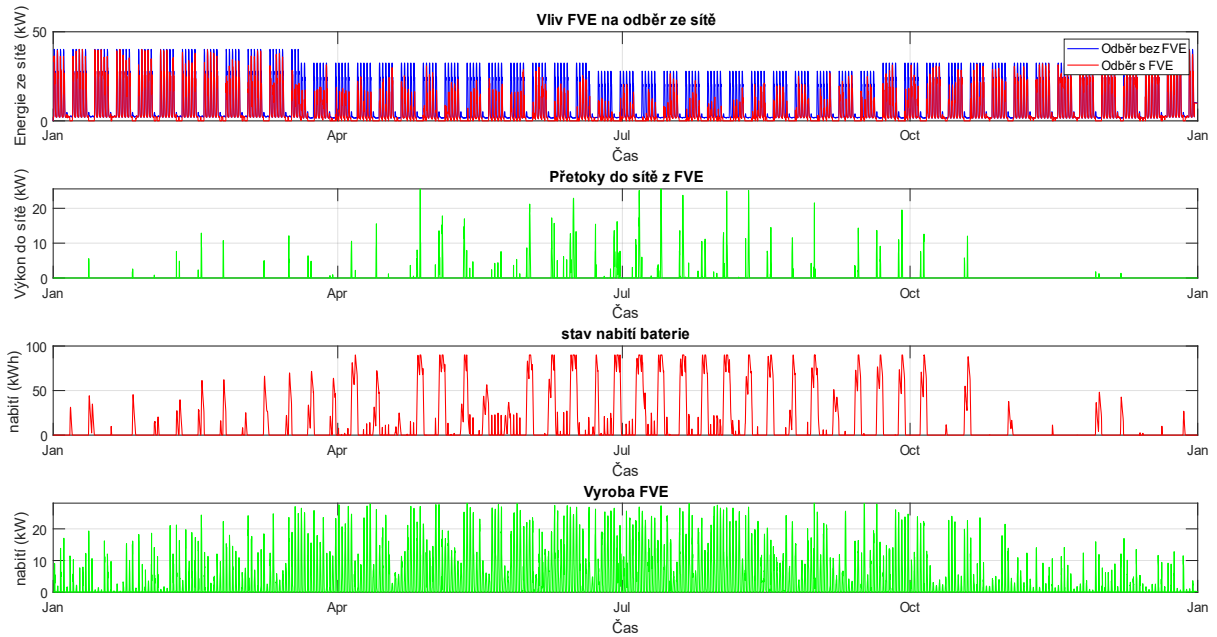
Simulaci komunity jsem provedl tím způsobem, že jsem spotřebu elektrické energie rozdělil do priorit. První prioritou byla vlastní spotřeba budovy, kdy si budova nejdříve spotřebovala výrobu z fotovoltaické elektrárny sama pro sebe. Druhou prioritou bylo poskytnutí elektrické energie komunitě, tedy pokud někdo v daný okamžik vzniku přetoku elektrickou energii potřeboval, tak se prodala elektrická energie jemu. V případě, že bylo odběrů více, poskytování elektrické energie se rovnoměrně rozpočítalo mezi spotřebitele. Zároveň, aby mohl přispívat svým výkonem každý, a nedocházelo k tomu, že by při poptávce 10 kW jedna budova poskytla například 9 kW a druhá jen 1 kW, provedl jsem výpočet hodnoty odběru vydělenou všemi přetoky. Tím jsem získal koeficient, kterým jsem násobil přetok u každé budovy. Dosáhl jsem toho, že každý mohl na poptávku přispět rovným dílem. Stejný výpočet jsem prováděl i při poskytování elektrické energie centrální baterii, což bylo třetí prioritou. Pokud se elektrická energie nespotebovala v komunitě, byl přetok přeměřován do centrální baterie. Stejně jsem postupoval při čerpání elektrické energie z centrální baterie. Sečetl jsem poptávku po elektrické energii všech lokací, zohlednil maximální vybíjecí výkon baterie a vypočítal jejich podíl. Maximální vybíjecí výkon jsem vydělil součtem poptávky a tím vyšla konstanta, kterou jsem násobil poptávku po elektrické energii každé budovy.

$$Koeff. = \frac{\text{Součet všech odběrů}}{\text{Součet všech přetoků}} \quad (1)$$

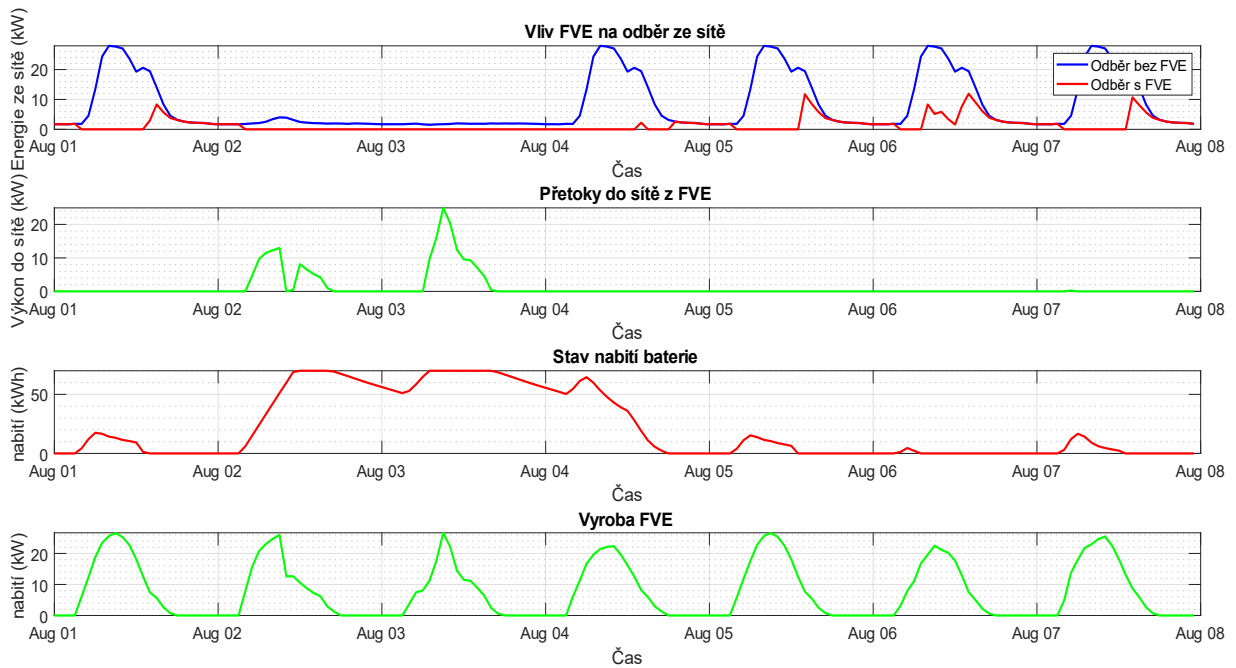
$$\text{Odeberu z komunity} = Koeff. \cdot \text{Odběr} \quad (2)$$

4.4 Simulace jedné budovy

V této podkapitole na následujících obrázcích znázorním simulaci jedné budovy s FVE a se svojí baterií. Na Obrázku 12 a 13 je znázorněna simulace jedné budovy, konkrétně budovy Městského úřadu. Simulaci jsem prováděl s nastavenou baterií na kapacitu 70 kWh.



Obrázek 12 - Grafy pro budovu MU se svou baterií o velikosti 70 kWh

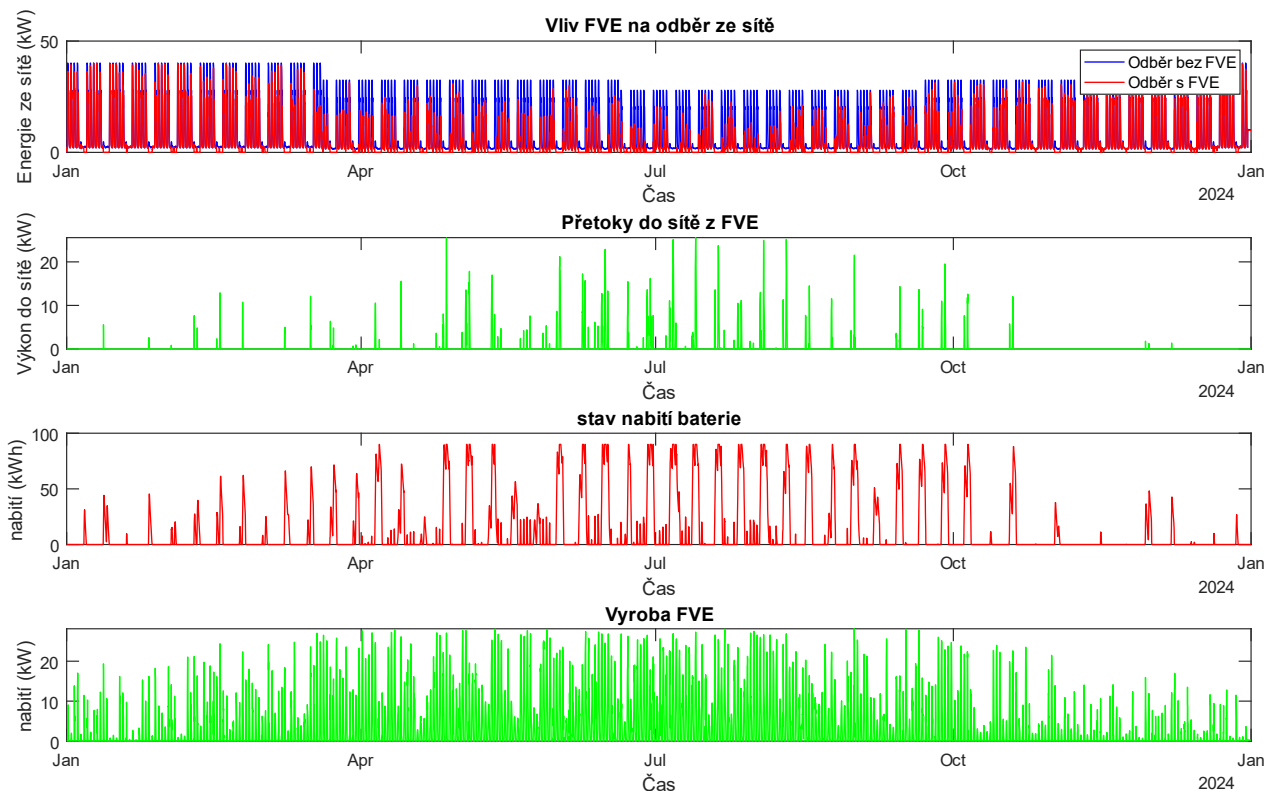


Obrázek 13 - Grafy pro budovu MU se svou baterií o velikosti 70 kW za jeden týden

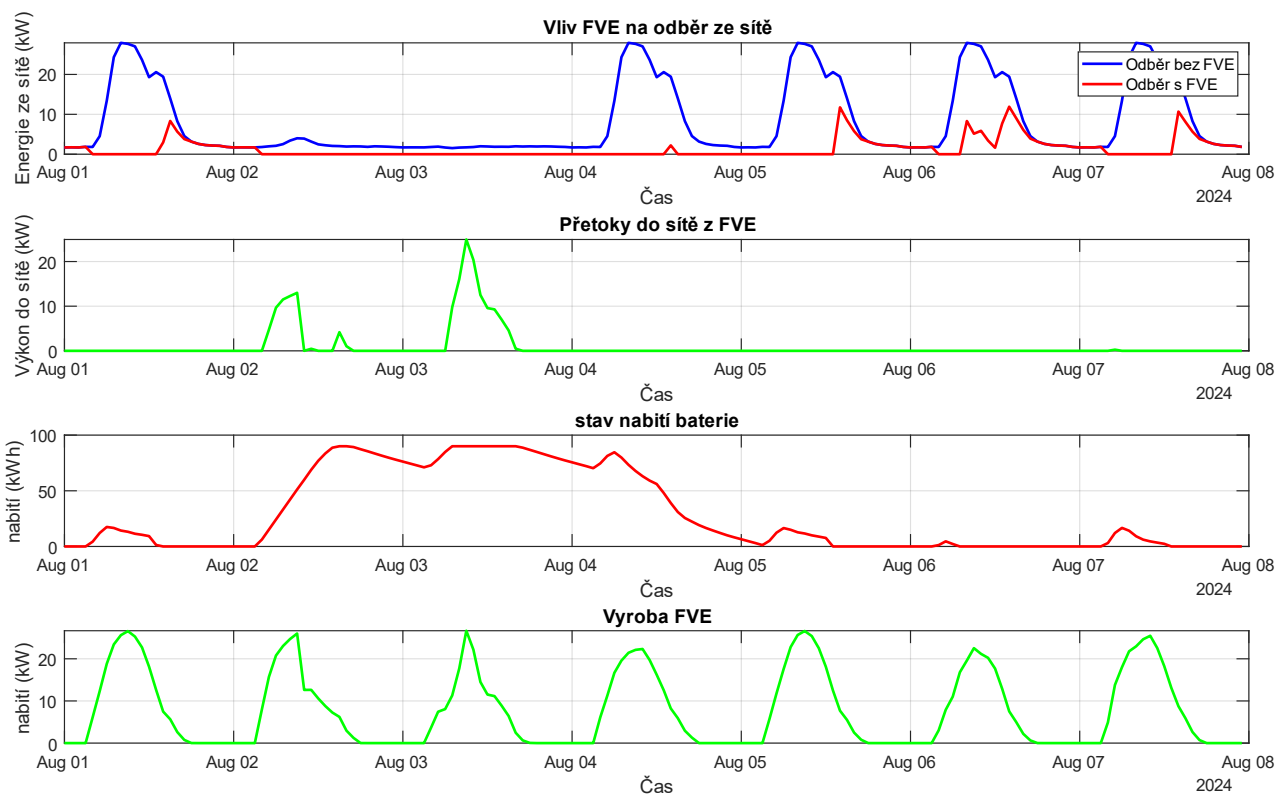
Při bližším pohledu na graf (Obrázek 13) je vidět, jak celá simulace funguje. Během poledne, v letním měsíci, docházelo k přetokům do nadřazené sítě a k úplnému nabití baterie. Pokud výroba fotovoltaické elektrárny překročila maximální nabíjecí výkon baterie, pak bylo toto překročení počítáno jako přetok. Při využití bateriového úložiště odebrala budova MU 248.14 kWh elektrické energie a pokud baterii neměla, pak odebrala 426.1084 kWh elektrické energie. Pokud neměla ani FVE, tak budova odebrala za týden provozu z nadřazené sítě 1 387.67 kWh.

Na následujících grafech jsem vytvořil v simulaci část kódu, ve kterém jsem pozoroval přetoky elektrické energie. Pokud překročily, v posledních 100 hodinách určitou hodnotu, tak se navýšila kapacita baterie a hledal jsem řešení, kdy bude docházet k co nejmenším přetokům do nadřazené sítě. Různých výsledků jsem dostával při různých nastaveních baterie, tedy nabíjecího a vybíjecího výkonu. Při nastavení, které jsem ponechal z předchozího stavu, tedy omezení nabíjecího a vybíjecího výkonu na 9 kW, jsem dosáhl toho, že bych nejnižších přetoků dosáhl s baterií o velikosti 90 kWh. Rozdíl byl ten, že pokud byla kapacita baterie 90 kWh, tak do nadřazené sítě přeteklo 171.698 kW. Pokud byla baterie 70 kWh, tak přeteklo do nadřazené sítě 191.537 kWh během jednoho týdne.

Velikost baterie je velice individuálním parametrem, jelikož každý si velikost baterie volí dle svých cenových možností, ale také v návaznosti na to, na co chce baterii využívat. Pokud by chtěl například majitel baterie využívat toto úložiště pro obchod na spotovém trhu, určitě by volil spíše větší kapacitu, stejně tak v případě, že by hodlal provozovat budovu v ostrovním režimu více dní. Pokud ovšem stačí kapacita baterie na omezený provoz pouze po omezenou dobu, například z důvodu krátkodobého odpojení od sítě vlivem poruch nebo oprav vedení, tak by stačila baterie o menší kapacitě a tím pádem i výrazně nižší ceně. I přes skutečnost, že v dnešní době mají ceny baterií tendenci spíše klesat a stávají se tak stále menší položkou v celkové investici.

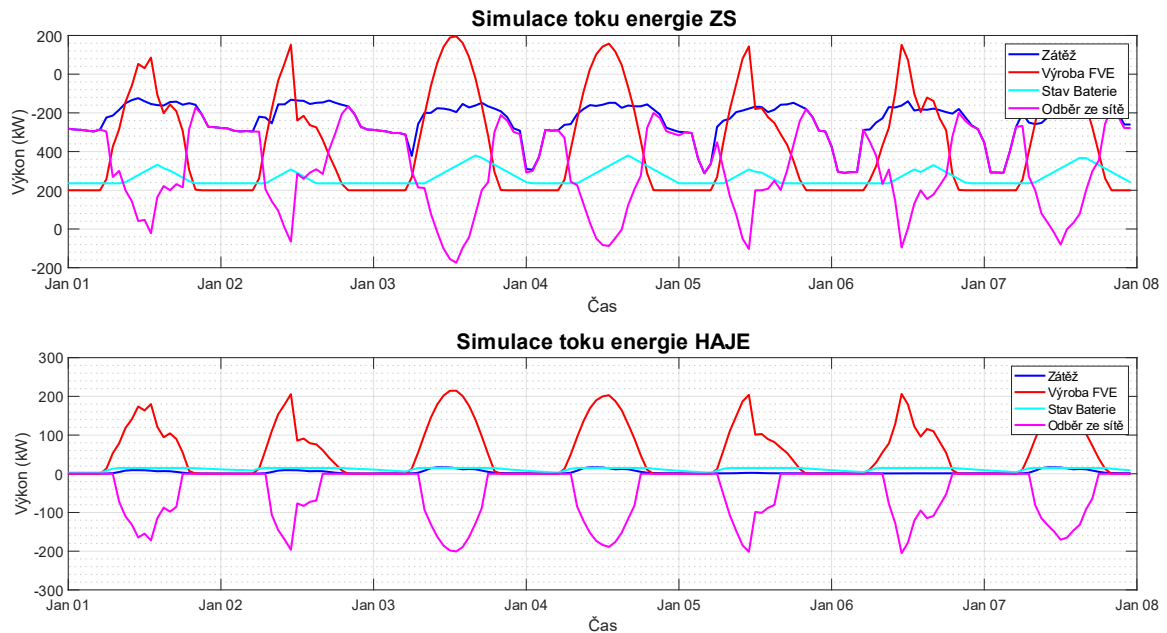


Obrázek 14 – Grafy, po navýšení bateriového úložiště by došlo k co nejmenším přetokům



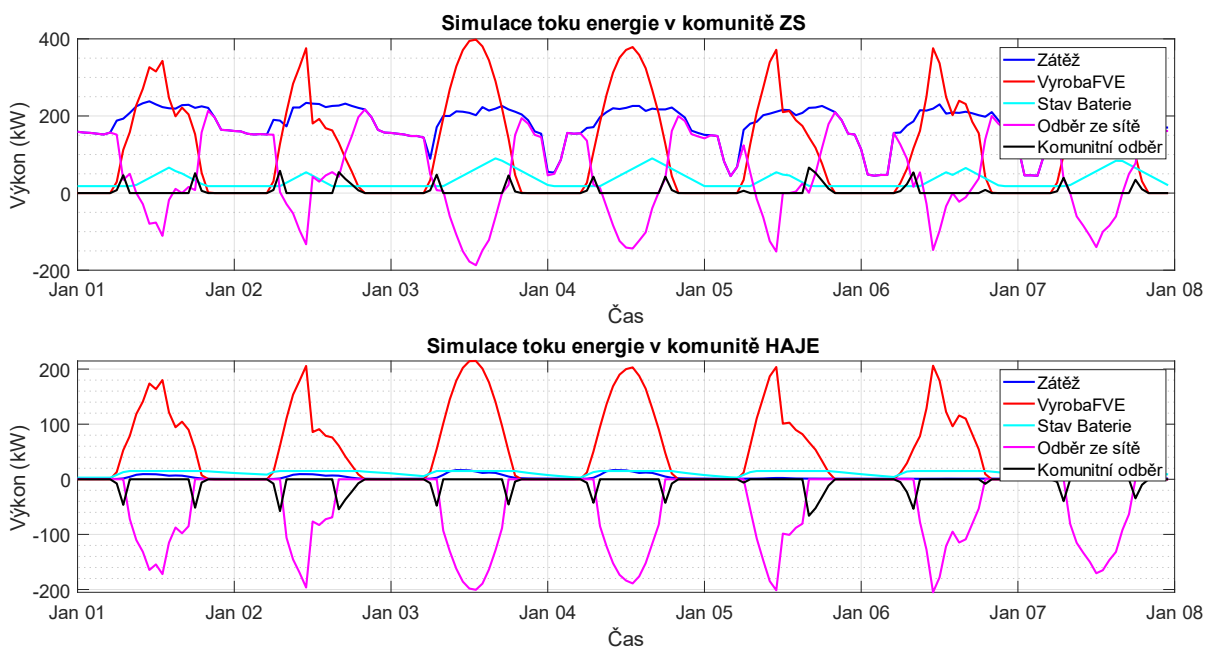
Obrázek 15- Grafy, po navýšení bateriového úložiště by došlo k co nejmenším přetokům za týden

4.5 Využití komunitního sdílení v simulaci se dvěma budovami



Obrázek 16 - Simulace dvou budov bez komunitního sdílení

V grafu (Obrázek 16) jsou znázorněny dvě budovy z města Slaný, ze které mi data poskytl pražské UCEEB ČVUT. Na grafu jsou vidět budovy zimní stadion a Základní škola Háje s instalovanou FVE elektrárnou. Na základě dat o spotřebě a výrobě jsem vytvořil simulaci, kde jsem každé budově přiřadil baterii. Na Obrázku 14 dochází k přetokům energie do nadřazené sítě a elektrická energie není lokálně nijak zpracovávána. Budova zimního stadionu měla dle simulace přetok elektrické energie do nadřazené sítě v tomto týdnu ve výši 3 768,9 kWh a Základní škola 8 555,9 kWh.

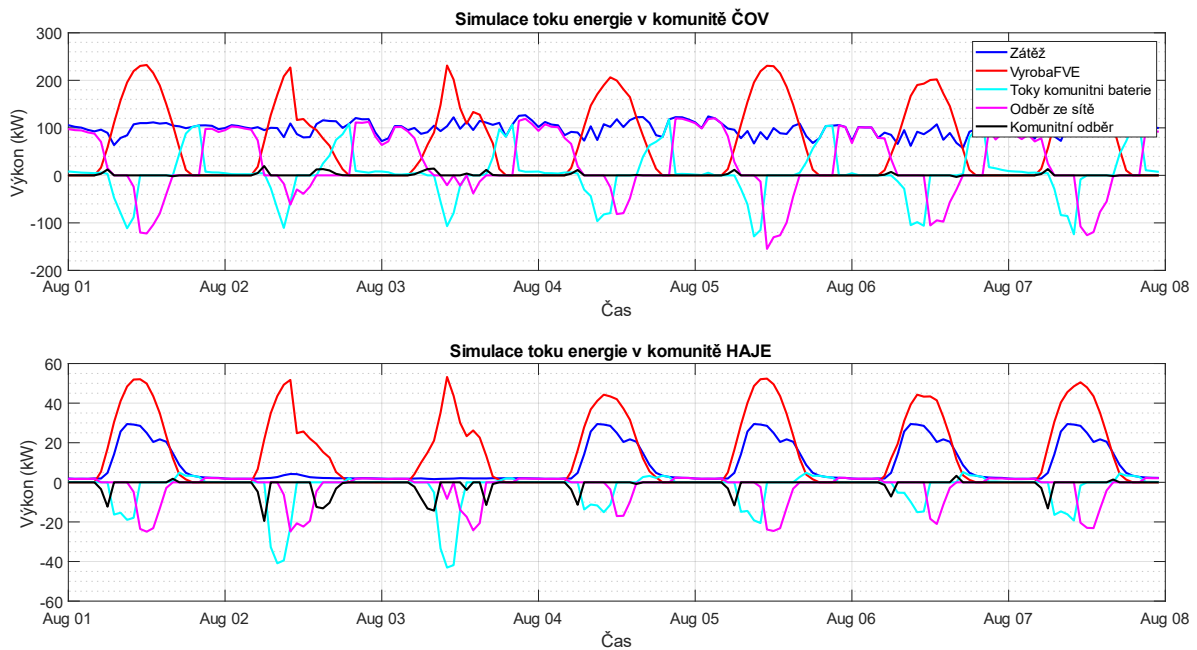


Obrázek 17 - Simulace dvou budov s využitím komunitního sdílení

Na grafech (Obrázek 17) jsem využil simulaci s případnou možností komunitního sdílení, tedy v případě potřeby si budovy byly schopny posílat elektrickou energii. Základní škola Háje dodala budově zimního stadionu 849,27 kWh v průběhu jednoho týdne.

V obou simulacích mají obě budovy bateriové uložení, které ovšem nemá tak velkou kapacitu, aby úplně omezilo přetoky do nadřazené sítě. Také jsem zde počítal s tím, že mají budovy vlastní rozvod elektrické sítě a pracují jako LDS.

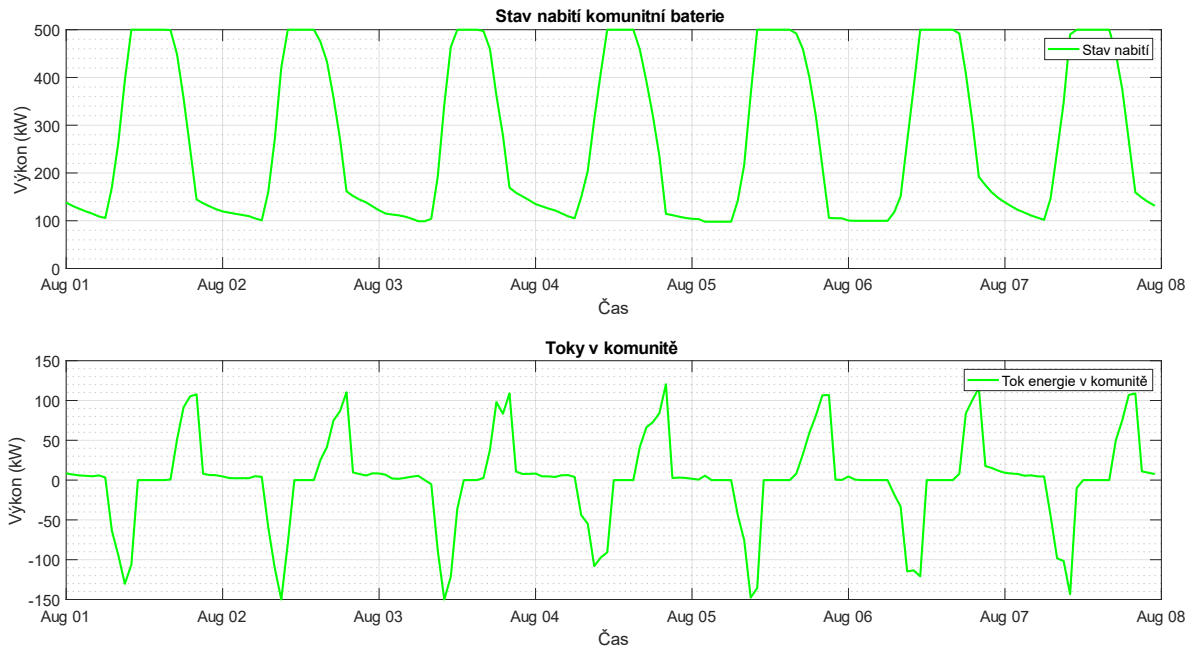
4.6 Využití komunitního sdílení na dvou budovách s centrální baterií



Obrázek 18 - Simulace dvou budov využívající komunitní sdílení s centrální baterií

Na grafu (Obrázek 18) je komunita složená ze dvou budov, budovy ČOV a Háje. Cílem bylo ukázat rozdíl mezi využitím centrální baterie proti případu bez ní. S centrální baterií by budova ČOV odebrala z nadřazené sítě 6 143.78 kWh, do nadřazené sítě by prodala 2 428.46 kWh. Z centrální baterie odebrala 2 717.65 kWh a do centrální baterie přispěla 2 197.32 kWh elektrické energie. Zároveň by komunitě prodala 6.49 kWh a nakoupila z komunity 188.12 kWh.

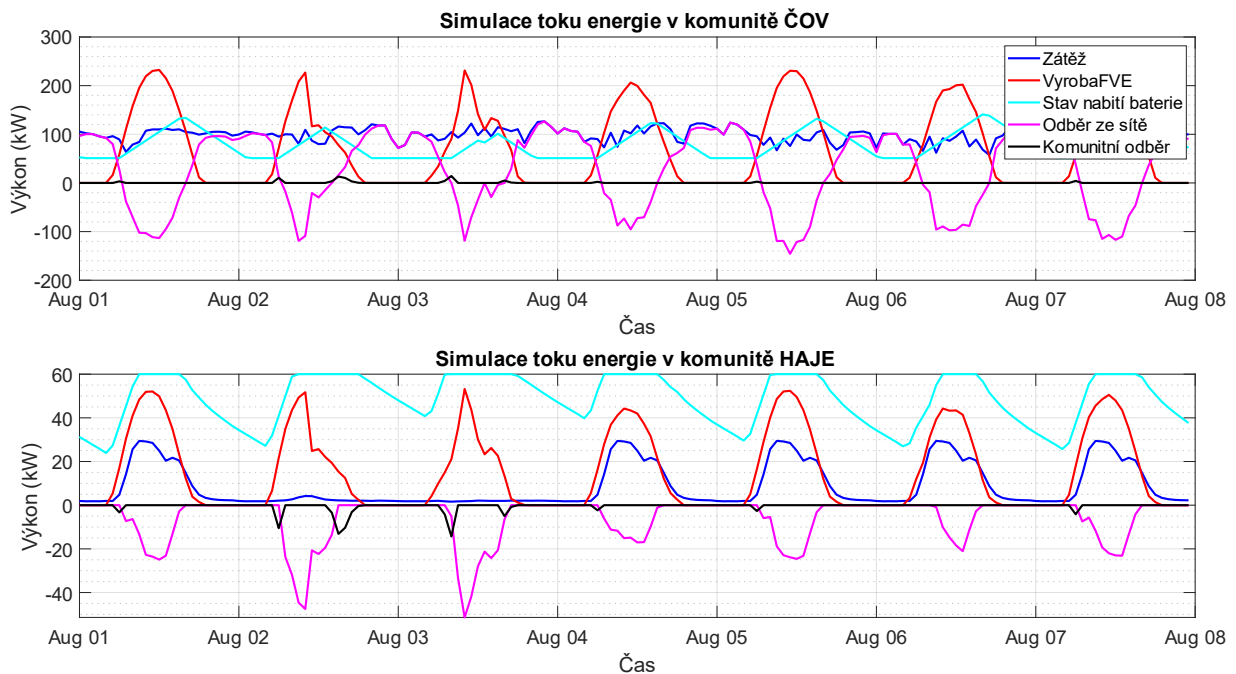
Budova Háje by nakoupila z nadřazené sítě 105.1 kWh, prodala do nadřazené sítě 550.64 kWh. Komunitě by prodala 188.12 kWh, z komunity nakoupila 6.49 kWh. Do centrální baterie přispěla 592.23 kWh elektrické energie a odebrala 90.06 kWh.



Obrázek 19 - Toky elektrické energie v komunitě mezi budovami a centrální baterií

Na Obrázku 19 jsou průběhy toků elektrické energie v komunitě během týdne.

4.7 Využití komunitního sdílení na dvou budovách bez centrální baterie



Obrázek 20 - Grafy průběhů dvou budov s individuální baterií a využitím komunitního sdílení

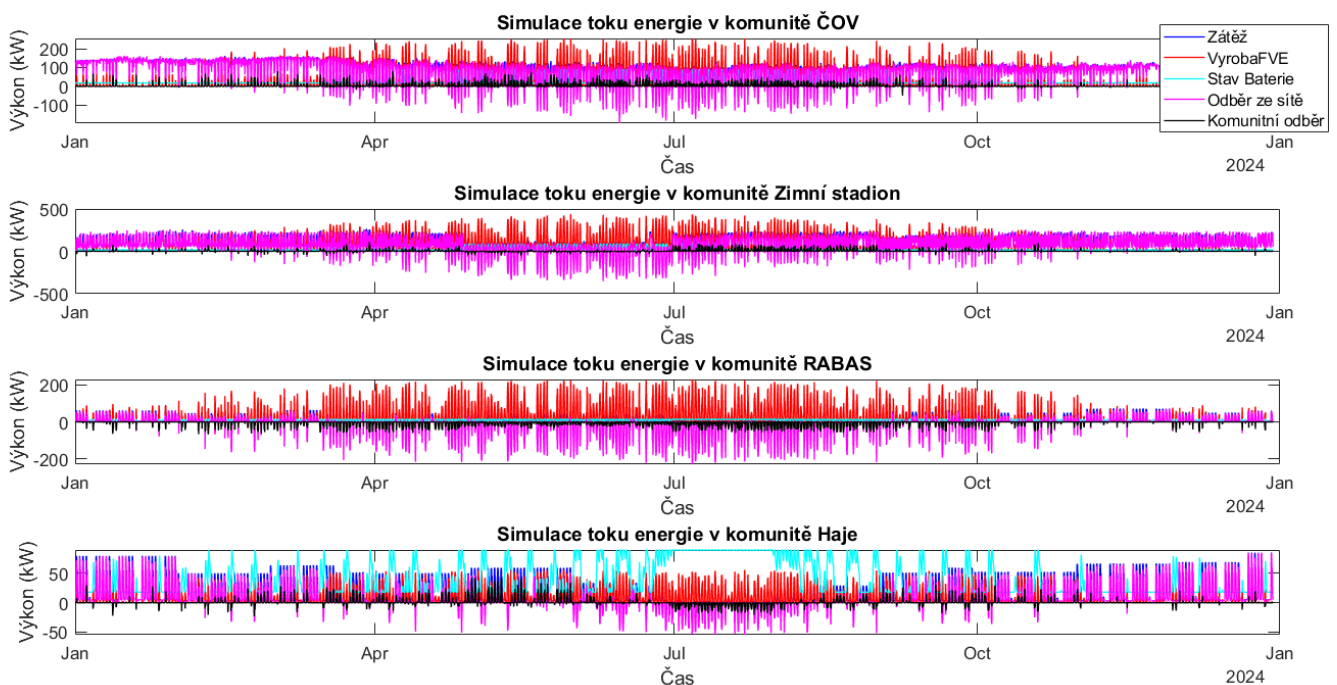
V simulaci bez centrální baterie (Obrázek 20) by odebrala budova ČOV z nadřazené sítě 8 455.2 kWh elektrické energie, což je o 2 311 kWh elektrické energie více než v případě

s centrální baterií. Dále budova odebrala z komunity 77.75 kWh, a komunitě by v tomto týdnu neprodala elektrickou energii žádnou.

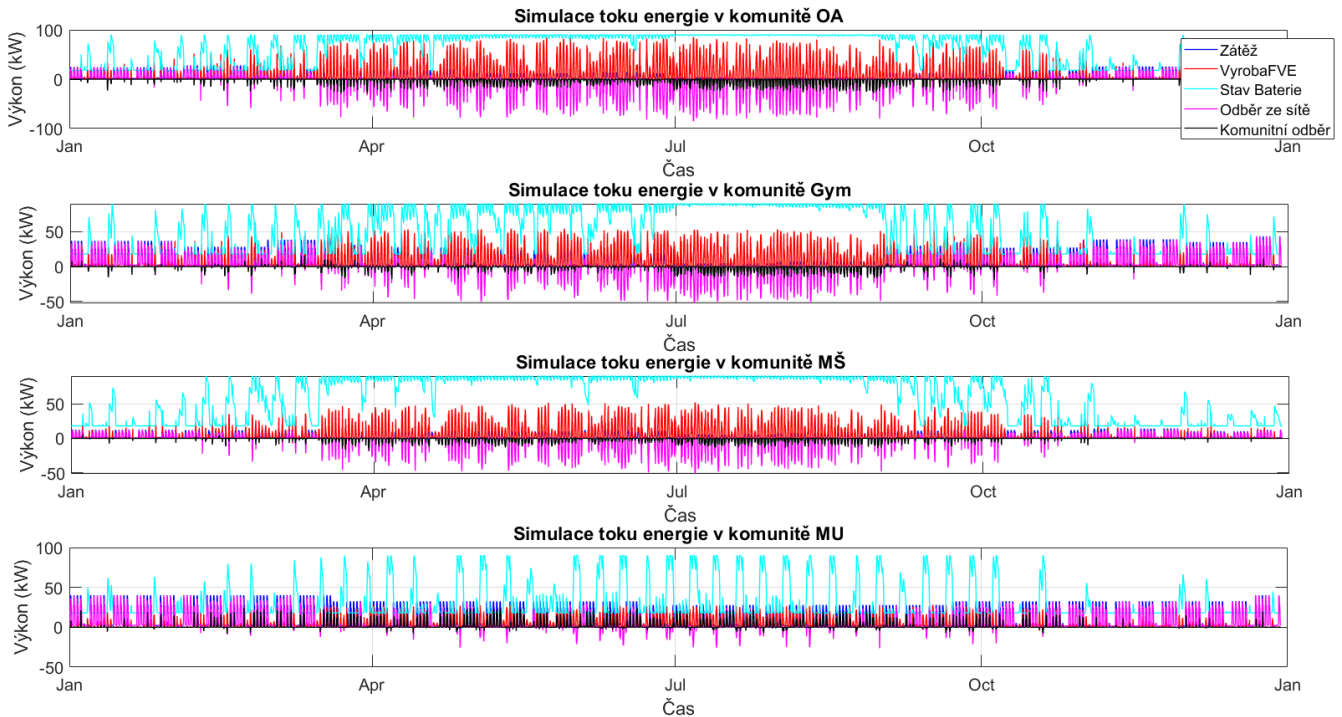
Budova Háje, v případě simulace s individuální baterií, neodebrala z nadřazené sítě žádnou elektrickou energii. Tento stav je naopak pro tuto budovu lepší, nežli by byl stav s centrální baterií. Je to zejména dáno diagramem zatížení, kdy budova ČOV vyčerpala kapacitu centrální baterie a na budovu Háje se již nedostalo. To by se dalo případně optimalizovat dynamickým alokačním klíčem, ve kterém by každá budova měla nárok na tolik elektrické energie podle toho, kolik budova přispěla do baterie předešlý den. Dále budova prodala komunitě 77.75 kWh a do nadřazené sítě prodala 1 047 kWh. Z komunity v tomto týdnu neodebrala žádnou elektrickou energii.

4.8 Simulace energetické komunity na osmi budovách

Energetická komunita jako taková si dává za cíl co nejvíce využít lokálně vyrobenou elektrickou energii a co možná nejvíce omezit odběr z nadřazené sítě. Na následujících grafech je simulace komunity postavená na datech z obce Slaný u Prahy, ze které jsem obdržel data o spotřebách a výrobě FVE z pražského výzkumného centra ČVUT UCEEB. V simulaci jsem předpokládal opět fakt, že jsou budovy v LDS a mají vlastní rozvod elektrické energie, tedy pracují buď do sítě komunity nebo s nadřazenou sítí.

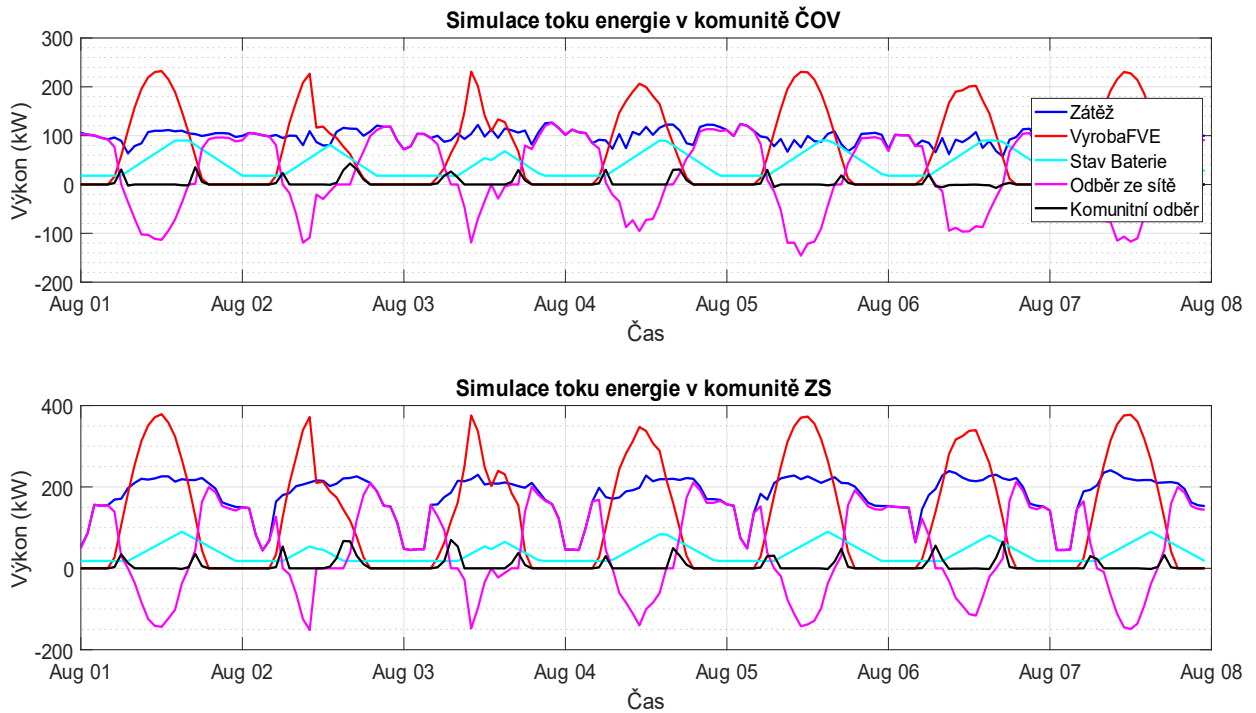


Obrázek 21 - Grafy energetických bilancí v komunitě



Obrázek 22 - Grafy energetických bilancí v komunitě

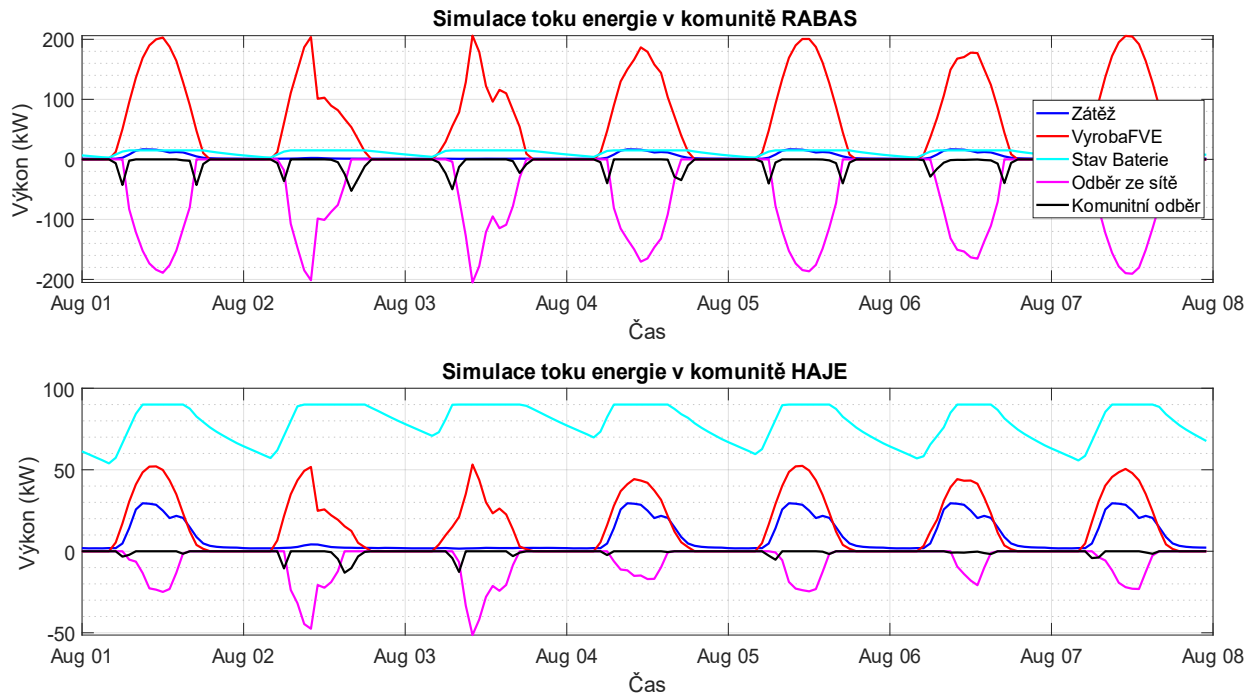
Na Obrázku 22 je vidět simulace komunitního sdílení z obce Slaný u Prahy. Na místě je aktuálně 8 budov, které mají nainstalované fotovoltaické elektrárny a na datech o jejich výrobě a spotřebě jsem by schopný vytvořit simulaci, jak by vypadaly toky elektrické energie v případě, že by zde bylo energetické společenství. Těmi budovami jsou obchodní akademie (OA), městský úřad (MU), posilovna (GYM), mateřská škola (MS), čistička odpadních vod (ČOV), zimní stadion (ZS), dům Rabas (RABAS) a ubytování Háje (HAJE). Všechny budovy mají na svých střechách fotovoltaickou elektrárnu o různých výkonech. V rámci simulace jsem předpokládal, že má každá budova bateriové uložení. Dle mého názoru by bylo nejlepším řešením vypočítat kapacitu baterie pro každou budovu zvlášť podle její spotřeby a instalovaného výkonu. Už z prvního pohledu na grafy (Obrázek 20) je zřejmé, že některé budovy mají velmi předdimenzované fotovoltaické elektrárny a mnou nastavené baterie jsou i přes velkou kapacitu v létě většinou nabitě. Nejvýraznější je to u budov mateřská škola a obchodní akademie. Budovy na Obrázku 20, čistička odpadních vod, zimní stadion a Rabas, mají na svou fotovoltaickou elektrárnu baterie nastavené na nízkou kapacitu. Největším výrobcem, ale také spotřebitelem elektrické energie, je v průběhu roku zimní stadion.



Obrázek 23 - Grafy toků elektrické energie pro budovy ČOV a Zimní stadion

Při přiblížení na první týden v měsíci srpnu je v grafu (Obrázek 23) na první pohled vidět, jak fotovoltaické elektrárny vyrábějí. Jsou zde velké přetoky elektrické energie. Konkrétně by budova ČOV dle simulace prodala do nadřazené sítě za týden provozu 4 111.33 kWh, zároveň prodala do komunity 43.94 kWh. Budova ČOV nakoupila z komunity během týdne celkem 569.04 kWh a z nadřazené sítě nakoupila budova 8 010.71 kWh.

Budova zimního stadionu by prodala do nadřazené sítě 4 142.03 kWh, do komunity 12.05 kWh a z komunity nakoupila 1 096.18 kWh. Z nadřazené sítě potom budova zimního stadionu nakoupila 12 122.55 kWh elektrické energie. Jelikož má budova zimního stadionu v průběhu celého dne velký odběr, tak do komunity nepřispěla tolik, jako budova ČOV a zároveň měla mnohem větší odběr.



Obrázek 24 - Grafy toku elektrické energie pro budovy RABAS a Háje

Budovy HAJE a RABAS by v komunitě byly dle simulace spíše jako výrobci. Konkrétně budova RABAS dodala komunitě celkem 821.53 kWh elektrické energie. Potom prodala do nadřazené sítě celkem 8 894.81 kWh. Je to způsobeno tím, že tato budova má velmi nízkou spotřebu a velkou fotovoltaickou elektrárnu, jak je znázorněno na grafu (Obrázek 22). Budova RABAS by z komunity neodebrala v tomto týdnu žádnou elektrickou energii.

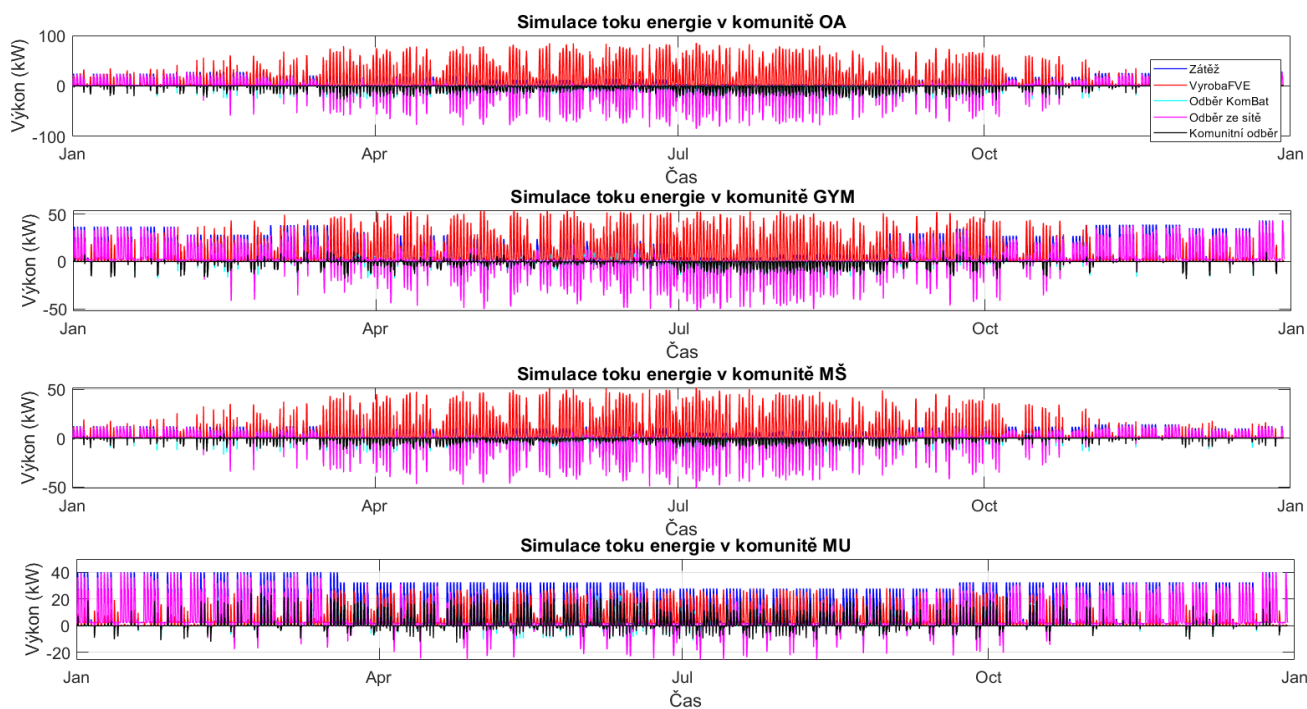
Podobně je na tom budova HAJE, která za tento týden také neodebrala žádnou elektrickou energii z komunity. Tato budova přispěla do komunity 99.22 kWh elektrické energie a do nadřazené sítě prodala celkem 1 025.74 kWh, odebrala 0 kWh elektrické energie.

V těchto grafech (Obrázek 24) je na první pohled zřejmé, že se v letních měsících chovají budovy spíše jako výrobci elektrické energie, kterou musí prodat do nadřazené sítě a nemají kromě možností jako je akumulace do teplé vody a do vlastní baterie žádnou další možnost tak obrovské množství elektrické energie uskladnit. Možnost, jak uspořit co nejvíce elektrické energie a do nadřazené sítě prodat co nejméně, znázorňují další grafy, kdy jsem využil centrální baterie o velikosti celkem 500 kWh.

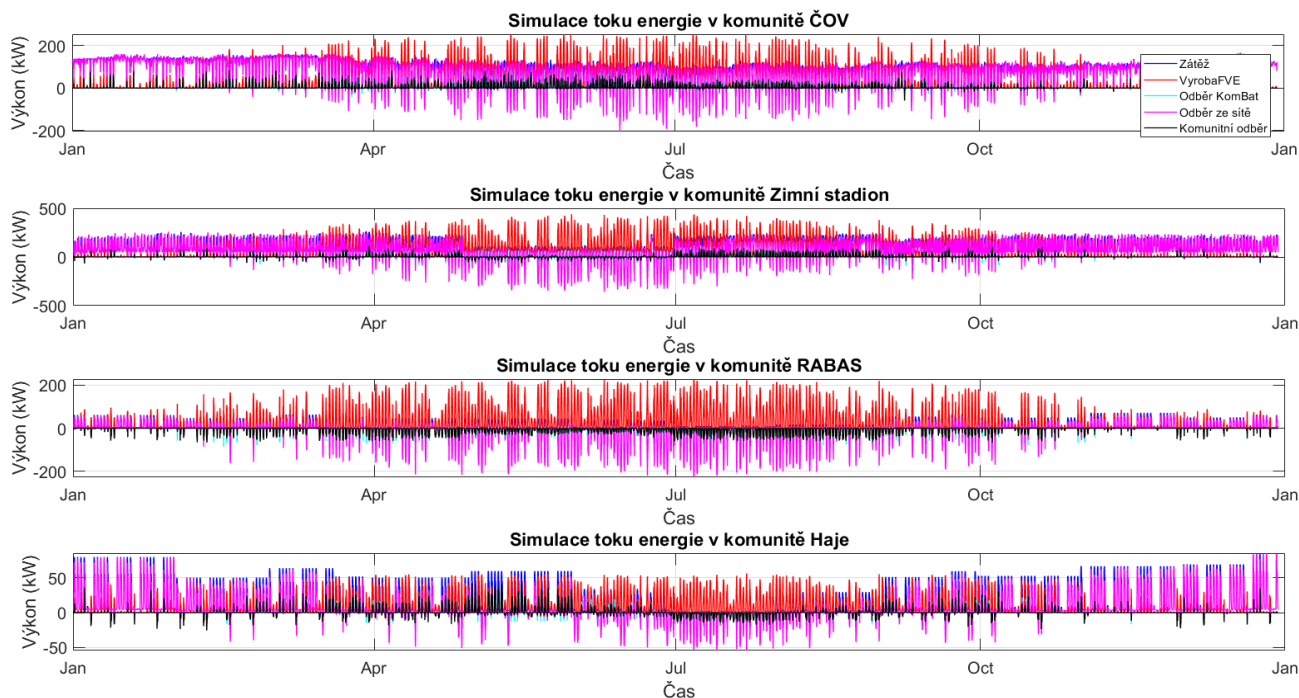
4.9 Simulace energetické komunity s centrální baterií 500 kWh

V této podkapitole zhodnotím výsledky simulace pro energetickou komunitu se složením stejným jako v podkapitole 4.3 s tím rozdílem, že žádná z budov nebude mít bateriové úložiště. Budovy budou využívat pouze centrální baterii o celkové kapacitě 500 kWh. Opět komunita využívá LDS a neuvažují ztráty a degradaci centrální baterie.

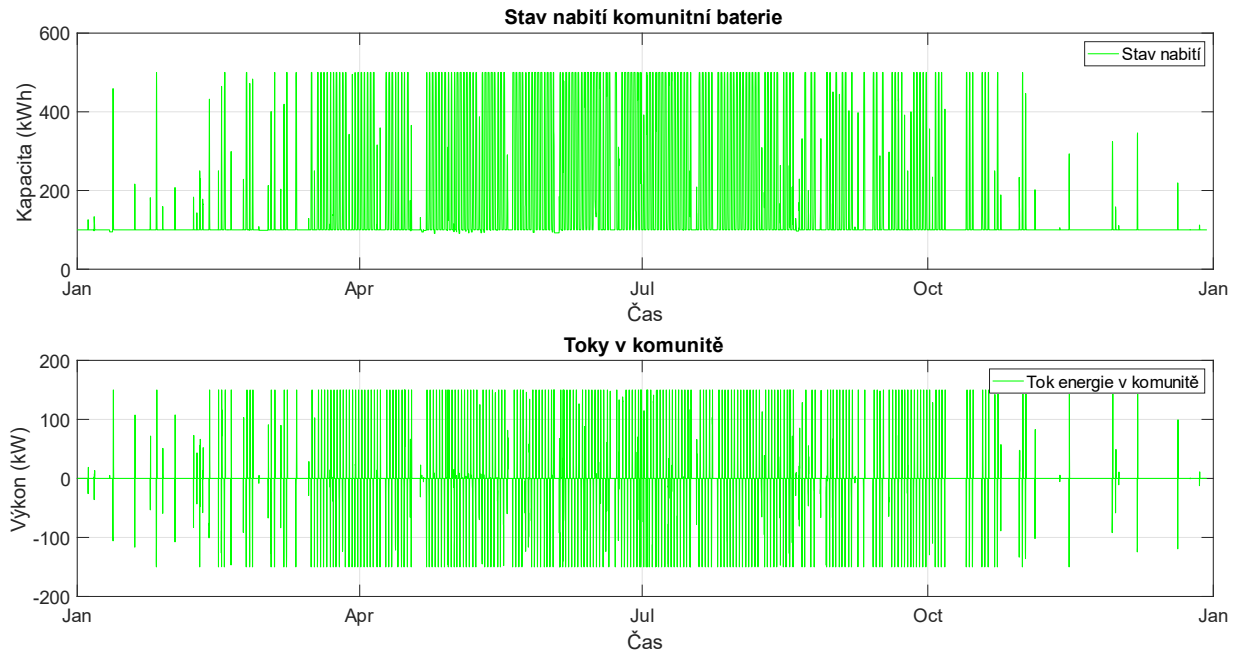
4.9.1 Grafy komunity složené z osmi budov



Obrázek 25 - Energetická komunita s centrální baterií



Obrázek 26 - Energetická komunita s centrální baterií



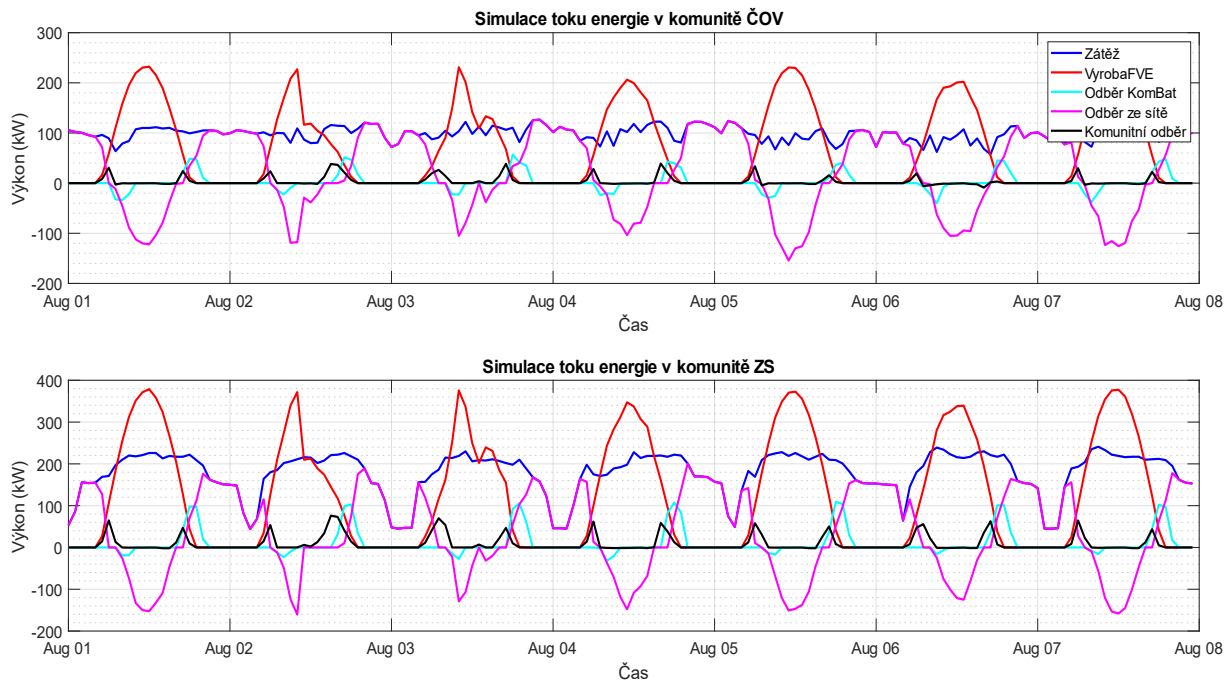
Obrázek 27 - Toky energií v komunitě a v centrální baterii

Na grafech (Obrázek 25 a 26) je komunita, kde jsem nasimuloval případ s centrální baterií. Centrální baterie má nastavenou celkovou kapacitu 500 kWh. Jedná se o velkou centrální baterii, kdy by její výstavbu musel uhradit případný investor, nebo by se investice musela rozpočítat mezi jednotlivé spotřebitele. Baterii se dařilo i přes její velkou kapacitu nabíjet do maximální kapacity. To dává například příležitost komunitě obchodovat na spotovém trhu s elektrickou energií, což může zajistit příjem buď komunitě, která baterii pořídí, nebo investorovi. Jedná se o motivaci pro investory zřídit centrální baterie, které se alespoň z části, díky prodeji a nákupu na spotovém trhu, zaplatí. Také při dobře zvolené fakturaci, pokud objekt nebude přispívat do centrální baterie elektrickou energií tak jako jiné objekty, bude pro něj tarif vyšší, což zajistí další příjem pro komunitu nebo investora.

Na grafu (Obrázek 27 – horní graf) je znázorněn stav nabití centrální baterie. Tento parametr je velmi důležité znát, jelikož díky němu dokážeme určit kolik cyklů nabití a vybití udělá baterie za rok a tím určit její životnost a případné opravy, výměny článků a tak podobně. V mé simulaci vyšlo, že baterie vykoná ročně 378 cyklů. Bateriové uložení technologie LiFePO4 dokáže zvládnout až 8 tisíc cyklů, což je zhruba 22 let s tím, že se baterie vybíjí maximálně o 80 % DoD (depth of discharge – hloubka vybití).

4.9.2 Přiblížení prvního týdne v srpnu

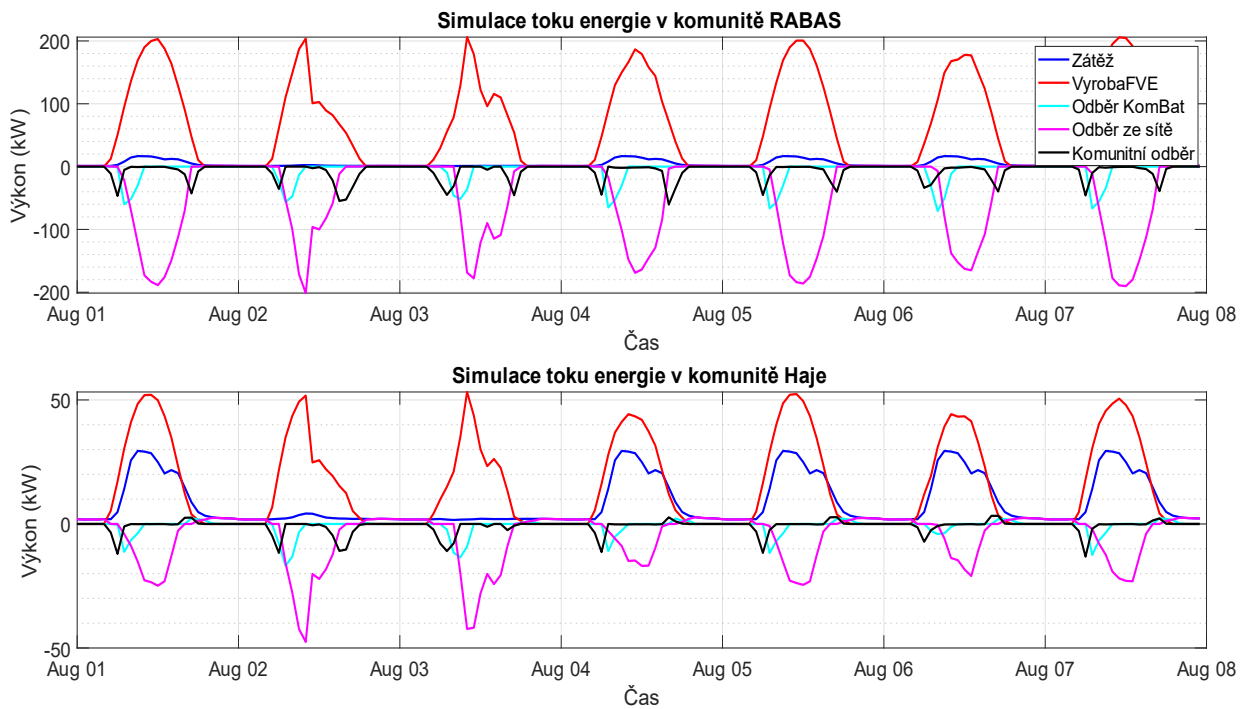
Následně jsem provedl přiblížení na první týden v srpnu 2023.



Obrázek 28 - Grafy toků elektrické energie pro budovy zimního stadionu a ČOV

V tomto grafu (Obrázek 28) je lépe vidět, jak budovy v čase odebíraly z centrální baterie nebo naopak centrální baterii nabíjeli. V tomto případě budova ČOV prodala dle simulace do nadřazené sítě 4 091.68 kWh elektrické energie, což je o 19.65 kWh méně než v případě bez centrální baterie. Veškeré rozdíly jsou způsobené zejména tím, že budovy již nemají svoji vlastní baterii a v případě potřeby, pokud není poptávka v komunitě, primárně prodávají elektrickou energii do centrální baterie. Zároveň ČOV prodala komunitě 64.684 kWh elektrické energie a nakoupila celkem 597.26 kWh. Z nadřazené sítě nakoupila ČOV 7 606.28 kWh elektrické energie. Do centrální baterie přispěla 475.91 kWh a odebrala z centrální baterie 846 kWh.

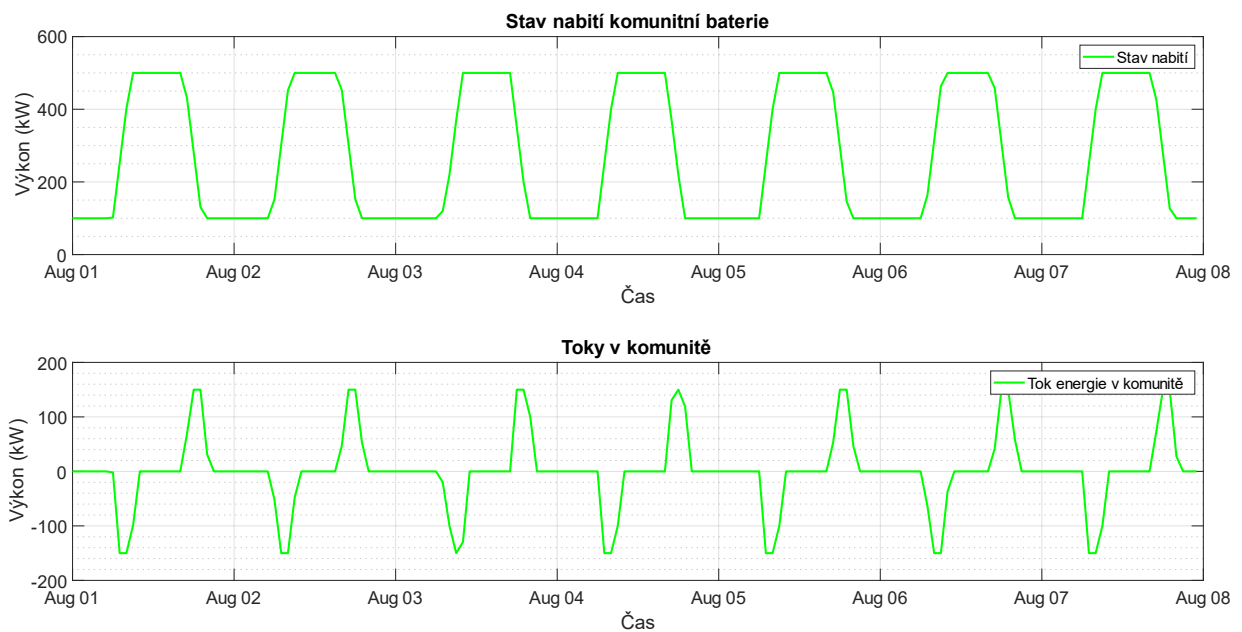
Budova zimního stadionu prodala do nadřazené sítě celkem 4 300.3 kWh, z komunity nakoupila celkem 1 515.317 kWh a z nadřazené sítě celkem 10 268.399 kWh elektrické energie. To je o 1 854.151 kWh méně, než v případě bez centrální baterie. Dále prodala komunitě 31.145 kWh elektrické energie, přispěla do centrální baterie 257.38 kWh a odebrala z centrální baterie 1 872.72 kWh.



Obrázek 29 - Grafy toků elektrické energie pro budovy RABAS a Haje

Přiblížení na první týden v srpnu pro budovy RABAS a Haje (Obrázek 29) v případě simulace s centrální baterií. Budova RABAS prodala na základě výsledků simulace do nadřazené sítě celkem 7 578.43 kWh a nakoupila 78.448 kWh elektrické energie. Zde je názorně vidět, že pro některé budovy může být komunitní sdílení v některých případech nevýhodné. Je to způsobeno tím, že budova RABAS měla poptávku po elektrické energii v době, kdy již v komunitě nebyla žádná dostupná kapacita. V minulém případě mohla čerpat budova kolik potřebovala ze své baterie, ale v tomto případě čerpalo z centrální baterie více budov a nezbyl potřebný vybíjecí výkon baterie pro tuto budovu. Tento problém by mohl být vyřešen buďto tím, že by budova měla k centrální baterii také svou soukromou baterii, nebo vyšším vybíjecím výkonem, případně mít v centrální baterii svou rezervovanou kapacitu. Zároveň by dle simulace budova nakoupila z centrální baterie 6.24 kWh a prodala do centrální baterie 1 050.89 kWh elektrické energie, což je ze čtyř budov, u kterých jsem přiblížil graf, nejvíce. Zde by bylo vhodné provést úpravy algoritmu, kdy tato budova nejvíce přispívá do centrální baterie, a i tak musela čerpat z nadřazené sítě více než v případě, kdy měla svou vlastní baterii. Například by každý den mohlo být zohledněno, kolik minulý den budova přispěla do centrální baterie a podle toho by se mohl dynamicky měnit klíč k rezervovanému výkonu v baterii.

Budova Háje v simulaci prodala do nadřazené sítě celkem 992.52 kWh a odebrala z nadřazené sítě 144.84 kWh elektrické energie. V případě, kdy měla budova svou vlastní baterii, tak ze simulace vyšlo, že by neodebrala žádnou elektrickou energii z nadřazené sítě. Zde je vidět, že by pro budovu bylo přínosnější mít svou vlastní baterii oproti tomu mít jednu centrální. Dle mého názoru by zde byla nejvýhodnější kombinace centrální baterie a vlastní baterie. Dále budova dodala v simulaci do komunity 163.49 kWh elektrické energie, do centrální baterie 174.98 kWh a odebrala z centrální baterie celkem 31.56 kWh.



Obrázek 30 - Grafy toků elektrické energie v komunitě pro všechny budovy a stav nabití centrální baterie

Na Obrázku 30 jsou znázorněny toky elektrické energie a také stav nabití centrální baterie. Je zde zřejmé, že by se dala centrální baterie využít pro obchodování na spotovém trhu. Pak by mohla v noci nakupovat například elektrickou energii v levnějším tarifu, aby byla ráno dostupná pro členy komunity, kterým by se určila cena za kWh. Také je zde vidět, že se budově zimního stadionu a dalším budovám, které využívají v noci elektrickou energii, podařilo vybit baterii na její spodní limit. Tomu by se dalo předejít tím, že by budova měla dynamicky, dle příspěvku z předešlého dne alokovanou kapacitu elektrické energie v centrální baterii a přes to by budova dále nemohla čerpat. Zbytek by budova nakupovala z nadřazené sítě. Buďto tento způsob, nebo by pro ni platilo, že by po vyčerpání své alokované energie, díky datům z předešlého dne, měla budova vyšší sazbu za elektrickou energii tak, aby to pro ni již nebylo výhodné a byla tím penalizována. V tomto případě by došlo k přepnutí na odběr elektrické energie z nadřazené sítě, jelikož by pro budovu již nebylo ekonomicky výhodné čerpat z centrální baterie.

4.10 Vyčíslení ztrát

Z hlediska měniče a bateriového uložení jsem vyčíslil ztráty při dodávce do komunitní baterie a při odebírání z komunitní baterie. Využil jsem dat z bakalářské práce (16) a zvolil účinnost bateriového uložení 90 % a účinnost střídače 97 %. Při dodávce elektrické energie baterii jsou ve vyčíslených datech z jednotlivých budov již započítány ztráty z měniče v budově. V systému uvažuji celkové ztráty <1 %. Ztráty v měniči se mohou v průběhu let zvýšit. Fotovoltaické panely udávají garantovaný výkon v průběhu let, první rok bývá snížení výkonu o 1 %. Druhý rok je například výkon 99 % původní hodnoty a po 30 letech je výkon 87.4 % původní hodnoty. Takže panel o výkonu 500 Wp bude mít po 30 letech výkon 437 Wp. To je způsobeno degradací fotovoltaických panelů.

Tabulka 2 - Rozdíly mezi množstvím elektrické energie beze ztrát a se ztrátami

Budova	Množství dostupné energie pro uložení (kWh)	Množství uložené energie (kWh)	Množství odebrané energie (kWh)	Skutečné množství odebrané energie (kWh)
COV	7 913	6 900	32 293	31 330
ZS	18 650	16 280	42 883	41 600
RABAS	29 950	26 150	804	780
HAJE	4 306	3 760	3 339	3 239
OA	10 810	9 438	245	237
GYM	4 700	4 103	943	915
MS	5 660	4 940	297	287
MU	1 675	1 462	2 858	2 772
Rozdíl v dodané energii (kWh)		Rozdíl v odebrané energii (kWh)		
10 631		2 502		
Rozdíl v dodané energii (%)		Rozdíl v odebrané energii (%)		
12,707		2,991		

Rozdíl v dodané elektrické energii centrální baterii představuje energii, kterou by budovy musely dodat navíc. Tyto ztráty by se z velké části dorovnaly přetokem elektrické energie. Ztráty v odběru elektrické energie by se rovněž dorovnaly z přetoků elektrické energie nebo by se dorovnávaly z nadřazené sítě. Celkové ztráty mohou představovat u různých systémů až 15 %. To může u systémů s hrubou dobou návratnosti 6 let znamenat navýšení této doby až o 1 rok.

4.11 Možnosti komunitního sdílení v podmínkách ČR

V České republice by řešení komunitního sdílení bylo velice přínosné z důvodu aktuální politické situace týkající se energetiky z hlediska postupného vyřazování uhelných elektráren. Systémy využívající komunitní sdílení by při správném návrhu a typu řízení byly schopné ostrovního provozu během většiny roku. Kombinace s dalšími zdroji obnovitelné elektrické energie, jako například větrné energie, pokud to geologické umístění dovolí, by dle mého názoru, přispělo ke stabilitě ostrovního provozu. V kombinaci s kogeneračními jednotkami by malé vesnice mohly být v průběhu roku téměř nezávislé na nadřazené síti a čerpaly by z ní elektrickou energii zejména v zimních měsících, kdy je spotřeba elektrické energie podstatně vyšší a fotovoltaické elektrárny nevyrábí dostatek elektrické energie.

5 Možnosti fakturace mezi subjekty

V této kapitole jsem se zaměřil na rešerši problematiky fakturace a optimalizace využití centrálního bateriového systému a LDS.

5.1 Optimalizace využití bateriového uložení s různými tarify baterie

Hlavním cílem optimalizace je minimalizace dodávky elektrické energie z nadřazené sítě a tím snížení konečné ceny za elektrickou energii. Výsledkem optimalizace je tak optimální rozdělení elektrické energie mezi síť a komunitu. Jelikož aktuálně roste počet zákazníků, kteří si na své objekty instalují fotovoltaické elektrárny a jiné druhy obnovitelných zdrojů elektrické energie, je zapotřebí chytrého řízení těchto výrobních bloků. Z hlediska investice se zákazníci shledávají s největším problémem u bateriových uložení, jelikož tato položka činí nejvyšší částku v celkové investici do obnovitelných zdrojů. Bateriové systémy jsou téměř nezbytnou součástí fotovoltaické elektrárny, jelikož snižují špičkovou zátěž a přispívají k lepší odezvě na poptávku. Sdílená centrální baterie je pro zákazníky z hlediska investice velice lákavá. Aby zákazník přistoupil k členství v komunitě se sdílenou baterií, je potřeba představit mu model jeho výnosů čili výhod, které tím získá. Zkoumají se různé druhy optimalizací, například Q-learning, využití komunitního uložení pro časový posun výroby a spotřeby díky maloobchodním tarifům s různou cenou, modely smíšeného programování (Mixed integer linear programming) k dosažení optimálního stavu a podobně. Velká většina těchto výzkumů využívá predikční modely pro předpověď osvětlení fotovoltaické elektrárny, její výroby a také pro predikci zátěže. To ovšem může vést k poddimenzování nebo předdimenzování celého systému. Pro co možná nejlepší optimalizaci je nejlepší optimalizace v reálném čase. Pro optimalizaci se využívá energetické komunity sestávající se ze dvou obytných budov, jak je znázorněno na Obrázku 29. (17)

Samotný energetický management je oproti klasickému konvenčnímu systému složitější, jelikož počítá s velmi proměnlivou výrobou a spotřebou elektrické energie a s integrací generátorů elektrické energie. Tyto generátory se nedají přímo řídit, protože nemají dispečink, který by reagoval na změny v síti. Tím se tyto systémy stávají ještě složitější. V odborné literatuře jsou uvedeny různé způsoby řízení elektrické energie, například řízení doby spotřeby, přímé řízení zátěže a stanovování cen v reálném čase. (18)

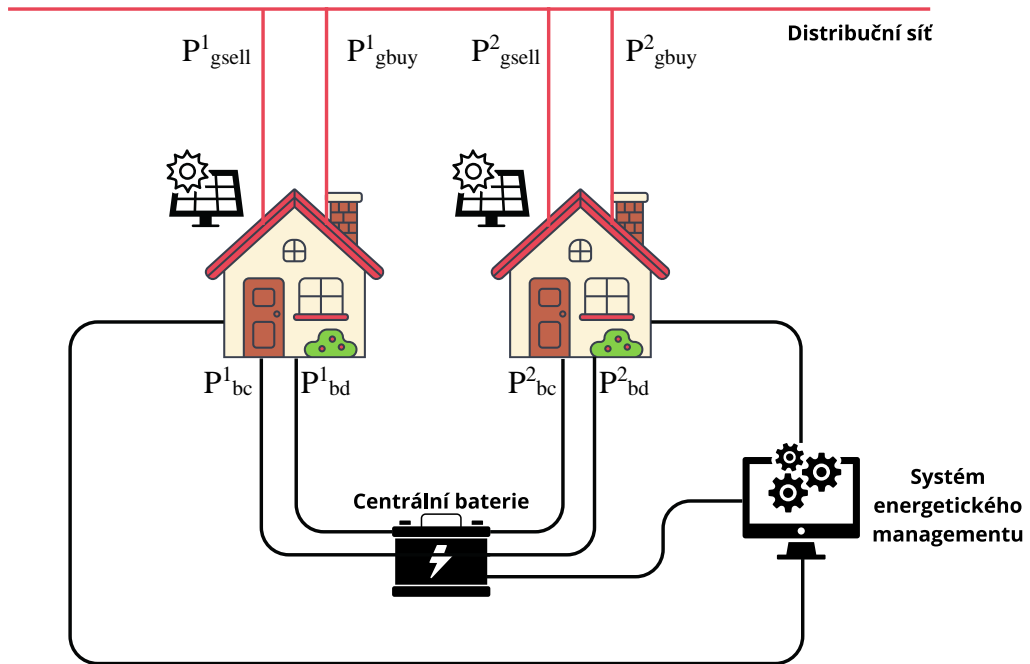
Při pohledu na řízení mikrosítě fungují metody jako je předem definovaná základní metoda, metoda založená na plánování výroby a spotřeby a metoda využívající výpočtů

v reálném čase. Předem definovaná základní metoda využívá řízení elektrické energie na základě předem stanovených pravidel. Dalo by se mluvit o statickém klíči, na jehož základě se bude elektrická energie rozdělovat. V plánovací metodě se využívají optimalizační algoritmy, které řeší daný časový horizont jako je například plán na následující den a algoritmus se snaží nalézt co možná nejoptimálnější stav s pomocí předpovídaných dat. Řízení v reálném čase reaguje ihned na naměřená data. (18)

Existují případy, kdy řízení plánováním s obnovitelnými zdroji a centrální baterií snižuje náklady na elektrickou energii až o 40 % ve srovnání se statickými alokačními klíči. Dále jsou metody, kdy jsou náklady sníženy tím, že se díky baterii obchoduje na spotovém trhu s elektrickou energií. (18)

V práci (19) uvádí autoři způsob, kdy se snažili vytvořit algoritmus pro centrální řízení chytré domácnosti, které bylo uvedeno s cílem minimalizovat spotřebu elektrické energie zákazníka. Zároveň tento zákazník nakupoval a prodával elektrickou energii na spotovém trhu. Regulátor reaguje na spokojenost zákazníka. Spokojeností se myslí i jeho reakce na aktuální teplotu v domácnosti s vlivem vnějšího počasí a činností které dělá. Výpočty pro optimální chod domácnosti se provádějí na základě predikovatelných dat s nepredikovatelnými výstupy, včetně výroby z FVE a poptávky po elektrické energii.

Zároveň mohou být spotřebiče rozděleny do tří kategorií na základě přání zákazníka. Těmito kategoriemi se rozumí odložitelné, tepelné a neovladatelné spotřebiče. Mezi odložitelné spadají spotřebiče, které se využívají například k praní prádla, mytí nádobí nebo připojená elektrická vozidla. Tepelné spotřebiče mají funkci udržení tepelného komfortu uvnitř budovy, jedná se o topení či klimatizace. Neovladatelné spotřebiče jsou mimo kontrolu centrálního řízení a může se jednat například o počítače, osvětlení, televize, ledničky, mrazáky a tak podobně. Denní spotřebu neovladatelných spotřebičů lze předvídat na základě historických údajů. (19)



Obrázek 31 - Konfigurace systému se dvěma domy

Hlavním cílem této optimalizace je minimalizace celkové spotřeby (Cost of energy consumption (CoE)) obou budov za celý den při maximálním využití centrální baterie. Tomu odpovídá rovnice 2.

$$CoE = \min \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left\{ \left(C_{gbuy} \cdot P_{gbuy}^i(t) \right) - \left(C_{gfit} \cdot P_{gsell}^i(t) \right) + \left(C_{bbuy}^i(t) \cdot P_{bd}^i(t) \right) - \left(C_{bsell}^i \cdot P_{bc}^i(t) \right) \right\} \quad (3)$$

První suma udává počet budov, na které se tato optimalizace zaměřuje. Druhá suma potom počet hodin, index t označuje čas 0-24 hodin po které optimalizace probíhá a za index i se dosadí číslo 2 jako počet budov. V tomto případě se nejedná o mocninu, ale pouze o index. Krok optimalizace je 1 hodina. C_{gbuy} a C_{gfit} označují tarif dodávky a prodeje elektrické energie z nadřazené sítě. Pro oba domy jsou tyto hodnoty stejné. C_{bbuy}^i a C_{bsell}^i jsou tarify pro nákup a prodej elektrické energie centrální baterii, index i je index budovy, tedy v tomto případě 1 nebo 2. P_{gbuy}^i a P_{gsell}^i je nákup a prodej elektrické energie z nadřazené sítě. P_{bc}^i a P_{bd}^i vyjadřuje, zda dům dodával elektrickou energii centrální baterii nebo z ní elektrickou energii odebíral.

Pro optimalizaci jsou důležité i další parametry, které jsou dány v následujících rovnicích. (17)

$$P_{gsell}^i - P_{gbuy}^i + P_{bc}^i - P_{bd}^i = (P_v^i - P_d^i) \quad (4)$$

$$P_{gbuy}^i \leq 20 \cdot \mu \quad (5)$$

$$P_{gsell}^i \leq 15 \cdot (1 - \mu) \quad (6)$$

$$P_{bc}^i \leq C_{lmt} \cdot \varepsilon \quad (7)$$

$$P_{bd}^i = D_{lmt} \cdot (1 - \varepsilon) \quad (8)$$

$$SOE \geq 5 \quad (9)$$

$$SOE \leq 40 \quad (10)$$

V rovnici 3 představuje P_v^i a P_d^i hodinovou výrobu fotovoltaické elektrárny a aktuální požadavek na elektrickou energii jednoho domu. V rovnicích 4 a 5 představuje symbol μ konstantu, která se postará o to, aby nedocházelo k nákupu a prodeji do nadřazené sítě současně. ε má podobnou funkci jako předešlá proměnná s tím rozdílem, že se stará o to, aby nedocházelo v jednu chvíli k nabíjení a vybíjení baterie. SOE značí aktuální stav baterie (State Of Battery) a je limitován mezi 5 kWh a 40 kWh, jelikož hluboké vybití baterie a přebíjení zkracuje její životnost. Rovnice 3 představuje rovnici energetické bilance pro i -tý dům. Rovnice 4 vyjadřuje omezení nákupu elektrické energie od distributora na maximálních 20 kW. Rovnice 5 omezuje prodej elektrické energie distributorovi na maximálních 15 kW. Rovnice 6 slouží k omezení nabíjecího výkonu bateriového úložiště, které je dané konstrukcí baterie. Hodnota nabíjecího výkonu se dynamicky mění v čase podle aktuální bilance elektrické energie. Rovnice 6 limituje vybíjecí výkon baterie. (17)

Podle další rovnice v článku je pro domy rezervováno 90 % kapacity baterie. Efektivita nabíjení i vybíjení činí zhruba 90 %. Dle následující rovnice je dynamicky počítán nabíjecí potenciál budovy, kde se násobí efektivita nabíjení baterie s celkovým přetokem elektrické energie budovy odečtením výroby a spotřeby. (17)

$$C(t) = \sum_{i=1}^N \left[\eta_c \cdot (P_v^i(t) - P_d^i(t)) \right] \quad (11)$$

Pokud mají všechny budovy nadbytek elektrické energie, pak se nabíjecí kapacita spočítá jako podíl maximální kapacity baterie a počtem připojených objektů. V ostatních případech se počítá jako rozdíl maximální kapacity baterie a aktuální dostupné kapacity, obojí je vyděleno počtem připojených objektů. Velmi podobným způsobem je vyřešeno i vybíjení baterie. Rovnice je stejná jako rovnice 10 s tím rozdílem, že je účinnost η_c dělená

číslem 1. V rozdílu jsou prohozené proměnné $P_v^i(t)$ a $P_d^i(t)$, nebo by se dala využít absolutní hodnota. Další je rozdíl v rovnici řídicí vybíjení. Pokud není deficit u obou budov, tak se výpočet provádí jako rozdíl dostupné kapacity baterie a minimální kapacity baterie, obojí vyděleno počtem připojených budov. Při celkovém deficitu se vybíjecí výkon spočítá opět jako podíl maximální kapacity baterie a počtem budov.

Výše zmíněné rovnice zajistí to, že pokud je celkový nedostatek elektrické energie nebo je velký přebytek elektrické energie, tak se nabíjecí nebo vybíjecí výkon rovnoměrně sníží nebo zvýší tak, aby žádný dům nepřišel o příležitost přispět do baterie nebo z ní odebírat. Rozdílný tarif pro nákup energie ze společné baterie je počítán každou hodinu podle toho, jak moc se budova podílela na nabíjení baterie předešlý den. Tarif zůstává nízký, pokud je vybíjecí výkon v rámci prahu nabití z předchozího dne. Tarif je naopak vyšší, pokud vybíjecí výkon překračuje příspěvek do společné baterie z předchozího dne. Hodinová cena elektrické energie pro jeden dům se spočítá následující rovnicí. (17)

$$\text{Hodinová cena} = (P_{gbuy}^i(t) \cdot C_{gbuy}) + (P_{bd}^i(t) \cdot C_{bbuy}^i(t)) - (P_{gsell}^i(t) \cdot C_{gfit}) - (P_{bc}^i(t) \cdot C_{bsell}^i) \quad (12)$$

Celkovou úsporu budovy s využitím centrální baterie potom vypočteme jednoduchou rovnicí.

$$\text{Hodinová úspora} = P_{bc}^i(t) \cdot (C_{bsell}^i - C_{gfit}) + P_{bd}^i(t) \cdot (C_{gbuy} - C_{bbuy}^i(t)) \quad (13)$$

A následně celkové příjmy jsou vyjádřeny rovnicí.

$$\text{Hodinový příjem} = \sum_{i=1}^N ((P_{bd}^i(t) \cdot C_{bbuy}^i(t)) - (P_{bc}^i(t) \cdot C_{bsell}^i)) \quad (14)$$

Závěrem této kapitoly je, že ve výsledku tento systém motivuje jednotlivé členy pro dodávku své energie do centrální baterie, namísto projede distributorovi. Zisk díky různým tarifům je prospěšný pro investora, který centrální baterii na své náklady zakoupil. Pro domy je motivací k úspoře elektrické energie, aby nakupovali z baterie za co možná nejnižší ceny. Uvažovaly se tři scénáře. Z předešlého dne neměly budovy žádný příspěvek do centrální baterie, v druhém měl dům 1 nižší příspěvek do baterie než druhý dům a třetí scénář byl inverzní druhému. Výsledná simulace vyšla podle předpokladu. Tedy pokud měl dům z předchozího dne vyšší podíl na nabití centrální baterie, měl i větší finanční úsporu za celý den. Pro správu budov, nebo investora, je nejméně výhodné, když oba domy začínají den na s nulovým příspěvkem do centrální baterie. Pro investora je nejvýhodnější, pokud dojde k rozdělení tarifů.

Pro investora je nejvýhodnější rozdělení do tarifů, to ho také vede k motivaci vybudovat více centrálních baterií s vidinou vyšší návratnosti, což je principem komunitní energetiky, tedy aby byli členové i investoři spokojeni. (17)

Z této rešerše jsem zjistil, jak by se dalo vyúčtování počítat. Do mé simulace jsem se inspiroval omezeními odebíraných a dodávaných výkonů a počítáním ceny za elektrickou energii v závislosti na odebrané a dodané elektrické energii. Také je důležitým poznatkem, že ceny v komunitě musí být nižší než od distributora a zároveň ceny nemohou být stejné. Je důležité v komunitě nastavit rozdílný tarif pro každého účastníka dle individuálních parametrů. To přispěje ke zvýšení spravedlivosti a k návratnosti investice případnému investorovi. Také to přispěje komunitě ke generování zisků na potřebnou údržbu.

6 Fakturace a vyčíslení návratnosti za fixní ceny elektřiny

Fakturaci jsem simuloval jako nákup a prodej elektrické energie za fixní ceny pro lokální distribuční síť. Ve fakturaci jsem nepočítal s poplatkem za nadřazenou síť. Nejdříve jsem zjistil, jaké jsou náklady jednotlivých budov ve výše analyzované komunitě bez jakéhokoli zdroje obnovitelné elektrické energie. Následně jsem provedl porovnání, kdy měla každá budova nainstalovanou FVE, poté k ní měli i baterii a v poslední řadě obchodovali se svou FVE v komunitě s centrální baterií a bez centrální baterie. Analyzoval jsem dopad jednotlivých technických řešení na celkovou roční fakturu a hrubou návratnost. Centrální baterii jsem bral jako investici všech osmi budov. Cenu za centrální bateriové úložiště jsem rozpočetl mezi všechny členy, stejně jako náklady za vybudování LDS.

Cenu elektrické energie u obchodníka v nadřazené síti jsem nastavil na 6.50 Kč/kW nákup a 1.05 Kč/kW prodej. Nastavil jsem prodej elektrické energie komunitě 2.50 Kč/kW a nákup z komunity 3.50 Kč/kW. V případě, kdy byla instalována centrální baterie byl nákup z baterie za 4.00 Kč/kW a prodej do baterie 1.50 Kč/kW.

Tabulka 3 - Přehled cen využitých ve fakturaci

Obchodník		Komunita		Centrální baterie	
Nákup	Prodej	Nákup	Prodej	Nákup	Prodej
6.5	1.05	3.5	2.5	4	1.5

Ke každému objektu jsem následně započítal dotaci na výstavbu obnovitelných zdrojů elektrické energie ve výši 50 %. Zároveň jsem rozpočítal cenu za centrální bateriové úložiště, které by vyšlo zhruba na 9 milionů. Po rozpočítání by každá budova měla přispět částkou 1.125 milionů korun za baterii a 750 tisíc korun na vybudování infrastruktury.

Uvedená cena investic v Tabulce 4 je bez započtení dotace 50 %.

Tabulka 4 - Instalovaný výkon a hrubá investice

Budova	Instalovaný výkon FVE (kWh)	Investice (mil. Kč)
COV	293	10
ZS	533	20
RABAS	260	9,8
HAJE	68	2,7
OA	94	3,5
GYM	63	2,5
MS	57	2,3
MU	36	1

Je zde velké množství variant, jak by se dala cena počítat. Například rozpočítat cenu za baterii na základě instalovaného výkonu FVE nebo velikosti odběru dané budovy. Rozpočítat cenu za elektrickou energii dle toho, jak která budova předešlý den přispěla do baterie, nebo na základě statického klíče. Ten by počítal se statickou cenou za elektrickou energii a byla by přidělena určitá kapacita v baterii.

6.1 Ekonomické zhodnocení návratnosti investice

V této podkapitole zhodnotím různé scénáře, kdy budovy neměly FVE, měly FVE bez baterií, měly baterie a nevyužívali komunitního sdílení, měly FVE a baterie a využívaly komunitního sdílení, a nakonec když budovy využívaly komunitního sdílení s centrální baterií.

$$\text{Návratnost} = \frac{\text{Investice (Kč)}}{\text{Úspora (Kč)}} \quad (15)$$

Dle výše napsaného vzorce počítám hrubou návratnost investice. Návratnost investice je ukazatel ziskovosti, který udává výši výnosu a zisku, který investice generuje, v aktuálním případě tedy úspor, které generuje. Úspora je rozdíl mezi náklady na elektrickou energii bez FVE, a náklady na elektrickou energii s instalovaným systémem pro výrobu elektrické energie, případně její distribuci v rámci LDS.

6.1.1 Budovy s FVE

Je zřejmé, že pokud budova nemá žádný zdroj obnovitelné elektrické energie, tak z toho nečerpá žádné výhody. V komunitě ovšem mohou být budovy, které si mohou ročně zaplatit za rezervovaný výkon v komunitě, například pokud by komunita fungovala jako ostrovní systém, a mít elektrickou energii levnější než od distributora a čerpat komunitní elektrickou energii, aniž by budova měla jakýkoli zdroj obnovitelné elektrické energie.

Tabulka 5 - Přehled úspor a hrubé návratnosti s modelem s FVE

Budovy využívající pouze FVE								
Budova	ČOV	ZS	Rabas	Háje	OA	GYM	MŠ	MÚ
Roční náklady bez FVE (Kč)	6 415 134	7 272 336	756 115	839 030	274 787	437 782	173 792	548 850
Roční náklady s FVE (Kč)	4 813 244	4 727 395	109 796	528 352	50 188	201 105	33 954	375 792
Úspora (Kč)	1 601 890	2 544 941	646 319	310 678	224 599	236 677	139 838	173 058
Úspora (%)	24.9705	34.9948	85.4789	37.0282	81.7357	54.0628	80.4629	31.5310
Investice (mil.Kč)	5.0	10.0	4.9	1.35	1.75	1.25	1.15	0.5
Návratnost (roky)	3.2	4.0	7.6	4.4	7.8	5.3	8.3	2.9

Pro budovy využívající pouze FVE bez investice do baterií vychází návratnost do 10 let. Už v tomto řešení jsou úspory díky obnovitelným zdrojům elektrické energie znatelné.

6.1.2 Budovy využívající komunitní sdílení s centrální baterií

V mém řešení jsem rozděloval elektrickou energii dle potřeby, což nevyužívá plný potenciál centrální baterie. V simulaci by bylo vhodné udělat algoritmus, který bude na základě předem zadaných podmínek rozpočítávat rezervovaný výkon baterie. Stávalo se, že budova s velkým odběrem vyčerpala centrální baterii a v případě, že měla jiná budova spotřebu v noci, již neměla možnost z centrální baterie čerpat. Dále by se dalo využít potenciálu velké kapacity k obchodování na spotovém trhu.

Tabulka 6 - Přehled úspor a hrubé návratnosti s modelem s komunitním sdílením, centrální baterií a FVE

Budovy využívající komunitní sdílení a centrální baterii

Budova	ČOV	ZS	Rabas	Háje	OA	GYM	MŠ	MÚ
Roční náklady bez FVE (Kč)	6 415 134	7 272 336	756 115	839 030	274 787	437 782	173 792	548 850
Roční náklady s komunitou a centr. Bat. (Kč)	4 626 674	4 480 637	28 190	477 906	19 973	183 653	20 164	324 691
Úspora (Kč)	1 788 460	2 791 699	727 925	361 122	254 809	254 126	153 631	224 169
Úspora (%)	27.8788	38.3879	96.2717	43.0407	92.7315	58.0492	88.3976	40.8416
Investice (mil. Kč)	5.9375	10.9375	5.8375	2.2875	2.6875	2.1875	2.0875	1.4375
Návratnost (roky)	3.4	4.0	8.1	6.4	10.6	8.6	13.6	6.4

Návratnost v řešení s centrální baterií, je oproti řešení pouze s FVE, pro většinu budov vyšší. Na druhou stranu jsou úspory vyšší než u předchozího řešení. Po uplynutí doby návratnosti začíná toto řešení být efektivnější a rozdíl v návratnosti není tak znatelný.

6.1.3 Budovy využívající komunitního sdílení s individuálními bateriemi

Pokud mají budovy své individuální baterie s dostatečnou kapacitou, tak vychází úspory nejlépe. Je to zejména dáno tím, že každý má svůj rezervovaný výkon dostupný kdykoliv potřebuje, což je zásadní rozdíl od centrální baterie. Toto je problém u centrální baterie, který by se dal, dle mého názoru, vyřešit rozdílným řízením centrální baterie. Jak jsem již uváděl, rozdělovat například kapacitu v centrální baterii na základě instalovaného výkonu, dodávky elektrické energie do centrální baterie v uplynulých 24 hodinách nebo rozdělení na základě poplatku za rezervovaný výkon.

6 FAKTURACE A VYČÍSLNÍ NÁVRATNOSTI ZA FIXNÍ CENY ELEKTŘINY

Tabulka 7 - Přehled úspor a hrubé návratnosti s modelem s komunitním sdílením, individuální baterií a FVE

Budovy využívající komunitní sdílení a individuální baterie								
Budova	ČOV	ZS	Rabas	Háje	OA	GYM	MŠ	MÚ
Roční náklady bez FVE (Kč)	6 415 134	7 272 336	756 115	839 030	274 787	437 782	173 792	548 850
Roční náklady s komunitou a individ. Bat. (Kč)	4 680 650	4 577 974	37 160	462 519	-66	156 823	512	311 067
Úspora (Kč)	1 734 484	2 694 362	718 955	376 511	274 859	280 973	173 280	237 809
Úspora (%)	27.0374	37.0495	95.0854	44.8746	100.0240	64.1778	99.7053	43.3239
Investice (mil. Kč)	6.5	15.25	5.8	2.85	3.25	2.75	2.65	2.0
Návratnost (roky)	3.8	5.7	8.1	7.7	11.9	9.8	15.3	8.4

Návratnost je díky investici do individuální baterie vyšší než v řešení s centrální baterií. Je to způsobeno tím, že jsem pro většinu budov nastavil baterii o kapacitě 90 kWh z důvodu velkých spotřeb. Bohužel bateriové uložení vychází jako nejdražší položka celé investice, a to se odráží i na době návratnosti. Úspory jsou na druhou stranu velice zajímavé u budovy obchodní akademie, která je během celého roku v zisku za elektrickou energii. To je způsobeno tím, že je zde nainstalována velká fotovoltaická elektrárna, budova má relativně malou spotřebu v průběhu roku a v době, kdy je nejvíce slunečních dní nemá téměř žádný odběr a stává se pouze výrobcem.

6.1.4 Budovy s individuální baterií a FVE bez využití komunitního sdílení

Tabulka 8 - Přehled úspor a hrubé návratnosti s modelem s FVE a individuální baterií

Budovy využívající pouze FVE a individuální baterie								
Budova	ČOV	ZS	Rabas	Háje	OA	GYM	MŠ	MÚ
Roční náklady bez FVE (Kč)	6 415 134	7 272 336	756 115	839 030	274 787	437 782	173 792	548 850
Roční náklady s FVE a individ. Bat. (Kč)	4 759 426	4 659 941	64 906	501 318	22 241	172 618	12 809	359 996
Úspora (Kč)	1 655 708	2 612 395	691 209	337 712	252 546	265 164	160 983	188 854
Úspora (%)	25.8094	35.9224	91.4159	40.2503	91.9061	60.5699	92.6297	34.4090
Investice (mil. Kč)	6.5	15.25	5.8	2.85	3.25	2.75	2.65	2.0
Návratnost (roky)	3.9	5.8	8.4	8.5	12.9	10.4	16.5	10.6

Pokud budovy využívaly pouze vlastní FVE a bateriové uložení, tak vyšla úspora u většiny budov menší. Návratnost je rozdílná, v některých případech je delší a v některých

zase kratší. Každý způsob a každé rozčlenění má své výhody a nevýhody. Stejně tak roční náklady na elektrickou energii, které u budov GYM a MŠ vycházejí nižší než v případě s centrální baterií. Naopak ve všech případech jsou náklady vyšší s porovnáním kdy budovy, kromě individuální baterie, využívali komunitní sdílení.

6.1.5 Zhodnocení odběru z nadřazené sítě

Tabulka 9 - Porovnání odběrů z nadřazené sítě u jednotlivých modelů

Odběr všech budov z nadřazené sítě

	Bez komunitního sdílení		Komunitní sdílení	
	Pouze FVE	FVE a individuální baterie	Individuální baterie	Centrální baterie
Odběr (kW)	1 765 370	1 712 783	1 638 767	1 584 809

Odběr z nadřazené sítě vyšel dle teoretických předpokladů, nejvyššího odběru dosáhly budovy, pokud využívaly pouze vlastní FVE. Naopak nejnižšího odběru z nadřazené sítě, celkem o 180 561 kWh, méně se dosáhlo řešením s centrální baterií což odpovídá při ceně 6.5 Kč/kWh celkové ceně 1 173 646,- Kč.

V České republice by řešení komunit, dle mého názoru, přispělo k odlehčení nadřazené sítě a zároveň to vyplývá z výsledků simulace. Toto odlehčení by přispělo ke zvýšení připojovací kapacity nadřazené sítě.

6.1.6 Různé kombinace tarifů za elektrickou energii

V této podkapitole zhodnotím, jaký vliv mají jednotlivé položky faktury na celkové náklady za elektrickou energii.

Jako první jsem zkusil změnit sazbu za elektrickou energii v komunitě, **tedy nákup a prodej elektrické energie jsem nastavil shodně na 1 Kč/kWh**. K porovnání budu využívat model s komunitním sdílením a centrální baterií, tedy 6.50 Kč/kWh nákup z nadřazené sítě, 1.05 Kč/kWh prodej do nadřazené sítě.

Pokud jsem nastavil **nákup a prodej v komunitě na 1 Kč/kWh**, tak jsem došel k různým výsledkům. Některé budovy profitovaly a některé naopak prodělávaly. Například budova zimní stadion měla o 80 559,- Kč nižší náklady za rok než v případě s předešlým tarifem. Budova Rabas měla náklady díky změně tarifu o 66 276,- Kč za rok vyšší než v případě s rozdílným tarifem.

Dále jsem ponechal tarif v komunitě původní, **prodej v komunitě za 2.50 Kč/kWh a nákup 3.50 Kč/kWh** a změnil tarif za centrální baterii. **Nákup z centrální baterie jsem nastavil stejně jako prodej centrální baterií na 1 Kč/kWh**. Změna tarifu baterie se propsala tak, že budova zimní stadion měla o 119 327,- Kč nižší náklady a budova Rabas

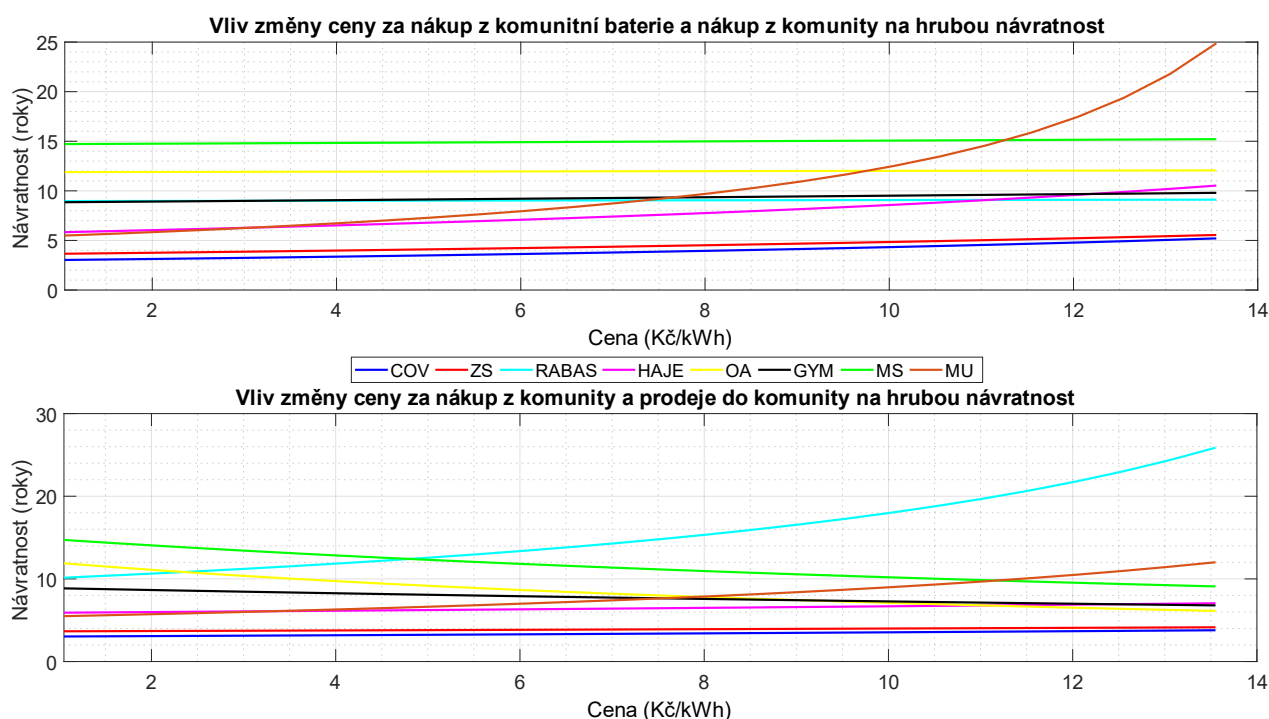
jen o 12 562,- Kč vyšší náklady než v případě s nastavenými tarify, se kterými jsem počítal v simulaci.

Při nastavení všech tarifů, tedy u centrální baterie a u nákupů a prodejů v komunitě na 1,- Kč u všech položek, vyšlo, že budova zimní stadion uspořila 199 885,- Kč a budova Rabas měla náklady vyšší o 80 839,- Kč, opět v porovnání s původními tarify zvolenými v simulaci.

Nastavení různých tarifů způsobuje značnou nerovnováhu v komunitě. Díky tomu, že některé budovy jsou výrobcí elektrické energie a někteří hlavně její spotřebitelé. Zároveň by do nákladů mohla být mezi všechny členy rozpočítána cena za údržbu fotovoltaických elektráren, v případě komunity také poplatky za udržování softwarové podpory. Vlivem rozdílných tarifů je komunita na konci roku v zisku. Tím pádem by případný zisk mohla investovat do údržby, tím by odpadly náklady pro jednotlivé členy.

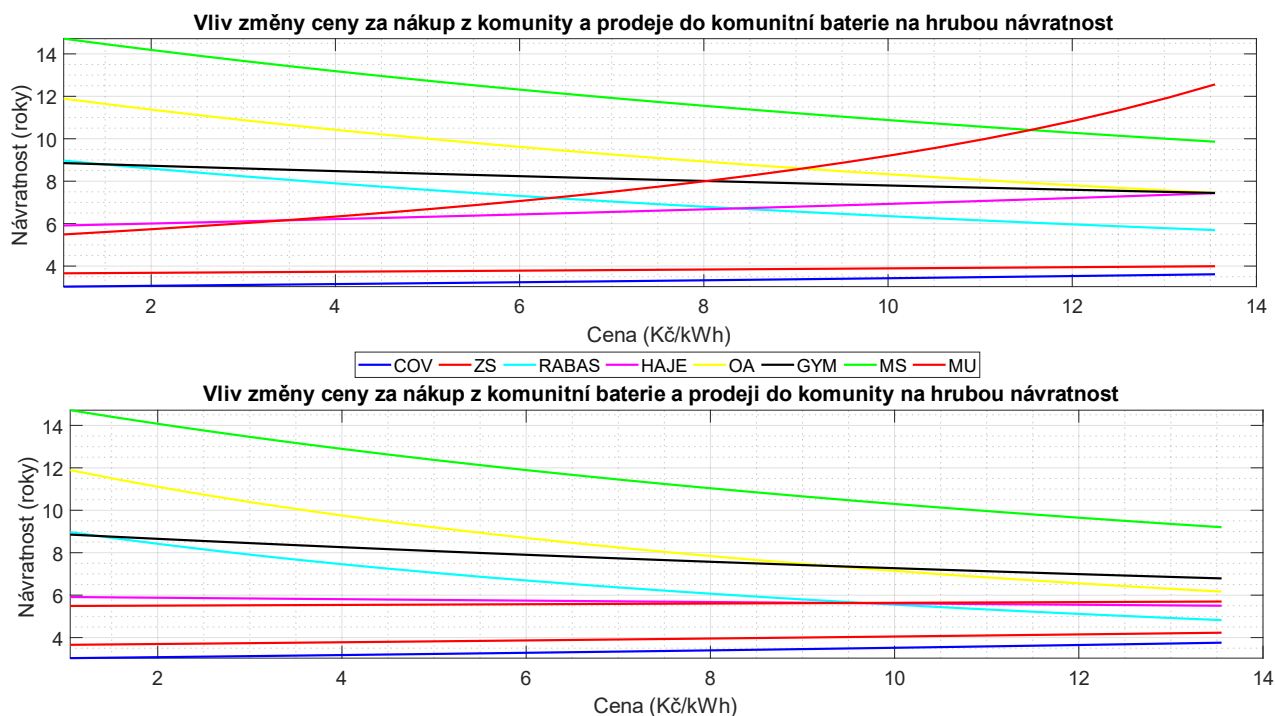
6.2 Vliv změny jednotlivých tarifů na době návratnosti

Na grafech (Obrázek 32 – 34) jsem měnil jednotlivé položky, za které členové komunity platí nebo dostávají zapláceno. Nejdříve jsem zkoušel měnit pouze jeden parametr z celkem čtyř parametrů, kterými jsou cena za nákup z komunity, cena za prodej do komunity, cena za nákup z centrální baterie a cena za prodej do centrální baterie. Když jsem měnil pouze jeden parametr, tak rozdíly v návratnosti nebyly tak výrazné, jako když jsem zkoušel měnit dva parametry, a tím jsem dosáhl výraznějších výsledků.



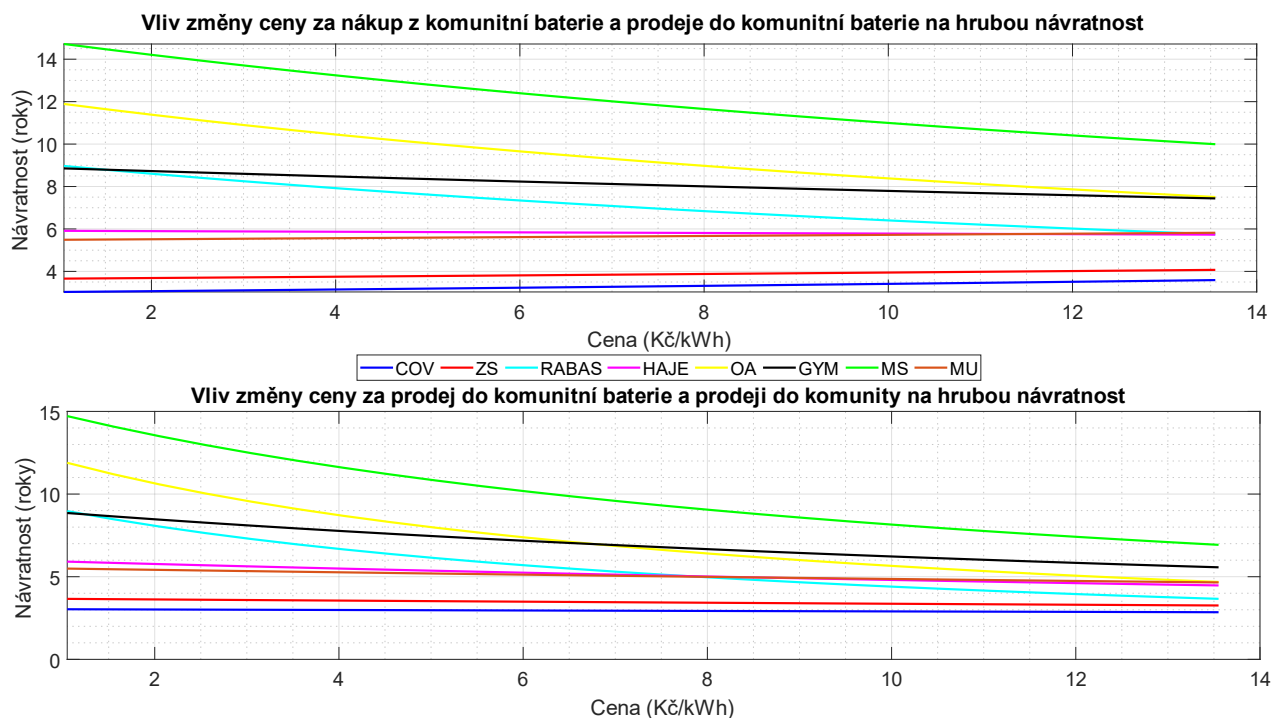
Obrázek 32 - Grafy závislosti jednotlivých složek fakturace na hrubé době návratnosti

Na Obrázku 32 (horní graf) jsem změnil cenu za nákup z centrální baterie a cenu za nákup z komunity. Největší dopad měly tyto změny na budově MU a to zejména kvůli tomu, že tato budova je v průběhu roku hlavně spotřebitel (viz. Obrázek 23). Z komunity a z centrální baterie nakupuje nejvíce elektrické energie, a tak mají tyto položky na celkovou návratnost největší dopad.



Obrázek 33 - Grafy závislosti jednotlivých složek fakturace na době návratnosti

Zajímavých výsledků jsem dosáhl na grafu (Obrázek 33 – horní graf) ve kterém jsem změnil cenu za prodej do centrální baterie a cenu za nákup z komunity. Zde je názorně vidět, jak jsou budovy různorodé. Budova MU je zejména spotřebitel elektrické energie z komunity, a tak je pro ni navyšování ceny za nákup z komunity stěžejní. Zároveň budova MS je spíše přispěvatel do centrální baterie a tím, jak se zvyšovala cena za výkup elektrické energie centrální baterie, klesala budově doba návratnosti. Stejně tak pro další budovy, například RABAS nebo OA.



Obrázek 34 - Grafy závislosti jednotlivých složek fakturace na době návratnosti

Pro grafy (Obrázek 34) jsou výsledky velmi podobné ve smyslu zkracování doby návratnosti. V případě spodního grafu jedná o prodej do komunity a prodeje do centrální baterie a v případě horního grafu se jedná o nákup z centrální baterie a prodeje do centrální baterie. Jelikož je nákup z centrální baterie v průběhu roku nejmenší položkou, nemá tak výrazný vliv na změnu doby návratnosti u většiny budov. U budovy MS, která do centrální baterie přispívá nejvíce, je naopak tento parametr nejdůležitější a díky němu si celkovou dobu návratnosti výrazně zkracuje s narůstající cenou za výkup elektrické energie centrální baterií.

Vlivem změn jednotlivých parametrů vyšlo najevo, že budovy, které jsou výraznými výrobci profitují nejvíce z vysokých cen za výkup elektrické energie. Naopak pro členy, kteří jsou zejména spotřebitelé, jsou nevýhodné vysoké ceny za nákup elektrické energie z komunity. V komunitě bude potřeba nastavit ceny velice individuálně tak, aby to pro všechny členy bylo na jednu stranu výhodné a na druhou stranu pro všechny členy stejně spravedlivé.

6.3 Cenotvorba v České republice

Cena elektrické energie se u nás skládá ze složky regulované ceny elektřiny a neregulované neboli obchodní ceny elektřiny. Regulovaná cena elektrické energie je složená z poplatků za distribuci a další související služby. Regulovanou cenu elektrické energie stanovuje Energetický regulační úřad (ERÚ). Neregulovaná cena je ta cena, kterou

platím dodavateli elektrické energie. Dodavatel elektrickou energii nakupuje na trhu a prodává ji zákazníkům. Regulovanou cenu elektřiny vyhlašuje ERÚ vždy na celý kalendářní rok. Platí se také poplatek za distribuci, což je cena za distribuované množství elektrické energie, které se počítá z nízkého a vysokého tarifu podle skutečné spotřeby. Poté se jedná o platbu za jistič, nebo také za rezervovaný příkon. Platíme podle toho, jak velký jistič máme v domácnosti nainstalovaný u vstupu do budovy. Souvisejícími službami se rozumí například platba společnosti ČEPS, která se stará o přenos elektrické energie a reguluje její výrobu a spotřebu. Dále se platí za činnost operátora trhu (OTE), který má na starosti denní trh s elektrickou energií a provádí fakturaci odchylek. Další položkou je platba za výkup elektrické energie z obnovitelných zdrojů elektrické energie jako jsou fotovoltaické, vodní nebo větrné elektrárny. V neregulované ceně elektrické energie jsou platby za odebranou elektrickou energii udávanou v MWh a dále měsíční paušál neboli pevná měsíční cena, kterou zaplatíme dodavateli i přes fakt, že měsíčně neodebereme žádnou elektrickou energii. (20, 21, 22)

Zhodnocení a závěr

Hlavním cílem mojí práce bylo vytvořit simulaci energetické komunity v podmínkách České republiky. Jelikož u nás, v době psaní diplomové práce, zatím nejsou žádné fungující komunity, je výsledek práce na teoretické rovině, jelikož způsobů, jak na tuto problematiku nahlížet je celá řada. Tato práce si dala za cíl sestavit model na základě poskytnutých dat z obce v České republice, který měl demonstrovat využití energetické komunity využívající LDS v podmínkách České republiky. Vytvořit fakturační systém, který by sledoval energetické toky každé budovy a na základě zvoleného tarifu říkal, kolik daná budova má zaplatit, nebo naopak kolik peněz dostane.

Prvním krokem bylo vytvoření průzkumu, jak aktuálně vypadá situace kolem energetických komunit v České republice a prozkoumat různé způsoby, jak by se dala elektrická energie sdílet. K této rešerši patřil i pohled do jiných států, kde už komunitní sdílení probíhá a zkusit se od nich něčemu přiučit. Cílem prvního kroku bylo představení energetických komunit, jejich typy, způsoby sdílení elektrické energie a také představení aktuální legislativy týkající se právě sdílení elektrické energie, což upravuje novela zákona LEX OZE II.

Předtím, než jsem aplikoval jeden ze způsobů sdílení elektrické energie, jsem se zamyslel nad tím, jaké druhy energetických komunit by mohly vzniknout z hlediska připojení na nadřazenou síť a jaké jsou jejich výhody a nevýhody. Zejména pokud se jednalo o využívání nadřazené sítě ke sdílení elektrické energie nebo vlastní lokální distribuční sítě.

U simulace jsem nejdříve začal s modelováním jedné budovy, kde jsem, na základě dat o spotřebě budovy a výrobě fotovoltaické elektrárny, sestrojil simulaci s individuální baterií. Po sestrojení simulace pro jednu budovu jsem stejný postup aplikoval na zbytek dat. Nejdříve jsem sledoval, jak se bude komunitní sdílení chovat při simulaci dvou budov využívajících komunitní sdílení. Následovala aplikace na všechna data, která mi byla poskytnuta, tedy na 8 budov v rámci jedné obce. Při simulaci celé komunity jsem se zaměřil na dva základní scénáře, na scénář kdy každá budova měla svoji vlastní baterii a na scénář kdy budovy využívaly jednoho centrálního bateriového uložení.

Na základě provedené analýzy a vytvoření matematického modelu pro energetické komunity v podmínkách České republiky jsem potvrdil výhodnost energetických komunit z hlediska hrubé návratnosti, hrubých úspor a hrubého vlivu na nadřazenou síť oproti individuálnímu přístupu k odběru elektrické energie. Model ukázal, že energetické komunity umožňují efektivnější využívání dostupných zdrojů a také přinášejí nižší náklady na

elektrickou energii. Dále se v simulaci ukázalo, že z hlediska zatížení nadřazené sítě se jeví jako nejvýhodnější využití centrálního bateriového uložení. Navíc dle poznatků usuzuji, že chytré řízení centrální baterie, ve smyslu parametrizace jednotlivých členů na základě velikosti jejich instalovaného výkonu či na základě jejich ročního odběru nebo denního diagramu zatížení, může přinést další úspory a větší flexibilitu v řízení energetických toků.

V další části, která se týkala fakturace jsem zjistil, že pro budoucí vývoj energetických komunit bude potřeba zohlednit individuální tarifkaci za elektrickou energii pro každého člena komunity. Jak jsem již zmínil, například u centrální baterie na základě určitých parametrů jako je například instalovaný výkon či denní diagram zatížení. Důvodem je, že role členů v komunitě se mohou významně lišit. Zejména ve smyslu, že v komunitě může být člen, který bude zejména výrobcem elektrické energie, ale také člen, který bude naopak jejím spotřebitelem. Například kvůli úplné absenci obnovitelného zdroje elektrické energie. Tento individuální přístup, dle mého názoru, zajistí spravedlivější rozdělení nákladů za elektrickou energii, zároveň podpoří soudobost spotřeby elektrické energie, akumulaci a celkově účinnější a flexibilnější využití elektrické energie v rámci komunity.

Dalším možným směrem zkoumání by mohla být například dynamická tarifkace členů komunity na základě jejich příspěvků do komunitního sdílení, nebo obchod na spotovém trhu s elektrickou energií. Určitě by bylo také vhodné zkoumat řízení centrálních baterií, jejich využití pro potřeby obyvatel, například pro obchodování na spotovém trhu, vykrývání špiček, nebo jako podpůrná zařízení pro stabilizování chodu nadřazené sítě. To zvyšuje legislativní náročnost pro malé komunity.

Například ve Spojeném království společnost Co-op Energy spustila tarif, který je založen na elektrické energii pouze z obnovitelných zdrojů z energetických komunit. Veškerá elektrická energie pochází z komunitních projektů a veškeré zisky jsou reinvestovány zpět do obnovitelných zdrojů elektrické energie. Jedná se o tarif, který je dražší než jiné tarify, ale přímo přispívá k rozvoji energetických komunit s vidinou, že do roku 2025 bude elektrická energie z obnovitelných zdrojů levnější než energie od velkých výrobců. (23)

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Příklad panelového domu s nainstalovanou fotovoltaickou elektrárnou (8)	5
Obrázek 2 - Schéma OES (12)	7
Obrázek 3 - Schéma SOZE (12)	8
Obrázek 4 - Křivka generované energie vertikálních bifaciálních panelů orientovaných východ-západ (24)	9
Obrázek 5 - Schématické znázornění LDS (černě rozvod komunity, červeně distributor). 14	
Obrázek 6 - Schématické znázornění LDS s centrální baterií (černě rozvod komunity, červeně distributor)	15
Obrázek 7 - Schématické znázornění LDS s připojováním v odběrovém místě (černě rozvod komunity, červeně distributor)	16
Obrázek 8 - Schématické znázornění LDS v průmyslovém závodě (černě interní rozvod, červeně distributor)	17
Obrázek 9 - Schématické znázornění energetické komunity s využitím sítě distributora... 18	
Obrázek 10 - Ilustrace konfigurace uvažované LDS (červeně nadřazená síť, černě síť LDS)	19
Obrázek 11 - Část výpisu dat na obrazovku	22
Obrázek 12 - Grafy pro budovu MU se svou baterií o velikosti 70 kW za jeden týden	24
Obrázek 13 - Grafy pro budovu MU se svou baterií o velikosti 70 kWh	24
Obrázek 14- Grafy, po navýšení bateriového úložiště, aby došlo k co nejmenším přetokům za týden	26
Obrázek 15 – Grafy, po navýšení bateriového úložiště, aby došlo k co nejmenším přetokům	26
Obrázek 16 - Simulace dvou budov bez komunitního sdílení	27
Obrázek 17 - Simulace dvou budov s využitím komunitního sdílení	27
Obrázek 18 - Simulace dvou budov využívající komunitní sdílení s centrální baterií	28
Obrázek 19 - Toky elektrické energie v komunitě mezi budovami a centrální baterií	29
Obrázek 20 - Grafy průběhů dvou budov s individuální baterií a využitím komunitního sdílení	29
Obrázek 21 - Grafy energetických bilancí v komunitě	30
Obrázek 22 - Grafy energetických bilancí v komunitě	31
Obrázek 23 - Grafy toků elektrické energie pro budovy ČOV a Zimní stadion	32
Obrázek 24 - Grafy toku elektrické energie pro budovy RABAS a Háje	33

Obrázek 25 - Energetická komunita s centrální baterií	34
Obrázek 26 - Energetická komunita s centrální baterií	34
Obrázek 27 - Toky energií v komunitě a v centrální baterii.....	35
Obrázek 28 - Grafy toků elektrické energie pro budovy zimní stadion a ČOV	36
Obrázek 29 - Grafy toků elektrické energie pro budovy RABAS a Háje	37
Obrázek 30 - Grafy toků elektrické energie v komunitě pro všechny budovy a stav nabití centrální baterie	38
Obrázek 31 - Konfigurace systému se dvěma domy	43
Obrázek 32 - Grafy závislosti jednotlivých složek fakturace na hrubé době návratnosti ...	52
Obrázek 33 - Grafy závislosti jednotlivých složek fakturace na době návratnosti	53
Obrázek 34 - Grafy závislosti jednotlivých složek fakturace na době návratnosti	54

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Instalované výkony na budovách v LDS	20
Tabulka 2 - Rozdíly mezi množstvím elektrické energie beze ztrát a se ztrátami	39
Tabulka 3 - Přehled cen využitých ve fakturaci	47
Tabulka 4 - Instalovaný výkon a hrubá investice	47
Tabulka 5 - Přehled úspor a hrubé návratnosti s modelem s FVE	48
Tabulka 6 - Přehled úspor a hrubé návratnosti s modelem s komunitním sdílením, centrální baterií a FVE.....	49
Tabulka 7 - Přehled úspor a hrubé návratnosti s modelem s komunitním sdílením, individuální baterií a FVE	50
Tabulka 8 - Přehled úspor a hrubé návratnosti s modelem s FVE a individuální baterií	50
Tabulka 9 - Porovnání odběrů z nadřazené sítě u jednotlivých modelů.....	51

Citovaná literatura

- (1) *Komunitní energetika*. Online. Ministerstvo životního prostředí. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/komunitni_energetika. [cit. 2023-10-04].
- (2) ÚNIE KOMUNITNÍ ENERGETIKY. *Metody sdílení elektřiny. Která se nejvíce vyplatí?* Online. Únie komunitní energetiky. 2023. Dostupné z: <https://www.uken.cz/blog/metody-sdileni-elektriny-ktera-se-nejvice-vyplati>. [cit. 2023-12-06].
- (3) MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Návrh zákona, kterým se mění zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony*. Online. Odok. 2023. Dostupné z: https://odok.cz/portal/veklep/material/KORNCVVVBQQNX/?fbclid=IwAR04-UknSbZ99n6TY6oIpLT9_CdTBaSx5q-57CTy2X-utpvaG9gCo9jaN4Y. [cit. 2023-12-06].
- (4) FIELDS, Spencer. *What is net metering and how does it work?* Online. Energysage. 2023. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/net-metering/>. [cit. 2024-05-12].
- (5) SVAZ MODERNÍ ENERGETIKY. *OUTLOOK komunitní energetiky v Evropě*. Online. 2023. Dostupné z: https://www.modernienergetika.cz/wp-content/uploads/2023/06/Outlook-komunitni-energetiky-v-Evrole_final_online.pdf. [cit. 2023-12-06].
- (6) Unie komunitní energetiky. *Jak na společnou fotovoltaiku u bytových domů*. 2023, roč. 1, č. 1, s. 27-37.
- (7) MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Sdílení elektrické energie v bytových domech*. Online. 2023. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/komunitni_energetika/\\$FILE/OEOK-Brozura_pro_sdileni_elektricke_energie_v_bytovych_domech-20230131.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/komunitni_energetika/$FILE/OEOK-Brozura_pro_sdileni_elektricke_energie_v_bytovych_domech-20230131.pdf). [cit. 2023-12-06].
- (8) *Fotovoltaika pro bytové domy: Jak na realizaci v rámci bytového družstva? Nová legislativa přinesla zásadní změny!*. Online. In: Tvbydlení. 2023. Dostupné z: <https://www.tvbydleni.cz/video/fotovoltaika-pro-bytove-domy-jak-na-realizaci-v-ramci-bytoveho-druzstva-nova-legislativa-prinesla-zasadni-zmeny/>. [cit. 2024-04-02].

- (9) WEROENERGY. *Lokální Distribuční Soustava - definice a vznik*. Online. Weroenergy. 2023. Dostupné z: <https://weroenergy.eu/lokalni-distribucni-soustava/>. [cit. 2023-12-06].
- (10) ČEZ. *Pro lokální distribuční soustavy*. Online. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-lokalni-distribucni-soustavy>. [cit. 2024-05-01].
- (11) ČEZ DISTRIBUCE. *Pro lokální distribuční soustavy*. Online. Cedistribuce. 2023. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-lokalni-distribucni-soustavy>. [cit. 2024-02-16].
- (12) ÚNIE KOMUNITNÍ ENERGETIKY. *Občanské energetické společenství vs. společenství pro OZE – jaký je rozdíl?* Online. Únie komunitní energetiky. 2023. Dostupné z: <https://www.uken.cz/blog/obcanske-energeticke-spolocenstvi-vs-spolocenstvi-pro-obnovitelne-zdroje-energie-kde-je-rozdil>. [cit. 2023-12-06].
- (13) JÍLEK, Ladislav. *Agrivoltaika v podmínkách České republiky*. Online. 2022. Dostupné z: https://www.agromanual.cz/cz/clanky/management-a-legislativa/management/agrivoltaika-v-podminkach-ceske-republiky?fbclid=IwAR2H8dsjbRuDEvbzMk7pN-FUys1bZg3Gf7ggzrkgVH8QpTA7kg_yJsZ1Mak. [cit. 2023-12-06].
- (14) *Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition*. Online. TROMMSDORFF, Max; GRUBER, Simon; KEINATH, Tobias; HOPF, Michaela a SCHÖNBERGER, Frederik. FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS ISE. Fraunhofer. 2022. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>. [cit. 2023-12-06].
- (15) CHUDINZOW, Dimitrij; NAGEL, Sylvio; GÜSEWELL, Joshua a ELTROP, Ludger. *Vertical bifacial photovoltaics – A complementary technology for the European electricity supply?* Online. *Vertical bifacial photovoltaics – A complementary technology for the European electricity supply?* 2020, roč. 2020, č. 114782, s. 2-8. ISSN ISSN 0306-2619. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114782>. [cit. 2023-12-06].
- (16) VOKURKA, Jakub. *Využití aktuálních technologií akumulace elektrické energie provozovatelem distribučních sítí*. Bakalářská práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2021.

- (17) ABRAHAM, Sunil; MISHRA, Yateendra a CHOLETTE, Michael. Optimal Utilization of Community Battery Energy Storage with differential Battery Tariffs. Online. In: *2022 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*. IEEE, 2022, s. 01-05. ISBN 978-1-6654-0823-3. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/PESGM48719.2022.9916955>. [cit. 2024-03-16].
- (18) HOSSAIN, Md Alamgir; CHAKRABORTTY, Ripon K.; RYAN, Michael J. a POTA, Hemanshu Roy. Energy management of community energy storage in grid-connected microgrid under uncertain real-time prices, *Sustainable Cities and Society*. Online. 2021, roč. 2021, č. 102658, s. 1-3. ISSN 2210-6707. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102658>. [cit. 2024-04-01].
- (19) JEDDI, Babak; MISHRA, Yateendra a LEDWICH, Gerard. Network impact of multiple HEMUs with PVs and BESS in a low voltage distribution feeder. Online. In: *2017 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*. IEEE, 2017, s. 1-6. ISBN 978-1-5386-2647-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/AUPEC.2017.8282495>. [cit. 2024-04-01].
- (20) BŘEZINOVÁ, Jana. *Cena elektřiny: Z čeho se skládá?* Online. 2023. Dostupné z: <https://www.srovnejto.cz/blog/cena-elektřiny-z-čeho-se-sklada/>. [cit. 2024-05-01].
- (21) *Jak se na trhu stanovuje cena elektřiny?* Online. ZAMOUBIL, Jakub; KRČÁL, Jan a ZÁKOPČANOVÁ, Kristýna. Fakta o klimatu. 2023. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/cena-elektřiny-na-trhu>. [cit. 2024-05-01].
- (22) PRAŽSKÁ PLYNÁRENSKÁ. *Jak vzniká cena elektřiny?* Online. Dostupné z: <https://www.ppas.cz/jak-vznika-cena-elektřiny>. [cit. 2024-05-01].
- (23) OCTOPUS ENERGY. *Local power to the people: future of energy tariff launched to support decentralised power and local community initiatives across the UK*. Online. Dostupné z: <https://octopus.energy/press/co-op-energy-community-power-announcement/>. [cit. 2024-05-03].
- (24) GUO, Siyu; WALSH, Timothy Michael a PETERS, Marius. Vertically mounted bifacial photovoltaic modules: A global analysis. Online. *Vertically mounted bifacial photovoltaic modules: A global analysis*. 2013, roč. 2013, č. Volume 61, s. 447-454. ISSN 0360-5442. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.08.040>. [cit. 2023-12-06].