



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

BILANCE ELEKTŘINY V TYPOLOGICKY LOKÁLNÍ SOUSTAVĚ ENERGETICKÉHO SPOLEČENSTVÍ S VÝROBNOU ELEKTŘINY

ELECTRICITY BALANCE IN A TYPOLOGICALLY LOCAL SYSTEM OF AN ENERGY COMMUNITY WITH ELECTRICITY PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Kaňa

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Jiří Kaňa

ID: 220763

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Bilance elektřiny v typologicky lokální soustavě energetického společenství s výrobnou elektřinou

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Technicko-organizační struktury lokálních energetických komunit
2. Infrastruktura energetických systémů komunit
3. Modelování vybraného typu energetické komunity, modely výroby a spotřeb
4. Simulace toků elektřiny
5. Vyhodnocení rozložení energií v lokální elektrické soustavě

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 31.5.2022

Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Evropský trend zvyšování podílu obnovitelných zdrojů a decentralizace energetiky vede k nadšené diskusi nad lokálními energetickými společenstvími. Může se zdát, že masovou podporou tohoto uspořádání se vyřeší mnoho problémů současné energetiky, ale zároveň je třeba pamatovat na problematické aspekty samotných energetických společenství. Zejména je potřeba vyřešit ekonomicko-právní vztahy členů společenství a zajistit technickou smysluplnost takovéto transformace.

Tato práce shrnuje dosavadní poznatky o myšlence energetických společenství, předkládá souhrn nejdůležitějších informací z technického, ekonomického i právního hlediska v kontextu evropského i českého prostředí a upozorňuje na nejpálčivější problémy. Dále je představena tvorba modelu spotřeby elektřiny, fotovoltaické výroby a metriky měření elektrické energie s respektováním skutečných vlastností modelovaných systémů. V závěrečné fázi je provedena simulace energetických toků na modelu energetického společenství s konkrétní topologií se zhodnocením výsledků.

Klíčová slova

Energetické společenství, energetické komunity, vlastní spotřeba, modelování spotřeby elektrické energie, modelování fotovoltaické výroby, simulace energetických toků

Abstract

The European trend of increasing the share of renewables and decentralizing energetics is leading to an enthusiastic debate over local energy communities. Mass support for this arrangement may seem to solve many of today's energetics problems, but at the same time we need to keep in mind the problematic aspects of the energy communities themselves. In particular, there is a need to resolve the economic and legal relations of the members of the community and to ensure the technical feasibility of such a transformation.

This work summarizes the existing knowledge about the idea of energy communities, presents a summary of the most important information from a technical, economic and legal point of view in the context of the European and Czech environment and draws attention to the most pressing issues. Furthermore, the creation of a model of electricity consumption, photovoltaic production and metrics for measuring electricity with respect to the actual properties of the modeled systems is presented. In the final phase, a simulation of energy flows is performed on a model of an energy community with a specific topology with evaluation of the results.

Keywords

Energy community, CEC, self-consumption, electricity consumption modeling, photovoltaic production modeling, energy flow simulation

Bibliografická citace

KAŇA, Jiří. *Bilance elektřiny v typologicky lokální soustavě energetického společenství s výrobou elektřiny*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142388>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce prof. Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Jiří Kaňa*

VUT ID studenta: *220763*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2021/22*

Téma závěrečné práce: *Bilance elektřiny v typologicky lokální soustavě energetického společenství s výrobnou elektřiny*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 19.5.2022

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Jiřímu Drápelovi, Ph.D. za vedení, faktické poznámky, cenné rady a pobídky při zpracování mé bakalářské práce.

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
1. ÚVOD.....	11
2. TECHNICKO-ORGANIZAČNÍ STRUKTURY LOKÁLNÍCH ENERGETICKÝCH KOMUNIT	12
2.1 ENERGETICKÉ SPOLEČENSTVÍ.....	12
2.1.1 <i>Idea</i>	12
2.1.2 <i>Rozdělení</i>	13
2.1.3 <i>Právní rámec EU</i>	14
2.1.4 <i>Právní rámec ČR</i>	15
2.1.5 <i>Výzvy k řešení</i>	16
2.2 EXISTUJÍCÍ PROJEKTY	18
2.3 SCHEMATICKÉ ZAPOJENÍ ES.....	19
3. MODEL Y SPOTŘEBY, VÝROBY A METRIKY ELEKTROMĚRU	21
3.1 MODEL SPOTŘEBY	21
3.1.1 <i>Model č. 1, kategorie spotřebičů</i>	22
3.1.2 <i>Model č. 2, denní odběr</i>	29
3.1.3 <i>Experimentální ověření</i>	33
3.1.4 <i>Validace Modelu 1</i>	36
3.2 MODEL VÝROBY.....	38
3.3 MODEL METRIKY MĚŘENÍ ELEKTŘINY	46
4. SIMULACE ENERGETICKÝCH TOKŮ	49
4.1 BYTOVÉ ES	49
4.1.1 <i>Tvorba topologie ES</i>	49
4.1.2 <i>Simulace toků činné energie ES</i>	50
4.2 SIMULACE RŮZNORODÉHO ES.....	54
4.2.1 <i>Parametry a topologie různorodého ES</i>	54
4.2.2 <i>Simulace toků činné energie</i>	56
5. ZÁVĚR.....	66
LITERATURA.....	68
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	72
SEZNAM PŘÍLOH.....	73

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Schématické zapojení ES se samostatnou výrobnou</i>	19
<i>Obrázek 2: Schématické zapojení ES s distribuovanou výrobnou</i>	20
<i>Obrázek 3: Typový denní průběh spotřeby domácnosti</i>	25
<i>Obrázek 4: Model 1, Denní diagram spotřeby domácnosti</i>	26
<i>Obrázek 5: Model 1, Denní diagram spotřeby 500 domácností</i>	26
<i>Obrázek 6: Model 1, Skutečný a předpokládaný hodinový průměr příkonu 500 domácností.....</i>	27
<i>Obrázek 7: Model 1, Histogram z 365 průběhů.....</i>	28
<i>Obrázek 8: Model 2, Denní diagram spotřeby 1 domácnosti</i>	31
<i>Obrázek 9: Model 2, Denní diagram spotřeby 500 domácností</i>	31
<i>Obrázek 10: Model 2, Skutečné a předpokládané hodinové průměry příkonu 500 domácností</i>	32
<i>Obrázek 11: Model 2, Histogram z 365 průběhů.....</i>	32
<i>Obrázek 12: Zapojení měření experimentálního ověření.....</i>	34
<i>Obrázek 13: Příklad změřených hodnot činného výkonu, RD</i>	34
<i>Obrázek 14: Srovnání histogramů Modelu 1 a změřených dat</i>	35
<i>Obrázek 15: Srovnání histogramů Modelu 2 a změřených dat</i>	35
<i>Obrázek 16: Změna parametrů Modelu 1, srovnání se změřenými daty.....</i>	36
<i>Obrázek 17: Příklad simulace průběhu výkonu, upravený Model 1</i>	38
<i>Obrázek 18: Základní průběh výroby FVE</i>	39
<i>Obrázek 19: Průběh výroby s oblačností a celkového vztažného výkonu</i>	41
<i>Obrázek 20: Vliv sklonu na účinnost výroby.....</i>	42
<i>Obrázek 21: Průběh účinnosti v závislosti na sklonu a azimutu</i>	44
<i>Obrázek 22: Příklad průběhu výkonu výroby, $P_i = 10 \text{ kWp}$</i>	45
<i>Obrázek 23: Přehled informací získaných metrikou činné energie</i>	47
<i>Obrázek 24: Topologie ES bytového domu.....</i>	50
<i>Obrázek 25: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 1$, Byt č.17, interval 15 min</i>	51
<i>Obrázek 26: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 3$, rozhraní RDS, interval 15 min</i>	51
<i>Obrázek 27: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 1$, rozhraní RDS, interval 15 min</i>	52
<i>Obrázek 28: Topologie různorodého ES.....</i>	56
<i>Obrázek 29: Simulace měření metrikou $\Sigma 3$ v bodě RD3, agregační interval 15 min</i>	56
<i>Obrázek 30: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 3$, místo RD4, interval 15 min</i>	57
<i>Obrázek 31: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 1$, místo RD4, interval 15 min</i>	57
<i>Obrázek 32: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 3$, místo RD5, interval 15 min</i>	58
<i>Obrázek 33: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 1$, místo RD5, interval 15 min</i>	58
<i>Obrázek 34: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 3$, rozhraní RDS, interval 15 min</i>	59

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Souhrn parametrů Modelu 1</i>	29
<i>Tabulka 2: Souhrn parametrů Modelu 2</i>	33
<i>Tabulka 3: Souhrn upravených parametrů Modelu 1</i>	37
<i>Tabulka 4: Souhrn parametrů modelu FV výroby</i>	46
<i>Tabulka 5: Bilance energetických toků v bytovém ES podle původu</i>	52
<i>Tabulka 6: Procentní zastoupení zdrojů na spotřebě bytového ES</i>	53
<i>Tabulka 7: Parametry odběrných míst různorodého energetického společenství</i>	55
<i>Tabulka 8: Tabulka skutečných toků různorodého ES, jednodenní simulace</i>	60
<i>Tabulka 9: Vliv délky agregačního intervalu metriky $\Sigma 3$ na rozdělení energie</i>	61
<i>Tabulka 10: Procentní rozdělení původu energie pro různé délky agregačního intervalu, metrika $\Sigma 3$</i>	62
<i>Tabulka 11: Vliv délky agregačního intervalu metriky $\Sigma 1$ na rozdělení energie</i>	63
<i>Tabulka 12: Procentní rozdělení původu energie pro různé délky agregačního intervalu, metrika $\Sigma 1$</i>	63
<i>Tabulka 13: Simulace 100 průběhů, meze procentního podílu spotřeby a výroby v rámci ES, RD4</i>	64
<i>Tabulka 14: Simulace 100 průběhů, meze procentního podílu vlastní spotřeby a výroby ES</i>	65

1. ÚVOD

Práce se zabývá konceptem energetického společenství na úrovni energetických toků. V teoretické části práce shrnuje současné pohledy na problematiku energetických společenství. Současně také představuje některé technicky a ekonomicky problematické aspekty tohoto zřízení, včetně nastínění užívaných řešení. Věnuje se také právní problematice této myšlenky na úrovni EU, která zastřešuje většinu sledovaných projektů a případových studií. Podobný souhrn právních aspektů energetického společenství představuje práce pro prostředí České republiky.

V praktické části se práce zabývá tvorbou modelu spotřeby domácnosti se stanovenou průměrnou roční spotřebou s ohledem na typ domácnosti (byt/rodinný dům). Jsou představeny dva postupy tvorby modelu, verifikace modelů pomocí dat změřených odběrů a následný výběr a úprava vhodnějšího z nich. Dále je v práci představen model fotovoltaické výroby, který zohledňuje natočení, sklon a výkon výroby, předpokládá oblačnost o náhodném charakteru a nabízí přepočet dostupné plochy na výkon podle dostupných rozměrů panelů. Důležitým prvkem je model metriky měření elektrické energie, který předpokládá různé typy běžně používaných měřicích soustav a umožňuje porovnání vlivu použitého typu na výsledky měření.

V závěru práce představuje návrh konkrétní topologie dvou typů energetického společenství v podobě bytového domu a společenství rodinných domů, na nichž byla provedena simulace energetických toků s měřením na místech, která jsou klíčová pro ekonomické vyrovnání jednotlivých subjektů. Na výsledcích simulace je demonstrován možný způsob zpracování získaných dat, možnost vlivu zkresleného měření na závěrečné vyhodnocení a je nastíněn i způsob ekonomického vyrovnání založeného na informacích získaných z měření.

2. TECHNICKO-ORGANIZAČNÍ STRUKTURY LOKÁLNÍCH ENERGETICKÝCH KOMUNIT

2.1 Energetické společenství

2.1.1 Idea

Energetická společenství (ES) jsou vcelku novým konceptem, který se odvíjí od nově využívaných zdrojů energie. Přestože pro fosilní a velké jaderné zdroje byla výhodná centralizace, malé obnovitelné zdroje nabízí možnost decentralizované výroby a tím menších nákladů na přenos, lepší přístup k prostoru a větší participace obyvatel na procesu výroby. Přitom je pravidlem, že účast jednotlivých zapojených subjektů v energetickém společenství není jejich hlavní činností a samotné společenství není určeno primárně pro generování zisku.

Myšlenka energetických společenství vychází ze snah EU o decentralizaci výroby elektrické energie, zvýšení podílu obnovitelných zdrojů v elektrizační soustavě a umožnění participace obyvatel na procesu výstavby a řízení zdrojů energie. ES je právní, ekonomické a energetické uskupení, které je vytvořeno za účelem úspory za elektrickou energii a teplo, pro získání větší nezávislosti zapojených subjektů, nebo pro zvýšení efektivity výroby energie.

ES se výrazně liší podle topologického rozložení, počtu participantů, míry zapojení subjektů, typu výroben elektrické energie a právních a ekonomických systémů, které využívají. Evropská komise rozlišuje v podstatě tři formy: aktivní zákazník, občanské energetické společenství a společenství pro obnovitelné zdroje [1][2][3]. Kromě toho lze ES rozdělit podle topologie na lokální a distribuované. Distribuovaná ES jsou většinou pouze ekonomicko-právní uskupení, která z hlediska technického nemají žádný význam.

Lokální společenství využívá toho, že je výroba v místě spotřeby, může tedy teoreticky nabídnout nižší cenu, jelikož se neprojeví v takové míře ztráty vedením, není potřeba budovat tak rozsáhlou distribuční síť a také je možné využít prostory, které by se jinak nevyužily, resp. do nákladů na výrobu se většinou nepočítá pronájem plochy.

V případech, kdy je ES provozováno v ostrovním režimu s dostatečným systémem akumulace, nebo s říditelným zdrojem energie (kogenerační jednotka), může nabídnout naprostou nezávislost na nadřazené energetické síti. To může být výhodné v obtížně dostupných oblastech, nebo v oblastech s častými poruchami sítě.

Další výhodou je podle EU přínos v oblasti veřejného mínění, kdy lokální výstavba zdrojů, ze kterých mají místní spotřebitelé užitek, vede k ochotnější spoluúčasti a dalším investicím v dané oblasti [2].

V neposlední řadě je vyzdvihován sociální přínos, jelikož rozsáhlejší uskupení vyžadují kvalifikovanou práci jak při tvorbě struktury, tak při její údržbě, což vede k vytvoření nových pracovních míst.

2.1.2 Rozdělení

Přestože jsou podmínky v každé zemi odlišné a existuje poměrně velké množství projektů a případových studií, lze princip, na jakém ES fungují, rozdělit do několika stupňů.

Rada evropských energetických regulátorů rozlišuje tři úrovně integrace myšlenky ES [4]: komunitně vlastněná energetická aktiva, virtuální sdílení energie přes síť a lokální sdílení výroby skrze komunitní síť. Podle rozlišení evropského Společného výzkumného centra [5] a fungování již existujících projektů lze popsat mnohem jemnější škálu integrace:

Nejmenší zapojení můžeme sledovat u investičních projektů spoluvlastnění výrobní energie, které jsou určeny výhradně ke tvorbě zisku a jeho distribuci mezi spolumajitele. Tyto projekty většinou sestávají z velkého množství investorů a nemívají lokální charakter. Většinou však tato uskupení pracují s obnovitelnými zdroji, protože to zahrnuje příznivé veřejné mínění a v řadě případů i dotace na výstavbu.

Trochu jiný přístup mají společnosti, které zisk investují v první řadě do regionálního rozvoje, např. výstavby udržitelných veřejných budov, nebo nabíječek pro elektrické dopravní prostředky. Z toho důvodu pod sebou většinou sdružují investory, kterým nejde primárně o vlastní zisk, ale o rozvoj regionu. Proto mají více lokální charakter.

Další projekty nabízí svým participantům jiné výhody, většinou dodávku energie za nižší cenu. Zde již figuruje společenství jako dodavatel energie.

Speciálním případem jsou různé ostrovní systémy, které využívají buď akumulaci energie s dostatečnou kapacitou, nebo vysoce regulovatelné zdroje (kogenerační jednotky). Vysoce účinné kogenerační jednotky s efektivním využitím tepla v plně nebo částečně ostrovních systémech jsou zpravidla jedinou výjimkou z jinak výhradně obnovitelného portfolia zdrojů pro ES. Záleží však na legislativě konkrétního státu.

Úplně, nebo částečně samostatné systémy on-grid, tedy propojené s nadřazenou sítí jsou oproti off-grid systémům výhodné z hlediska možného výpadku zdroje, řízení spotřeby a výroby. Je-li v tomto typu energetického společenství říditelná výroba energie, nebo nějaká forma akumulace, může přispět pozitivně k řízení sítě a teoreticky může zajistit i finanční zisk, resp. úsporu pro společenství.

Rozdíly mezi fungováním občanského energetického společenství a společenství pro obnovitelné zdroje jsou podle evropské směrnice [1] a [2] následující:

Členství ve společenství pro obnovitelné zdroje je oproti občanskému energetickému společenství omezeno na členy, „...kteří se nacházejí v blízkosti projektů energie z obnovitelných zdrojů vlastněných a vybudovaných tímto právním subjektem.“ [2]

Občanské energetické společenství navíc „...může být zapojeno do výroby elektřiny, včetně výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, její distribuce a dodávek, spotřeby, agregace, ukládání energie, služeb energetické účinnosti nebo služeb nabíjení elektrických vozidel nebo může svým členům či podílníkům poskytovat další energetické služby.“ [1]

2.1.3 Právní rámec EU

Směrnice EU 2019/944 [1] popisuje občanská energetická společenství (citizen energy community) a koncept aktivního zákazníka (active customer). Tato směrnice definuje občanské energetické sdružení jako:

„právní subjekt,

a) jenž je založen na dobrovolné a otevřené účasti a je účinně kontrolován členy nebo podílňiky, kteří jsou fyzickými osobami, místními orgány, včetně obcí, nebo malými podniky,

b) jehož hlavním účelem není vytvářet zisk, ale poskytování environmentálních, hospodářských nebo sociálních společenských přínosů svým členům nebo podílňikům nebo místním oblastem, kde provozuje svou činnost a

c) jenž může být zapojen do výroby elektřiny, včetně výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, její distribuce a dodávek, spotřeby, agregace, ukládání energie, služeb energetické účinnosti nebo služeb nabíjení elektrických vozidel nebo může svým členům či podílňikům poskytovat další energetické služby“

Podobně je podle této směrnice aktivním zákazníkem

„konečný zákazník nebo skupina společně jednajících konečných zákazníků, kteří spotřebovávají nebo ukládají elektřinu vyrobenou ve svých vlastních prostorách umístěných ve vymezených hranicích, anebo pokud to členský stát povolí, v jiných prostorách, nebo kteří prodávají elektřinu vyrobenou z vlastních zdrojů, či se účastní programů flexibility nebo energetické účinnosti, za předpokladu, že uvedené činnosti nepředstavují jejich hlavní obchodní nebo profesionální činnost“

Oba zmíněné koncepty jsou podobné, i když je patrné, že u občanského společenství se předpokládá větší portfolio činností, větší rozsah a právní forma zaměřená na zisk. Také předpokládá účast větších subjektů, právnických osob, obcí...

V článcích 15 a 16 této směrnice se popisují práva a povinnosti aktivních zákazníků a občanských energetických sdružení.

Pro obě varianty je zdůrazňována nutnost přiměřených, spravedlivých a transparentních postupů a poplatků. Také je kladen velký důraz na ochranu ostatních práv zúčastněných subjektů a rovný přístup ke všem účastníkům trhu. Dále mají mít aktivní zákazníci i občanská energetická společenství možnost se sdružovat do agregací. Důležitým bodem je ustanovení, které činí oba subjekty finančně odpovědnými za odchylky, které v rámci elektrizační soustavy způsobí. Stejně je také nařízeno, aby byly těmto subjektům účtovány poplatky za spotřebovanou a dodanou elektřinu zvlášť. Členům energetického společenství má být navíc umožněno vystupovat nadále i jako aktivní zákazníci.

Aktivní zákazníci mají mít podle tohoto dokumentu právo prodávat vyrobenou elektřinu i prostřednictvím smlouvy o nákupu elektřiny.

Občanské energetické společenství je zde výslovně uvedeno jako uskupení s otevřenou a dobrovolnou účastí s možností všech účastníků z tohoto sdružení vystoupit.

Směrnice k vystoupení z energetického společenství, se kterým se pojí změna dodavatele elektrické energie, uvádí, že musí proběhnout v co nejkratší možné lhůtě a bez nadměrných poplatků. Každý členský stát se může rozhodnout, zda umožní občanským energetickým společenstvím otevřenost přeshraniční účasti, nebo vlastnění, zřizování a správu distribučních sítí. V takovém případě se na ně vztahují poplatky spojené s připojením sítě společenství s nadřazenou distribuční sítí. Navíc je velmi důležité, aby nedocházelo k diskriminaci zákazníků, kteří jsou připojeni k distribuční soustavě a, například, nejsou členy společenství.

Jiná evropská směrnice, 2018/2001 [2], definuje pojem „společenství pro obnovitelné zdroje“ jako

„právní subjekt:

a) který je v souladu s platným vnitrostátním právem založen na otevřené a dobrovolné účasti, je samostatný a je účinně kontrolován podílníky nebo členy, kteří se nacházejí v blízkosti projektů energie z obnovitelných zdrojů vlastněných a vybudovaných tímto právním subjektem;

b) jehož podílníky nebo členy jsou fyzické osoby, malé a střední podniky nebo místní orgány, včetně obcí;

c) jehož hlavním účelem není vytváření zisku, ale poskytování environmentálních, hospodářských nebo sociálních společenských přínosů svým podílníkům nebo členům anebo místním oblastem, kde provozuje svou činnost.“

Tento formát má podobná práva a povinnosti jako občanské energetické společenství, ale je zaměřen výslovně na energii z obnovitelných zdrojů. Navíc je zmiňována podpora veřejných orgánů směrem k těmto společenstvím, stejně jako je mnohem více akcentována potřeba nediskriminačního přístupu ke společenstvím pro obnovitelné zdroje vzhledem k ostatním účastníkům trhu. Na rozdíl od aktivních zákazníků, nebo občanských energetických společenství se směrnice nezmiňuje o finanční odpovědnosti za způsobené odchylky v elektrizační soustavě. Na druhou stranu je tu zmínka o usnadnění přístupu k informacím.

2.1.4 Právní rámec ČR

V České republice je stěžejním legislativním dokumentem zabývajícím se energetickým odvětvím tzv. energetický zákon, tedy zákon č. 458/2000 Sb. [6]. Právním konceptem, který odpovídá shora popsané struktuře energetického společenství je v ČR lokální distribuční síť (LDS).

Aby mohlo ES poskytovat všechny služby, o kterých byla řeč, zejména výrobu elektřiny z OZE, prodávání elektřiny svým členům za nízké ceny, poskytování ostatních služeb (nabíjecí stanice pro elektromobily, veřejné osvětlení, ...), je potřeba, aby vystupovalo jako výrobce elektřiny, provozovatel LDS a obchodník s elektřinou.

Energetický zákon udává povinnost mít pro výrobu a distribuci elektřiny licenci, stejně jako na obchod s elektřinou. Licence uděluje energetický regulační úřad (ERÚ) na základě zaslané žádosti a po splnění podmínek.

Tím se na ES vztahují všechny povinnosti vyplývající ze zákona, jako například povinnost:

- dodržovat stanovenou kvalitu dodávek a služeb
- zajišťovat spolehlivé provozování, rozvoj a obnovu LDS
- oznámit omezení nebo přerušení dodávky elektřiny zákazníkům způsobem umožňujícím dálkový přístup
- uveřejnit na svých internetových stránkách podmínky a ceny dodávek elektřiny
- poskytovat informaci ministerstvu, ERÚ, operátorovi trhu, provozovateli přenosové soustavy a provozovateli RDS
- uchovávat informaci
- zajišťovat ochranu osobních údajů zákazníků
- řídit se pravidly provozování distribuční soustavy, do které je LDS připojena
- každému, kdo požádá o připojení do LDS, stanovit podmínky a termín připojení v souladu s pravidly provozování distribuční soustavy
- každoročně zpracovat roční přípravu provozu LDS a předpokládaný rozvoj LDS minimálně na 5 let
- vypracovat havarijní plány
- zajišťovat propagaci energetických služeb a jejich nabídky zákazníkům za konkurenceschopné ceny energetických služeb
- zajistit fakturační měření dodávané elektřiny

Kromě zmíněného energetického zákona jsou důležitými dokumenty Pravidla provozování distribučních soustav společnosti ČEZ Distribuce, a.s. [7], společnosti EG.D, a.s. [8] a PREDistribuce, a.s. [9], které jsou v ČR distribučními soustavami přímo připojenými do přenosové soustavy.

Fakturačnímu měření se věnuje vyhláška ministerstva průmyslu a obchodu č. 359/2020 Sb. Vyhláška o měření elektřiny [10].

2.1.5 Výzvy k řešení

Při nedostatku energie z vlastních zdrojů bude lokální energetické společenství potřebovat dodávku energie z regionální distribuční soustavy (RDS). To však bude nejspíše v době, kdy je energie nedostatek, a je tedy dražší (ať už hovoříme o našem nynějším dvoutarifovém účtování, nebo plánovaných dynamických tarifech). Navíc, přestože energetické společenství neodebírá takové množství energie, jako běžný odběratel, musí mít zajištěný veškerý potřebný výkon z RDS ve chvílích, kdy není schopno vyrábět. To znamená stejně vysoké poplatky za připojení od provozovatele RDS. Provozovatel nadřazené soustavy bude mít také zvýšené nároky na regulaci vzhledem k

obtížnější předpovědi spotřeby energetického společenství oproti běžným odběratelům. Proto si bude pravděpodobně účtovat vyšší sazbu za kWh.

Energetické společenství, které vlastní LDS by ji mělo spravovat hospodárně a udržitelně. Lze předpokládat, že finanční prostředky na údržbu budou u malého systému vznikat spíše nárazově, takže je vhodné zřídit nějakou paušální platbu za údržbu, protože nárazové náklady jsou pro spotřebitele nepříjemné a ve světle toho, že má právo kdykoli změnit dodavatele [1], je řešení tohoto problému pro energetické společenství životně důležité.

Spotřebitel bude pravděpodobně po energetickém společenství požadovat minimálně stejný standard měření a informovanosti, ochrany dat a zajištění provozu jako u běžného poskytovatele služeb. To může být (finančně) náročnější právě pro menší subjekty, jakými ES mohou být.

Při uvažování všech nákladů se účast spotřebitele v energetickém společenství musí stále finančně vyplatit, aby byl projekt životaschopný.

Jak bylo řečeno dříve, podle evropské směrnice má každý spotřebitel právo na změnu dodavatele energie. Změna dodavatele musí proběhnout do tří týdnů od podání žádosti a v budoucnu by neměl technický proces trvat déle než 24 hodin. V případě, že se takto rozhodne člen energetického společenství, které je vlastníkem infrastruktury pro výrobu a distribuci energie a zároveň dodavatelem této energie, nastane situace, kterou je třeba ošetřit smluvně. V takovém případě je dodavatel energie oprávněn vymáhat poplatky vyvažující jeho ztrátu podle smlouvy. Smlouva by měla řešit zejména majetkoprávní vztahy spotřebitele vzhledem k infrastruktuře společenství, případným finančním úsporám a ziskům, jako i poplatkům. Jedná se o vcelku jednoduše řešitelné situace, je ale třeba na ně pamatovat a smlouva v takovém případě bude pravděpodobně po členech společenství vyžadovat přísnější plnění závazků.

V souvislosti s energetickými společenstvími se mluví také o flexibilitě, tedy o řízení spotřeby (příp. výroby). To může být za účelem zvýšení spotřeby z vlastních zdrojů, a tedy snížení dodávek elektřiny z nadřazené sítě, nebo může být cílem poskytování služby řízení spotřeby nadřazené síti. Flexibilita má potenciál pomoci jak místnímu společenství, tak i nadřazené síti, jelikož snižuje závislost společenství na dodávkách z nadřazené sítě, čímž snižuje provozní náklady, a zároveň snižuje ztráty na vedení výkonu na velké vzdálenosti celého systému. Teoreticky také snižuje požadavky na připojení, pokud je lokální společenství schopné zajistit menší tok výkonu skrze propojení s RDS i v případě přebytku výroby z OZE, nebo v čase nejvyšší spotřeby.

Podle evropské směrnice má na účast v programech flexibility právo každý spotřebitel stejně jako energetické společenství [1][2]. Poskytování flexibility může způsobit problémy hlavně zranitelným spotřebitelům. Například domácnostem, které se budou muset přizpůsobit momentální potřebě energetického společenství, nebo nadřazené síti.

Vzhledem k síti má spotřebitel právo na spolehlivou, kvalitní a bezpečnou dodávku elektrické energie bez ohledu na to, kdo mu ji dodává. To znamená, že energetická společenství ve formě lokálních sítí mají stejné povinnosti jako nadřazená distribuční soustava. Mezi tyto povinnosti patří zejména nediskriminační jednání vůči ostatním členům trhu, například spotřebitelům, kteří jsou sice připojeni do LDS energetického společenství, ale nejsou jeho členy.

Velkým tématem energetických společenství je bezpečnost. Nejedná se jen o elektrickou bezpečnost, ta je samozřejmostí, ale hlavně o bezpečnost dodávek elektrické energie, a to i v případě poruchy na vedení, nebo některém síťovém prvku, a v neposlední řadě také zajištění kybernetické bezpečnosti, která v poslední době získává na významu.

2.2 Existující projekty

Po celé Evropě existují desítky projektů a případových studií, které se zaměřují na komunitní a obnovitelnou energetiku [15][16][17]. Jak už bylo řečeno, jejich rozpětí je velmi široké.

Některé iniciativy jsou mezinárodní (např. ECCO, Compile) další se zaměřují na konkrétní státy. Hlavní státy, které tyto projekty podporují jsou Německo (FA Wind, BBEn, Bürgerwerke, ...), Belgie (Leiedal, ZuidtrAnt, Klimaan, ...), Spojené království (ECSC, Brixon Energy, Carbon Coop, ...), Nizozemsko (Energie Samen, Sparrenburg, Buurtwarmte, ...), Francie (Les économes, Jurassic, Enercoop, ...), Řecko (Hyperion, Sifnos, Energy cooperative of Karditsa, ...), ale pozadu nezůstává ani Chorvatsko (ZEZ, Parentium, ...), Dánsko (Hvinde Sande, ...), Španělsko (Som Energia), Polsko, Itálie, Litva, nebo Portugalsko.

Co se týče zdrojů energie, které jednotlivé projekty a případové studie uvažují, většina jich počítá se sluneční energií (prakticky vždy s fotovoltaikou, ale některé i se solárním ohřevem), jako řecký projekt Hyperion, Recklinghausen v Německu, Licht leuven v Belgii, nebo třeba Coopernico v Portugalsku. Mnoho iniciativ, zejména těch, které se zaměřují na podporu dalších projektů, se váže obecně na obnovitelné zdroje energie bez specifického určení. Další projekty čerpají energii z větru, např. německé BWE, nebo FA Wind. Některé využívají biomasu, jako německá Village Jühnde, nebo řecká Energie cooperative of Karditsa. Vodní energii využívají kromě případových studií na severu Itálie jako jeden ze zdrojů ještě projekty jako například Sifnos v Řecku, nebo belgické Energent/Ecopower.

Pokud se podíváme na cíle jednotlivých projektů a případových studií, spatříme v nich celé spektrum záměrů, které jsou někdy dost daleko od idejí lokálních energetických společenství, jak bylo popsáno výše. Mnoho projektů se zaměřuje výhradně na zisk, např. německé ThEGA, nebo ECSC ze Spojeného království. Další mají cíle více technického charakteru, jako zvýšení efektivity procesu výroby a spotřeby energie (např. Bürgerwerke, nebo Carbon coop), úspory energie (např. Klimaan, nebo Les économes), zajištění centrálního zásobování teplem (např. Buurtwarmte užívající

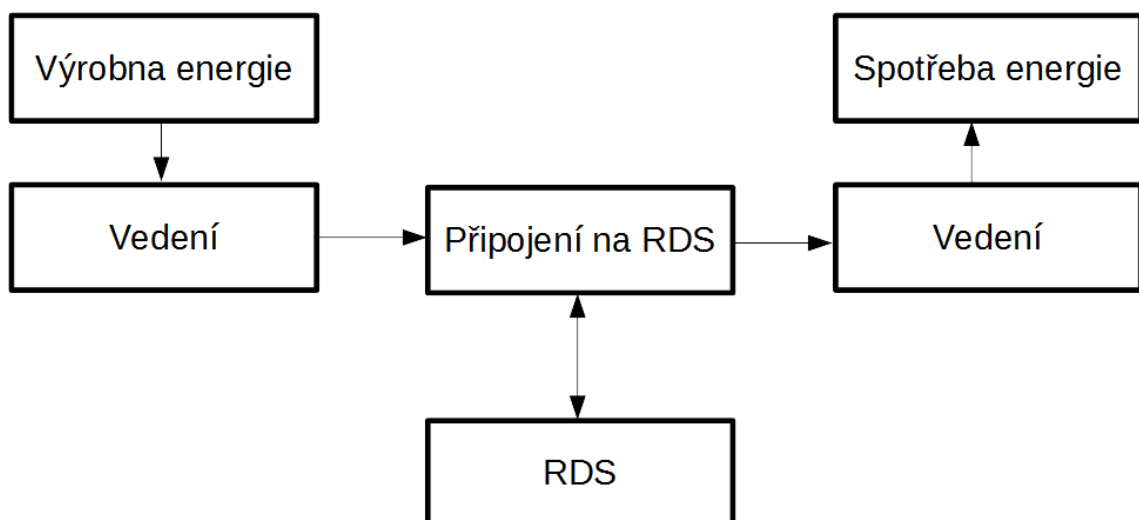
zemní plyn, nebo Aberdeen Heat and Power čerpající geotermální energii), nebo poskytování flexibility (např. Enercoop, Som Energia). Potom jsou tu projekty, které se zaměřují na sociální, nebo právní problematiku. Jsou to iniciativy, které poskytují vzdělávání v oblasti obnovitelných zdrojů (např. ECCO, nebo BBEn), věnují se energetické chudobě (CEES), výzkumu (cVPP), cirkulární ekonomice (Leiedal), nebo managementu a podpoře jednotlivých projektů (Citizen-led renovation).

Jak můžeme vidět, rozptyl jednotlivých projektů a případových studií je značný. I z toho vyplývá, že otázka ES není triviální a neexistuje obecné optimální řešení, které by se dalo aplikovat. Vždy tak bude třeba přizpůsobit topologii konkrétní realizace unikátním okolnostem.

Co se týče způsobu řešení problematičtějších otázek, zejména ekonomických modelů a principu organizace, financování a rozhodování, jsou k dispozici pouze informace u projektů, které nemají zcela komunitní charakter. Tyto informace jsou dohledatelné u investičních projektů zaměřených na zisk, u projektů vedených a spolufinancovaných některým městem, nebo u zřízení s jediným aktivním subjektem (firma poskytující službu, nebo usilující o úsporu). Z toho vyplývá, že v případě komplikovanějších ekonomicko-právních vztahů nejsme z nám dostupných informací schopni jednoznačně určit, zda funkční ekonomický model vůbec v praxi existuje.

2.3 Schematické zapojení ES

Při uvažování schématu zapojení celého energetického společenství je možné se zaměřit na dva základní koncepty. Prvním konceptem je ES se společnou výrobnou elektrické energie, která je samostatně připojena k distribuční síti ES. S tímto případem se můžeme setkat např. u bytových domů, které mají fotovoltaickou výrobu na společné střeše, u městských částí s jednou nebo více výrobny na střechách veřejných budov, nebo u obcí s FVE na samostatném pozemku. Zjednodušené schéma je na obrázku (Obrázek 1).

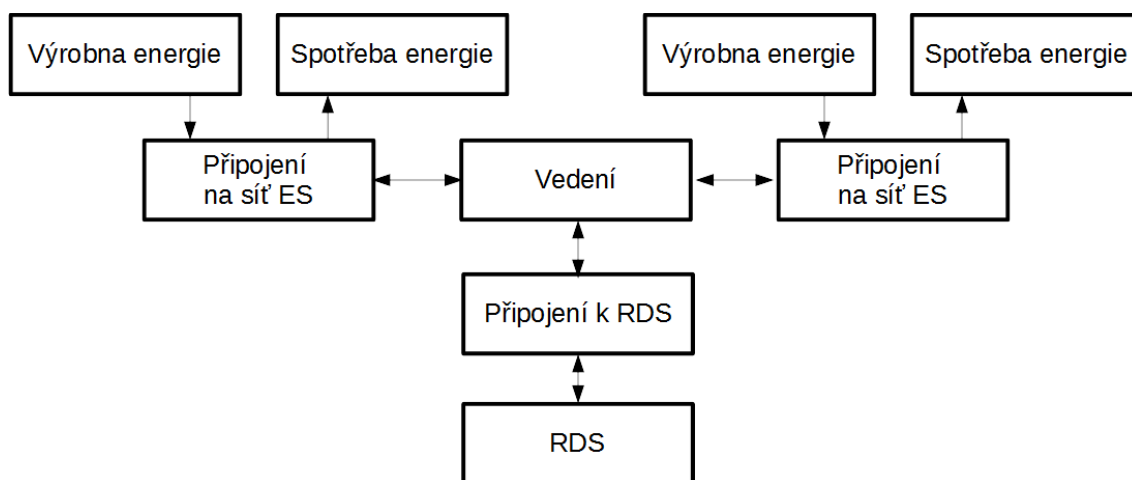


Obrázek 1: Schématické zapojení ES se samostatnou výrobou

Ze schématu je zřejmé, že energie vyrobená FVE není stejná jako energie spotřebovaná v domácnostech, ale je zmenšena o ztráty na vedení. Velikost ztrát pochopitelně závisí na parametrech vedení, zejména na délce, která se bude odlišovat pro různá typologická uspořádání ES.

Lze také vyčíst, že z pohledu nadřazené RDS se celé ES jeví jako jeden odběratel. Z pohledu konečného spotřebitele se, co se týče energetických toků, v podstatě nic nemění. Odebírá energii tehdy, kdy potřebuje a není rozdíl, jestli pochází z FVE, nebo z RDS.

Druhou možností je zapojení, kdy každý spotřebitel má vlastní výrobu energie. Taková situace vystihuje např. společenství rodinných domů, na jejichž střeších se nachází FVE. Zjednodušené schéma se dvěma spotřebiteli je na obrázku (Obrázek 2).



Obrázek 2: Schématické zapojení ES s distribuovanou výrobou

Ze schématu lze vyčíst, že mezi výrobnou a místem spotřeby není vedení s významnými ztrátami. To je, koneckonců, jeden z cílů lokálních ES, omezit ztráty přenosem energie na velké vzdálenosti. Z pohledu spotřebitele tak bude jeho energetická bilance v každém okamžiku rozdílem vyrobené a spotřebované energie. Z pohledu RDS se opět jedná o jediné odběrné místo.

Toto uspořádání má sice teoreticky menší ztráty vedením, ale zato má potenciálně větší náklady na instalaci a údržbu výroben.

V praxi se, zejména u větších ES, budou oba koncepty kombinovat a prolínat, takže pro každý případ je třeba uvažovat unikátní schéma, ale toto jsou dva základní přístupy, které jsou natolik odlišné, že je třeba na ně upozornit.

3. MODELÝ SPOTŘEBY, VÝROBY A METRIKY ELEKTROMĚRU

Simulaci nějakého experimentu, nebo jevu provádíme za účelem úspory času a financí, kontroly parametrů a zisku většího množství dat. Simulace mohou být deterministické, tedy vstupní data předurčují výsledek simulace, nebo stochastické, tedy výsledek je založen na náhodných parametrech s určitým pravděpodobnostním rozložením.

Tato práce řeší problematiku toku výkonů mezi jednotlivými prvky energetického společenství. Modelování je pro naši potřebu ideálním prostředkem z několika důvodů. Jedním z nich je skutečnost, že model má sloužit jako podklad pro vyhodnocení případného projektu ES, tedy něčeho, co se uskuteční v budoucnosti. Další důvod je možnost změny parametrů. Oproti měřeným hodnotám nám simulace umožňuje podívat se, jak by průběh vypadal, kdybychom změnili některé výchozí podmínky, např. počet nebo typ odběrných míst.

Aby byly modely co nejvíce univerzálně použitelné, musí být jednak obecné, nezaměřené na jeden konkrétní případ, jednak lehce parametrizovatelné a upravitelné, tedy transparentní. Hlavním cílem modelů je pochopitelně to, aby poskytovaly relevantní výsledky. Ve vybraných případech lze provést ověření výsledků modelu pomocí dat získaných měřeními.

Modelové ES se bude skládat z modelů spotřeby jednotlivých odběratelů, modelů výroby všech výroben a modelů měřicích soustav.

3.1 Model spotřeby

Při modelování spotřeby domácnosti je nutně třeba dospět k velkému množství zobecnění. Nelze postihnout všechny faktory, které by nás zajímaly, přestože jsou často velmi významné, například proto, že taková data je velmi složité získat. Spotřeba domácnosti se odvíjí od počtu obyvatel, jejich zvyklostí, množství a typu spotřebičů, velikosti jističe, ročního období, počasí v daný den a tak dále.

Úkolem této práce je však namodelovat takovou situaci, která bude vliv všech těchto parametrů vhodně estimovat, aniž bychom se jimi museli zabývat. Náš model by měl z minima vstupních dat (např. velikosti jističe a informace že jde o byt nebo rodinný dům) vygenerovat profil spotřeby, který je sice čistě imaginární, ale uvěřitelný.

K problematice modelování spotřeby existují v zásadě dva rozdílné přístupy. Jeden je ve své podstatě mikroskopický, snaží se dosáhnout celkového profilu pomocí jednotlivých spotřebičů [11]. Tento přístup vypíše veškeré spotřebiče, které v simulovaném objektu očekává, jejich příkony a předpokládané chování spotřebitele. Z těchto skutečností potom složí denní diagram spotřeby. Výhoda tohoto přístupu spočívá v tom, že simulovaná data reflektují chování spotřebitele, velmi často zahrnují i použití rozdílných tarifů v různých časech a průběh je často velice blízký skutečnosti.

Nevýhodou tohoto přístupu je, že se velmi těžko aplikuje na větší počet odběrných míst, zvláště pokud jsou typově odlišná, mají jiné složení spotřebičů, nebo zde dochází k odlišnému chování spotřebitelů.

Druhý přístup k modelování se zakládá na velkém množství měřených průběhů spotřeby [12][13][14]. Používá tedy obecných diagramů spotřeby, z nichž podle potřeby přebírá hodinové průběhy, nebo hodnoty okamžitých příkonů rozmítá pomocí nějaké pravděpodobnostní funkce (například s normálním rozložením). Výhoda tohoto přístupu spočívá hlavně v jeho jednoduchosti, jelikož pro něj není potřeba mnoho vstupních dat, je nenáročný na výpočetní výkon a je tedy schopen simulovat velké množství odběrných míst. Kromě toho tento postup zajistí, že při velkém množství simulací bude vždy makroskopický diagram odběru odpovídat reálně měřeným hodnotám. Hlavní nevýhodou tohoto přístupu je jeho obecnost. Ta sice zajišťuje přenositelnost modelu na různé typy odběrů, ale výsledky, které podává při modelování jednotlivých odběrných míst se mohou velmi lišit od skutečnosti, jelikož tento přístup nerespektuje složení spotřebičů, chování spotřebitelů a často ani průměrnou denní spotřebu, nebo dosahovaná minima a maxima odběru.

V tomto případě je sice kladen požadavek na simulaci menšího počtu odběrných míst (práce je zaměřena na lokální ES, nikoli na modelování celé elektrizační soustavy), ale zadaným požadavkem je přesto jednoduchost a přenositelnost modelu a práce s minimem vstupních informací. Proto aplikovaný přístup modelování bude bližší druhému zmíněnému, tedy makroskopickému, přičemž je třeba respektovat co nejvíce skutečné průběhy, aby náš model poskytoval relevantní data i při modelování jednotlivých odběrných míst.

3.1.1 Model č. 1, kategorie spotřebičů

Při modelování nelze uvažovat domácnost s konkrétním portfoliem spotřebičů, protože potom by výsledný profil spotřeby nebyl obecně použitelný. Problém je třeba zobecnit, nejlépe najít obecnou funkci, která by generovala smysluplné průběhy spotřeby na náhodném principu s určitým pravděpodobnostním rozložením. Průběhy budou skládány pomocí obdélníkových pulsů, které budou představovat sepnutí jednotlivých spotřebičů. Tyto pulsy mají danou výšku (příkon) a šířku (dobu sepnutí). Podle prvního návrhu se bude postupovat tak, že budou uvažovány čtyři kategorie spotřebičů, kterým budou přiřazeny parametry potřebné pro tvorbu diagramu spotřeby. Těmito parametry jsou tedy minimum a maximum příkonu, podobně minimální a maximální doba běhu a také průměrný počet sepnutí v dané kategorii.

Pro distribuci parametrů (zejména příkonu) v rámci kategorie bude použit náhodný výběr pomocí distribuční funkce s exponenciálním rozložením aplikovaného na interval od minima po maximum. Toto rozložení reflektuje větší množství průběhů o nižších příkonech a také meze, které byly kategorii určeny. Pro hustotu pravděpodobnosti bude platit:

$$f_X(x) = \begin{cases} k \cdot \lambda e^{-\lambda x}; & x \in (x_{min}, x_{max}) \\ 0; & x < x_{min} \vee x > x_{max} \end{cases}, \quad (1)$$

kde λ je parametrem rozložení a x představuje veličinu, jejíž pravděpodobnostní distribuci sledujeme. Koeficient k zajistí, aby celková pravděpodobnost byla rovna 1.

V první kategorii budou spotřebiče s nízkým jmenovitým příkonem, ale dlouhou dobou běhu. Mezi ně bychom mohli zařadit třeba stropní svítidla, nebo wi-fi router. Přestože mají relativně malý příkon, spotřebovávají nezanedbatelné množství energie a tvoří nám víceméně základní zatížení domácnosti. Distribuce jejich příkonu bude realizována pomocí exponenciálního rozložení v rozmezí od jednotek do desítek wattů a doby jejich běhu od jednotek hodin po celodenní provoz.

Druhá kategorie jsou spotřebiče se středně velkým příkonem a střední dobou běhu. Do této kategorie lze zařadit např. chladničky, mrazáky, stolní počítače, nebo televize. Jejich příspěvek ke spotřebě je značný, ale od další kategorie se značně liší výkonem, proto bude těmto průběhům přiřazena zvláštní kategorie. Opět bude distribuce výkonu spotřebičů probíhat přibližně v oblasti nízkých stovek wattů a dobu běhu od desítek minut po přibližně deset hodin.

Třetí a čtvrtá kategorie jsou nejzásadnější, a to hned z několika důvodů. Za prvé, obsahují spotřebiče o vysokém jmenovitém příkonu. Ty se, pochopitelně, na celkovém profilu spotřeby projeví nejvýrazněji. Za druhé, spotřebiče těchto kategorií vykazují největší příkonové změny, jsou tedy významné z hlediska řízení sítě. Přesto, že jsou si tyto kategorie velmi podobné, je vhodné je rozdělit na třetí a čtvrtou, protože se výrazně liší v době sepnutí. Portfolio spotřebičů, které si v těchto kategoriích lze představit, je velmi široké, ve třetí například vysavač, tiskárna, nebo mikrovlnka, a ve čtvrté kategorii pračka, bojler, varná konvice, nebo indukční plotýnka. Spotřebičům třetí kategorie bude přiřazen příkon vyšších stovek wattů, zatímco jednotkový příkon čtvrté kategorie bude rozložen mezi 1 kW a přibližně 2,2 kW, což je přibližně maximální jednotkový příkon, který se v domácnostech běžně vyskytuje. Zatímco doba běhu u třetí kategorie je uvažována v řádu jednotek až nízkých desítek minut, doba běhu čtvrté kategorie se může uvažovat v rozmezí jednotek minut až jednotek hodin.

Touto úvahou byl problém spotřeby zjednodušen na čtyři soustavy pravděpodobnostních funkcí, přičemž byla snaha nezavést předpoklad, který by výsledek příliš oddaloval od skutečných průběhů.

Dále každé skupině spotřebičů je třeba přiřadit číslo, které udává průměrný počet, kolikrát za den průměrně dojde ke spuštění nějakého spotřebiče z dané kategorie. Počet sepnutí je parametrem, který je velmi důležitý, ale zároveň se obtížně určuje. Aby byly získány relevantní výsledky, je nutné tuto hodnotu upravit podle průměrné spotřeby domácnosti. Pro bytové jednotky, které mají často pouze jednofázové připojení se roční

spotřeba pohybuje okolo 1,5 MWh, u rodinného domu lze uvažovat přibližně trojnásobek, přičemž jednotlivé fáze jsou na sobě víceméně nezávislé.

Po estimaci průměrného počtu sepnutí nám náhodná funkce určí skutečný počet sepnutí pro konkrétní běh simulace. Tento skutečný počet by měl v průměru odpovídat přiřazenému číslu, ale měl by nabývat hodnot od teoretické nuly po nekonečno. K tomu se opět hodí exponenciální pravděpodobnostní funkce, která zaručuje průměrnou hodnotu rovnou parametru λ . Hustota pravděpodobnosti tedy bude:

$$f_N(n) = k_N \cdot \lambda e^{-\lambda n}; n \in (0, \infty), \quad (2)$$

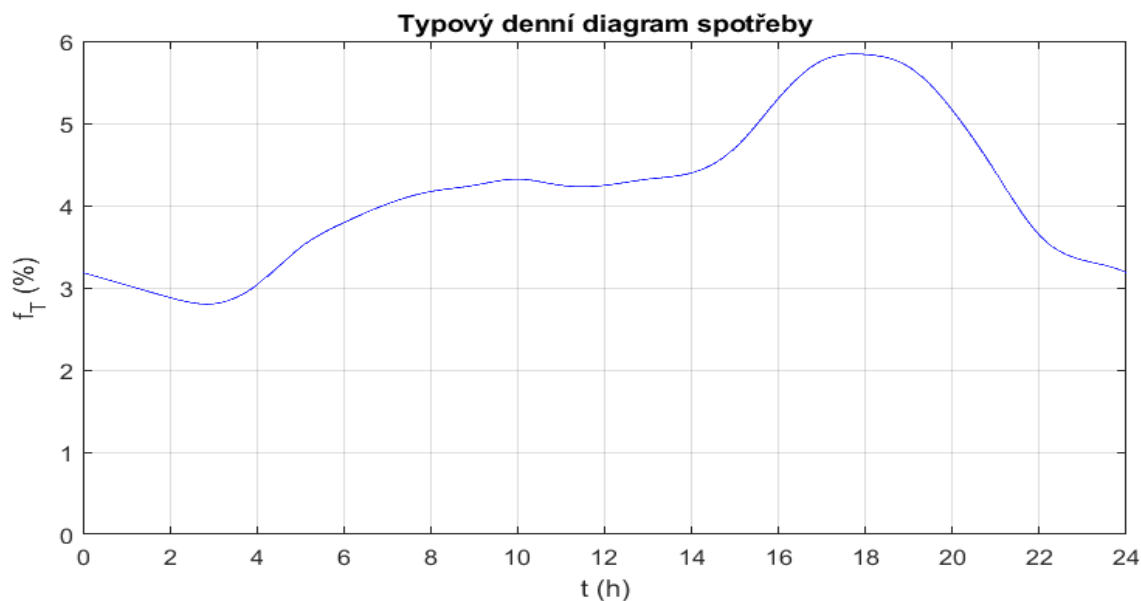
kde n je počet sepnutí v dané kategorii, λ je námi určený průměrný počet sepnutí a k_N je koeficient zajišťující, aby byla celková pravděpodobnost rovna jedné.

Při tvorbě celkového profilu je tedy postup takový, že kategorii po kategorii je nejprve určen konkrétní počet sepnutí, tedy množství obdélníkových průběhů. Pro každý průběh výšku a šířku pulsu (příkon a dobu běhu) pomocí ohraničeného exponenciálního rozložení.

Nakonec zbývá určit čas sepnutí konkrétního „spotřebiče“, tedy umístění pulsu na časové ose. Zde je možné vzít si na pomoc typový denní diagram spotřeby, který se získá měřením velkého počtu domácností a představuje průměrný hodinový odběr. Z těchto obecných statistických dat je vytvořena funkce udávající hustotu pravděpodobnosti, pomocí které budou generovány časy zapnutí „spotřebičů“ v souladu s makroskopickou pravděpodobností. V časech, kdy je statisticky nejvyšší výkon, tak budou „spotřebiče“ spínány s větší pravděpodobností, než, například, v brzkých ranních hodinách. Pro hustotu pravděpodobnosti tedy bude platit:

$$f_T(t) = k_T \cdot f_{TDD}(t); kde t \in (0, 24) h. \quad (3)$$

Funkce je pomocí koeficientu k_T normalizována tak, že její integrál je roven jedné, což odpovídá celkové pravděpodobnosti 100 %.



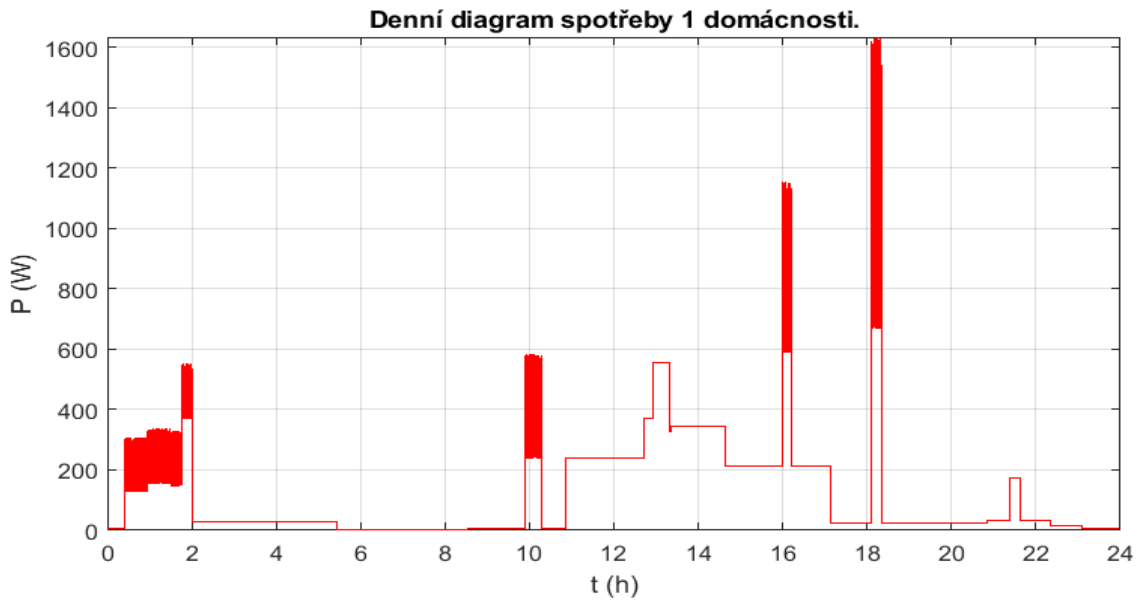
Obrázek 3: Typový denní průběh spotřeby domácnosti

Místo typového diagramu lze použít jiný makroskopický průběh, pokud by se pro simulaci lépe hodil, například pokud je třeba simulovat jiné typy odběrů než domácnosti (malé firmy, správní budovy apod.), nebo pokud jsou k dispozici data přímo z místa instalace.

Bylo by jistě nerozumné předpokládat, že spotřebiče s vysokým příkonem a dlouhou dobou běhu budou po celou dobu odebírat svůj jmenovitý příkon. Spíše spotřebovávají svůj jmenovitý příkon pouze po zlomek času, kdy jsou v provozu. Proto pro příkony nad 250 W a dobu běhu nad 8 min bude příkon násoben náhodně generovaným koeficientem využití, který se bude pohybovat od 0,4 do jedné. Pro tento koeficient využití je možné použít rovnoměrné pravděpodobnostní rozložení.

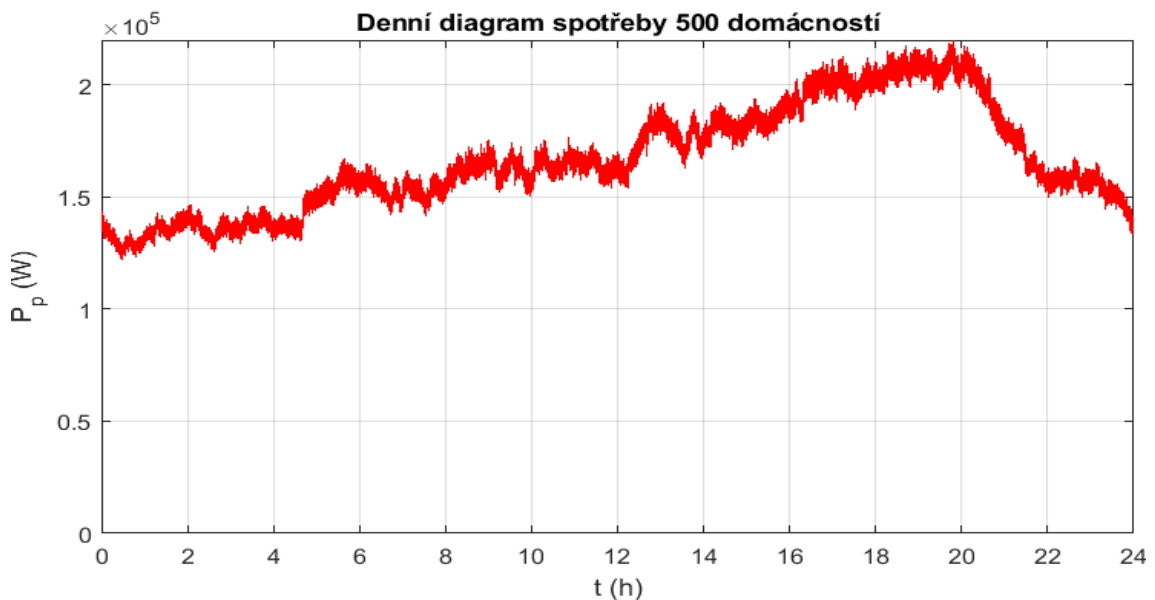
Náš model neuvažuje přizpůsobení spotřeby rozdílným tarifům, protože toto téma přesahuje zaměření této práce. Dynamické tarify jsou téma, které by se dalo rozvíjet v případné navazující práci, i když s tématem pochopitelně souvisí.

Příklad denního profilu spotřeby jednotky s jednofázovým připojením (spotřeba ~1,5 MWh/rok) podle tohoto modelu je vyobrazen na obrázku (Obrázek 4).



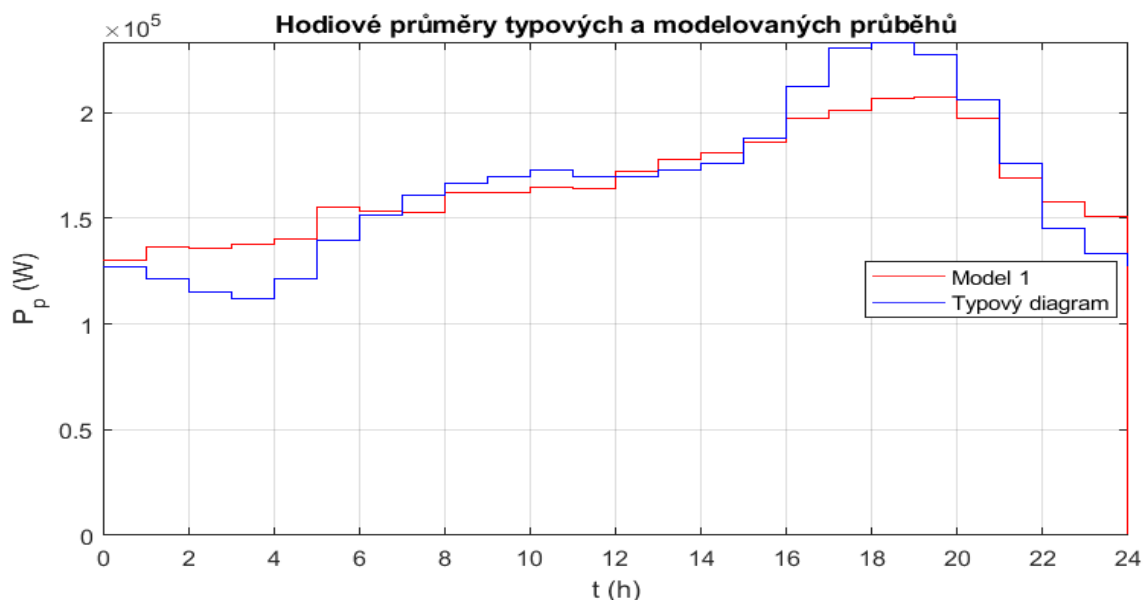
Obrázek 4: Model 1, Denní diagram spotřeby domácnosti

Tento průběh příliš nerespektuje typový diagram dodávek do velkého množství domácností. Pro ověření, že obecné obálce odpovídá je realizována simulace průběhů se stejnými počátečními parametry pro velký počet domácností (Obrázek 5).



Obrázek 5: Model 1, Denní diagram spotřeby 500 domácností

Aby bylo možné tento průběh snáze porovnat s předpokládaným průběhem, který reprezentuje typový diagram, je vhodné porovnat vypočtené hodinové průměry příkonu podle simulace a podle typového diagramu (Obrázek 6).

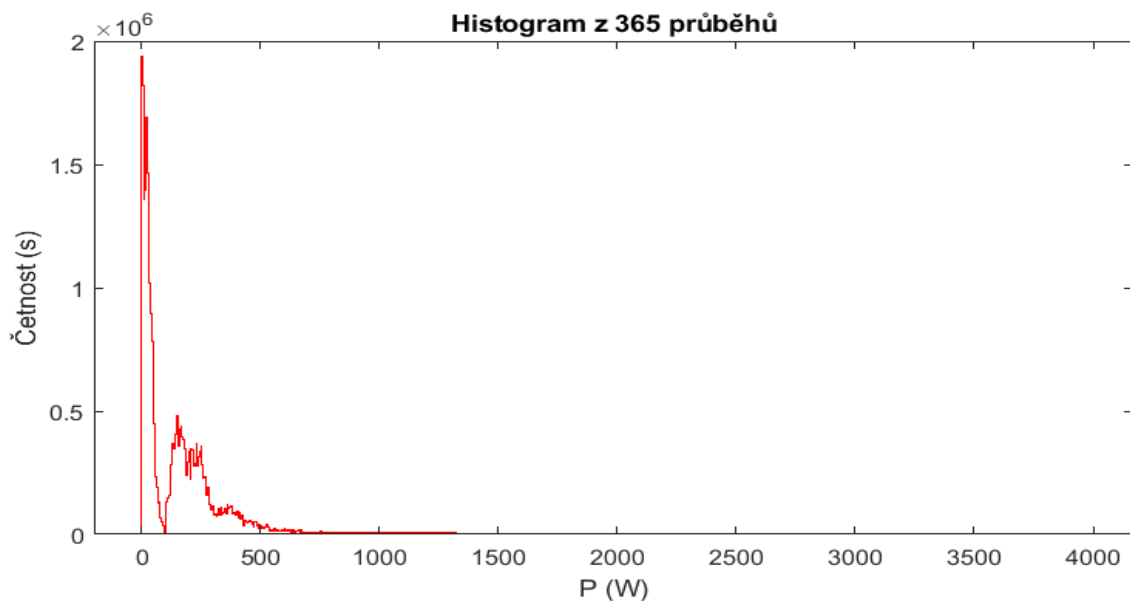


Obrázek 6: Model 1, Skutečný a předpokládaný hodinový průměr příkonu 500 domácností

Z diagramu je možné odvodit, že při modelování velkého množství domácností tento model odráží předpokládanou spotřebu domácností. Spočteme-li koeficient lineární korelace, vyjde 0,9704.

Další zkoušku, které bude model podroben bude histogram dosažených hodnot odběru, který ukáže, jak často byla hodnota simulovaného průběhu v určitých intervalech výkonů, konkrétně v intervalech po 5 W. Hodnota histogramu mezi nulou a 5 W je tedy konstantní a ukazuje nám kolik sekund za celkový simulovaný čas byla spotřeba mezi 0 a 5 W. Bude použita simulace jednoho odběrného místa během dlouhodobého intervalu (365 dní). Vzniklý histogram potom bude možno porovnat s podobným histogramem vzniklým za pomoci dalšího modelu, nebo měřených průběhů.

Je třeba mít na paměti, že se nejedná o simulaci odběru v průběhu roku, ale pouze o 365 na sebe navazujících simulací se stejnými vstupními parametry. Nejsou zde tedy zohledněny různé trendy spotřeby v závislosti na roční době, ani vliv venkovní teploty.



Obrázek 7: Model 1, Histogram z 365 průběhů

Histogram nám říká, že nejvyšší okamžitá hodnota příkonu byla v našem případě o málo menší než 4 kW. Maximum histogramu je dosaženo na výkonech kolem 0 W. To je způsobeno tím, že náš model neuvažuje žádnou fixní hodnotu základního zatížení, která by znemožňovala nulový odběr, který je tedy odebíraný po nejvýznamnější dobu. Po většinu času jsou hodnoty odběru mezi 0 a 500 W

Kromě toho lze pozorovat značnou nerovnoměrnost spektra, které má nezanedbatelný propad kolem 100 W příkonu. Této hodnoty bylo během simulace dosaženo po nevýznamnou dobu. Propad je způsoben nastavením parametrů spotřebičových skupin. Pravděpodobně by bylo možné nastavit parametry pro jednotlivé výkonové skupiny tak, aby byla tato nerovnoměrnost rozložení potlačena, ale pro kvalifikované zhodnocení modelu je třeba jeho výsledky porovnat s měřením reálného odběrného místa a na základě tohoto zhodnocení rozhodnout, zda je tento přístup k modelování správný.

Parametry, kterými je možno tento model nastavit a upravit, jsou souhrnně zobrazeny v tabulce (*Tabulka 1*). Určení parametrů je pouze estimační, k určení závislosti na vlastnostech objektu by bylo třeba provést fit modelu na velké množství objektů, a následně nalézt závislost například mezi velikostí domovního jističe a parametry jednotlivých spotřebičových skupin. Průměrná roční spotřeba je pochopitelně parametr, který lze jednoduše zjistit nebo odhadnout.

Tabulka 1: Souhrn parametrů Modelu 1

Parametr	Výchozí hodnota	Parametr	Výchozí hodnota
Průměrná roční spotřeba	1,5 MWh	Koeficient využití	0,4 - 1
Pravděpodobnostní obálka spínacích časů	TDD		
1. Kategorie spotřebičů		2. Kategorie spotřebičů	
Výkon spotřebičů	5 W až 30 W	Výkon spotřebičů	100 W až 300 W
Doba zapnutí spotřebičů	60 min až 1440 min	Doba zapnutí spotřebičů	10 min až 600 min
Průměrný počet sepnutí	19	Průměrný počet sepnutí	20
3. Kategorie spotřebičů		4. Kategorie spotřebičů	
Výkon spotřebičů	500 W až 1000 W	Výkon spotřebičů	1200 W až 2200 W
Doba zapnutí spotřebičů	1 min až 25 min	Doba zapnutí spotřebičů	2 min až 180 min
Průměrný počet sepnutí	7	Průměrný počet sepnutí	3

Rozsah výkonu a doby zapnutí spotřebičů stanovuje meze pro výběr konkrétního výkonu a doby zapnutí podle rovnice (1), průměrný počet sepnutí figuruje jako činitel λ v rovnici (2) a funkce odpovídající TDD určuje hustotu pravděpodobnosti času sepnutí podle rovnice (3).

3.1.2 Model č. 2, denní odběr

Abychom mohli předchozí model s něčím porovnat, bude vytvořen ještě jeden, který bude založen na jiném principu. Model 1 je poměrně dost komplikovaný a může se zdát, že má některé nedostatky, obzvláště pokud jsou uvažována odběrná místa s nižším denním odběrem elektřiny.

Tento model bude mít za cíl být co možná nejjednodušší. Vycházet bude z množství spotřebované energie za den. Pro jednofázový odběr bude uvažováno průměrně 1,5 MWh/rok. Z toho vycházející hodnota denní spotřeby bude pro každý průběh upravena v rozsahu $\pm 50\%$, tedy od 50 % do 150 % pomocí normálního rozdělení.

Od této hodnoty se bude odvíjet hodnota základního zatížení. Uvažujme, že odběrné místo má stálou hodnotu odběru, která je rovna jedné desetíně průměrného denního příkonu. Pro 1,5 MWh/rok je to přibližně 17 W. Podobně jako v předchozím případě bude tato hodnota pomocí normálního rozdělení upravena v rozsahu $\pm 50\%$, základní zatížení tedy bude mezi 5 % a 15 % průměrného příkonu.

Příkonové průběhy, simulující spínání spotřebičů budou estimovány pomocí funkce nepřímé úměry. Tedy: čím vyšší výkon, tím kratší čas bude „spotřebič“ sepnut. Je to hrubá estimace, která vychází z předpokladu, že spotřebiče o vysokém příkonu neodebírají maximální hodnotu celý čas, po který jsou zapnuté, zatímco ty s menším příkonem spíše ano. Také nás z hlediska bilance energetických toků nezajímá rozložení spotřebičů podle výkonu, nebo doby sepnutí, ale pouze celkový obraz. Funkce bude koncipována tak, aby všechny „spotřebiče“ měly stejnou hodnotu odebírané energie součin příkonu a doby zapnutí spotřebiče tedy bude konstantní. Rozmezí příkonu bude stanoveno jako 5 až 2200 W, což jsou hodnoty příkonu spotřebičů, které se v domácnostech běžně vyskytují, a doba zapnutí bude pomocí nepřímé úměry přiřazována v rozmezí 1 min až 440 min. Celkový počet průběhů simulujících spínání spotřebičů bude omezen dříve určenou denní spotřebou.

Pokud bychom vybírali výkonové hladiny „spotřebičů“ pomocí uniformního rozložení, potom by polovina všech simulovaných odběrů byla špičková – příkony by byly větší než 1000 W a neúměrně tomu by odpovídala doba sepnutí. Aby bylo možno získat realitě více odpovídající rozložení, budou příkonové hladiny vybírány pomocí beta rozložení, pomocí něhož lze potlačit výskyt vysokých příkonů a častěji generovat pulsy o nižších příkonech.

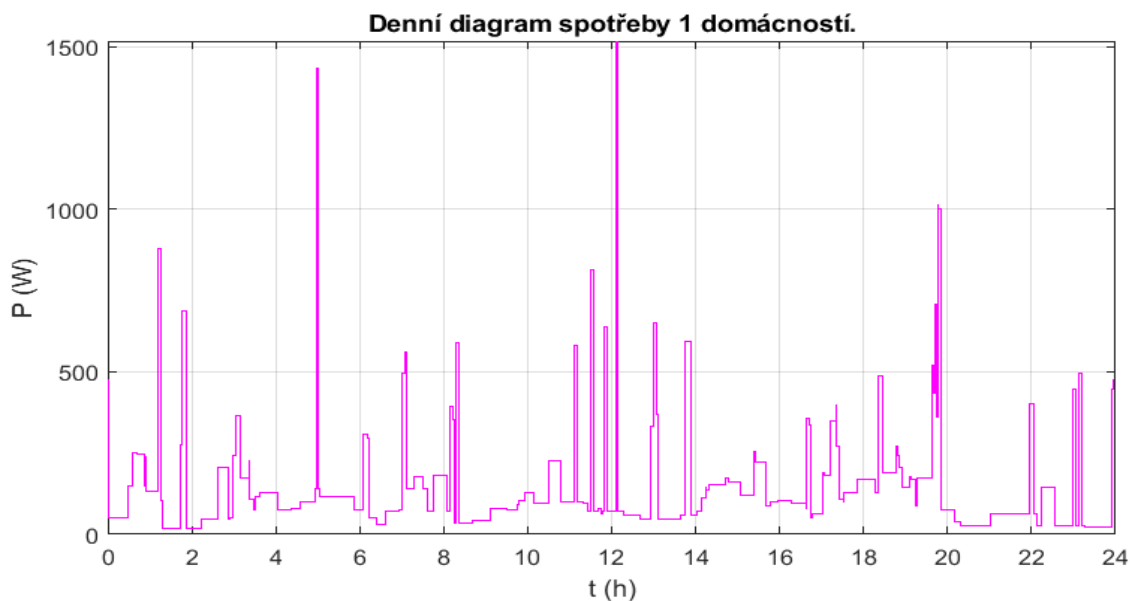
$$P_{sp} = Beta(\alpha, \beta) \cdot ((P_{max} - P_{min}) + P_{min}); kde \alpha = 0,4 a \beta = 4 \quad (4)$$

Časy spínání se určí podobně jako v předešlém modelu pomocí pravděpodobnostní funkce dané typovým diagramem spotřeby (Obrázek 3).

To by nám mělo zajistit rozložení příkonu v čase podobné skutečnosti při simulování velkého množství odběrných míst.

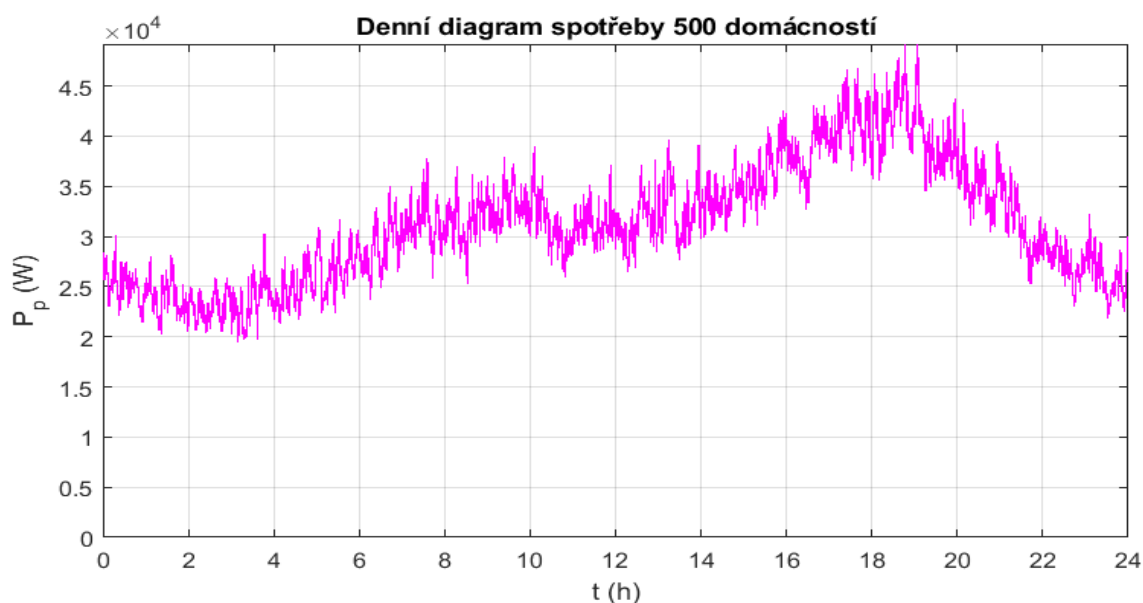
Při tvorbě celkového profilu tedy bude nejprve určena denní spotřeba a hodnota základního zatížení. Dále budou vygenerovány obdélníkové pulsy simulující spínání jednotlivých spotřebičů o stejných energiích a každý z nich bude umístěn na časové ose podle typového diagramu.

Příklad průběhu podle takto nastaveného modelu, který bude simulovat spotřebu pro jednofázový odběr (spotřeba ~ 1,5 MWh/rok) lze vidět na obrázku (Obrázek 8).



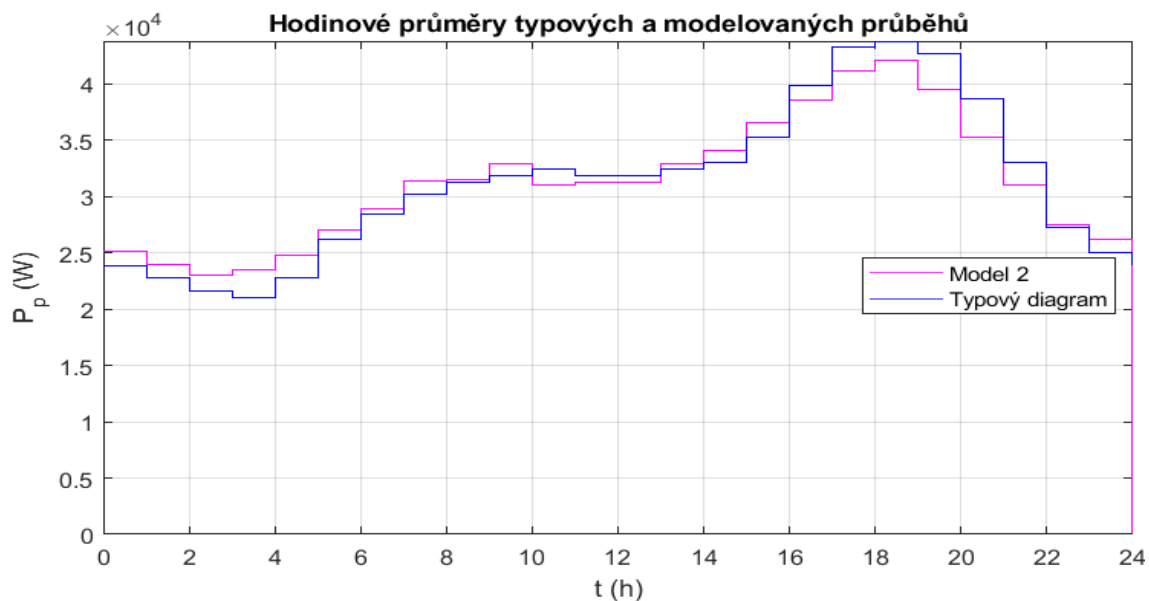
Obrázek 8: Model 2, Denní diagram spotřeby 1 domácnosti

Podobně jako u předchozího modelu je třeba provést srovnání, zda simulace velkého množství průběhů bude odpovídat typovému průběhu. Pro potřeby srovnání se opět provede simulace 500 jednofázových odběrných míst (Obrázek 9).



Obrázek 9: Model 2, Denní diagram spotřeby 500 domácností

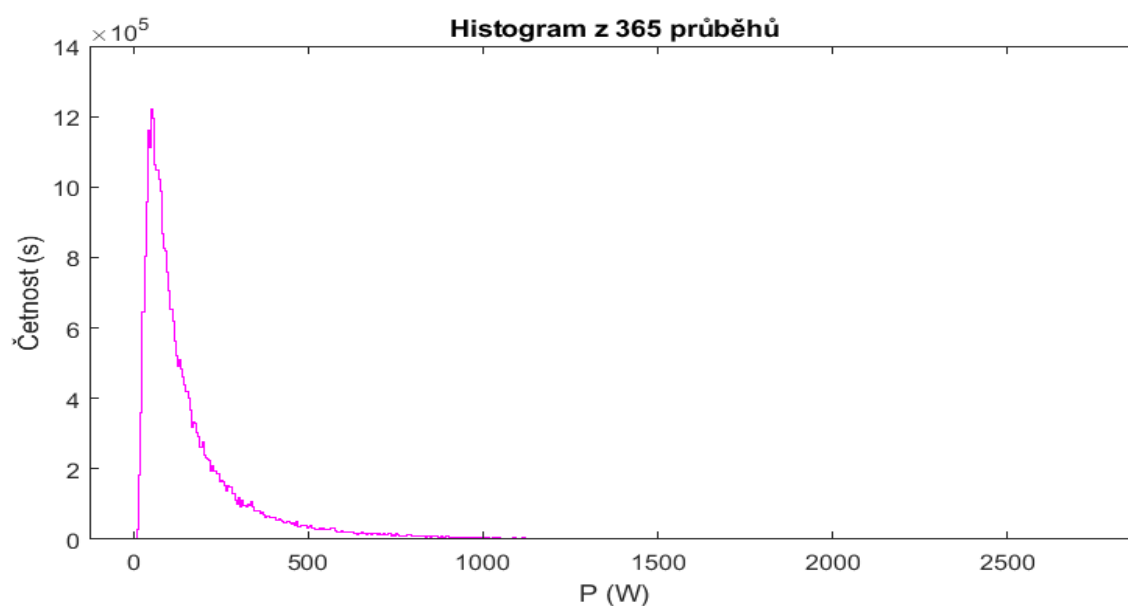
Podobně jako v předchozím případě bude porovnání s předpokládaným průběhem spotřeby, který představuje typový diagram, provedeno pomocí zobrazených hodinových průměrů (Obrázek 10).



Obrázek 10: Model 2, Skutečné a předpokládané hodinové průměry příkonu 500 domácností

Koeficient korelace je v tomto případě 0,986, což je velmi uspokojivé. Z hlediska odběru velkého množství odběrných míst je tedy tento model také použitelný, navíc je poměrně jednoduchý, takže nebude těžké jej případně upravit pro jiné aplikace, jako jsou průmyslové odběry, nebo odběry malých podniků.

I u tohoto modelu bude provedeno posouzení pomocí histogramu z 365 průběhů pro jednu jednotku. Podobně jako u předešlého modelu, nejedná se o simulaci ročního průběhu spotřeby, ale o 365 běhů simulace, které mají pouze porovnat četnost výskytu jednotlivých příkonových hladin.



Obrázek 11: Model 2, Histogram z 365 průběhů

Z tohoto histogramu lze vyčíst, že maximální hodnota příkonu během simulace byla přes 2700 W. Nejnižší hodnoty, kterých bylo při simulaci dosaženo jsou 10 W. Maximum, tedy hodnoty okamžitého odběru, které se objevovaly nejčastěji, se nachází na hodnotách vyšších desítek wattů. Histogram tvoří víceméně spojitou pravděpodobnostní funkci, což odpovídá jednoduché povaze modelu. Nicméně, tím spíše je třeba tento průběh porovnat s histogramem pořízeným z měření

Parametry, kterými lze nastavit požadovaný výstup jsou zejména následující (*Tabulka 2*).

Tabulka 2: Souhrn parametrů Modelu 2

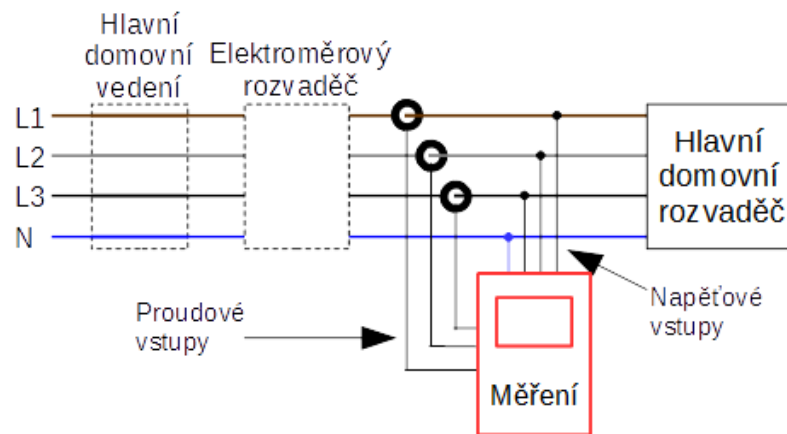
Parametr	Výchozí hodnota	Parametr	Výchozí hodnota
Průměrná roční spotřeba	1,5 MWh	Velikost základního zatížení	10 %
Minimální příkon	5 W	Maximální příkon spotřebičů	2000 W
Minimální doba zapnutí	1 min	Maximální doba zapnutí	440 min

Minimální a maximální příkon určují příkon konkrétního průběhu podle rovnice (4), velikost základního zatížení určuje poměrnou minimální hodnotu příkonu vztaženou k průměrné roční spotřebě.

3.1.3 Experimentální ověření

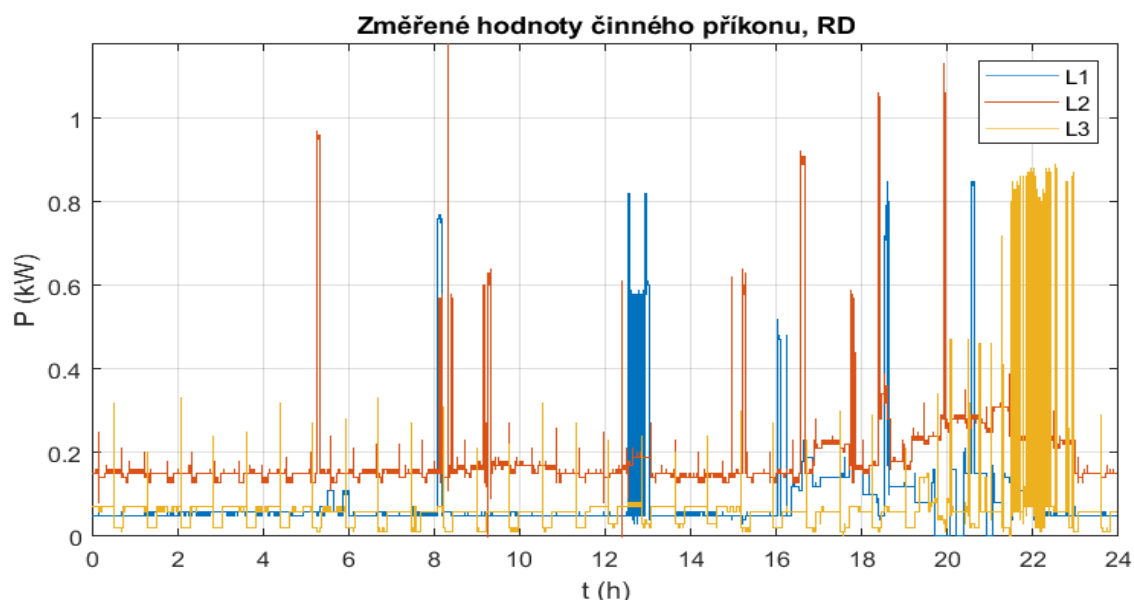
Měření dat probíhalo na dvou objektech, na rodinném domu s hlavním jističem 3x25 A a v bytové jednotce. Z důvodu snadnějšího zpracování byla k další analýze zvolena data z třífázového měření na RD. Předmětem měření byly zejména sekundové průměry činného výkonu v jednotlivých fázích, ale měřenými veličinami byly i efektivní hodnota napětí a proudu, úhel φ , jalový a zdánlivý výkon a další veličiny. Měřicím přístrojem byl digitální panelový měřicí přístroj SMY 133 firmy KMB Systems [34] s proudovými vstupy z rogowského cívek FASK s chybou měření a chybou uchycení <1,5 %.

Zapojení měření bylo podle obrázku (*Obrázek 12*).



Obrázek 12: Zapojení měření experimentálního ověření

Hlavním cílem sběru dat byla verifikace spotřebičových modelů. Příklad změřených průběhů během jednoho dne je na vyobrazení (Obrázek 13).



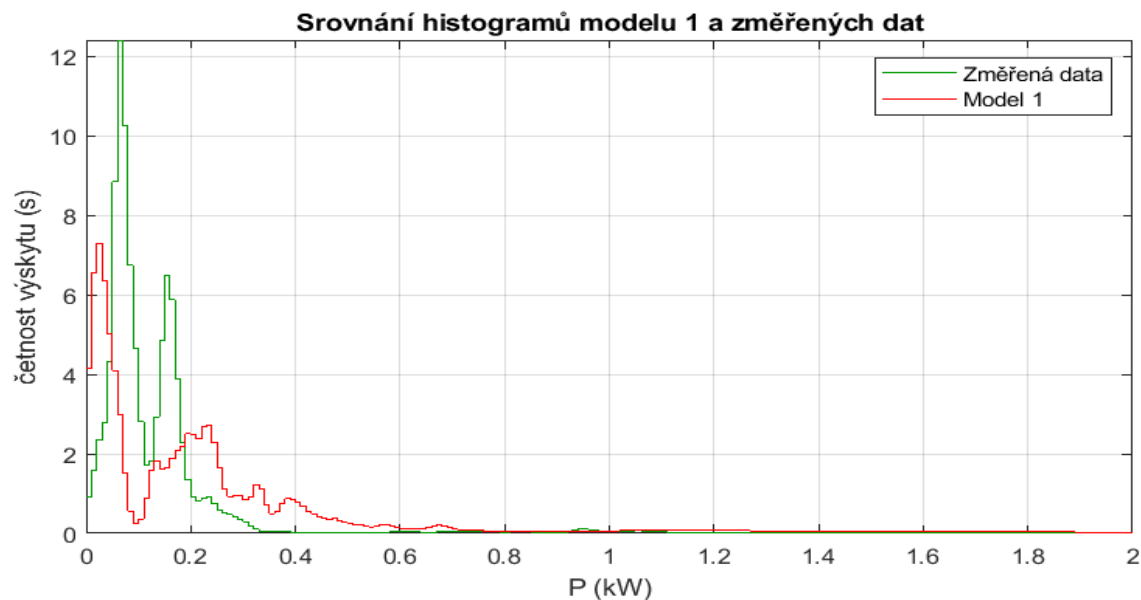
Obrázek 13: Příklad změřených hodnot činného výkonu, RD

Jelikož mezi průběhy jednotlivých fází není žádná významná korelace (koeficient korelace $<0,2$), je možné uvažovat průběhy v jednotlivých fázích samostatně. To znamená, že i při simulaci bude simulace třífázového odběru realizována pomocí tří jednofázových, které jsou na sobě nezávislé.

Pro potřeby ověření modelu byla tedy změřená data rozdělena na jednotlivé fáze, takže jeden třífázový odběr byl uvažován jako tři jednofázové, na sobě nezávislé odběry. Tento průběh měl již délku dostatečnou ke srovnání s výstupy modelů. Jako stěžejní ukazatel byly uvažovány histogramy změřených a simulovaných průběhů, jelikož ty umožňují kvalitativní posouzení průběhů, které jsou založeny na pravděpodobnostní funkci. Jednotlivé histogramy byly mezi sebou porovnávány pomocí koeficientu lineární

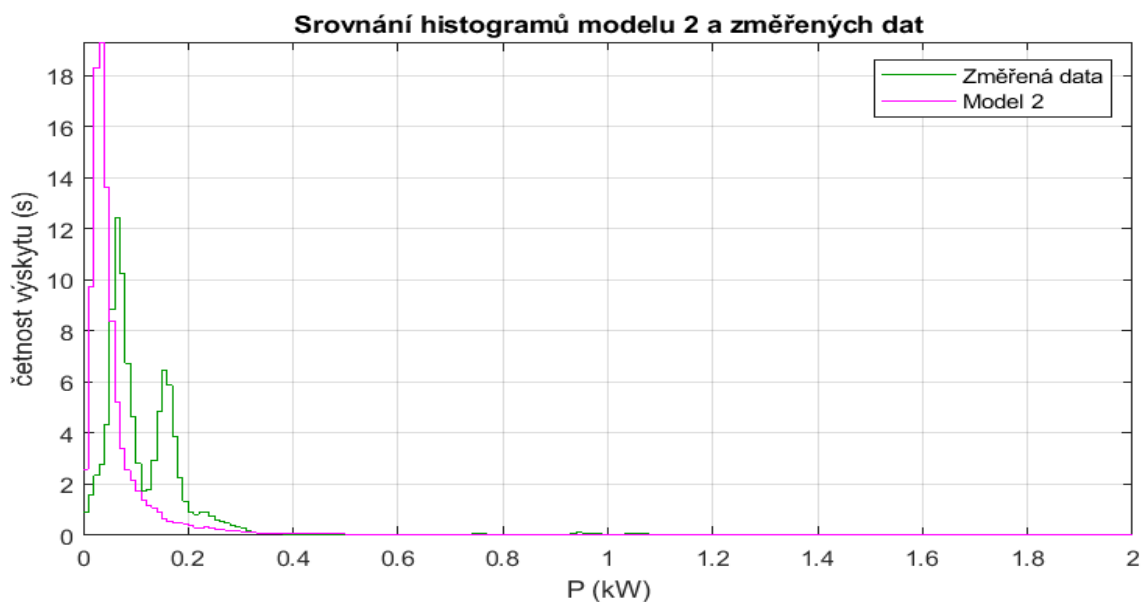
korelace mezi jejich grafy, který spíše než absolutní přesnost ve smyslu odchylky zohledňuje podobnost průběhů, což je způsob srovnání vhodnější pro tuto konkrétní situaci.

Na obrázcích (Obrázek 14 a Obrázek 15) lze vidět srovnání histogramů ze změřených dat a z dat získaných dříve popsanou simulací.



Obrázek 14: Srovnání histogramů Modelu 1 a změřených dat

Zde je koeficient lineární korelace 0,513.



Obrázek 15: Srovnání histogramů Modelu 2 a změřených dat

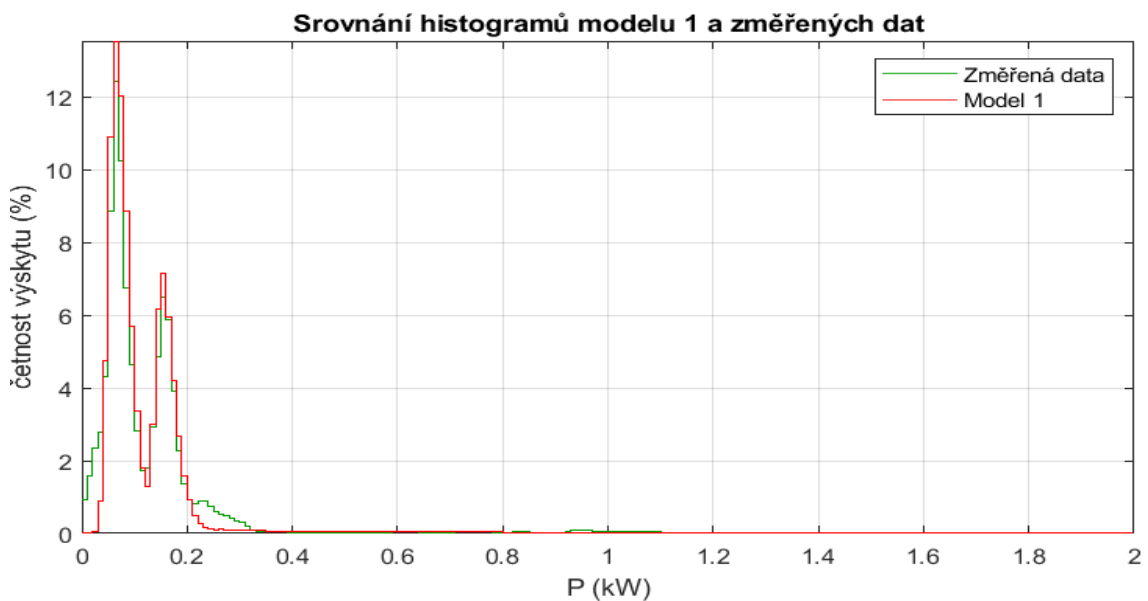
Vypočtený koeficient korelace je zde 0,473.

Pro další simulaci bude uvažován pouze Model 1, který je založen na skupinách spotřebičů s různými parametry. Tento postup je volen v závislosti na předpokladu, že úpravou Modelu 1 lze dosáhnout lepší shody s naměřenými daty. Model 2 je vystaven na jednoduché funkci, která nám nedovoluje takovou míru parametrizace, abychom mohli dosáhnout dvou maxim v histogramu. Oproti tomu Model 1 je snadno parametrizovatelný a jeho histogram již obsahuje dva výrazné vrcholy, které je třeba pouze posunout.

3.1.4 Validace Modelu 1

Pokud se nám podaří upravit parametry modelu tak, aby korespondovaly se změřenými hodnotami, neznamená to, že je náš model přesný, nebo obecně použitelný s těmito konkrétními parametry. Ale znamená to, že jej lze naparametrizovat tak, aby sledované parametry (v tomto případě četnost výskytu jednotlivých výkonových hladin) byly v souladu s konkrétním odběrem.

Úpravou parametrů, zejména nastavením koeficientu využití, minimálních a maximálních časů zapnutí, výkonů a počtu sepnutí jednotlivých spotřebičových kategorií (Tabulka 3), se nám podařilo dosáhnout téměř dokonalé shody s koeficientem korelace 0,984 (Obrázek 16).



Obrázek 16: Změna parametrů Modelu 1, srovnání se změřenými daty

Souhrn upravených parametrů ukazuje tabulka (Tabulka 3).

Tabulka 3: Souhrn upravených parametrů Modelu 1

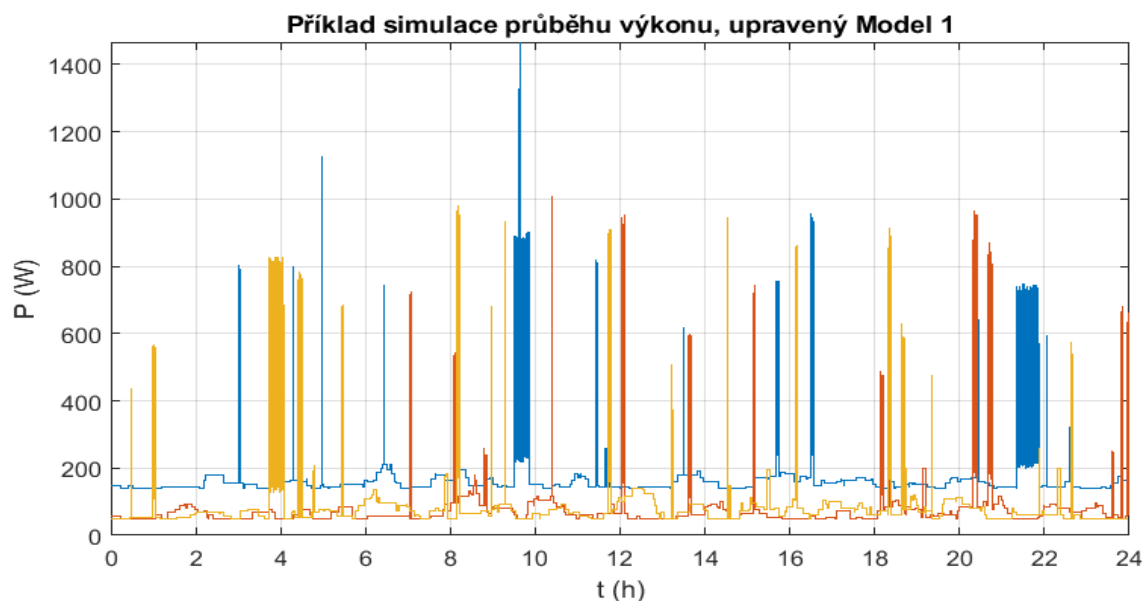
Parametr	Původní hodnota	Upravená hodnota
Průměrná roční spotřeba	1,5 MWh	1,5 MWh
Koeficient využití	0,4 - 1	0,1 - 1
Pravděpodobnostní obálka časů sepnutí	TDD	TDD
1. Kategorie spotřebičů		
Výkon spotřebičů	5 W až 30 W	2 W až 25 W
Doba zapnutí spotřebičů	60 min až 1440 min	1 min až 60 min
Průměrný počet sepnutí	19	500
2. Kategorie spotřebičů		
Výkon spotřebičů	100 W až 300 W	90 W až 200 W
Doba zapnutí spotřebičů	10 min až 600 min	1 min až 5 min
Průměrný počet sepnutí	20	20
3. Kategorie spotřebičů		
Výkon spotřebičů	500 W až 1000 W	400 W až 1000 W
Doba zapnutí spotřebičů	1 min až 25 min	0,2 min až 5 min
Průměrný počet sepnutí	7	70
4. Kategorie spotřebičů		
Výkon spotřebičů	1200 W až 2200 W	600 W až 1000 W
Doba zapnutí spotřebičů	2 min až 180 min	20 min až 45 min
Průměrný počet sepnutí	3	2

Rozsah výkonu a doby zapnutí spotřebičů stanovuje meze pro výběr konkrétního výkonu a doby zapnutí podle rovnice (1), průměrný počet sepnutí figuruje jako činitel λ v rovnici (2) a funkce odpovídající TDD určuje hustotu pravděpodobnosti času sepnutí podle rovnice (3).

Dosažená podobnost je tedy dobrým ukazatelem přizpůsobivosti modelu. Proces přizpůsobení by se dal jistě automatizovat a dalo by se dosáhnout ještě lepší přesnosti. Naším cílem však není ani dosažení stoprocentní shody, ani proces hledání vhodného fitu.

Kromě srovnání histogramů je možné popsat také časové průběhy. Z vyobrazení (Obrázek 13) vidíme, že změřená data se vyznačují dvěma typy průběhů. Jeden je víceméně základní, kdy hodnota výkonu pravidelně osciluje mezi desítkami až ~180 W. Druhý představují výkonové špičky, které dosahují výšky mezi 500 a 1000 W, mají různou, většinou však krátkou, dobu trvání a přerušovaný charakter. Nutno dodat, že ostatní změřená data vykazují podobné vlastnosti.

Pro srovnání charakteru simulace Modelu 1 po úpravě parametrů lze použít například výstup simulace (Obrázek 17).



Obrázek 17: Příklad simulace průběhu výkonu, upravený Model 1

Zde je možné pozorovat podobný trend. Výkon po většinu času osciluje kolem základní hodnoty, která je buď na ~ 60 W, nebo kolem 180 W. Kromě toho lze zaregistrovat poměrně značné množství výkonových špiček, které mají přerušovaný charakter a svojí šířkou variují v podobných mezích jako průběhy změřené.

Mezi třemi simulovanými průběhy není žádná spojitost. Jedná se o nezávislé simulace se stejnými vstupními parametry, což je způsob, který byl na základě vlastností reálných průběhů zvolen pro simulaci třífázového odběru, jak už bylo zmíněno.

Z porovnání histogramů i reprezentativních časových průběhů vyplývá, že model vykazuje dostatečně vhodné vlastnosti pro použití k simulaci skutečných odběrů.

3.2 Model výroby

Při modelování výroby energie bude uvažována pouze fotovoltaická výroba. Je sice možné vyrábět elektrickou energii z jiných zdrojů, s čímž některé případové studie a existující projekty napříč Evropou pracují [15][16][17], ale v České republice není mnoho míst, kde by se vyplácela výroba z větrných turbín [18], ani není mnoho lokalit, které by byly vhodné pro založení energetického společenství a zároveň měly vhodné podmínky pro výrobu pomocí malé vodní elektrárny. I z plánovaných projektů je jasné, že fotovoltaické výroby energie jsou u nás dominantním obnovitelným zdrojem.

Výroba fotovoltaickou elektrárnou bude simulována pomocí časových průběhů výroby jednotlivých výroben, které budou závislé na jejich nominálním (maximálním) výkonu, na jejich sklonu vzhledem k vodorovné rovině a na jejich orientaci (azimutu

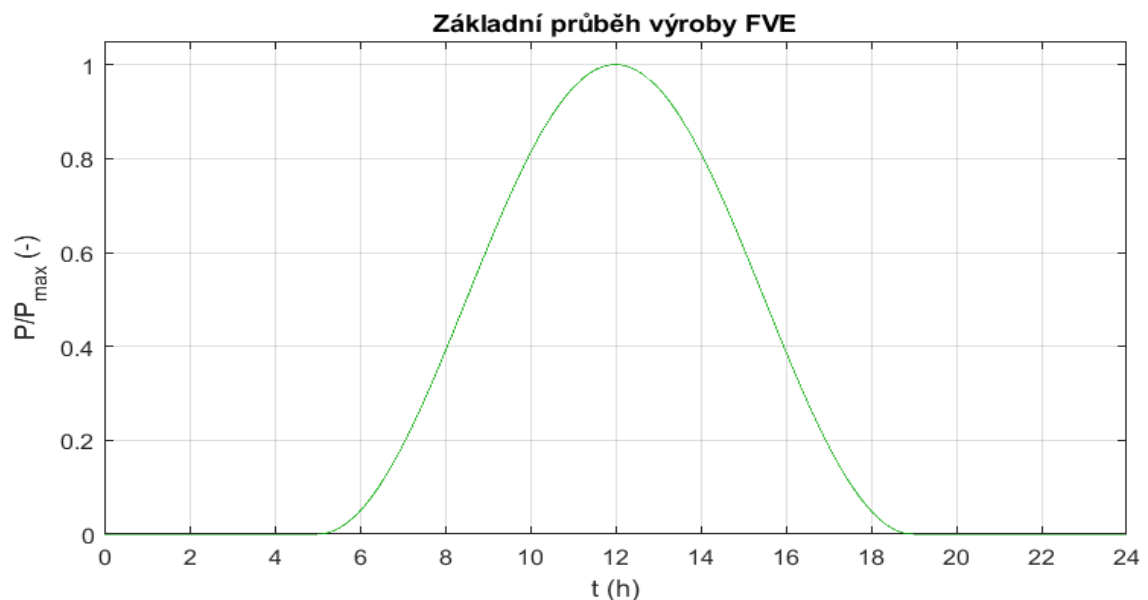
natočení). Kromě toho bude vytvořena funkce náhodného charakteru, která bude simulovat oblačnost. Je rozumné uvažovat oblačnost pro všechny průběhy stejnou, jelikož u lokálního ES budou rozdíly v oblačnosti nevýznamné. V zájmu jednoduchosti modelu budou při simulaci zanedbány některé parazitní jevy, jako třeba ztráty na střídači, stárnutí panelů, nebo vliv teploty na účinnost.

Nejprve bude tedy vytvořen průběh dostupného výkonu, který bude součinem slunečního svitu a vlivu oblačnosti. Vlivem oblačnosti je rozuměna míra propustnosti slunečních paprsků atmosférou a bude značena Φ . Může nabývat hodnot od 1 (jasná obloha propouštějící 100 % slunečních paprsků) do teoretické 0 (zcela zatměná obloha nepropouštějící žádné paprsky). Nulová hodnota je ve dne prakticky nedosažitelná, takže jako spodní limit vlivu oblačnosti bude použita hodnota $\Phi_{min} = 0,1$, která přibližně odpovídá zataženému nebi propouštějícímu pouze difuzní záření.

Sluneční svit, který je vyjádřen vztažným výkonem p_{vzt} , tedy poměrem dostupného a maximálního výkonu, lze aproximovat pomocí funkce \cos^2 v časovém intervalu od východu do západu slunce s uvažováním difuzního záření před úsvitem a po západu (zde je předpoklad 14 hodin).

$$p_{vzt} = \cos^2 \frac{(t - 12) \cdot \pi}{T_{osvit}}; \text{ kde } t \in \left(12 - \frac{T_{osvit}}{2}, 12 + \frac{T_{osvit}}{2}\right) \text{ h, } T_{osvit} = 14 \text{ h}$$

$$p_{vzt} = 0; \text{ pro } t < 12 - \frac{T_{osvit}}{2} \vee t > 12 + \frac{T_{osvit}}{2} \quad (5)$$



Obrázek 18: Základní průběh výroby FVE

Šum představující vliv oblačnosti Φ je možné simulovat pomocí náhodné funkce založené na normální distribuci, která bude znázorňovat změnu poměrného výkonu.

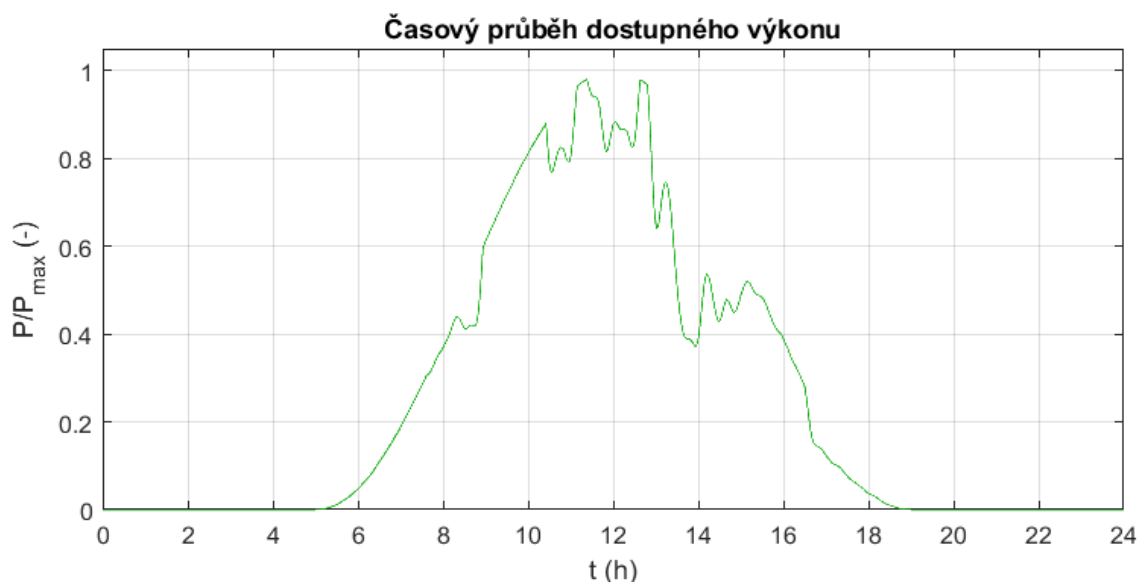
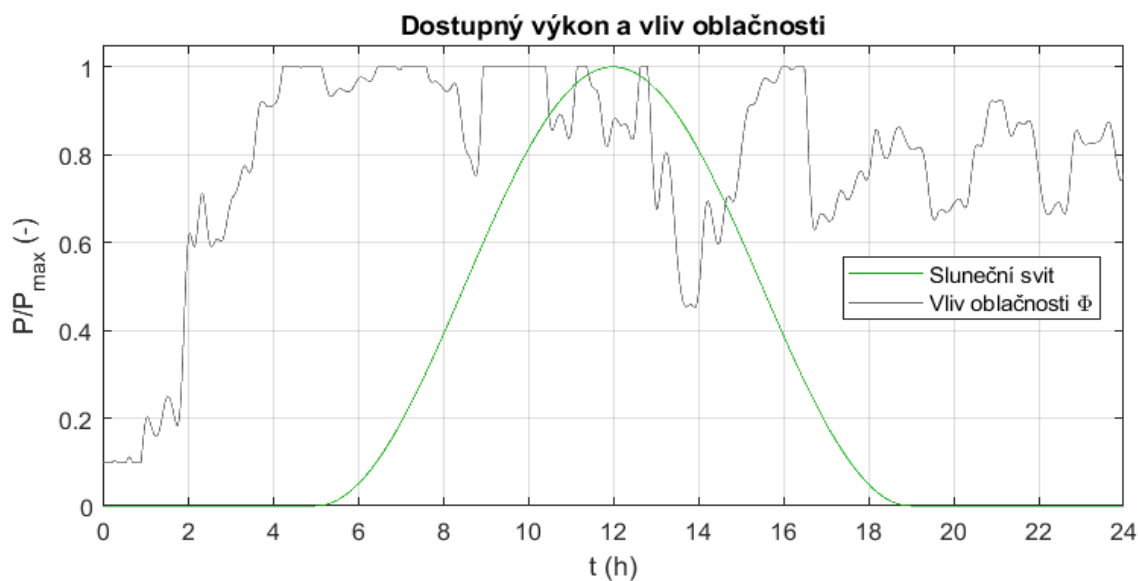
$$\Phi_n = \Phi_{n-1} + N(0,1) \quad (6)$$

Díky tomu, že normální rozdělení generuje s největší pravděpodobností čísla kolem nuly, bude výsledný průběh obsahovat méně rychlých změn a bude spíše zohledňovat předchozí hodnotu, než v případě použití např. rovnoměrného rozdělení.

Tyto hodnoty budou generovány po desetiminutových intervalech, což udává rychlost změny oblačnosti. Následně budou proloženy hladkou funkcí (splajnem), což umožní libovolnou vzorkovací frekvenci. Jak už bylo zmíněno, Φ nesmí nabývat hodnot mimo interval $\langle 0,1;1 \rangle$. Proto hodnoty, které nesplňují tyto podmínky jednoduše ořízneme.

Součinem výsledné funkce s ideálním průběhem výroby FVE vznikne spojitá funkce představující množství sluneční energie, které dopadá na jednotku plochy povrchu vzhledem k maximálnímu dostupnému výkonu.

$$\frac{P}{P_{max}} = p_{vzt} \cdot \Phi \quad (7)$$



Obrázek 19: Průběh výroby s oblačností a celkového vztažného výkonu

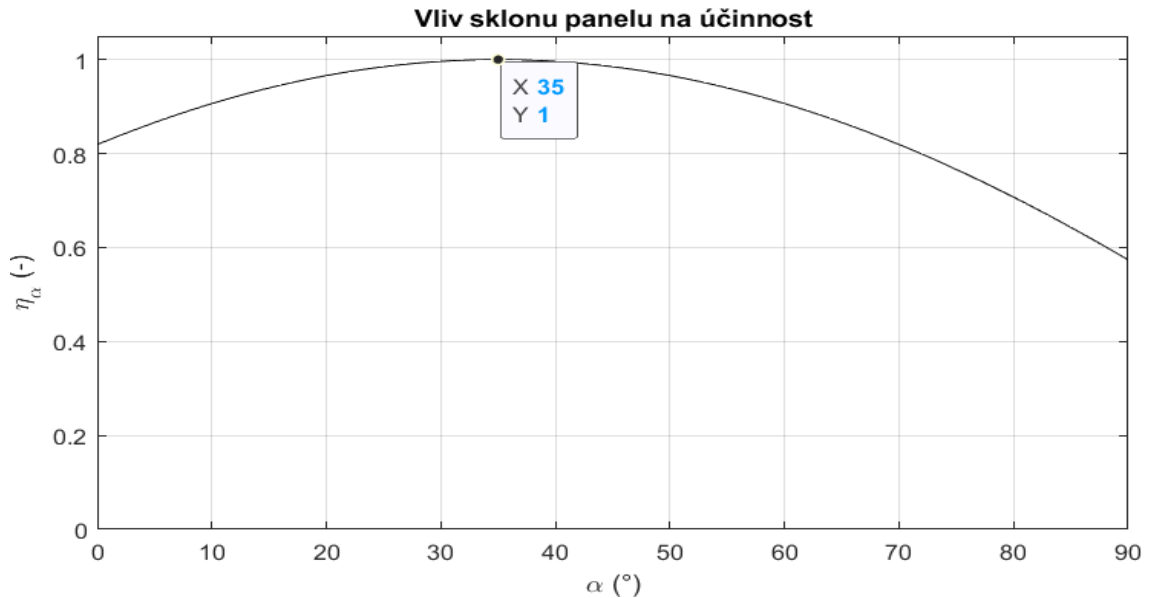
Fotovoltaické výrobní jsou však většinou statické, obzvláště malé instalace. Proto je třeba tento dostupný výkon vynásobit průběhem, který bude simulovat schopnost panelu zachytit sluneční energii a přeměnit ji na energii elektrickou.

Už dříve byl zaveden předpoklad, že i při absenci přímého záření je FV výrobní schopna využít difuzní záření v míře asi 0,1násobku výkonu přímého záření. Proto nejmenší hodnota, která udává schopnost přeměny panelu bude 0,1násobek maximálního výkonu panelu.

Kromě maximálního výkonu panelu bude schopnost přeměny závislá ještě na sklonu α a natočení panelu β . Sklon panelu bude uvažován v rozmezí $\alpha \in (0^\circ; 90^\circ)$ od vodorovné osy a natočení neboli azimut $\beta \in (90^\circ; 270^\circ)$, tedy východ až západ.

Optimální sklon panelu je přibližně 35° [35]. Model tedy bude uvažovat, že odklon od tohoto sklonu způsobí snížení účinnosti s cosinem rozdílu úhlu:

$$\eta_\alpha = \cos(\alpha - 35^\circ) \quad (8)$$



Obrázek 20: Vliv sklonu na účinnost výroby

Natočení je trochu komplikovanější. Optimální natočení je přímo na jih, tedy $\beta = 180^\circ$. Pro přehlednost uvažujme, že na natočení má vliv pouze azimut slunce, nikoli výška nad obzorem. Pro svisle uložený panel bude přibližně platit, že jeho účinnost v závislosti na poloze slunce bude mít kosinový průběh s maximem v čase, kdy je slunce přímo proti panelu a s délkou cca 12 h, což odpovídá $\beta = 180^\circ$.

$$\eta_\beta = \cos\left(\pi \cdot \frac{t - 12 \cdot \frac{\beta}{180}}{12}\right) \quad (9)$$

$$t \in \left(12 \cdot \frac{\beta}{180} \pm 6\right)$$

Tuto funkci však nelze uvažovat odděleně od sklonu. Uvážíme-li dva extrémní příklady: dva panely se sklonem 1° a orientací čistý východ a čistý západ, podle předchozí úvahy by měly dosahovat maxima v naprosto jiné části dne, aniž by byly schopné přijímat přímé záření z „odvrácené“ strany. Proto je třeba upravit předchozí vztah. Nejdříve se omezí posun maxima od 12. hodiny vlivem azimutu, a to tak, že pro sklon 0° nedojde k posunutí vůbec, ale pro sklon 90° se maximum posune v plné míře:

$$\eta_{\beta} = \cos\left(\pi \cdot \frac{t - \left(\frac{90 - \alpha}{90} \cdot 12 \cdot \frac{\beta}{180} + 12 \cdot \frac{\alpha}{90}\right)}{12}\right) \quad (10)$$

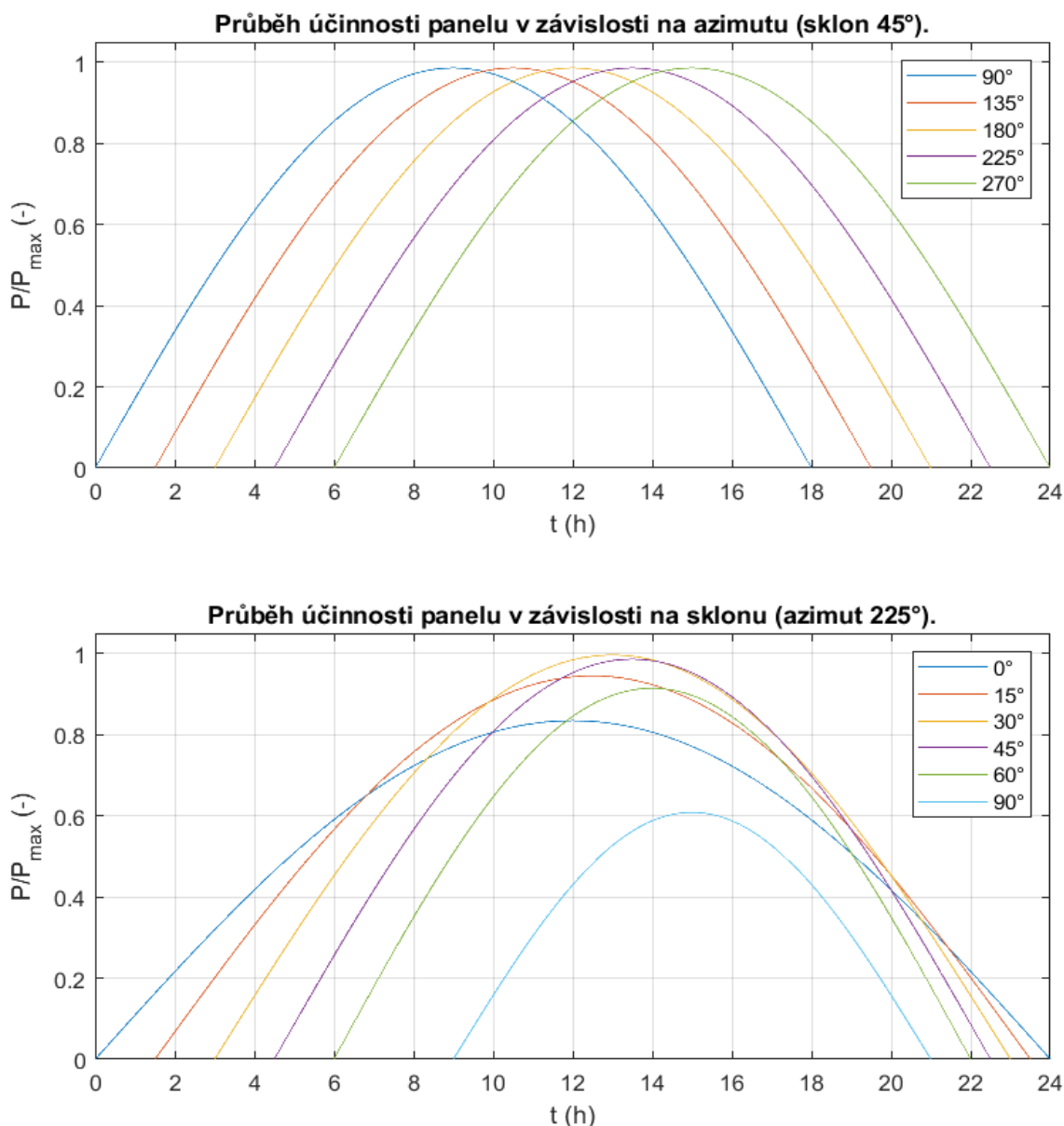
$$t \in \left(\frac{90 - \alpha}{90} \cdot 12 \cdot \frac{\beta}{180} + 12 \cdot \frac{\alpha}{90} \pm 6\right)$$

Potom bude zajištěno prodloužení doby, po kterou je panel schopný přijímat přímou energii v krajním případě 0° sklonu na 24 h (360°) a pro 90° sklon na původních 12 h (180°):

$$\eta_{\beta} = \cos\left(\pi \cdot \frac{t - \left(12 \cdot \frac{90 - \alpha}{90} \cdot \frac{\beta}{180} + 12 \cdot \frac{\alpha}{90}\right)}{24 - 12 \cdot \frac{\alpha}{90}}\right) \quad (11)$$

$$t \in \left(\frac{90 - \alpha}{90} \cdot 12 \cdot \frac{\beta}{180} + 12 \cdot \frac{\alpha}{90} \pm 12 - 6 \cdot \frac{\alpha}{90}\right)$$

Výsledný průběh citlivosti panelu v závislosti na čase pro několik různých sklonů a azimutů bude vypadat podle grafu (*Obrázek 21*).



Obrázek 21: Průběh účinnosti v závislosti na sklonu a azimutu

Celkový průběh výkonu panelu tedy bude vycházet z rovnic (5), (8) a (11) a bude následující:

$$P_{panel} = P_i \cdot \eta_\alpha \cdot \eta_\beta \cdot p_{vzt} \cdot \Phi \quad (12)$$

Přitom bude zavedena podmínka, že citlivost panelu v součinu s okamžitou hodnotou Φ nesmí být menší než 0,1, což odpovídá záchytu difuzního záření. V našem modelu tedy pro výraz $\eta_\alpha \cdot \eta_\beta \cdot \Phi$ bude zavedena minimální hodnota 0,1.

Příklad průběhu výroby pro FV výrobní s instalovaným výkonem 10 kWp, azimutem $\beta = 100^\circ$ a sklonem $\alpha = 55^\circ$ tak lze vidět na průběhu (Obrázek 22).



Obrázek 22: Příklad průběhu výkonu výroby, $P_i = 10 \text{ kWp}$

Instalovaný výkon výroby je možné vyjádřit pomocí dostupné plochy $P_i = f(S)$. Podle různých společností, které zajišťují instalaci FV panelů, se dostupný výkon pohybuje od 0,15 do 0,2 kW/m². Lze předpokládat, že jsou to hodnoty spíše nadsazené a platné pro ideální panel bez vad. Je tedy rozumné počítat s 0,16 kW/m² dostupného výkonu. Toto je ovšem bilance, ke které se bude výsledek blížit na velkých plochách. V případě malé plochy ji není možné využít celou, a je tedy třeba počítat s celočíselným násobkem plochy jednoho panelu. Běžný FV panel má rozměry 0,995 x 1,65 m, což dává plochu ~1,64 m². Využití plochy se bude lišit v závislosti na tvaru střechy, množství a pozici dalších prvků, jako komíny, vikýře, ventilace apod. Proto bude plocha násobena koeficientem využití k_{vs} , který bude individuální pro každý uvažovaný objekt.

Výstup FV výroby je nejčastěji distribuován do tří fází rovnoměrně podle výkonu. Teoreticky je možné, aby byl poměr výkonů distribuován na základě jiných parametrů (např. napěťové poměry v síti), což podporuje vlastní spotřebu objektu, v praxi se však tento princip příliš nepoužívá. V místech s malým potenciálem pro výrobu se občas používá pouze jednofázový střídač, takže je veškerý výkon výroby distribuován pouze do jedné fáze. V ojedinělých případech se může vyskytnout i dvoufázový střídač.

Z těchto důvodů bude provedena jedna simulace s různými typy střídačů, abychom viděli, jaký to bude mít dopad na celkovou bilanci a údaje ze systému metriky.

Souhrn parametrů, pomocí kterých je tedy možné model FV výroby nastavit je zobrazen v tabulce (Tabulka 4).

Tabulka 4: Souhrn parametrů modelu FV výroby

Parametr	Symbol	Výchozí hodnota	Parametr	Symbol	Výchozí hodnota
Instalovaný výkon ¹	P_i	-	Plocha střechy ¹	S	-
Koeficient využití střechy ¹	k_{vs}	-	Sklon panelů	α	40°
Orientace panelů	β	180°	Počet fází	-	3

3.3 Model metriky měření elektřiny

Systém měření je pro provozování jakékoli energetické soustavy naprosto nezbytný. Kromě informací pro provoz, údržbu a rozvoj soustavy nám poskytuje pochopitelně informace pro ekonomické vyrovnání. Aby mohl být údaj z elektroměru použit pro fakturaci, musí mít potřebnou certifikaci, což předpokládá jisté vlastnosti elektroměru.

Při měření činné energie v třífázové soustavě se používá tři možností zpracování dat pro vyhodnocení [36]. Nejprve se měřením získají sekundové průměrované hodnoty výkonu ve třech fázích. Všechny tři možnosti zpracování tedy pracují na vstupu se třemi hodnotami činné energie odpovídajícím odběru, resp. dodávce, za každou sekundu.

První možností, která bude značena $\Sigma 3$, je zpracování po jednotlivých fázích, tedy u každé hodnoty určit, zda je kladná (odběr) nebo záporná (dodávka), a následně kladné a záporné hodnoty zvlášť sečíst a zapsat do příslušného registru. Do registru se ukládají hodnoty zprůměrované za dobu agregačního intervalu, většinou 15 min.

Druhou možností, která bude značena $\Sigma 1$, je zpracování souhrnné, které nejprve sečte všechny tři fázové hodnoty, potom určí, zda je výsledná hodnota kladná či záporná, a výsledek opět zapíše do příslušného registru.

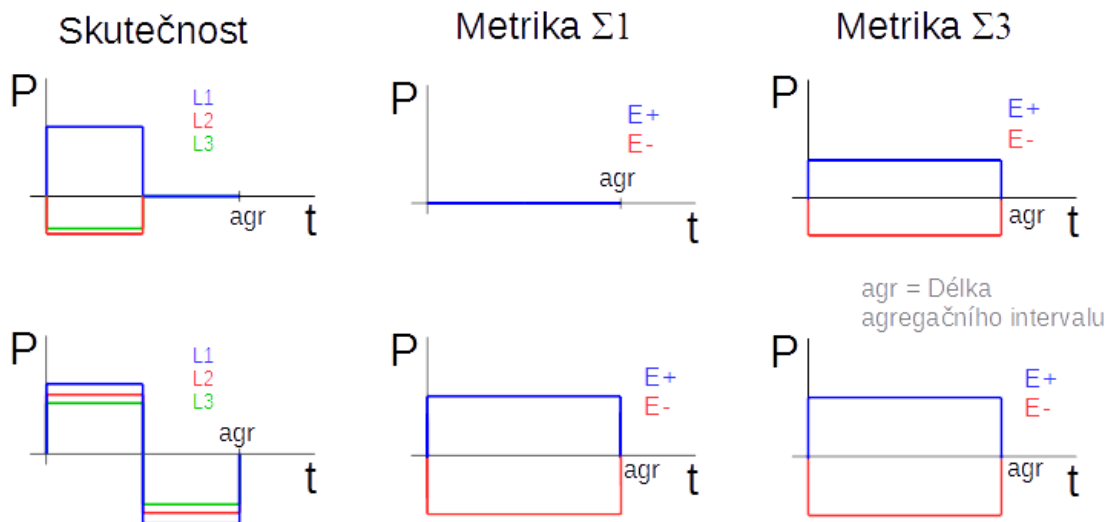
Výstupem obou těchto metod zpracování jsou tedy čtvrt hodinové průměrné hodnoty odběru a dodávky. Rozdíly obou metrik jsou pouze v okamžicích, kdy dochází současně v jedné fázi k odběru a v jiné fázi k dodávce energie. V praxi tak může významná chyba vzniknout zejména při výrazně nerovnoměrném zatížení nebo nerovnoměrné distribuci vyrobené energie.

Třetí možnost se používá na místech, kde se nepředpokládá výroba elektrické energie. Vstupní hodnoty se zde sečtou v absolutní hodnotě, tedy dodávka 1 kWh se počítá jako odběr 1 kWh. Jelikož v simulaci předpokládá místa s výrobou, tato možnost je v tomto případě irelevantní.

Podle toho, jaký způsob zpracování dat je použit, se liší informace, kterou lze ze změřených průběhů určit. Při použití zpracování dat podle $\Sigma 1$ není možno

¹ Lze zadat buď instalovaný výkon výroby, nebo tuto hodnotu vypočítat pomocí plochy a koeficientu využití střechy.

z kumulovaných hodnot zjistit, zda se v měřené soustavě vyskytovala nesouměrnost mezi fázemi. Toto omezení může nabývat velké důležitosti, pokud je měření prováděno na objektu, který je výrazně nesymetricky zatížen, nebo používá třeba výrobu s jedno- nebo dvoufázovým střídačem. Použití $\Sigma 3$ zpracování dat dokáže zaznamenat nerovnoměrné fázové zatížení systému, ale nedokáže jej rozpoznat od časové nerovnoměrnosti. Tyto vlastnosti jsou zobrazeny na obrázku (Obrázek 23).



Obrázek 23: Přehled informací získaných metrikou činné energie

Z hlediska fungování ES je důležité zjistit, kolik energie, která byla v odběrném místě spotřebována, pocházelo ze zdrojů v rámci ES a kolik z distribuční soustavy. Podle toho se také nejspíše bude provádět vyúčtování. Přesnější měření a určení původu spotřebovávané energie potom bude fungovat jako motivace pro členy ES k poskytování flexibility, ať už pomocí řízení spotřeby nebo pořízení akumulátoru energie. V případě, že je agregační interval příliš dlouhý a nelze původ spotřebovávané energie dostatečně přesně určit, tato motivace slábne, což může vést k celkově menší úspoře pro celé ES.

Délka agregačního intervalu nemá vliv na celkové množství změřené energie, pouze na možnost zjistit původ spotřebovávané energie. Podobně použitý typ metriky má vliv na určení původu a případné odstranění nesymetrie zatížení. Pokud se jedná např. o nerovnoměrné zatěžování fází, lze některé jednofázové spotřebiče přepojit na jinou fázi, nebo je možné změnit nastavení střídače výroby. Pokud je však zdrojem nerovnoměrnosti časový posun mezi výrobou a spotřebou, byla by kompenzace možná pomocí řízení spotřeby na straně koncového odběratele.

V závislosti na ekonomickém uspořádání ES mohou být informace, které jsou vlivem dlouhých agregačních intervalů ztraceny, důležité pro vyrovnání členů ES. Např. pokud je uvažováno ES se společnou výrobou, může být elektřina v čase, kdy je energie odebírána ze sítě, dražší, aby tak systém motivoval spotřebitele řídit svoji spotřebu podle momentálního rozdělení energetických toků v soustavě ES.

Měření se bude v závislosti na konkrétní topologii provádět na rozhraních předpokládaných majetkových poměrů, tedy v místě spotřeby, výroby a připojení k nadřazené RDS. Tyto profily jsou zásadní pro dimenzování síťových prvků a určení ekonomických vtaů jednotlivých subjektů.

4. SIMULACE ENERGETICKÝCH TOKŮ

Simulace pomocí virtuálních modelů má mnohá úskalí a je třeba myslet na její omezení. V průběhu tvorby modelů bylo zavedeno mnoho zjednodušujících předpokladů a zanedbání, které budou mít dopad na výsledek simulace. To ale neznamená, že by výsledky nebyly správné, nebo užitečné. Cílem simulace není se predikovat spotřebu konkrétního odběrného místa, ale typové průběhy, které se skutečné spotřebě ve sledovaných parametrech podobají a které nám umožní pozorovat úskalí, která vzniknou i ve skutečném ES.

Mezi hlavní zavedené nepřesnosti patří simulování pouze činného výkonu. Pro realističtější výsledky by bylo třeba simulovat hodnoty odběrného proudu, hodnoty napětí a účinníku odběru. Pro validaci by bylo třeba zjistit typovou závislost účinníku na odebíraném proudu.

Dalším nedostatkem je uvažování nulových ztrát ve vedení. Vliv tohoto faktoru se bude pochopitelně měnit s topologií lokální sítě, u bytového domu bude méně významný než u společenství rodinných domů. Pro realističtější výsledky by bylo třeba uvažovat model vedení minimálně s podélnými parametry (odpor a reaktance).

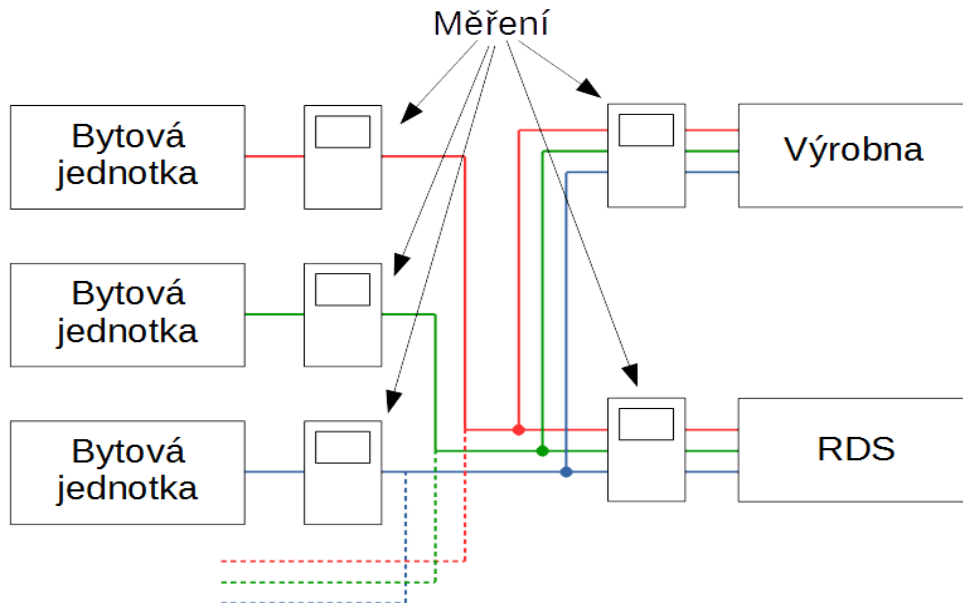
Není zde prostor ani na uvažování ekonomického modelu společenství, tedy způsobu, jakým se budou mezi členy dělit náklady, což může ovlivnit nejen místa měření, ale případně i celou topologii.

Pro delší simulace by také bylo přesnější uvažovat vliv roční doby. Ta bude mít vliv nejen na spotřebu, ale i na výrobu elektrické energie.

4.1 Bytové ES

4.1.1 Tvorba topologie ES

Pro simulaci bude uvažováno energetické společenství s konkrétní topologií. Jako modelový příklad byl zvolen bytový dům, který má plochou střechu o rozměrech 22 x 12 m, tedy plochu 264 m². Jelikož se jedná o plochou střechu, lze uvažovat koeficient využití plochy $k_{vs} = 0,8$. Podle výpočtů, které byly popsány výše je dostupný maximální výkon této plochy 33,59 kWp. Odběrnými místy bude 24 bytových jednotek, každá s jednofázovým připojením, s průměrnou roční spotřebou variující okolo 1,5 MWh. Odběrná místa budou rovnoměrně rozložena do jednotlivých fází. Pro jednoduchost bude model uvažovat bezeztrátové vedení a jediné místo styku, kde se stýká společná výroba, veškerá vedení k odběratelům a připojení k nadřazené RDS. Znázornění uspořádání je na schématu (Obrázek 24).



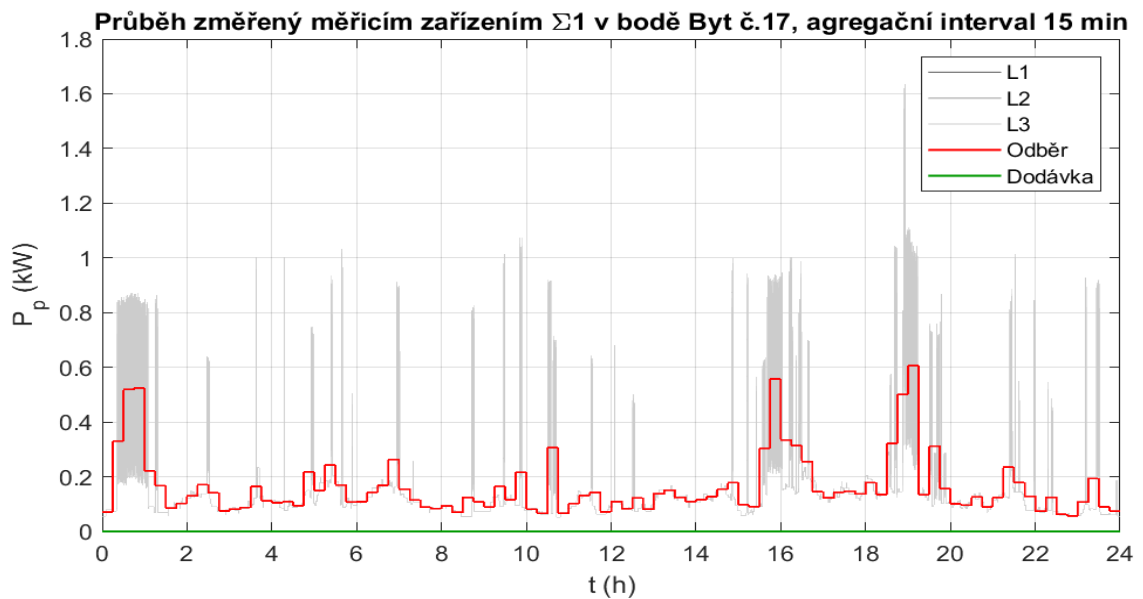
Obrázek 24: Topologie ES bytového domu

Jak už bylo zmíněno výše, měření bude provedeno v několika variantách. Budou použity obě možnosti zpracování hodnot (viz. 3.3) při třech různých délkách agregčního intervalu. Délky je rozumné stanovit na 15 min, což je současný stav, 5 min, což je hodnota, o které se v souvislosti se zpřesňováním měření diskutuje a 1 min, jako ukázka, jak výsledky měření závisí na délce agregčního intervalu.

4.1.2 Simulace toků činné energie ES

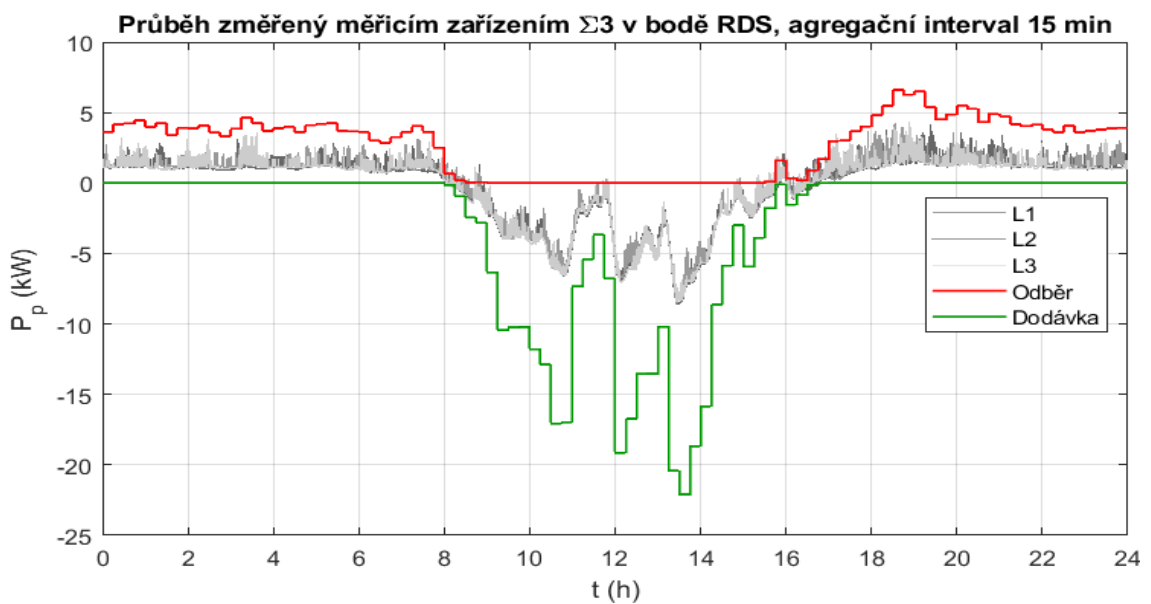
S využitím vstupních parametrů popsaných v přechozí podkapitole byla provedena simulace energetických toků. Simulace proběhla s měřením činné energie oběma typy metriky a s použitím agregčních intervalů 15 min, 5 min a 1 min. Všechny grafy simulovaných průběhů jsou k dispozici v příloze (Příloha A).

Cílem simulace je mimo jiné určit původ energie spotřebované každým subjektem. Jak už bylo zmíněno výše, použití metriky činné energie s delším agregčním intervalem může zjištění původu energie značně zkreslit. Redukci informace ze změřených na agregované hodnoty lze vidět na průběhu (Obrázek 25), který ukazuje příklad měření na jednom z bytů.

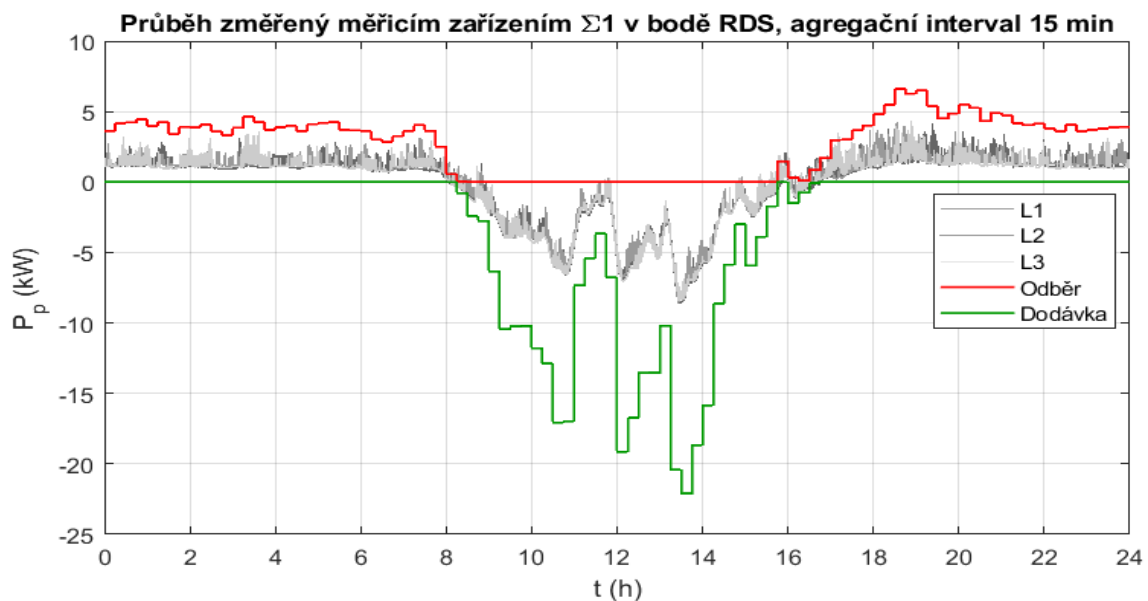


Obrázek 25: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 1$, Byt č.17, interval 15 min

Odchylku měření, která je způsobena volbou typu metriky ($\Sigma 1/\Sigma 3$) můžeme pozorovat porovnáním průběhů (Obrázek 26 a Obrázek 27).



Obrázek 26: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 3$, rozhraní RDS, interval 15 min



Obrázek 27: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 1$, rozhraní RDS, interval 15 min

Srovnáním grafů lze vidět, že rozdíly v použití metriky $\Sigma 3$ a $\Sigma 1$ jsou v tomto případě téměř neznamenné. To je způsobeno tím, že tyto rozdíly vznikají v oblastech dynamických změn dodávky a odběru s různými přechody v jednotlivých fázích. V tomto konkrétním průběhu je těchto oblastí minimum, proto jsou rozdíly jen nepatrné.

Z dat získaných simulací lze vytvořit přehled množství spotřebované energie za jeden den podle původu pro různé simulované typy metriky (Tabulka 5). Jak bylo popsáno výše, použitý způsob zpracování dat ($\Sigma 1/\Sigma 3$) a délka integračního intervalu má vliv na možnost zjistit původ spotřebované energie, čímž může vznikat případně nesprávné vyhodnocení původu energie a následně nespravedlivé vyúčtování.

Tabulka 5: Bilance energetických toků v bytovém ES podle původu

		Byt č.17	Byt č.19	FVE	Rozhraní RDS
Skutečné toky (kWh)	Celková spotřeba	3,9006	3,4087	-121,768	108,0278
	spotřeba krytá z ES	1,4098	1,5724	-44,9177	44,9177
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	2,4908	1,8363	-76,8498	63,1101
$\Sigma 3$ 15 min (kWh)	Celková spotřeba	3,9006	3,4087	-121,768	108,0278
	spotřeba krytá z ES	1,4279	1,5728	-44,9177	44,9177
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	2,4727	1,8359	-76,8498	63,1101
$\Sigma 1$ 15 min (kWh)	Celková spotřeba	3,9006	3,4087	-121,768	108,0279
	spotřeba krytá z ES	1,4371	1,5837	-45,1167	45,1167
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	2,4635	1,825	-76,6508	62,9112
$\Sigma 3$ 5 min (kWh)	Celková spotřeba	3,9006	3,4088	-121,768	108,0278
	spotřeba krytá z ES	1,4255	1,5747	-44,9177	44,9177
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	2,4751	1,8341	-76,8498	63,1101

$\Sigma 15$ min (kWh)	Celková spotřeba	3,9005	3,4087	-121,768	108,0279
	spotřeba krytá z ES	1,4353	1,5865	-45,1167	45,1167
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	2,4652	1,8222	-76,6508	62,9112
$\Sigma 31$ min (kWh)	Celková spotřeba	3,9006	3,4087	-121,768	108,0278
	spotřeba krytá z ES	1,4241	1,5759	-44,9177	44,9177
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	2,4765	1,8328	-76,8498	63,1101
$\Sigma 11$ min (kWh)	Celková spotřeba	3,9006	3,4087	-121,768	108,0279
	spotřeba krytá z ES	1,4337	1,5882	-45,1167	45,1167
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	2,4669	1,8205	-76,6508	62,9112

V tabulce byly ze všech odběrných míst uvedeny pouze dva byty, jeden s poměrně velkou spotřebou ze zdrojů ES, druhý s poměrně malou spotřebou z ES. Tyto příklady jsou uvedeny pro ilustraci, ostatní odběrná místa mají podobné výstupy. Kromě toho je uvedeno i srovnání množství energie dodané z FVE do ES a do distribuční soustavy. Z tabulky je vidět, že celkové množství činné energie změřené jednotlivými metrikami se prakticky neliší. Jak už bylo zmíněno, je to způsobeno výkonem výroby, který zajišťuje výrobu i nad rámec vlastní spotřeby, a tím zkracuje období přechodných stavů, ve kterých odchylky měření vznikají. Lepší možnost srovnání tedy poskytuje tabulka procentuálního zastoupení zdrojů energie na spotřebě daného místa (resp. zastoupení místa spotřeby v případě FVE) (Tabulka 6).

Tabulka 6: Procentní zastoupení zdrojů na spotřebě bytového ES

	Byt č.17	Byt č.19	FVE	Celé ES	
Skutečné toky (%)	spotřeba krytá z ES	36,1 %	46,1 %	36,9 %	41,6 %
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	63,9 %	53,9 %	63,1 %	58,4 %
$\Sigma 15$ min (%)	spotřeba krytá z ES	36,6 %	46,1 %	36,9 %	41,6 %
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	63,4 %	53,9 %	63,1 %	58,4 %
$\Sigma 11$ min (%)	spotřeba krytá z ES	36,8 %	46,5 %	37,1 %	41,8 %
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	63,2 %	53,5 %	62,9 %	58,2 %
$\Sigma 31$ min (%)	spotřeba krytá z ES	36,5 %	46,2 %	36,9 %	41,6 %
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	63,5 %	53,8 %	63,1 %	58,4 %
$\Sigma 15$ min (%)	spotřeba krytá z ES	36,8 %	46,5 %	37,1 %	41,8 %
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	63,2 %	53,5 %	62,9 %	58,2 %
$\Sigma 31$ min (%)	spotřeba krytá z ES	36,5 %	46,2 %	36,9 %	41,6 %
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	63,5 %	53,8 %	63,1 %	58,4 %
$\Sigma 11$ min (%)	spotřeba krytá z ES	36,8 %	46,6 %	37,1 %	41,8 %
	spotřeba krytá z distribuční soustavy	63,2 %	53,4 %	62,9 %	58,2 %

Z tabulky je vidět, že v tomto konkrétním případě má větší vliv na odchylku měření použitý typ zpracování dat ($\Sigma 1/\Sigma 3$) než délka agregačního intervalu. Vzniklé odchylky jsou však v obou případech poměrně malé. Rozdělení energie podle zdroje se

vyhodnocuje z poměru energie odebírané celým ES z RDS a součtu všech jednotlivých odběrů v daný čas. Přestože tak typ metriky ($\Sigma 1/\Sigma 3$) nemá vliv na množství změřené energie v odběrných místech bez výroby, liší se s použitou metrikou vyhodnocení původu energie kvůli měření na rozhraní RDS.

Procentní zastoupení spotřebované energie vyrobené z FVE ukazuje také stupeň využití vlastních zdrojů ES, tedy i míru využití investice každým jednotlivým subjektem.

Rozdíly v měření jsou dány zejména výskytem přechodných stavů, kdy se dynamicky mění dodávka a odběr. Ve výše zobrazené simulaci v konkrétní představené topologii ES se tyto stavy téměř nevyskytují. Přitom případný převládající přechodný charakter systému by mohl mít potenciálně velký vliv na vyhodnocení v závislosti na použitém typu metriky a délce agregačního intervalu. Přitom nelze obecně kvantifikovat vliv těchto skutečností na výsledek, protože silně závisí na konkrétní topologii ES a konkrétním stochasticky modelovaném průběhu. Modelováním velkého množství ES s různými topologiemi by bylo možné stanovit maximální možný vliv použitého systému měření, ale takové zjištění je pro vyhodnocení jakéhokoli konkrétního ES irelevantní. Větší citlivost na typ zracování dat ($\Sigma 1/\Sigma 3$) mají obecně odběry, které jsou vyvážené energeticky (dodávka/odběr), ale nikoli fázově. Na délku agregačního intervalu budou citlivější zase průběhy se změnami dodávka/odběr v kratších intervalech, než je délka agregačního intervalu. Pokud však budou dynamické změny řádově kratší, potom logicky ani zkrácení intervalu z 15 min na 5 min mnoho nepomůže.

4.2 Simulace různorodého ES

Aby bylo možno zkoumat fungování nějakého systému, je třeba vědět, jak se systém chová v mezních a nevyvážených situacích, kdy jsou velké rozdíly mezi fungováním jednotlivých subjektů. Z hlediska fungování ES představují tyto nevyvážené situace domácnosti se samostatnými výrobkami vnořenými do odběrného místa, zvláště pokud jsou výrazně diverzní co do výkonu, spotřeby, počtu fází střídače atd. Z tohoto důvodu bude provedena simulace netypického ES tvořeného několika samostatnými domácnostmi se samostatnými výrobkami elektřiny. Budou uvažovány zejména: výroba s jedno-, dvou- a třífázovou distribucí vyrobené energie, odběrné místo bez výroby elektřiny, odběrné místo s výrazně podprůměrnou a výrazně nadprůměrnou spotřebou.

Aby byla simulace jednodušší a různorodost odběrných míst přehlednější, opět budeme uvažovat bezztrátový přenos energie.

4.2.1 Parametry a topologie různorodého ES

Aby byly postihnuty rozdíly mezi různými typy členských objektů ES, byly vybrány následující příklady. Simulace spotřeby činné energie bude provedena v každé fázi samostatně pomocí upraveného Modelu 1. Parametry jsou uvedeny v tabulce (*Tabulka 7*). U neuvedených parametrů jsou uvažovány výchozí hodnoty (viz 3.1.4).

Odběrné místo RD 1 bude sloužit jako referenční místo s běžnou roční spotřebou. Dům bude mít šikmou střechou o ploše 52 m² s koeficientem využití 0,65 a výroba bude používat 3fázový symetrický střídač.

Odběrné místo RD 2 bude příkladem domu bez výroby elektřiny. Z hlediska energetických toků tak bude pouze pasivním členem společenství, ale může se účastnit např. ekonomicky.

Odběrné místo RD 3 je příklad domu s malou spotřebou, ale významnou výrobou. Spotřeba domu bude pouze 2,5 MWh/rok, přičemž ale budeme uvažovat prostor na FVE o souhrnné ploše 82 m², koeficientu využití 0,9, sklonu 55° a téměř východní orientaci. Instalovaný výkon této výroby bude vyveden pomocí 3fázového symetrického střídače.

Jednotka RD 4 bude příkladem výroby s jednofázovým střídačem. Dům bude mít lehce nadprůměrnou spotřebu a výrazně podprůměrný výkon výroby.

Odběrné místo RD 5 bude obsahovat výrobu se dvěma jednofázovým střídači distribuujícími výkon symetricky do dvou fází. Spotřeba je určena jako 3,4 MWh/rok a uvažovaná plocha střechy 30 m² s koeficientem využití 0,6, se sklonem 30° s azimutem 240° poskytuje prostor pro nevelký instalovaný výkon 2,62 kWp.

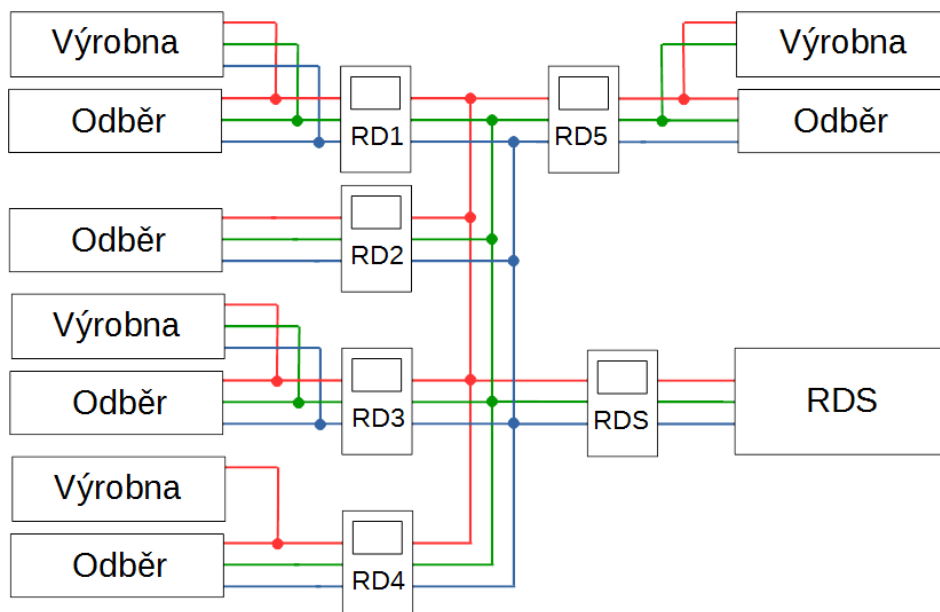
Tabulka 7: Parametry odběrných míst různorodého energetického společenství

Připojené místo	Průměrná roční spotřeba (MWh)	FVE			
		P _i (kWp)	α (°)	β (°)	Počet fází
RD1	4,5	5,25	40	200	3
RD2	4	0	-	-	-
RD3	2,5	11,81	55	105	3
RD4	5,2	1,31	0	180	1
RD5	3,4	2,62	30	240	2

Určené parametry nejsou zcela realistické. Např. výkon nad 10 kWp provázejí další technické a právní požadavky, proto se výkony pouze lehce nad 10 kWp nevyskytují. Pokud by subjekty RD4 a RD5 měli možnost, patrně by se snažili svoji výrobu maximalizovat instalováním větších výkonů. Vzhledem k tomu, že zde není snaha představit typové ES, ale ukázat funkci modelů a možný postup zpracování dat, není tento odklon od reality na škodu.

Aby byla zdůrazněna disproporce vzniklá v soustavě ES, nebudou se střídače v bodě RD 4 a RD 5 doplňovat, budou tedy využívat stejnou fázi. V takto malém simulovaném ES je to sice nepravděpodobné, ale ve větších ES, která obsahují jiné než 3fázové střídače, může takováto disproporce vzniknout.

Schematicky znázorněná topologie různorodého ES je znázorněna na obrázku (Obrázek 28).

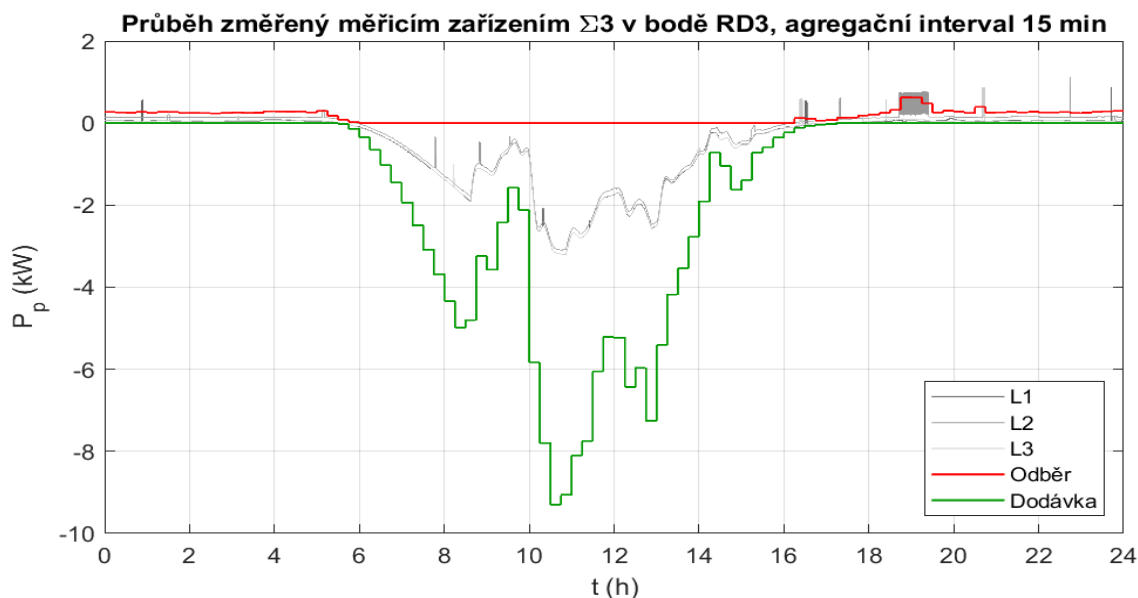


Obrázek 28: Topologie různorodého ES

4.2.2 Simulace toků činné energie

Všechna simulovaná měření lze vidět v příloze (Příloha A). Pro demonstraci hlavních aspektů tohoto ES byly vybrány následující průběhy.

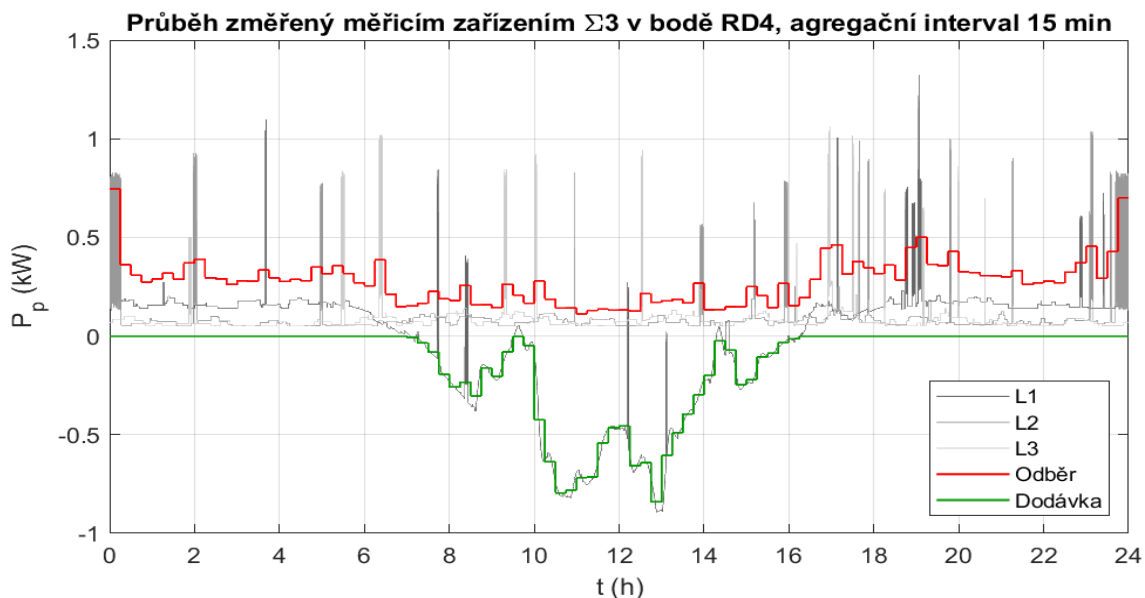
Odběrné místo RD3 má veliký přebytek vyrobené elektřiny a funguje víceméně jako samostatná výrobná v rámci ES. Zároveň vlivem výrazného východního natočení výrobní deformuje výrobu celého ES tímto způsobem.



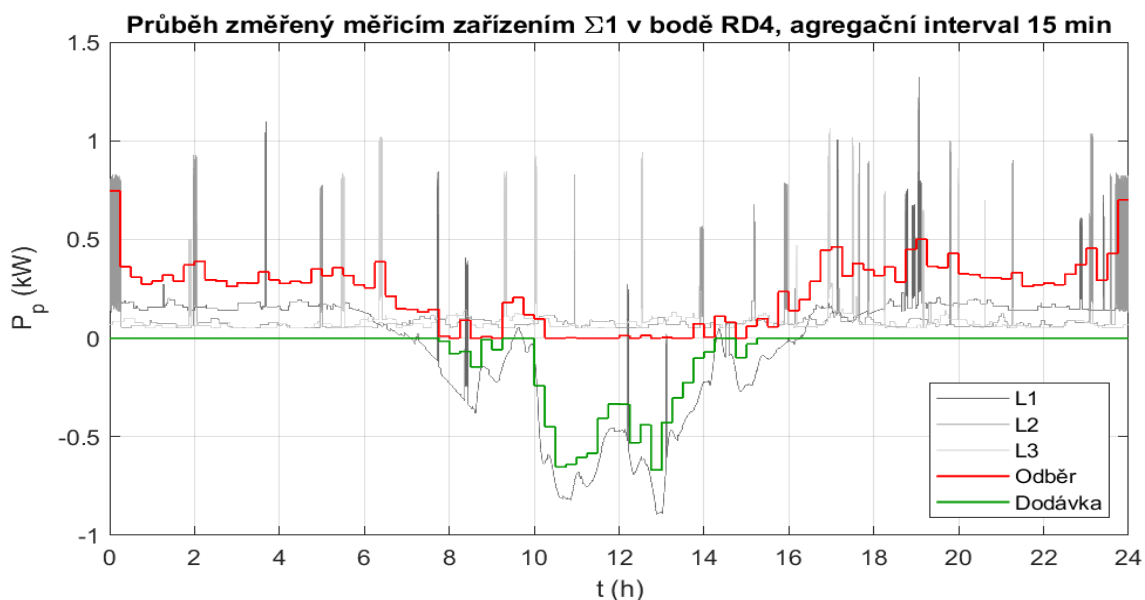
Obrázek 29: Simulace měření metrikou $\Sigma 3$ v bodě RD3, agregační interval 15 min

U průběhu změřeného v odběrných místech RD4 a RD5, lze pozorovat výrazné rozdíly mezi typy zpracování dat ($\Sigma 1/\Sigma 3$), což je vidět na následujících grafech (Obrázek

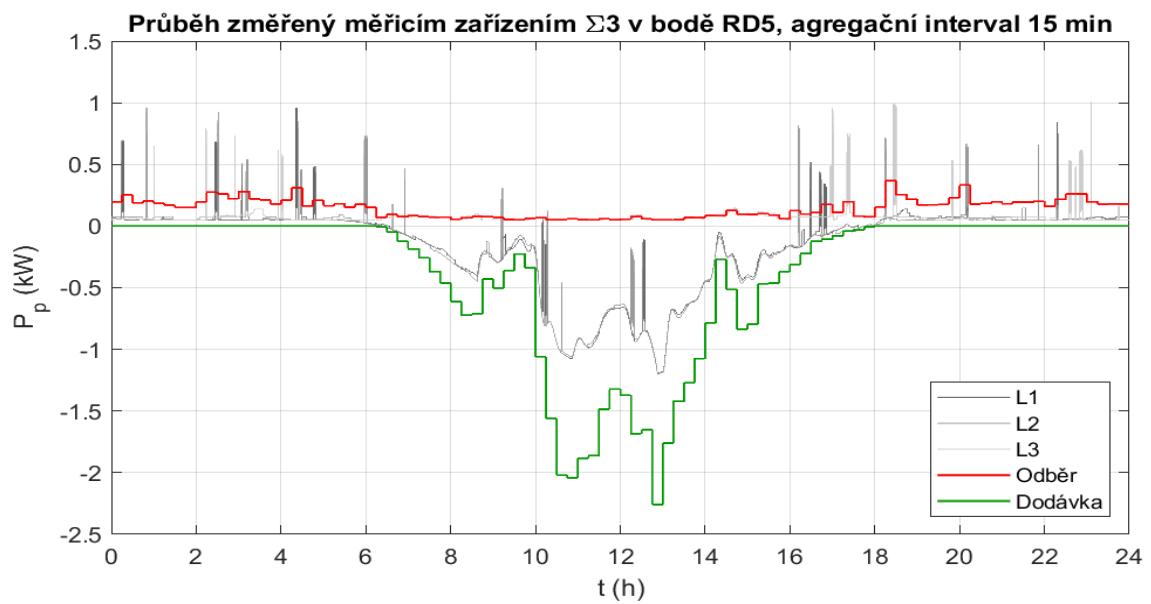
30 a Obrázek 31, Obrázek 32 a Obrázek 33). Tato odběrná místa totiž představují dlouhodobou výraznou fázovou nesymetrii dodávka/odběr, což má ze zjevných důvodů vliv na zpracování pomocí metriky $\Sigma 1/\Sigma 3$.



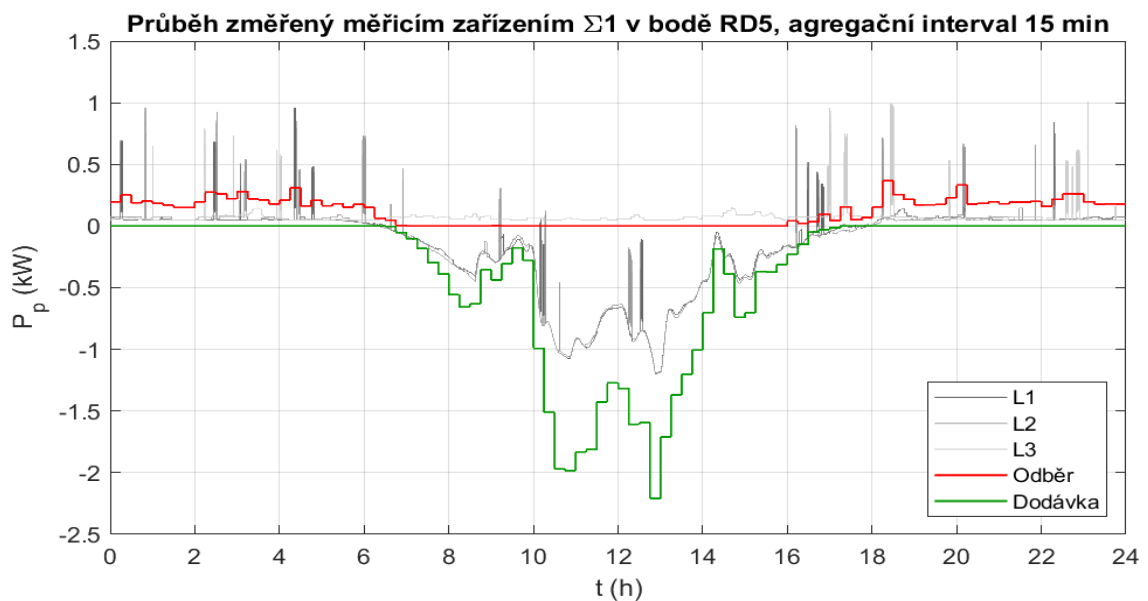
Obrázek 30: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 3$, místo RD4, interval 15 min



Obrázek 31: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 1$, místo RD4, interval 15 min

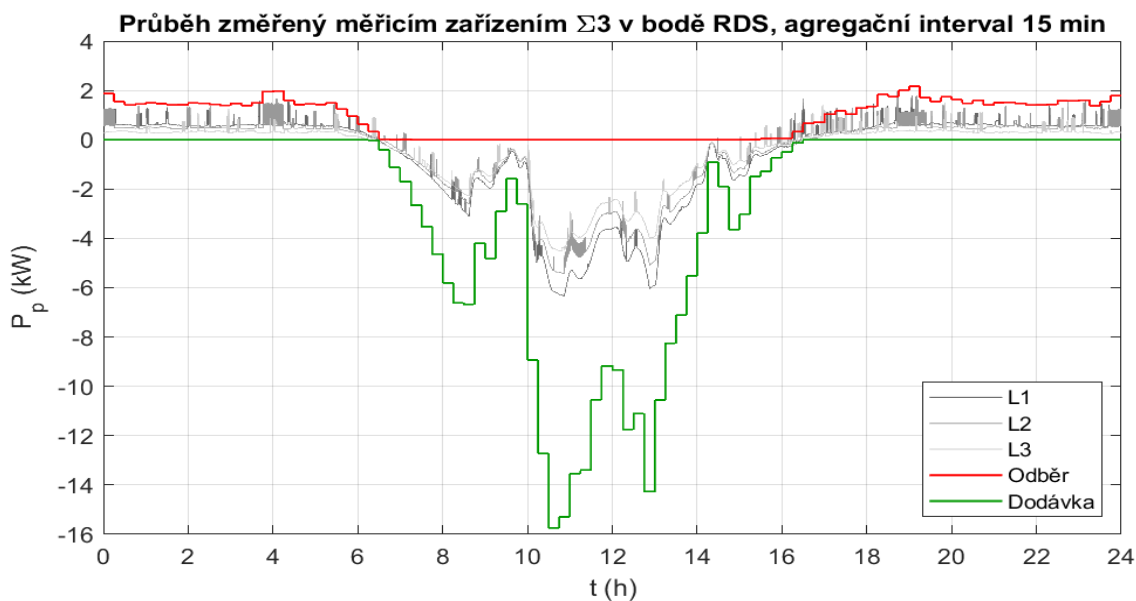


Obrázek 32: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 3$, místo RD5, interval 15 min



Obrázek 33: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 1$, místo RD5, interval 15 min

Rozhraní celého ES je výrazně přebytkové, a to ve všech fázích. Podobně jako při simulaci bytového ES, z hlediska chyby měření způsobené použitým typem metriky, nebo délkou agregačního intervalu jsou kritické přechodné stavy, které se v této simulaci téměř nevyskytují. Proto budou rozdíly ve výsledcích jednotlivými typy metrik velmi malé.



Obrázek 34: Simulace měření denního průběhu metrikou $\Sigma 3$, rozhraní RDS, interval 15 min

Jiný způsob srovnání poskytuje opět vyčíslení energetických toků a rozdělení podle původu energie. To umožňuje mimo jiné srovnání využití společných výrobních kapacit jednotlivými účastníky ES.

Pro srovnání s výsledky, které nabízejí simulovaná měření, lze pomocí dat ze simulace vytvořit tabulku skutečných toků (Tabulka 8). Tato tabulka obsahuje pro srovnání i vlastní spotřebu jednotlivých odběrných míst, která je jinak měřením na výstupu z RD nezjistitelná. Z hlediska ekonomického má tato složka význam ve srovnání úspory vzniklé spotřebiteli pořízením FVE a vstupem do ES.

Tabulka 8: Tabulka skutečných toků různorodého ES, jednodenní simulace

		RD1	RD2	RD3	RD4	RD5	Rozhraní RDS	
E _{skut} (kWh)	Spotřeba	Celková s vlastní spotřebou	10,2234	7,524	6,7276	8,4343	5,2455	38,1548
		Krytá z vlastní výroby	4,6526	0	3,1981	1,8297	1,7967	11,4771
		Zaznamenaná elektroměrem	5,5708	7,524	3,5295	6,6046	3,4488	26,6777
		Krytá z výroby ES	0,1646	3,3916	0,0334	1,9276	0,7544	6,2716
		Krytá z distribuční soustavy	5,4062	4,1324	3,4961	4,677	2,6944	20,4061
	Výroba	Celková s vlastní výrobou	22,111	0	40,8274	4,8462	10,923	78,7076
		Do vlastní spotřeby	4,6526	0	3,1981	1,8297	1,7967	11,4771
		Zaznamenaná elektroměrem	17,4584	0	37,6293	3,0165	9,1263	67,2305
		Do spotřeby ES	1,6484	0	3,6598	0,1481	0,8152	6,2715
		Dodávka do distribuční soust.	15,81	0	33,9695	2,8684	8,3111	60,959
E _{skut} (%)	Spotřeba	Krytá z vlastní výroby	45,5 %	0,0 %	47,5 %	21,7 %	34,3 %	30,1 %
		Krytá z výroby ES	1,6 %	45,1 %	0,5 %	22,9 %	14,4 %	16,4 %
		Krytá z distribuční soustavy	52,9 %	54,9 %	52,0 %	55,5 %	51,4 %	53,5 %
	Výroba	Do vlastní spotřeby	21,0 %	-	7,8 %	37,8 %	16,4 %	14,6 %
		Do spotřeby ES	7,5 %	-	9,0 %	3,1 %	7,5 %	8,0 %
		Dodávka do distribuční soust.	71,5 %	-	83,2 %	59,2 %	76,1 %	77,4 %

Z tabulky je vidět, že v případě RD1 a RD3 představuje spotřeba ze zdrojů ES oproti vlastní spotřebě minoritní množství. Naproti tomu odběrné místo RD2, které nedisponuje výrobnou elektřinou, figuruje v podobě odběru energie vyrobené v rámci ES. V rámci celého ES je většina spotřebované energie dodávána z distribuční soustavy.

Pomocí tabulky je možné srovnat vliv délky agregačního intervalu a použité metriky na rozdělení energie podle původu. V následujících srovnáních není uvažována vlastní spotřeba, jelikož umístění elektroměru v modelu ji neumožňuje měřit. Tabulka (Tabulka 9) ukazuje vliv délky agregačního intervalu na určení původu energie pro metriku $\Sigma 3$. Vliv délky agregačního intervalu je dán dynamikou odběru a délkou přechodných stavů, kdy se rychle střídá dodávka/odběr.

Tabulka 9: Vliv délky agregačního intervalu metriky $\Sigma 3$ na rozdělení energie

			RD1	RD2	RD3	RD4	RD5	Rozhraní RDS
$E_{\Sigma 15 \text{ min}}$ (kWh)	Spotřeba	Celková	5,5708	7,524	3,5295	6,6046	3,4488	26,678
		Krytá z výroby ES	0,1868	3,3646	0,0404	1,9188	0,761	6,2716
		Krytá z distribuční soustavy	5,384	4,1594	3,4891	4,6858	2,6878	20,406
	Výroba	Celková	17,4584	0	37,629	3,0165	9,1264	67,231
		Do spotřeby ES	1,5785	0	3,5483	0,2079	0,937	6,2717
		Dodávka do distribuční soust.	15,8799	0	34,081	2,8086	8,1894	60,959
$E_{\Sigma 5 \text{ min}}$ (kWh)	Spotřeba	Celková	5,5708	7,524	3,5296	6,6046	3,4488	26,678
		Krytá z výroby ES	0,1868	3,3705	0,041	1,916	0,7573	6,2716
		Krytá z distribuční soustavy	5,384	4,1535	3,4886	4,6886	2,6915	20,406
	Výroba	Celková	17,4585	0	37,629	3,0165	9,1264	67,231
		Do spotřeby ES	1,576	0	3,5528	0,2063	0,9365	6,2716
		Dodávka do distribuční soust.	15,8825	0	34,077	2,8102	8,1899	60,959
$E_{\Sigma 1 \text{ min}}$ (kWh)	Spotřeba	Celková	5,5708	7,5239	3,5295	6,6045	3,4488	26,678
		Krytá z výroby ES	0,1846	3,3759	0,0391	1,918	0,754	6,2716
		Krytá z distribuční soustavy	5,3862	4,148	3,4904	4,6865	2,6948	20,406
	Výroba	Celková	17,4585	0	37,629	3,0165	9,1264	67,231
		Do spotřeby ES	1,5744	0	3,5555	0,2057	0,9361	6,2717
		Dodávka do distribuční soust.	15,8841	0	34,074	2,8108	8,1903	60,959

Rozdělení energie je lépe vidět v tabulce (Tabulka 10) zobrazující původ energie procentuálně. Pomocí této tabulky lze např. srovnat míru využití spotřeby ze zdrojů ES jednotlivými odběrnými místy podle charakteru jednotlivých odběrů.

Tabulka 10: Procentní rozdělení původu energie pro různé délky agregačního intervalu, metrika $\Sigma 3$

			RD1	RD2	RD3	RD4	RD5	Rozhraní RDS
$E_{skut} (\%)$	Spotřeba	Krytá z výroby ES	3,0 %	45,1 %	0,9 %	29,2 %	21,9 %	23,5 %
		Krytá z distribuční soustavy	97,0 %	54,9 %	99,1 %	70,8 %	78,1 %	76,5 %
	Výroba	Do spotřeby ES	9,4 %	-	9,7 %	4,9 %	8,9 %	9,3 %
		Dodávka do distribuční soust.	90,6 %	-	90,3 %	95,1 %	91,1 %	90,7 %
$E_{\Sigma 15 \text{ min}} (\%)$	Spotřeba	Krytá z výroby ES	3,4 %	44,7 %	1,1 %	29,1 %	22,1 %	23,5 %
		Krytá z distribuční soustavy	96,6 %	55,3 %	98,9 %	70,9 %	77,9 %	76,5 %
	Výroba	Do spotřeby ES	9,0 %	-	9,4 %	6,9 %	10,3 %	9,3 %
		Dodávka do distribuční soust.	91,0 %	-	90,6 %	93,1 %	89,7 %	90,7 %
$E_{\Sigma 5 \text{ min}} (\%)$	Spotřeba	Krytá z výroby ES	3,4 %	44,8 %	1,2 %	29,0 %	22,0 %	23,5 %
		Krytá z distribuční soustavy	96,6 %	55,2 %	98,8 %	71,0 %	78,0 %	76,5 %
	Výroba	Do spotřeby ES	9,0 %	-	9,4 %	6,8 %	10,3 %	9,3 %
		Dodávka do distribuční soust.	91,0 %	-	90,6 %	93,2 %	89,7 %	90,7 %
$E_{\Sigma 1 \text{ min}} (\%)$	Spotřeba	Krytá z výroby ES	3,3 %	44,9 %	1,1 %	29,0 %	21,9 %	23,5 %
		Krytá z distribuční soustavy	96,7 %	55,1 %	98,9 %	71,0 %	78,1 %	76,5 %
	Výroba	Do spotřeby ES	9,0 %	-	9,4 %	6,8 %	10,3 %	9,3 %
		Dodávka do distribuční soust.	91,0 %	-	90,6 %	93,2 %	89,7 %	90,7 %

Lze vidět, že hodnoty vyčtené z výsledků simulovaného měření se příliš neliší od skutečných toků. V ojedinělých případech, kdy se výrazněji liší (výroba v bodech RD4 a RD5) potom odchylka není prakticky závislá na délce agregačního intervalu, resp. mezi intervalem 15 min a 5 min není téměř nebo vůbec žádný rozdíl. To je dáno tím, že zde, zejména u odběrů s nízkou spotřebou, nedochází k tak dynamickým změnám odběr/dodávka.

Podobnou bilanci je možné udělat s použitím dat ze simulované metriky $\Sigma 1$. Jednotlivá množství změřené energie pomocí je možno vidět v tabulce (Tabulka 11), která umožňuje srovnání se skutečnými toky a metrikou $\Sigma 3$ (Tabulka 8 a Tabulka 9).

Procentní rozdělení, které názorněji ukazuje simulované odchylky vzniklé použitím různých měřicích soustav, znázorňuje tabulka (Tabulka 12).

Tabulka 11: Vliv délky agregačního intervalu metriky ΣI na rozdělení energie

		RD1	RD2	RD3	RD4	RD5	Rozhraní RDS	
$E_{\Sigma I, 15 \text{ min}}$ (kWh)	Spotřeba	Celková	5,4667	7,524	3,482	5,471	2,685	24,63
		Krytá z výroby ES	0,1136	3,344	0,018	0,756	0,064	4,295
		Krytá z distribuční soustavy	5,3531	4,18	3,465	4,715	2,622	20,33
	Výroba	Celková	17,354	0	37,58	1,883	8,363	65,18
		Do spotřeby ES	1,0978	0	2,604	0,06	0,533	4,295
		Dodávka do distribuční soust.	16,257	0	34,98	1,822	7,83	60,89
$E_{\Sigma I, 5 \text{ min}}$ (kWh)	Spotřeba	Celková	5,4667	7,524	3,482	5,471	2,685	24,63
		Krytá z výroby ES	0,1154	3,349	0,019	0,752	0,06	4,295
		Krytá z distribuční soustavy	5,3513	4,175	3,464	4,719	2,625	20,33
	Výroba	Celková	17,354	0	37,58	1,883	8,363	65,18
		Do spotřeby ES	1,0966	0	2,609	0,058	0,531	4,295
		Dodávka do distribuční soust.	16,258	0	34,97	1,824	7,832	60,89
$E_{\Sigma I, 1 \text{ min}}$ (kWh)	Spotřeba	Celková	5,4667	7,524	3,482	5,471	2,685	24,63
		Krytá z výroby ES	0,1151	3,352	0,017	0,755	0,057	4,295
		Krytá z distribuční soustavy	5,3516	4,172	3,466	4,716	2,629	20,33
	Výroba	Celková	17,354	0	37,58	1,883	8,363	65,18
		Do spotřeby ES	1,0953	0	2,612	0,058	0,53	4,295
		Dodávka do distribuční soust.	16,259	0	34,97	1,825	7,833	60,89

Tabulka 12: Procentní rozdělení původu energie pro různé délky agregačního intervalu, metrika ΣI

		RD1	RD2	RD3	RD4	RD5	Celk.	
$E_{\text{skut}} (\%)$	Spotřeba	Krytá z výroby ES	3,0 %	45,1 %	0,9 %	29,2 %	21,9 %	23,5 %
		Krytá z distribuční soustavy	97,0 %	54,9 %	99,1 %	70,8 %	78,1 %	76,5 %
	Výroba	Do spotřeby ES	9,4 %	-	9,7 %	4,9 %	8,9 %	9,3 %
		Dodávka do distribuční soust.	90,6 %	-	90,3 %	95,1 %	91,1 %	90,7 %
$E_{\Sigma I, 15 \text{ min}} (\%)$	Spotřeba	Krytá z výroby ES	2,1 %	44,5 %	0,5 %	13,8 %	2,4 %	17,4 %
		Krytá z distribuční soustavy	97,9 %	55,5 %	99,5 %	86,2 %	97,6 %	82,6 %
	Výroba	Do spotřeby ES	6,3 %	-	6,9 %	3,2 %	6,4 %	6,6 %
		Dodávka do distribuční soust.	93,7 %	-	93,1 %	96,8 %	93,6 %	93,4 %
$E_{\Sigma I, 5 \text{ min}} (\%)$	Spotřeba	Krytá z výroby ES	2,1 %	44,5 %	0,5 %	13,7 %	2,2 %	17,4 %
		Krytá z distribuční soustavy	97,9 %	55,5 %	99,5 %	86,3 %	97,8 %	82,6 %
	Výroba	Do spotřeby ES	6,3 %	-	6,9 %	3,1 %	6,4 %	6,6 %
		Dodávka do distribuční soust.	93,7 %	-	93,1 %	96,9 %	93,6 %	93,4 %

E _{Σ1 1 min} (%)	Spotřeba	Krytá z výroby ES	2,1 %	44,5 %	0,5 %	13,8 %	2,1 %	17,4 %
		Krytá z distribuční soustavy	97,9 %	55,5 %	99,5 %	86,2 %	97,9 %	82,6 %
	Výroba	Do spotřeby ES	6,3 %	-	7,0 %	3,1 %	6,3 %	6,6 %
		Dodávka do distribuční soust.	93,7 %	-	93,0 %	96,9 %	93,7 %	93,4 %

Zde je vidět, že odchylky vzniklé použitím zpracování dat podle $\Sigma 1$ jsou daleko větší než vliv délky agregačního intervalu. V tomto konkrétním případě tedy délka agregačního intervalu nehraje prakticky žádnou roli. Vliv použitého typu metriky ($\Sigma 1/\Sigma 3$) je dán odběrnými místy RD4 a RD5, které charakterem svého uspořádání představují právě princip, na který je tap zpracování dat citlivý. Délka agregačního intervalu by se projevila tehdy, pokud by byla výroba relativně nízká, resp. stačila by pokrývat vlastní spotřebu ES jen zčásti, a zároveň by měl odběr dynamický charakter.

Další optikou, jíž lze na zpracování dat nahlížet je statistické zpracování mnoha běhů simulace. Takovým postupem je možné zjistit např. meze a pravděpodobnostní rozdělení hodnoty sledovaného parametru. Při 100 běhů simulace toků elektřiny ve výše uvedeném uspořádání lze například určit minimální a maximální procentní míru spotřeby odběrného místa RD4 z ES a vlastní výrobu a spotřebu celého různorodého ES. Rozdíly mezi rozsahy změřenými jednotlivými metrikami potom nesou další typ informace, jež vypovídá o rozsahu chyby, která může vlivem použité metriky vzniknout. Tento přístup ilustrují tabulky (*Tabulka 13* a *Tabulka 14*). V tabulce (*Tabulka 14*) je k dispozici pouze porovnání vlivu typu zpracování dat ($\Sigma 1/\Sigma 3$), jelikož délka agregačního intervalu nemá na souhrnnou energetickou bilanci ES vliv.

Tabulka 13: Simulace 100 průběhů, meze procentního podílu spotřeby a výroby v rámci ES, RD4

	Spotřeba z ES		Výroba do ES	
	minimum	maximum	minimum	maximum
E_{skut} (%)	19,89	44,22	1,49	80,65
E _{Σ1 15 min} (%)	2,01	30,53	1,61	8,35
E _{Σ1 5 min} (%)	1,78	30,33	1,52	8,20
E _{Σ1 1 min} (%)	1,80	30,40	1,50	8,11
E _{Σ3 15 min} (%)	16,94	44,35	3,80	55,58
E _{Σ3 5 min} (%)	17,06	44,34	3,75	55,49
E _{Σ3 1 min} (%)	17,08	44,36	3,73	55,57

Tabulka 14: Simulace 100 průběhů, meze procentního podílu vlastní spotřeby a výroby ES

	Vlastní spotřeba ES		Vlastní výroba ES	
	minimum	maximum	minimum	maximum
E_{skut} (%)	14,70	32,00	4,82	61,74
$E_{\Sigma 1}$ (%)	11,16	23,65	2,82	64,24
$E_{\Sigma 3}$ (%)	14,70	32,00	4,82	61,74

Podobně jako v případě bytového ES závisí výsledek simulace silně na zvolených parametrech, přičemž se ale stále jedná o stochasticky modelovaný děj. Pro získání obecných výsledků by bylo třeba provést simulace na mnoha typech ES. Spektrum těchto výsledků by však zřejmě bylo natolik široké, že by získané informace neměly pro konkrétní uspořádání relevanci.

Vliv použitého měřicího systému na vyhodnocení energetických toků má zejména nevyrovnaný charakter diagramů zatížení/dodávky. Jedná se o fázovou nevyrovnanost (vliv zpracování dat $\Sigma 1/\Sigma 3$) a o časovou nevyrovnanost (vliv délky agregačního intervalu).

Důležitým přínosem kteréhokoli účastníka ES, kterému se ale práce nevěnuje, je systém řízení spotřeby. Realizováním spotřeby v době přebytku elektřiny z ES místo v době nedostatku zlepšuje spotřebitel bilanci celého ES, aniž musí nutně poskytovat elektřinu z vlastní výroby.

Z výsledků této simulace tedy nelze učinit jakýkoli obecný závěr ohledně energetických společenství, odběrných místech, nebo fotovoltaických výrobnách. Ambicí výše uvedeného srovnání je zejména představit hlavní problematiku měření a zpracování naměřených dat, které potom může sloužit jako nástroj pro vyhodnocení výhodnosti založení ES, nebo pro ekonomické vyrovnaní účastníků ES. Při použití konkrétní topologie a uvažování konkretizovaného průběhu odběru lze kvantifikovat vliv použitého měřicího systému na odchylku měření a na celkovou bilanci.

5. ZÁVĚR

Výstupem práce jsou teoretické poznatky o problematice energetických společenství, popis postupu tvorby jednotlivých částí modelu toků činné energie v rámci energetického společenství, simulace toků činné energie v bytovém společenství a ve společenství s odběrnými místy s různorodými technickými parametry.

Byly představeny základní poznatky o problematice energetických společenství, včetně předpokladů, požadavků a reálných i očekávaných problematik, čímž nabízí vhled do této komplexní problematiky. Na základě těchto informací byly popsány některé fungující nebo plánované projekty, které se zaštiťují názvem energetické společenství. U žádného z uvažovaných projektů, které vykazovaly rysy lokálního energetického společenství, nebylo pomocí uvedených zdrojů možné dohledat informace o jeho ekonomicko-právní struktuře, ani podrobnosti o jeho technickém provedení.

V rámci tvorby modelu energetického společenství byly popsány a vytvořeny dva modely spotřeby činné energie. První se zakládá na skupině snadno parametrizovatelných skupin spotřebičů a pomocí dat z měření činné energie ve skutečném odběrném místě bylo možné jej upravit, aby byl vhodný pro simulaci toků činné energie. Druhý model byl založen na jednoduché distribuční funkci a byl v rámci verifikace vzhledem ke své přílišné jednoduchosti z dalšího použití vyřazen. Dále byl popsán a vytvořen model fotovoltaické výroby s jedno- nebo vícefázovým střídačem, který simuluje výrobu včetně závislosti na sklonu a natočení panelů a včetně vlivu oblačnosti. Nakonec byl popsán a vytvořen model metriky činné energie, který uvažuje dva způsoby zpracování naměřených dat a umožňuje simulovat záznam měřených hodnot pomocí různých délek agregačního intervalu. Vytvořený model umožňuje realistickou simulaci toků činné energie v libovolném energetickém společenství.

V rámci simulace byla uvažována dvě typová energetická společenství s rozdílnou topologií. Cílem bylo přiblížit možný způsob zpracování naměřených nebo simulovaných dat pro vyhodnocení a představit možné zdroje odchylek od skutečných toků činné energie s použitím příkladů blízkých skutečnosti. První simulované společenství bylo vytvořeno jako model bytového domu se společnou fotovoltaickou výrobnou. Druhé bylo vytvořeno jako různorodé energetické společenství, uvažovalo tedy kromě běžných rodinných domů s fotovoltaickou výrobnou také odběrné místo bez výroby a místa s výrobnou s jedno- a dvoufázovým střídačem.

Obě společenství byla navržena a zpracování výsledků provedeno za účelem představení principu fungování modelu na různých typech situací, nikoli jako prostředek k posuzování energetických společenství, odběrných míst, fotovoltaické výroby, nebo různých topologií.

Hlavním přínosem práce je model umožňující pochopit fungování energetického společenství z hlediska energetických toků, podklad pro tvorbu ekonomického modelu energetického společenství umožňujícího ekonomické posouzení různých způsobů

realizace a soubor poznatků popisujících hlavní ekonomická, právní a zejména technická specifika různých konceptů, která mohou mít v závislosti na okolnostech závažný dopad na výsledný ekonomický, ekologický a energetický efekt energetického společenství.

Vhodný směr pro rozšíření práce je tvorba ekonomického modelu, rozvržení ekonomických vztahů mezi jednotlivými subjekty a způsob rozpočítávání jednotlivých typů nákladů v různých situacích. Dále by bylo vhodné vytvořit modely spotřeby, výroby a metrik založené na komplexnějším popisu elektrických veličin, uvažující pokles napětí a jalový výkon. Vhodná by byla též validace kompletního modelu pomocí změřených hodnot v odběrném místě s výrobou elektřiny s použitím různých typů měřicích zařízení.

LITERATURA

- [1] EVROPSKÁ UNIE. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2019/944 ze dne 5. června 2019 o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou a o změně směrnice 2012/27/EU. 2019. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=cs>
- [2] EVROPSKÁ UNIE. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/2001 ze dne 11. prosince 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů. 2018. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=CS>
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=CS>
- [3] EVROPSKÁ KOMISE. *9 th meeting of the Citizens' Energy Forum: Conclusions*. London, 2017. Dostupné také z: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/conclusions.pdf>
- [4] Regulatory Aspects of SelfConsumption and Energy Communities: CEER Report. Council of European Energy Regulators: CEER [online]. 2021, 2019-6-25 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/8ee38e61-a802-bd6f-db27-4fb61aa6eb6a>
<https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/8ee38e61-a802-bd6f-db27-4fb61aa6eb6a>
- [5] Caramizaru, A. and Uihlein, A., Energy communities: an overview of energy and social innovation, EUR 30083 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-10713-2, doi:10.2760/180576, JRC119433
- [6] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). 2000. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458#>
- [7] ČEZ Distribuce, a.s. *Pravidla provozování distribučních soustav. ČEZ Distribuce* [online]. 2016 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/ppds/ppds_2016.pdf
- [8] EG.D, a.s. *Pravidla provozování distribučních soustav. EG.D* [online]. 2016 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z: <https://www.egd.cz/sites/default/files/2019-01/Pravidla%20provozov%C3%A1n%C3%AD%20distribu%C4%8Dn%C3%AD%20soustavy%20E.ON%20Distribuce%2C%20a.s.%20E2%80%93%2005%202016%20%282%29.pdf>
- [9] PRE, a.s. *Pravidla provozování distribučních soustav. PRE* [online]. 2016 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z: https://www.predistribuce.cz/Files/legislativa/ppds_2016/

- [10] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 359/2020 Sb., Vyhláška o měření elektriny*. 2020. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-359/zneni-20210101#p22_p22-1-1
- [11] KECSKES, Štefan. *Energeticky úsporné spotřebiče* [online]. Praha, 2017 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/70038>. Bakalářská práce. ČVUT.
- [12] PRŮCHA, Stanislav. *Programování energetických procesů využitelných pro energetické simulátory* [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/1982/1/SP_prace_final.pdf. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [13] MARTÍNEK, Jakub. *Potenciál systému řízení spotřeby v distribuční síti PRE* [online]. Praha, 2017 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/68483>. Diplomová práce. ČVUT.
- [14] RODIONOV, Vladislav. *Podpora distribuční soustavy řízením výkonu bateriových systémů a nabíjecích systémů pro elektromobily*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134914>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Jiří Drápela.
- [15] *REScoop* [online]. 2021 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.rescoop.eu/eu-projects>
- [16] *COME-RES: Advancing Renewable Energy Communities* [online]. 2020 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://come-res.eu/related-projects>
- [17] *Energy Communities in Europe* [online]. 2020 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://enercommunities.eu/projects/>
- [18] *Větrné podmínky ve výšce 10 m: Podmínky pro malé větrné elektrárny. Ústav fyziky atmosféry AV ČR* [online]. Praha, 2016 [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>
- [19] *Optické úkazy v atmosféře* [online]. 2021 [cit. 2021-12-18]. Dostupné z: <http://ukazy.astro.cz/halo-vyska-slunce.php>
- [20] *Roční zpráva o provozu ES ČR pro rok 2020. Energetický regulační úřad* [online]. Jihlava, 2021 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/6616306/Rocni_zprava_provoz_ES_2020.pdf/edc0cb03-700a-43a7-8c08-a1ccb3f2d173https://www.eru.cz/documents/10540/6616306/Rocni_zprava_provoz_ES_2020.pdf/edc0cb03-700a-43a7-8c08-a1ccb3f2d173
- [21] HAVLÍK, Josef. *Návrh lokální distribuční sítě*. Praha, 2014. Diplomová práce. ČVUT.

- [22] SIUDEK, Alexandra a Anna M. KLEPACKA. ENERGY CLUSTERS IN POLAND: A THEORETICAL APPROACH. *ANNALS PAAAE* [online]. Warsaw, Poland: Warsaw University of Life Sciences – SGGW, 2020, 2020-12-22, **2020**(XXII, 4) [cit. 2021-11-17]. ISSN 2657-7828. Dostupné z: doi:10.5604/01.3001.0014.5767
- [23] Případová studie: Chytré bytové domy se společnou fotovoltaikou a akumulátory. *Frank Bold Advokáti* [online]. 2019-1-10 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.fbadvokati.cz/cs/clanky/2407-pripadova-studie-chytre-bytove-domy-se-spolecnou-fotovoltaikou-a-akumulatory>
- [24] Energetika Malenovice, a.s. *Pravidla provozování lokální distribuční soustavy*. Zlín, 2015. Dostupné také z: https://www.eru.cz/documents/10540/462808/PPLDS_Energetika_Malenovice.pdf/fbe6f488-cbbe-4cac-8bb2-a1399d286e10
- [25] ŘEHÁK, Daniel. *Lokální distribuční sítě v podmínkách české energetiky* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/136294/REH0076_FEI_N2649_3907T001_2019.pdf?sequence=1. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [26] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [27] BUCHHOLZ, Bernd Michael a Zbigniew A. STYCZYNSKI. *Smart Grids: fundamentals and technologies in electric power systems of the future*. Second edition. Berlin: Springer-Verlag, [2020]. ISBN 978-3-662-60929-3.
- [28] PADIYAR, K. R. a Anil M. KULKARNI. *Dynamics and control of electric transmission and microgrids*. Hoboken, NJ: John Wiley, 2019. ISBN 978-1-119-17338-0.
- [29] MAYFIELD, Ryan. *Photovoltaic design & installation*. Hoboken: John Wiley, 2019. For dummies. ISBN 978-1-119-54435-7.
- [30] ŠEVČÍK, Prokop. Smart metering data analytics [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-31]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133368>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Jiří Drápela
- [31] VOLLMER, Johannes. *Selection of existing organisational and legal forms and business models from across Europe*. 2020. Dostupné také z: <https://come-res.eu/resource?t=Portuguese%20Stakeholder%20Desk%20Kick%20Off%20Meeting%20Presentations>

- [32] DIAO, Longquan, Yongjun SUN, Zejun CHEN a Jiayu CHEN. (2017). Modeling energy consumption in residential buildings: A bottom-up analysis based on occupant behavior pattern clustering and stochastic simulation. *Energy and Buildings*. 147. 10.1016/j.enbuild.2017.04.072.
- [33] MALLOR, Fermín, José A. MOLER a Henar URMENETA. Simulation of household electricity consumption by using functional data analysis. *Journal of Simulation* [online]. 2017, **12**(4), 1-12 [cit. 2021-12-17]. ISSN 1747-7778. Dostupné z: doi:10.1057/s41273-017-0052-2
- [34] SMY 133. *KMB systems* [online]. 2021 [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.kmb.cz/produkty/kvalitometry-tridy-s/smy-133>
- [35] Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů. *TZB-info* [online]. [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [36] DRÁPELA, Jiří. Měření elektrické energie statickými elektroměry v podmínkách aktivních distribučních soustav: Electricity metering by means of static revenue meters deployed in active distribution systems : teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení v oboru Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2020. ISBN 978-80-214-5900-7.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

ČR	Česká republika
EU	Evropská Unie
ES	Energetické společenství
ERÚ	Energetický regulační úřad
FVE	Fotovoltaická elektrárna
FV	Fotovoltaický
LDS	Lokální distribuční soustava
RDS	Regionální distribuční soustava
RD	Rodinný dům
OZE	Obnovitelné zdroje energie
TDD	Typový denní diagram

Symboly:

E	činná energie	(kWh)
P	činný výkon	(W)
t	čas	(s, min, h)
φ	fázový úhel	(°)
S	plocha	(m ²)
-	vztažný výkon na plochu	(W/m ²)
p_{vzt}	vztažný výkon	(-)
α	úhel sklonu	(°)
β	úhel natočení	(°)
Φ	míra propustnosti atmosféry pro světlo	(-)
δ	relativní chyba	(-, %)
λ	parametr exponenciálního rozložení	(-)
k, k_N, k_T	koeficient normalizace rozdělení	(-)
f_{TDD}	funkce představující typový denní diagram	(-)
T_{osvit}	doba slunečního svitu	(h)
η_a, η_β	účinnost panelu	(-)
k_{vs}	koeficient využití střechy	(-)

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - GRAFY SIMULOVANÝCH PRŮBĚHŮ	74
PŘÍLOHA B - ZDROJOVÝ KÓD MODELU V PROSTŘEDÍ MATLAB	74

Příloha A - Grafy simulovaných průběhů

Grafy jsou uloženy v příloženém adresáři

Příloha B - Zdrojový kód modelu v prostředí Matlab

Zdrojový kód je uložen v příloženém adresáři