



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

ANALÝZA VYUŽITÍ POKROČILÝCH NÁSTROJŮ V BUDOUCÍ PODOBĚ TRŽNÍHO SEGMENTU ELEKTROENERGETIKY

ANALYSIS OF THE USE OF ADVANCED TOOLS IN THE FUTURE FORM OF THE ELECTRICITY MARKET
SEGMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Martin Štefek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

BRNO 2021

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Martin Štefek

ID: 191633

Ročník: 2

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Analýza využití pokročilých nástrojů v budoucí podobě tržního segmentu elektroenergetiky

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou decentralizace výroby elektrické energie a jejího vlivu na technické vlastnosti provozu sítí a na legislativní vztahy mezi výrobou a spotřebou elektrické energie.
2. Představte nové (budoucí) faktory ovlivňující trh s energiemi (např. prosumers, agregátor, flexibilita atp.)
3. Prozkoumejte a popište technologii blockchainu s důrazem na možnosti jejího využití v budoucí podobě obchodování s energiemi. Zhodnoťte i mezinárodní zkušenosti s osvojováním blockchainu.
4. Provedené analýzy vyhodnoťte a stanovte závěry, jak uvedené technologie ovlivní konvenční nastavení obchodování s energiemi.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího diplomové práce

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

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

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Diplomová práce představuje problematiku decentralizace výroby elektřiny v kontextu budoucí podoby tržního segmentu elektroenergetiky. Předmětem práce je představení nových trendů jako je flexibilita, prosumeři, agregátor a energetická společenství. Dále je popsána technologie blockchain a její využití v budoucí podobě obchodování s energiemi.

Klíčová slova

distribuovaná výroba, prosumer, agregátor, flexibilita, energetická společenství, blockchain, peer-to-peer, Piclo Flex, INTERFLEX, FLEXDER, Elecbay, VLUX, RENEW Nexus

Abstract

The diploma thesis introduces distributed generation in context of future state of electricity markets. The subject of the thesis is to introduce new trends in electricity markets, such as flexibility, prosumers, aggregator and energy communities. Moreover, the thesis describes blockchain technology and its utilization in future state of electricity markets.

Keywords

distributed generation, prosumer, aggregator, flexibility, energy communities, blockchain, peer-to-peer, Piclo Flex, INTERFLEX, FLEXDER, Elecbay, VLUX, RENEW Nexus

Bibliografická citace:

ŠTEFEK, Martin. Analýza využití pokročilých nástrojů v budoucí podobě tržního segmentu elektroenergetiky: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2021. 88 s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Analýza využití pokročilých nástrojů v budoucí podobě tržního segmentu elektroenergetiky jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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:

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Lukáši Radilovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Vladimíru Vajnarovi Ph.D. za spolupráci s Energetickým regulačním úřadem, odbornou pomoc a cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne:

.....

podpis autora

Obsah

1.	Úvod.....	13
2.	Cíle práce	14
3.	Decentralizace a legislativa dnes	15
3.1	Podmínky připojování zdrojů do DS.....	15
4.	Obchod s elektřinou	18
4.1.1	Trh s dlouhodobými produkty	20
4.1.2	Krátkodobé trhy	20
4.1.3	Regulační energie	21
4.2	PXE	22
5.	Nové trendy v energetice	23
5.1	Prosumer (samospotřebitel)	23
5.2	Flexibilita	24
5.2.1	INTERFLEX.....	25
5.2.2	Piclo Flex	26
5.3	Flexibilita v České republice.....	34
5.3.1	FLEXDER	36
5.4	Agregátor.....	39
5.4.1	Agregátor na českém trhu	40
5.5	Energetická společenství.....	42
6.	Blockchain v energetice	45
6.1	Úvod k technologii blockchain	45
6.1.1	Problémy technologie blockchain.....	46
6.2	Využití blockchainu v energetice.....	49
6.3	PEER-2-PEER electricity trading	52
7.	Představení pilotních projektů.....	56
7.1	Elecbay	56
7.1.1	Peer-to-peer trading platforma.....	57
7.1.2	Případová studie.....	59
7.1.3	Zhodnocení	66
7.2	Výzkumný projekt univerzity v Pise.....	68
7.2.1	Zhodnocení	77

7.3	RENeW Nexus	79
7.4	VLUX.....	80
8.	Závěrečné shrnutí	81

Seznam symbolů a zkratek

Symbol	Název	Jednotka
P	činný výkon	(W)
Q	jalový výkon	(Var)
U	napětí	(V)

Zkratka	Název
aFRR	Automatic Frequency Restoration Reserves
AIB	Association of Issuing Bodies
AMM	Automated Meter Management
AP	Analytická perioda
CE4ALL	Clean Energy for All Europeans
CEC	Citizen Energy Communities
ČR	Česká republika
DS	Distribuční síť
EEK	Electricity Exchange Period
ES	Elektrická síť
ESO	Electricity System Operator
EU	Evropská unie
EWT	Energy Web Token
FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
GDPR	General Data Protection Regulation
HDO	Hromadné dálkové ovládání
IMD	Electricity Market Directive
NEMO	Nominovaný organizátor trhu
NN	Nízké napětí
NY	New York
OES	Občanská energetická společenství
OTE	Operátor trhu s elektřinou
OZE	Obnovitelné zdroje energie
P2P	Peer to Peer
PCR	Price Coupling of Regions
PDS	Provozovatel distribuční sítě
PPDS	Pravidla provozování distribuční sítě
PpS	Podpůrné služby
PXE	Power Exchange Central Europe, a. s.
REC	Renewable Energy Communities
RfG	Requirements for Generators
RÚT	Registrovaní účastníci trhu
SEDA	Sustainable Energy Development Authority
SIDC	Propojení trhů s elektřinou

TNB	Tenaga Nasional Berhad
UCL	London's Global University
UK	United Kingdom
UKPN	UK Power Networks
USA	United States of America
VB	Velká Británie
VM	Výrobní modul
VN	Vysoké napětí
VUT	Vysoké učení technické v Brně
VVN	Velmi vysoké napětí

Seznam obrázků

Obr. 4.1 Historické milníky OTE [5].....	18
Obr. 5.1 Přehled účastníků programu InterFlex [15].....	25
Obr. 5.2 Obl. s požadavkem na flexibilitu publikovanou PDS [22].....	28
Obr. 5.3 Důvody požadavku flexibility [22].....	28
Obr. 5.4 Typy poskytovatelů flexibility (25. 6. 2019) [23]	29
Obr. 5.5 Počet a kapacita poskytovatelů flexibility dle typu (12. 6. 2019) [23].....	30
Obr. 5.6 Flexibilní kapacita porovnaná s počtem aktiv (12. 6. 2019) [23].....	30
Obr. 5.7 Status aktiv podle kapacity (12. 6. 2019) [23].....	31
Obr. 5.8 Ziskovost oblastí zveřejněných UKPN [22].....	32
Obr. 5.9 Požadavky na flexibilitu [22]	32
Obr. 5.10 Požadavky PDS na flexibilitu v platformě Piclo Flex [23]	33
Obr. 5.11 Časový harmonogram přípravy a zavedení systému AMM [39]	35
Obr. 5.12 Ochota spotřebitelů k přesunu spotřeby [39], [36].....	35
Obr. 5.13 Projekce instalovaného výkonu vybraných technologií 2030 a 2040 [38]36	
Obr. 5.14 Potenciál flexibility léto 2030, střední scénář [38].....	37
Obr. 5.15 Potenciál flexibility zima 2030, střední scénář[38]	37
Obr. 5.16 Nejvyšší scénář potenciálu flexibility, prac. den 19:00, zima, 2040 [38]	38
Obr. 5.17 Agregátorem poskytované produkty [1].....	40
Obr. 5.18 Služby poskytované energetickými komunitami [21]	43
Obr. 6.1 Obsah jednotlivých bloků [8]	46
Obr. 6.2 Rozložení pilotních projektů dle země [7].....	50
Obr. 6.3 Rozdělení projektů dle využití technologie blockchain [7].....	50
Obr. 6.4 Rozdělení projektů dle zabezpečení [7].....	51
Obr. 6.5 Trading model využívající prostředníka [14]	52
Obr. 6.6 P2P trading model [14].....	53
Obr. 6.7 Demontrace P2P trading modelu mimo lokální komunity [14].....	53
Obr. 6.8 Koncept P2P trading modelu v Malajsii [14]	54
Obr. 6.9 Užití P2P modelu komunitní sítě v napojení na DS [14]	55
Obr. 7.1 Čtyřvrstvá architektura P2P trading modelu [17].....	57
Obr. 7.2 Vztahy mezi účastníky P2P trading modelu [17]	58

Obr. 7.3 Zpracování objednávky [17].....	59
Obr. 7.4 Kategorie energetických zřízení [17].....	60
Obr. 7.5 Mikro síť [17]	61
Obr. 7.6 Výroba elektřiny FV instalace a neflexibilní odběr [17].....	62
Obr. 7.7 Neflexibilní odběr v mikro síti [17].....	63
Obr. 7.8 Spínání flexibilní spotřeby peeru 1 a 2 [17]	63
Obr. 7.9 Spotřeba elektřiny peeru 1 a 2 bez a s P2P tradingu [17].....	63
Obr. 7.10 Zatížení mikro sítě [17]	64
Obr. 7.11 Výroba elektřin DG pro 2. scénář [17].....	64
Obr. 7.12 Souhrnné údaje o zatížení pro 2. scénář [17].....	65
Obr. 7.13 Navržená architektura lokálního P2P trhu s elektřinou [19]	68
Obr. 7.14 Aukce při přebytku elektřiny [19]	70
Obr. 7.15 Aukce při nedostatku elektřiny [19]	70
Obr. 7.16 Úkony umožňující implementaci navrhovaného tržního prostředí [19]... 72	72
Obr. 7.17 Časová sekvence úkonů blockchainu během publikace aukce [19].....	73
Obr. 7.18 Časová sekvence úkonů blockchainu během publikace nabídky [19].....	73
Obr. 7.19 Časová sekvence úkonů blockchainu během schvalování PDS [19]	74
Obr. 7.20 Quasi real time vnitrodenní trh [19]	75
Obr. 7.21 Schéma laboratorního přípravku [19].....	76
Obr. 7.22 Schéma platformy VLUX [29]	80
Obr. 8.1 Vztahy mezi účastníky trhu	84

Seznam tabulek

Tab. 3-1 Výkonové kategorie výrobních modulů [2]	16
Tab. 3-2 Souhrnný přehled požadavků RfG na výrobní moduly [2]	17
Tab. 5-1 Přehled požadované a nabízené flexibility [22]	31
Tab. 5-2 Možné modely fungování agregátora v podmínkách ČR [1]	41
Tab. 7-1 Vstupní hodnoty peeru 1 a 2 [17]	62
Tab. 7-2 Porovnání zatížení mikro sítě bez a s P2P tradingu [17]	64
Tab. 7-3 Vstupní hodnoty pro 2. scénář [17]	65
Tab. 7-4 Výsledky druhého scénáře [17]	66
Tab. 7-5 Náklady na transakci v € při užití Etherea [19]	76
Tab. 7-6 Náklady na transakci v € při využití EWT [19]	76
Tab. 7-7 P2P tarifní ceny elektřiny [20]	79

1. ÚVOD

V současné době je v rámci elektroenergetiky vyvíjena snaha o vyšší liberalizaci trhu s elektřinou, decentralizaci výroby elektřiny, vyšší digitalizaci a automatizaci chodu sítě. Tento trend je mnohdy zmiňován pod hesly decentralizace, digitalizace, dekarbonizace a demokratizace elektroenergetiky. Uvedený vývoj lze sledovat po celém světě a je podporován politikou jednotlivých států, regulačními úřady i samotnými provozovateli distribučních a přenosových sítí. Výsledkem této snahy je rozvoj decentralních obnovitelných zdrojů a vznik výzkumných pilotních projektů rozvíjejících využití nových příležitostí, které byly umožněny novými technologiemi. Daný přístup reflektuje i státní energetická koncepce ministerstva průmyslu a obchodu České republiky z roku 2015, která definuje strategické priority energetické politiky ČR [25].

Vyšší počet malých zdrojů v síti vede k vyšší liberalizaci trhu s elektřinou, zvýšenému konkurenčnímu prostředí a představuje výzvu pro nová technická řešení připojení těchto zdrojů do elektrické sítě spolu s novými legislativními požadavky na obchod s elektřinou. Decentralizace zdrojů s sebou přináší nové možnosti obchodu s elektřinou, které by v centralizované energetice s malým množstvím velkých zdrojů nebyly možné.

Liberalizované prostředí umožnilo spolu s vyšší technickou vyspělostí vstup nových účastníků na trhu s elektřinou. Těmi to účastníky jsou samospotřebitelé (dále nazýváni prosumeři) a agregátoři (obchodníci s flexibilitou) a občanská energetická společenství. Nově vzniklá situace na trhu s elektřinou může zpřístupnit vyšší zapojení malých účastníků trhu, kteří mohou na velkoobchodním trhu nabízet svou flexibilitu skrze propojení do „virtuálních elektráren“ agregátory. Zapojení poskytovatelů flexibility a agregátorů je v rámci této diplomové práce popsáno na základě dat z různých pilotních projektů a studií.

Další oblastí zájmu této diplomové práce je využití technologie blockchain v budoucí podobě obchodování s energiemi a představení mezinárodních zkušeností s osvojováním blockchainu. Využití blockchainu je v rámci práce vysvětleno na několika transparentních pilotních projektech univerzit spolu s reálnými aplikacemi v distribuční síti.

Tato práce se z části odkazuje na evropskou legislativu podporující vznik lokálních energetických společenství, které blíže souvisí se zapojením flexibility, agregátorů, blockchainu a celkovou dekarbonizací energetického průmyslu.

2. CÍLE PRÁCE

Cílem práce je představit a uvést příklady nových trendů a budoucích příležitostí při obchodování s elektřinou v kontextu rozvoje decentralní výroby elektřiny. Tato práce představuje nové subjekty trhu s elektřinou jako je prosumer, agregátor a občanská energetická společenství. V práci je popsána účast nových subjektů na trhu s elektřinou. Dále je přiblíženo jejich využití a potenciál do budoucna, provozní a právní aspekty působení těchto subjektů. Cesta k cíli vede přes následující vymezení/body:

- a) Nejprve je v kapitolách 3 a 4 definován současný stav decentralní výroby a tržní prostředí obchodu s elektřinou.
- b) Následně jsou v kapitole 5 obecně prozkoumány nové trendy. V této části jsou představeni noví účastníci trhu s elektřinou jako je prosumer, agregátor a občanská energetická společenství. Dále je v kapitolách 6 a 7 výhledově zpracováno využití technologie blockchain v energetice.
- c) V této části jsou jednotlivé obecné definice nových účastníků trhu uvedeny v kontextu reálného tržního prostředí skrze pilotní projekty.
- d) V závěrečném shrnutí jsou předchozí body propojeny v celkovém kontextu.

3. DECENTRALIZACE A LEGISLATIVA DNES

Decentralizace výroby elektrické energie je v současné době velkým tématem a představuje přerod staré energetiky, která byla postavena na velkých centrálních zdrojích elektřiny připojených do přenosové soustavy České republiky (ČR). Koncepti velkých zdrojů elektřiny zapojených do přenosové soustavy ČR odpovídá i technické řešení celé elektrizační soustavy, která byla navržena na výkonový tok od vyšších napěťových hladin k nižším. Decentralizace výroby znamená vnášení rozptýlených zdrojů do distribuční sítě na napěťové hladiny VN a NN. To klade zvýšené technické nároky na provozovatele distribuční sítě, který se musí nově vypořádat s proměnlivými výkonovými toky na napěťové hladině VN.

„Za centrální zdroje elektřiny jsou považovány zdroje připojené do přenosové soustavy (sítě o napěťových hladinách 400 kV, 220 kV) a do sítí o napěťové hladině 110 kV“ [3]. Tyto zdroje jsou zastoupeny například velkými uhelnými a jadernými elektrárnami.

“Za decentrální zdroje elektřiny jsou považovány veškeré zdroje připojené do sítí vysokého napětí (VN) a nízkého napětí (NN)” [3]. Na základě předchozí citace lze vytvořit definici decentrálního zdroje elektřiny na základě pravidel provozování distribuční sítě (PPDS). Dle současných pravidel PPDS může být decentrální výroba elektřiny definována jako výrobní modul do výkonu 75 MW s místem předání na napěťové hladině VN a NN (na napěťovou hladinu nižší, než je 110kV). Tyto zdroje elektřiny spadají do kategorií výrobních modulů A1, A2, B1, B2 a C. viz. [2]. Jednotlivé podmínky pro připojení výrobních modulů jsou definovány v pravidlech provozování distribučních soustav – příloze 4 (pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulacních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy). Výťah z předem uvedeného dokumentu věnující se připojení decentrální výroby do distribuční sítě je představen v následující kapitole 3.1.

Decentrální výroba je obvykle spojována s obnovitelnými zdroje elektřiny (OZE), jako jsou fotovoltaické elektrárny, větrné elektrárny, malé vodní elektrárny a elektrárny spalující biomasu či bioplyn. Mezi méně uváděné decentrální zdroje patří kogenerační jednotky na fosilní a druhotné zdroje (paroplynové elektrárny na zemní plyn), spalovny odpadu a topného oleje a mikrokogenerační jednotky [1]. Za decentrálním zdroje mohou být považovány i výroby elektřiny nacházející se v místě spotřeby, jako jsou například závodní elektrárny [3].

3.1 Podmínky připojování zdrojů do DS

Podmínky pro připojení zdrojů do elektrických sítí schvaluje Energetický regulační úřad (ERÚ) v dokumentu Pravidla provozování distribučních soustav (PPDS), příloze č. 4: Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulacních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy. Tato kapitola shrnuje požadavky na výrobní moduly distribuované výroby převzaté z literatury [2].

„Zajištění bezpečného a spolehlivého provozu jak za normálního provozu, tak i při přechodových jevech v **ES ČR**, vyžaduje sjednocení technických parametrů i požadavků na chování výroben. K tomu slouží NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2016/631 - **RfG**, které podle jmenovitých činných výkonů PnE výrobních modulů definuje následující kategorie výrobních modulů třídy A až D s tím, že příslušný PPS může stanovit odlišné mezní výkony, které však nesmějí být vyšší, než uvádí **RfG**.“ [2]

Následující Tab. 3-1 zobrazuje rozdělení kategorií výrobních modulů spolu s výkonovým rozmezím a požadavky na připojení výrobních modulů.

Tab. 3-1 Výkonové kategorie výrobních modulů [2]

Kategorie výrobního modulu	Limit	Podkat.	Hranice PDS	Nejvýznamnější požadavky
A	800 W	A1	≥ 800 W; ≤ 11 kW	podle čl. 13 pro výrobní moduly A
Strana 10 PŘÍLOHA 4 PPDS: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY, 2018				
		A2	> 11 kW; < 100 kW	podle čl. 13 pro výrobní moduly A a čl. 14.2, 14.3, 14.4, 14.5 pro výrobní moduly B a čl. 20 pro nesynchronní výrobní moduly kategorie B
B	1 MW	B1	≥ 100 kW; < 1 MW	podle čl. 14 pro výrobní moduly B, čl. 17 pro synchronní výrobní moduly B a čl. 20 pro nesynchronní výrobní moduly kategorie B
		B2	≥ 1 MW; < 30 MW	podle čl. 14 pro výrobní moduly B, čl. 17 pro synchronní výrobní moduly B a čl. 15.2, 15.3, 15.4, 15.5a, 15.5b, 15.5c, 15.6a, 15.6b, 15.6c pro výrobní moduly C, podle čl. 18 pro synchronní výrobní moduly C a podle čl. 21 pro nesynchronní výrobní moduly kategorie C
C	50 MW	C	≥ 30 MW < 75 MW	podle čl. 15, čl. 18 a čl. 21
D	75 MW	D	≥ 75 MW	podle čl. 16, čl. 19 a čl. 22

„Podle velikosti výkonu jednotlivých **VM** jsou posuzovány synchronní moduly, jako jsou parní, vodní, plynové, kogenerační, bioplynové a větrné elektrárny, se synchronními generátory bez výkonové elektroniky na výstupu.

Podle celkového výkonu **VM** výroby jsou posuzovány nesynchronní výrobní moduly, jako jsou fotovoltaické elektrárny, fotovoltaické elektrárny s akumulací a elektrické akumulační systémy s výkonovou elektronikou na výstupu, vodní a větrné elektrárny s asynchronními generátory, kogenerační a bioplynové elektrárny s asynchronními generátory nebo výkonovou elektronikou na výstupu.

Výkonové kategorie uvedené v tabulce nemají přímou vazbu na napětovou úroveň přípojného bodu výroby do **DS**. Pro napětí v místě připojení platí podle **RfG** čl. 5, že u kategorie **VM A až C** je napětí v místě připojení nižší, než 110 kV, u kategorie **D** je napětí v místě připojení 110 kV nebo vyšší.“ [2]

Pomocí předchozího odstavce (viz. kapitola 3) může být distribuovaná výroba definována jako výrobní modul spadající do kategorie A, B nebo C za předpokladu, že je

daný výrobní modul připojen do distribuční sítě o hladině napětí NN a VN (méně než 110kV).

„Minimální výkon, od kterého je nutné připojení k síti **vn** nebo 110 kV a maximální výkon, do kterého je možné připojení do sítě **nn**, resp. **vn** závisí na druhu a způsobu provozu výrobní, stejně jako na síťových poměrech **DS**. Síťové poměry se vztahují k příslušné části **DS** ne k **PDS**. Do sítě **nn** jsou zpravidla připojovány výrobní do 800 W a **VM** kategorie **A1** a **A2** (**VM** kategorie **A2** výjimečně do sítě **vn**), do sítě **vn** **VM** kategorie **B1** a **B2** a **C** (do sítě **nn** výjimečně kategorie **B1**), do sítě 110 kV výrobní moduly kategorie **D** zpravidla o výkonu nad 10 MW a výjimečně i nižší.

Podmínky pro připojení z hlediska vlivu na kvalitu elektřiny jsou v části 10 a 11 této Přílohy 4 **PPDS**.

U výroben připojovaných do sítě **nn** je při jednofázovém připojení omezen jejich výkon v jednom přípojném bodě na 3,7 kVA/fázi, přičemž nesymetrie u fázových vodičů nesmí za normálního provozního stavu překročit 3,7 kVA.“ [2]

Následující Tab. 3-2 je souhrnným přehledem jednotlivých požadavků v člancích RfG uvádí pro jednotlivé typy výrobních modulů (VM).

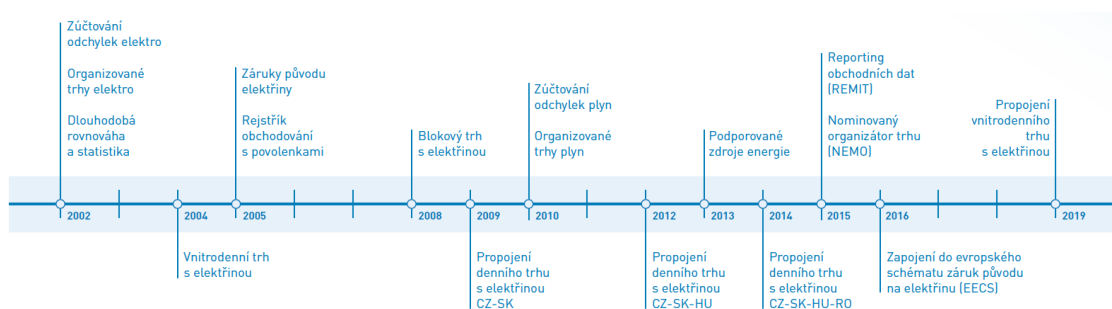
Tab. 3-2 Souhrnný přehled požadavků RfG na výrobní moduly [2]

Článek: RfG	Požadavky RfG	Typ výrobního modulu					
		A1	A2	B1	B2	C	D
13.1a	Frekvenční rozsahy a časové limity pro VM	X	X	X	X	X	X
13.1b	Hodnota rychlosti změny frekvence (RoCoF)	X	X	X	X	X	X
13.6	Logické rozhraní pro přerušení dodávky činného výkonu	X	X	X	X		
13.7	Podmínky pro automatické připojení k soustavě	X	X	X	X	X	
14.2	Rozhraní pro snížení činného výkonu		X	X			
14.5d	Komunikace a výměna informací		X	X	X	X	X
15.2a,b	Regulovatelnost činného výkonu			X	X	X	X
15.2g	Komunikace a výměna informací o režimu FSM					X	X
15.5a	Schopnost startu ze tmy				X	X	X
15.5b	Schopnost ostrovního provozu					X	X
15.5c	Rychlé opětovné přifázování					X	X
15.6a	Kritéria pro detekci ztráty úhlové stability nebo ztráty regulace					X	X
15.6b	Přístrojové vybavení			X	X	X	X
15.6c	Simulační modely				X	X	X
15.6e	Minimální a maximální limity rychlosti změn činného výkonu				X	X	X
16.2b	Doby připojení VM k soustavě v případě přepětí a podpětí						X
16.2c	Automatické odpojení na základě hodnoty napětí						X
16.4	Nastavení synchronizačních zařízení						X
17.2a	Dodávka jalového výkonu			X			
18.2	Dodávka jalového výkonu				X	X	X
20.2a	Dodávka jalového výkonu u nesynchronních VM		X	X			
20.2b,c	Rychlý poruchový proud v případě poruchy			X	X	X	X
21.3b,c	Dodávka jalového výkonu				X	X	X
21.3d	Režimy regulace jalového výkonu				X	X	X

Z hlediska využitelnosti výrobního modulu pro trh s elektřinou je významný především požadavek 15.2 a, b (regulovatelnost činného výkonu).

4. OBCHOD S ELEKTRINOU

Obchod s elektřinou na území České republiky zprostředkovává operátor trhu s elektřinou a plynem akciová společnost OTE a. s. (dále OTE) vykonávající svou činnost dle energetického zákona číslo 458/2000 Sb. Založení společnosti zastávající činnost operátora trhu s elektřinou proběhlo 18. 4. 2001 a jejím zakladatelem a zároveň jediným akcionářem je stát Česká republika. Aktivní činnost na trhu s elektřinou byla zahájena od roku 2002 a trh s plynem byl následně spuštěn od roku 2010. Dalšími významnými milníky bylo otevření vnitrodenního trhu s elektřinou v roce 2004 a otevření blokového trhu s elektřinou v roce 2008. V rámci mezinárodní spolupráce je od roku 2012 propojen denní trh s elektřinou se Slovenskem a Maďarskem. Následně bylo a od roku 2014 propojen trh s Rumunskem [5]. Tyto a další milníky jsou zobrazené na níže uvedené časové ose na Obr. 4.1.



Obr. 4.1 Historické milníky OTE [5]

Činnost OTE není podstatná pouze pro trh s elektřinou a plynem jen v České republice, ale je provázána se svými zahraničními partnery jako jsou pracovní skupiny AEM, CIGRE, EUROPEX, Price Coupling of Regions (PCR), Association of Issuing Bodies (AIB). „Cílem společnosti je prosazovat liberální a transparentní principy na trhu s elektřinou a plynem, podílet se na formování pravidel těchto trhů a zajišťovat svobodný a rovný přístup k těmto trhům pro všechny jeho účastníky“ [5].

Níže uvedené činnosti operátoru trhu, jsou převzaty z oficiálních internetových stránek operátora trhu s elektřinou ote-cr.cz [4].

- organizování krátkodobého trhu s plynem a krátkodobého trhu s elektřinou a ve spolupráci s provozovatelem přenosové soustavy vyrovnávacího trhu s regulační energií,
- vyhodnocování odchylky za celé území České republiky a toto vyhodnocení předávat jednotlivým subjektům zúčtování a provozovateli přenosové nebo přepravní soustavy,
- na základě vyhodnocení odchylek zajišťování zúčtování a vypořádání odchylek subjektů zúčtování, které jsou povinny je uhradit,
- informování provozovatele přenosové soustavy, provozovatele přepravní soustavy a provozovatele podzemních zásobníků plynu nebo provozovatele

distribuční soustavy o neplnění platebních povinností účastníků trhu a subjektů zúčtování vůči operátorovi trhu,

- zpracování a zveřejňování měsíční a roční zprávy o trhu s elektřinou a měsíční a roční zprávy o trhu s plynem v České republice,
- zpracovávání a předávání ministerstvu, Energetickému regulačnímu úřadu, provozovateli přenosové soustavy a provozovateli přepravní soustavy alespoň jednou ročně zprávy o budoucí očekávané spotřebě elektřiny a plynu a o způsobu zabezpečení rovnováhy mezi nabídkou a poptávkou elektřiny a plynu,
- zpracování podkladů pro návrh Pravidel trhu s elektřinou a Pravidel trhu s plynem,
- zajišťování a poskytování účastníkům trhu s elektřinou nebo plynem skutečných hodnot dodávek a odběrů elektřiny nebo plynu,
- zpracování a po schválení Energetickým regulačním úřadem zveřejňování obchodních podmínek operátora trhu pro elektroenergetiku a pro plynárenství způsobem umožňujícím dálkový přístup,
- zajišťování v součinnosti s provozovateli distribučních soustav zpracovávání typových diagramů dodávek,
- na základě údajů předaných provozovatelem přenosové soustavy nebo provozovatelem přepravní soustavy zajišťování zúčtování a vypořádání regulační energie nebo vyrovnávacího plynu včetně zúčtování při stavech nouze,
- v případech podle § 12a energetického zákona oznamování dodavateli poslední instance odběrných míst zákazníků včetně jejich registračních čísel,
- sledování množství skladovaného plynu v jednotlivých podzemních zásobnících plynu a jejich kapacity,
- zpracování na základě ročních a pětiletých předpokládaných bilancí a na základě denních, měsíčních a ročních skutečných bilancí o přepravě, distribuci, výrobě, dodávkách, obchodu s plynem a uskladnění plynu a vlastních analýz celkových bilancí plynárenské soustavy,
- zpracování statistiky dovozu plynu ze zahraničí a jeho vývozu do zahraničí, a to včetně zdrojů plynu, a statistiky zákazníků, kteří změnili dodavatele plynu,
- zpracování alespoň jednou měsíčně zprávy s vyhodnocením dodávek a spotřeb plynárenské soustavy včetně vyhodnocení dovozu plynu do České republiky a vývozu plynu z České republiky,
- zpracování jednou až dvakrát ročně výsledných údajů hodinových dodávek a spotřeb plynu od plynárenských podnikatelů pro sestavení kontrolních hodinových odečtů plynárenské soustavy,
- zpracování měsíční bilance o plnění bezpečnostního standardu dodávek plynu,
- správa veřejně přístupného rejstříku obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů,
- administrace systému pro vyplácení podpory podporovaných zdrojů energie,
- administrace systému pro vydávání a správu záruk původu.

Obchodování s elektřinou je zprostředkované operátorem trhu a lze dělit dle délky a charakteru dodávky na tři základní trhy s elektrickou energií, které jsou popsány níže v kapitolách 4.1.1, 4.1.2 a 4.1.3, které vycházejí z literatury [12] pokud není uvedeno jinak.

4.1.1 Trh s dlouhodobými produkty

Na trhu s dlouhodobými produkty se provádějí obchody s dodávkou elektřiny s dobou kontraktu trvající déle než jeden měsíc. Vzhledem k obtížně stanovitelné ceně elektřiny se obvykle jednotlivé kontrakty obchodují s délkou trvání maximálně dvou let. Ve srovnání s krátkodobými trhy je daných obchodů uzavíráno malé množství.

4.1.2 Krátkodobé trhy

Na krátkodobých trzích probíhají obchody s dodávkou elektřiny v rozmezí několika hodin až dnů (maximálně na období jednoho týdne). Jednotlivé obchody v organizovaném krátkodobém trhu s elektřinou jsou vůči sobě anonymní. Místem dodání a odběru zobchodované elektřiny na organizovaném krátkodobém trhu s elektřinou je elektrizační soustava ČR nebo zahraniční elektrizační soustava v případě organizování společného krátkodobého trhu pro oblast ČR a okolní tržní oblasti. Krátkodobý trh s elektřinou se dle délky trvání dělí na:

Blokový trh

Organizovaný blokový trh s elektřinou je otevřen od roku 2008 a umožňuje kontinuálním způsobem obchodovat pevně stanovené bloky elektřiny pro daný obchodní den. Jednotlivé denní bloky jsou: Base (0:00 – 24:00), Peak (8:00 – 20:00) a Offpeak (0:00 – 8:00; 20:00 - 24:00).

V jednotlivých obchodních blocích je minimální obchodovatelné množství elektřiny 1 MW v průběhu období bloku. Poptávka a nabídka je na blokovém trhu uveřejňována nejdříve 30 dní před obchodním dnem a ukončení obchodování na blokovém trhu je ve 13 hodin v den předcházením dodávce.

Ze statistických dat publikovaných OTE lze sledovat, že množství elektřiny zobchodované na blokovém trhu meziročně klesá. V roce 2019 bylo zobchodováno zatím nejnižší množství energie celkové výši 5 GWh [5].

Denní trh

Organizovaný denní trh s elektřinou je OTE provozován již od roku 2002 a v následujících letech byl postupně propojen s denním trhem na Slovensku, Maďarsku a Rumunsku prostřednictvím implicitních aukcí (Market Coupling) [5].

Na denním trhu je možné anonymně nabízet a poptávat elektřinu pro libovolné hodiny dle dodávky. Denní trh může být také označován jako trh spotový. Dodávky jsou organizovány v dni předcházejícím dodávce a jejich cena je uváděna v EUR/MW. Výsledkem denního trhu s elektřinou je:

- Výsledný přenos elektřiny do/ze zahraničí v případě propojení ČR s okolní tržní oblastí
- Výsledná dosažená cena elektřiny na denním trhu
- Zobchodované množství elektřiny

Vnitrodenní trh

Organizovaný vnitrodenní trh s elektřinou je otevřen od roku 2004 a umožňuje účastníkům trhu vyrovnávat přebytek či nedostatek elektřiny v době blízké hodině dodávky/odběru (nejpozději 60 minut před začátkem hodiny dodávky/odběru). Tím obchodníci zároveň přispívají k optimalizaci chodu elektrizační soustavy ČR. Zadávat a akceptovat nabídky je možné od 15:00 hodin dne předcházejícího. Obchody uzavřené v rámci vnitrodenního trhu zahrnuje operátor trhu do systému vyhodnocování a zúčtování odchylek. Od 19. listopadu 2019 proběhlo propojení vnitrodenního trhu s elektřinou s vnitrodenními trhy dalších 20 evropských států v rámci evropského propojení trhů s elektřinou (SIDC). OTE má na vnitrodenním trhu status Nominovaného organizátora trhu (NEMO) a zajišťuje propojení denních a vnitrodenních trhů dle nařízení Komise (EU) 2015/1222. Množství elektřiny zobchodované na vnitrodenním trhu meziročně vzrůstá. Dochází tedy k naplňování cílů OTE v oblasti rozvoje mezinárodní spolupráce a propojení vnitrodenních trhu napříč Evropou v rámci SIDC. Denní a vnitrodenní trh přináší obchodníkům lepší flexibilitu a přispívá k rozvoji obchodních příležitostí [11].

4.1.3 Regulační energie

V rámci trhu s regulační energií jsou realizovány obchody jejichž účelem je řešení stavů nerovnováhy mezi smluvně zajištěnými a uskutečněnými dodávkami elektřiny a odběry elektřiny s elektrizační soustavě. Výkonovou rovnováhu v elektrizační soustavě má na starosti provozovatel přenosové sítě (PPS) společnost ČEPS.

Regulační energie je poskytována podpůrnými službami (PpS) výrobními bloky s patřičnou certifikací. Poptávající a nabízející stranou je společnost ČEPS. Účastníci trhu nabízejí kladnou tak i zápornou regulační energii.

Elektřinu nakoupenou ze zahraničí má na starosti provozovatel přenosové sítě společnost ČEPS ve spolupráci se zahraničními provozovateli přenosových soustav. V rámci přeshraničních přetoků je řešeno smluvené saldo. Saldo nabývá záporné hodnoty, pokud je smluvní přenos elektřiny do zahraničí vyšší než smluvní přenos ze zahraničí.

IMBALANCE NETTING

V rámci propojených elektrizačních soustav je prováděna vzájemná výměna odchylek, tedy tzv. imbalance netting (IN). IN předchází aktivaci služby výkonové rovnováhy aFRR (automatic Frequency Restoration Reserves), která rozšiřuje možnosti přeshraniční výměny regulační energie sloužící k vyrovnání odchylky mezi okamžitou výrobou a spotřebou elektrické energie mezi evropskými provozovateli přenosových soustav. K výměně odchylek se využívají přeshraniční přenosové kapacity, které nebyly využity během přeshraničního vnitrodenního obchodování [16].

4.2 PXE

Power Exchange Central Europe, a. s. (Energetická burza Praha) je burza s komoditami s promptním dodáním, na které se provádí termínované obchody s komoditami elektrínou a plynem. Dále na burze probíhají pomocné obchody související s komoditami prodávanými na burze (pojistné smlouvy, smlouvy o uskladnění, smlouvy o přepravě věci a smlouvy zasílatelské) [13].

„V roce 2008 spustila Energetická burza Praha (PXE) po OTE druhý spotový trh na území ČR. V návaznosti na požadavky trhu a neustálý rozvoj v oblasti obchodování se představitelé OTE a PXE dohodli na tom, že v průběhu ledna 2009 dojde k integraci těchto dvou trhů a bude organizován pouze jeden společný denní trh prostřednictvím OTE. Pro členy PXE je zajištěn přístup na tento společný spotový trh prostřednictvím terminálu PXE, ostatní účastníci mají možnost přístupu prostřednictvím rozhraní CS OTE. Toto jediné tržní místo pro ČR je s nepřetržitým provozem, s nominacemi a sesouhlasením, jak rovněž i s vypořádáním v EUR. Pro členy PXE platí – jako ostatně u všech obchodů – zúčtování dodávek v EUR, ostatní účastníci registrovaní u OTE mají možnost volby zúčtování dodávek v EUR nebo CZK.“ [12]

Vytvoření společného spotového trhu mělo za následek zvýšení objemu obchodované energie na denním trhu OTE.

5. NOVÉ TRENDY V ENERGETICE

Rozvoj decentrální výroby elektřiny a postupné odstavování velkých uhelných elektráren přináší transformaci staré energetické koncepce založené na velkých centrálních zdrojích. Distribuovaná výroba vytváří nové technické a legislativní výzvy. Jednou z nich je uplatnění malých zdrojů se na velkoobchodním trhu s elektřinou. Následující kapitola 5.1 představuje nový typ odběratele tzv. prosumera (samovýrobce), flexibilitu (kapitola 5.2) a agregátora (kapitola 5.4) obchodujícího s flexibilitou.

Tito noví účastníci jsou blíže popsáni a po jejich obecném představení jsou uvedeny pilotní projekty aplikující předchozí teoretické předpoklady. Jedním z významných níže uvedených pilotních projektů je například Piclo Flex, který je pilotní obchodní platformou umožňující vznik trhu s flexibilitou. Potřeba nové oddělené obchodní platformy s flexibilitou vznikla z důvodu vyššího zastoupení obnovitelných zdrojů v síti spolu s prosumery a odběrateli s doložitelnou spotřebou.

5.1 Prosumer (samospotřebitel)

V kontextu nových trendů v energetice se často hovoří o prosumerech. Jedná se o zákazníky „kteří mají ve svém odběrném místě připojenu výrobu elektrické energie pro krytí vlastní spotřeby, s možností část vyrobené elektřiny dodávat do elektrizační soustavy“ [1].

Tito samospotřebitelé mohou pokrýt pouze část své spotřeby, nebo v případě převýšení vlastního požadavku na elektrickou energii uvažovat o svém odpojení od DS [3]. Samospotřebitel, jehož výroba převyšuje vlastní odběr klade dodatečné nároky na okolní distribuční síť.

Motivací prosumera je především snížení nákladů za odkup elektřiny od dodavatele. Typickým představitelem prosumera jsou rodinné/bytové/obchodní domy se střechou pokrytou fotovoltaickými panely. Dále se může jednat o výrobní podniky s halami pokrytými fotovoltaikou, či jiné výrobní závody využívající odpadní teplo k výrobě elektřiny. Prosumery mohou být například i obce a občanská energetická společenství.

Vlastní výroba elektřiny prosumerovi dále umožňuje překlenutí krátkodobého výpadku dodávky elektrické energie, a tedy krátkodobý přechod do ostrovní sítě či úplnou nezávislost na distribuční síti. V případě krátkodobého přerušení dodávky elektrické energie tak mohou být omezeny finanční ztráty způsobené částečným či úplným zastavením výroby (pracovní činnosti), obnovením provozu a náklady na opravy/výměny poškozených zařízení. Zároveň je sníženo ohrožení bezpečnosti na pracovišti.

5.2 Flexibilita

Flexibilita „představuje změnu množství elektřiny odebírané z PS nebo DS nebo dodávané do PS nebo DS v daném časovém intervalu oproti sjednaným/předpokládaným diagramům odběru nebo dodávky v reakci na cenové signály nebo povel“ [1]. Tato definice je převzata z Národního akčního plánu pro chytré sítě publikovaném ministerstvem průmyslu a obchodu [25].

Flexibilitu může například poptávat PPS při poskytování služby výkonové rovnováhy, obchodníci či PDS, který může lokálním požadavkem ovlivnit výkonových tok v DS spolu s kvalitou napětí. Poskytovatelé flexibility mohou vstupovat na trh samostatně, nebo prostřednictvím agregátora. Agregátor může zastupovat více poskytovatelů flexibility a vytvářet tak „virtuální elektrárny“ rozložené v rámci distribuční sítě na různých napěťových hladinách. Ačkoli může být flexibilita poskytována i na napěťové hladině VVN, tak se tato diplomová práce zabývá především distribuovanou výrobou a poskytovateli flexibility na hladině VN a NN. Poskytovatelé flexibility mohou mít několik níže uvedených podob.

První skupinou poskytovatelů flexibility jsou spotřebitelé nabízející regulaci odběru z DS. Jedná se o podnikatelské subjekty nabízející přesun požadavků na odběr z DS v čase. Příkladem mohou být velkoodběry s průmyslovými procesy umožňujícími změnu odběru na základě požadavků trhu. Typovými odběrateli mohou být např. cementové a papírenské mlýny, nebo provozy využívající elektrolyzu. K regulaci odběru se obvykle nepřístupují výrobní závody, jelikož náklady na omezení výroby přesahují potenciální zisk za snížení/zvýšení odběru elektřiny. Pro technickou realizaci flexibility v průmyslovém prostředí je nutná instalace komunikačních a řídicích zařízení splňujících příslušných legislativních požadavky. Příkladem mimoprávními podnikatelských subjektů nabízejících flexibilní spotřebu elektřiny mohou být subjekty disponující klimatizačními jednotkami, elektrickými ohřivači vody, přímotopy, chladírenskými a mrazicími zařízeními.

Ačkoli se jedná o malé odběry, tak do poskytování flexibility mohou být zařazeny i domácnosti zprostředkovaně skrze agregátora (nebo PDS). Domácnosti mohou flexibilitu na trh s elektřinou mohou nabízet skrze zařízení pro výrobu tepla a chladu, jako jsou tepelná čerpadla, bojler, klimatizační jednotky, ohřivače vody a přímotopy. Pro účely flexibility mohou být teoreticky využity i spotřebiče běžné spotřeby jako jsou trouby, pračky, sušičky a myčky nádobí, nicméně připojení těchto zařízení je zásahem do pohodlí obyvatel domácnosti a nelze předpokládat až takové zapojení koncových zákazníků do trhu s elektřinou.

Připojení domácností s sebou zároveň přináší spoustu nových technických, legislativních a kyberbezpečnostních požadavků. Pro účely výměny dat mezi agregátorem a zúčastněnou domácností jsou zapotřebí elektroměry s dálkovým odečtem umožňující přenos živých dat. To klade zvýšené nároky na IT infrastrukturu provozovatele distribuční sítě a operátora trhu. V současné době je jistá forma flexibility využívána pomocí signálu hromadného dálkového ovládní (HDO), kdy v některých

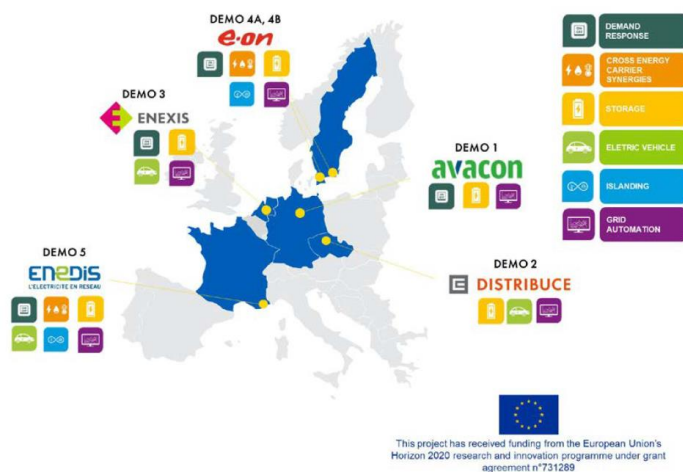
situacích může být vznešen požadavek na sepnutí spotřebičů. Využití HDO je pro budoucí potřeby flexibility nedostatečné, a je výhledově nutné rozšíření elektroměrů s dálkovým odečtem. U domácnosti poskytujících flexibilitu dále panuje nejistota z pohledu odezvy na pokyn agregátora.

Flexibilitu poskytují i rotační zdroje skrze regulační energii na vyrovnávacím trhu nebo účastí na poskytování podpůrných služeb. Příkladem mohou být zdroje pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, bioplynové zdroje, případně i obnovitelné zdroje energie s proměnnou výrobou elektřiny (fotovoltaické a větrné elektrárny).

Jako budoucí poskytovatel flexibility v elektrické síti se nabízejí bateriové a akumulární systémy. Výhodou bateriových úložišť je velmi rychlé poskytnutí výkonu v řádech několika sekund. Nabízí se jejich využití v rámci podpůrných služeb, případně na kompenzaci odchylek. Nevýhodou bateriových úložišť je jejich vysoká cena. V současné době je využití bateriového úložiště jako poskytovatele flexibility zkoumáno v rámci pilotních projektů [1]. Mezi nejvýznamnější pilotní projekty na území Evropy lze řadit Piclo flex, Enesa, GOPACS a NODES [26].

5.2.1 INTERFLEX

Projekt InterFlex vznikl za účelem výzkumu využití flexibility v sítích evropských PDS a je spolufinancován Evropskou komisí skrze program Horizon 2020. Tento projekt vznikl v roce 2017 na podporu inovace v distribučních sítích. Výsledkem bylo několik pilotních projektů v každé ze zúčastněných zemí (Nizozemí, Německo, Švédsko, Francie a Česká republika).



Obr. 5.1 Přehled účastníků programu InterFlex [15]

V rámci projektu společnost ČEZ Distribuce provedla testování pilotních projektů zaměřených na implementaci smart grids s důrazem na zapojení obnovitelných zdrojů, akumulaci a dobíjecích stanic pro elektromobily do DS.

Demo2 je zaměřeno na:

- a) Zvýšení připojitelnosti FVE se střídači umožňujícími Q(U) a P(U) regulaci
- b) U/Q regulaci výroben elektřiny na napěťové hladině VN
- c) Vývoj a aplikaci „chytrých“ nabíjecích stanic pro elektromobily
- d) Integraci FVE ve spojení s akumulací na straně zákazníka (baterie)

V kontextu decentrální výroby a jejího technického začlenění do DS rozvíjí následující odstavec výše uvedený bod a).

V rámci tohoto projektu proběhla instalace pokročilých střídačů umožňujících Q(U) a P(U) regulaci napětí na distribučním území společnosti ČEZ. Tyto střídače byly instalovány u střešních fotovoltaických elektráren a díky těmto střídačům bylo možné do sítě připojit vyšší množství FV elektráren do DS, než je aktuálně dovolují pravidla provozování elektrické soustavy (PPDS), přílohy č. 4, článku 10.1 (zvýšení napětí pro výrobní s přípojným místem v NN nesmí překročit 3 %) bez rizika překročení parametrů kvality napětí dle normy ČSN EN 50160 [15].

5.2.2 Piclo Flex

Pilotní projekt Piclo Flex vznikl ve Velké Británii v kontextu rozšiřování distribuované výroby, prosumerů a flexibilitu nabízejících spotřebitelů. Výhledově se předpokládá kontinuální nárůst spotřeby elektřiny a z toho vyplývající zvýšené zatížení distribučních a přenosových sítí spojené s vyššími investicemi do rozvoje infrastruktury. Z toho důvodu, tamní regulační úřad OFGEM, podporuje alternativní přístupy k řízení distribučních sítí a využití nových technologií za účelem snížení finančních nákladů, které se promítnou do konečné ceny elektřiny.

Zvyšující se podíl výroby elektřiny z OZE se projevuje na počasí závislou kolísavou výrobou elektřiny. Tento stav klade nové požadavky na budoucí elektrickou síť a účastníky trhu s elektřinou. Zvýšená digitalizace a liberalizované tržní prostředí může dále k novým business příležitostem. Příkladem může být zapojení bateriových úložišť do služeb výkonové rovnováhy.

Při klasickém nastavení trhu s elektřinou se o udržení výkonové rovnováhy (SVR) stará provozovatel přenosové sítě (Nation Grid Electricity System Operator). SVR se však znatelně projevuje na ceně elektřiny. Proto je hledána co nejefektivnější cesta vedoucí k udržení výkonové rovnováhy v nově vzniklém volatilním obchodním prostředí při minimálních nákladech.

Cílem pilotního projektu Piclo Flex je vytvořit nové tržní prostředí pro obchod s flexibilitou, která je poptávána PDS na lokální úrovni. Tento text je převzat ze zpráv [22] a [23].

Vizi zpracovatele studie je vytvoření tržního prostředí s tisíci účastníky a organizacemi reagujícími na požadavky změny odebíraného/poskytovaného výkonu,

tak aby bylo zamezeno lokálnímu přetížení DS a nebyly nutné zvýšené investice do posilování sítě.

Donedávna byl PPS jediný subjekt poptávající flexibilitu. V rámci tohoto pilotního projektu byl přechozí model rozšířen se PDS, který lokálně vznášel požadavky na flexibilitu na základě lokálního stavu sítě. Tato změna v systému umožňuje vstup menších poskytovatelů flexibility na trh, což vede ke zvýšenému konkurenčnímu prostředí. Vybudování otevřené digitální platformy pro obchod s flexibilitou je přínosné pro udržitelný chod elektrizační soustavy a je oboustranně výhodné pro stranu flexibilitu poptávající i poskytující.

Vstup malých poskytovatelů flexibility do tržního prostředí je umožněn skrze agregátora. PDS má tedy více možností nákupu flexibility, což zvyšuje konkurenční prostředí snižující cenu za službu spolu s možností využití poskytovatelů flexibility na lokální úrovni. Ze systémového pohledu nová platforma přináší vyšší transparentnost, koordinaci a podporu obnovitelných zdrojů.

Za udržení výkonové rovnováhy ve Velké Británii (VB) zodpovídá Electricity System Operator (ESO). V letech 2018/2019 byly poptány služby flexibility v celkové výši 1,2 miliard £. Nárůst nákladů na flexibilitu v roce 2021 je očekáván přibližně na 2 miliardy £. Na území VB DS provozuje 6 licencovaných PDS na 14. různých územních celcích. Jejich požadavky na flexibilitu jsou sice nižší než centrální ESO, nicméně vzhledem ke zvyšujícímu se počtu obnovitelných zdrojů v DS je očekáván nárůst poptávky po flexibilitě na nižších napěťových hladinách.

Už v současné době je na trhu velké množství poskytovatelů flexibility. Jedná se o agregátory, provozovatele malých zdrojů, bateriová úložiště, dodavatele elektřiny, nabíječky elektromobilů, lokální energetická společenství, komerční a průmyslové spotřebitele. V současné době může být flexibilita těchto účastníků trhu nabízena PPS, PDS, na volném trhu či jako výkonová záloha. Vstup menších subjektů nabízejících flexibilitu je však omezen. Z důvodu rozvoje obnovitelných zdrojů a elektromobility je však vyvíjena snaha o vytvoření platformy, která umožní vstup nových hráčů na trh.

Prvním krokem je vyvinutí obchodní platformy pro trh s flexibilitou zjednodušující a standardizující proces poskytování flexibility. Na základě těchto potřeb byla vyvinuta a v září 2017 ve zkušebním provozu spuštěna obchodní platforma Piclo Flex. Projektu se zúčastnilo všech 6 PDS. Z toho 4 PDS se projektu zúčastnili jako pozorovatelé a UK Power Networks (UKPN) spolu s SP Energy Networks využili platformu pro chod aukcí s flexibilitou. Tato platforma je přístupná na [24].

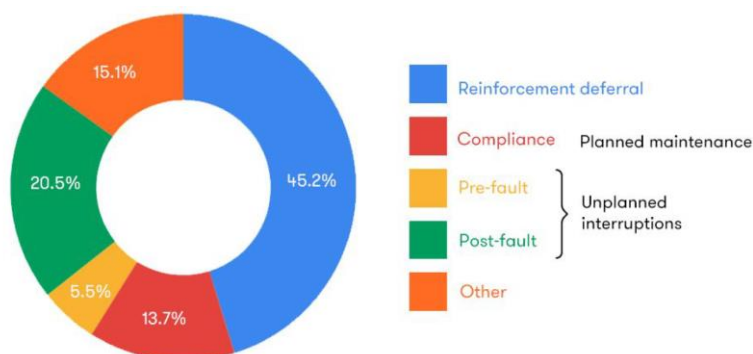
PDS na obchodní platformě publikují lokální požadavky na flexibilitu. Na základě získaných dat byla vytvořena níže uvedená mapa na Obr. 5.2, která zobrazuje oblasti se zvýšeným požadavkem na flexibilitu v městských aglomeracích.



Obr. 5.2 Obl. s požadavkem na flexibilitu publikovanou PDS [22]

V průběhu pilotního projektu v rozmezí let 2018 a 2019 byly na platformě zveřejněny požadavky flexibility ve výši 456 MW. Přestože je tato hodnota pouze zlomkem požadavků flexibility na území VB, tak platforma demonstruje potenciál nového tržního prostředí. Vzniklá mapa požadavků flexibility může být v budoucnu využita pro výběr lokalit vhodných k umístění bateriových úložišť pro podporu DS. Jedná se o první studii takového charakteru na území VB, která operuje se skutečnými daty o lokální nabídce/poptávce flexibility. Tyto informace mohou v budoucnu podpořit a motivovat dodavatele energií, agregátory a odběratele k novým obchodním příležitostem.

Požadavky na flexibilitu byly vytvořeny z různých důvodů. Jejich přehledem je následující graf na Obr. 5.3.

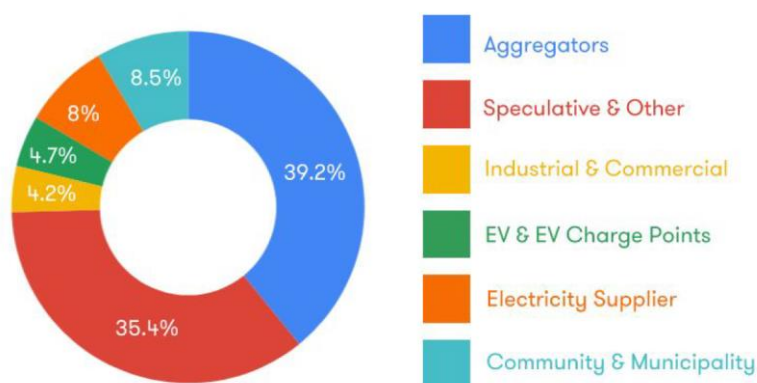


Obr. 5.3 Důvody požadavku flexibility [22]

V rámci studie bylo zjištěno, že nejčastějším požadavkem, který tvoří celkem 45,2 % celku je odložení investic do posílení DS. Těmto datům odpovídá i report Flexibility Services Invitation to Tender – 2019 PDS UK Power Networks (UKPN). V tomto reportu

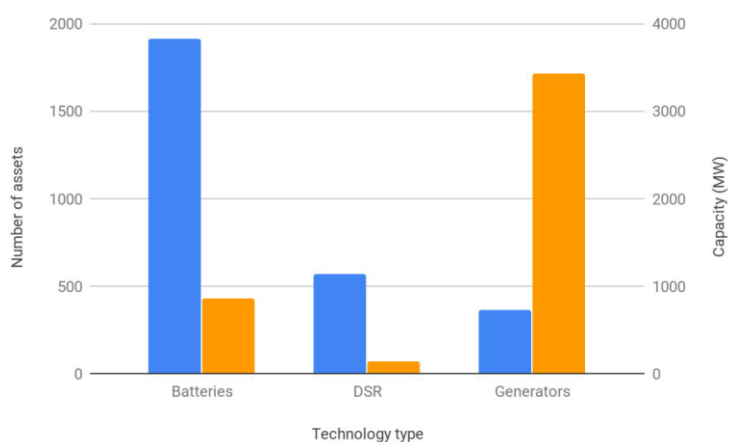
PDS poptával flexibilitu v odběrových špičkách, aby lokálně odlehčil DS [28]. Dále k 13,7 % požadavků po flexibilitě dochází při plánované údržbě. Významnou příčinou požadavků na lokální flexibilitu jsou poruchové stavy v DS, které celkem tvoří 26 %.

V rámci pilotního projektu byli největšími poskytovateli flexibility agregátoři tvořící 39,2 % registrací. Agregátoři zastupují různé druhy poskytovatelů flexibility jako jsou residenční bateriová úložiště, mikro zdroje, průmyslové závody a komerční provozovny. Druhým nejpočetnějším typem uživatele byli pozorovatelé a spekulativní uživatelé platformy. Spekulativní uživatelé jsou takoví, kteří na platformu zveřejňovali pouze potenciální flexibilitu bez možnosti dodání. Tito uživatelé tvořili 35,4 % všech registrací. Energetické komunity a obce se na počtu registrací do platformy podílely z 8,5 %. Velcí průmysloví zákazníci, kteří poskytovali flexibilitu přímo bez prostředníka tvořili pouze 4,2 % registrací. Většina velkých průmyslových spotřebitelů do platformy vstupovala v zastoupení agregátora.



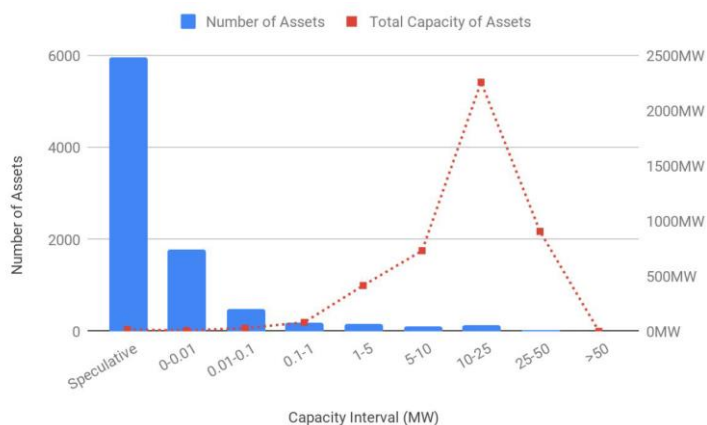
Obr. 5.4 Typy poskytovatelů flexibility (25. 6. 2019) [23]

Z nashromážděných dat vyplývá, že k 12. červnu 2019 byla nejvíce zastoupená aktiva residenční bateriová úložiště. Nicméně v poměru k celkovému počtu je jejich poskytovaná flexibilita poměrně nízká. Domácí bateriová úložiště nabízí pouze 7,6 MW flexibilního výkonu, což je přibližně 0,17 % v platformě dostupné flexibility. Oproti tomu velká bateriová úložiště s kapacitou přesahující 1 MW mohou dohromady poskytnout až 842 MW flexibility tvořících s 19 % podílem na trhu. Do platformy Piclo Flex bylo oproti výše zmíněným zdrojům flexibility zapojeno poměrně málo generátorů, které ale dohromady poskytují flexibilní výkon 3 429 MW tvořící 77 % celkové flexibilní kapacity. V rámci platformy je dále poskytováno 141 MW flexibility zařízeními se řízenou spotřebou (demand-response). Na následujícím Obr. 5.5 dále zobrazuje zastoupení technologie jednotlivých technologií v platformě Piclo Flex z pohledu množství zařízení a jimi poskytované flexibility.



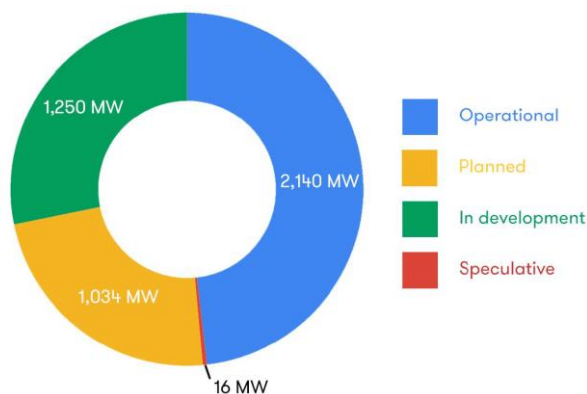
Obr. 5.5 Počet a kapacita poskytovatelů flexibility dle typu (12. 6. 2019) [23]

Jak již bylo nastíněno výše, tak nejvíce zastoupená aktiva poskytující flexibilitu jsou domácí bateriová úložiště s flexibilní kapacitou pod 10 kW. Bateriová úložiště mohou dohromady poskytovat kapacitu 7,6 MW, která tvoří 0,17 % celkové registrované flexibilní kapacity platformy Piclo Flex. Aktiva kumulující nejvyšší flexibilní výkon spadají do výkonového rozmezí 10 až 25 MW. Zdroje z tohoto rozmezí dohromady tvoří 2 257 MW (51 % celkové flexibilní kapacity). Níže uvedená statistika na Obr. 5.6 ukazuje množství zařízení přihlášených spekulativně. Množství těchto subjektů ukazuje zájem z pozic potenciálních investorů a poskytovatelů flexibility o účast na trhu.



Obr. 5.6 Flexibilní kapacita porovnaná s počtem aktiv (12. 6. 2019) [23]

Během pilotního chodu do platformy vstupovalo množství zdrojů před uvedením do provozu v pozici spekulativního účastníka. Téměř polovina celkové nahrané kapacity (48,2 %) byla při chodu pilotního projektu v provozu. Dalších 23,3 % poskytovatelů flexibility účast na trhu plánovalo a 28,2 % zařízení bylo ve vývoji. Zastoupení jednotlivých poskytovatelů flexibility dle současného zapojení do platformy zobrazuje graf na Obr. 5.7.



Obr. 5.7 Status aktiv podle kapacity (12. 6. 2019) [23]

Během pilotního projektu bylo na platformě Piclo Flex inzerováno 455,8 MW flexibilní kapacity na území Spojeného království. Souhrnná data inzerované flexibility na jednotlivých distribučních území jsou zobrazena na Tab. 5-1.

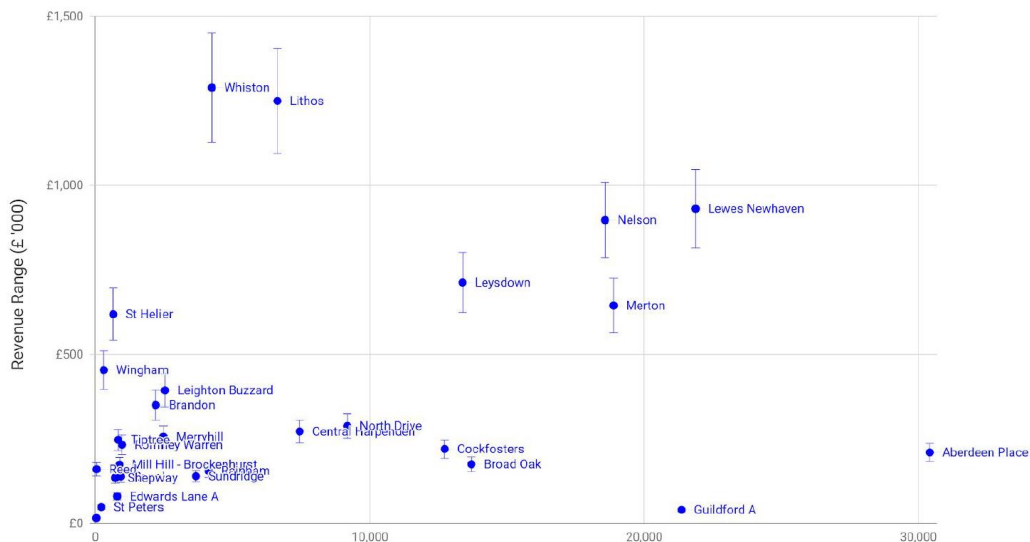
V městě Reed (Hertfordshire) se na lokální úrovni inzerovaná flexibilita pohybovala v rozmezí od 0,2 MW až k 72 MW při neplánovaných přerušení v oblasti South Hampshire. Z rozsahu hodnot vyplývá, že zvýšení požadavků na flexibilitu musí odpovídat lokální technická řešení DS. Malý požadavek na flexibilitu o velikosti 0,2 MW může být obslužen desítkami lokálních rezidenčních bateriových úložišť. Požadovaná flexibilita 72 MW odpovídá přibližně 20 000 domům s bateriovým úložištěm. Zvýšené požadavky na flexibilitu proto musí být obslouženy velkokapacitními bateriovými úložišti či lokálními výrobkami elektřiny.

Tab. 5-1 Přehled požadované a nabízené flexibility [22]

DNO	Flex requirements uploaded	Total Capacity advertised (MW)
UKPN	28	103
SSEN	6	50.5
ENWL	5	8.4
SPEN	11	116
NPg	10	12.5
WPD	13	165.4
Total	73	455.8

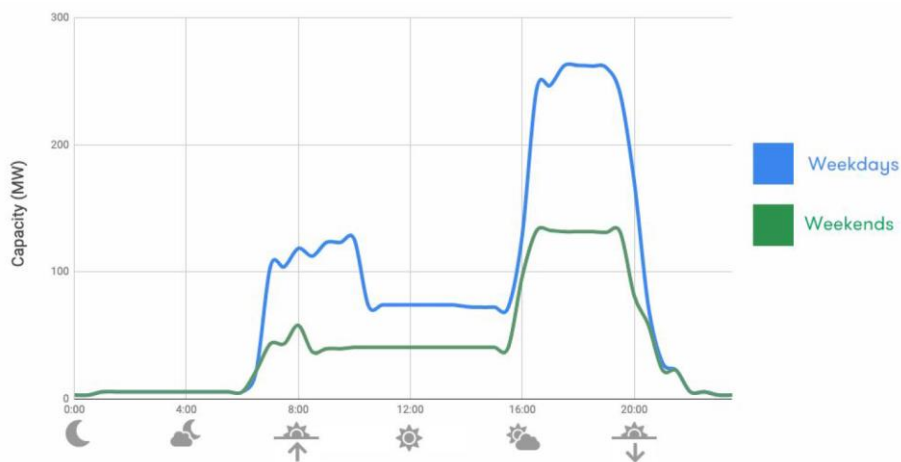
Potenciál využití nabízené flexibility subjektu je silně závislý na lokaci a povaze zdroje. Provozovatel distribuční sítě UKPN během studie publikoval rozmezí ziskovosti

poskytovatelů flexibility v jednotlivých oblastech. Rozmezí výnosnosti jednotlivých poskytovatelů flexibility zobrazuje Obr. 5.8. Celkový výnos na uvažovaných území se pohyboval okolo 12 mil. £. Na obrázku lze sledovat závislost ceny poskytované flexibility a objemu poptávané elektrické energie.



Obr. 5.8 Ziskovost oblastí zveřejněných UKPN [22]

Časové požadavky flexibility přibližně kopírují přirozenému odběrovému cyklu. Z nashromážděných dat na Obr. 5.9 vyplývá, že požadovaná kapacita se značně liší mezi pracovními dny a víkendem.



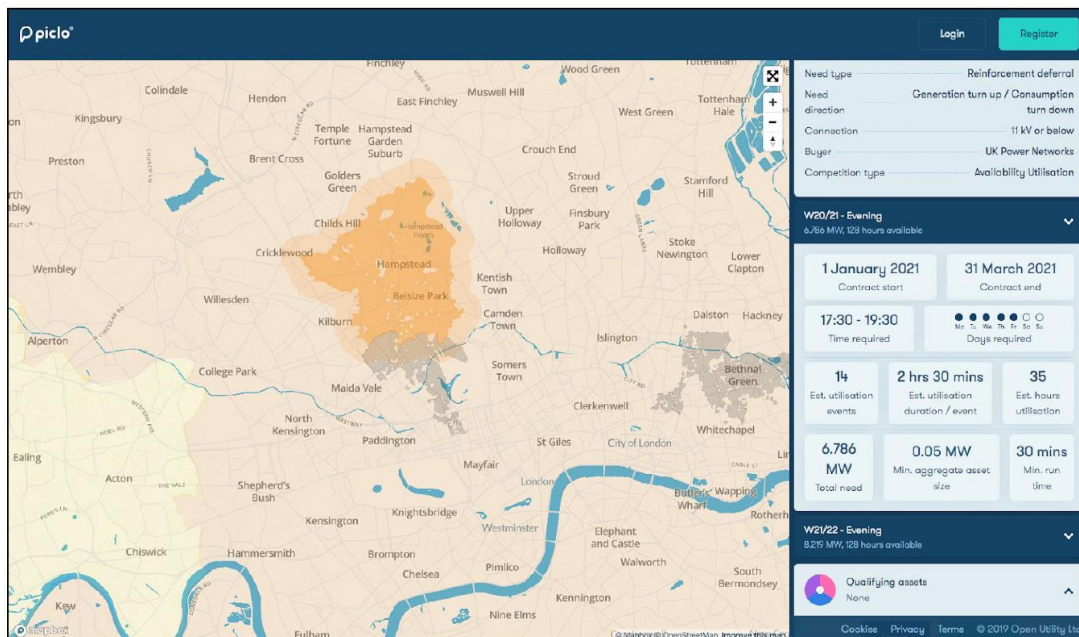
Obr. 5.9 Požadavky na flexibilitu [22]

Pro účely efektivního využití platformy provozovatelem distribuční sítě jsou požadavky na flexibilitu znázorněny pro dané oblasti na mapovém podkladu. PDS jsou v oblasti s požadavkem flexibility zobrazeny aktiva splňující technické parametry.

Otevřená platforma PDS umožňuje:

- Získat data nutná pro podporu trhu s flexibilitou, udržení výkonové rovnováhy, odložení investic do DS.
- Zpřístupnit podkladová data budoucích investic do DS.
- Znat přesnou lokaci aktiva v DS a informuje PDS o místech potenciální údržby.

Náhled platformy z pohledu PDS je zobrazen na následujícím Obr. 5.10.



Obr. 5.10 Požadavky PDS na flexibilitu v platformě Piclo Flex [23]

Pro poskytovatele flexibility platforma umožňuje zobrazit lokaci a napěťovou hladinu připojení aktiva. Systém se propojí s aktivním poskytovatelem flexibility v okamžiku, kdy je služba poptána. Tento systém je výhodný zejména pro poskytovatele flexibility s více zdroji rozprostřených v DS.

Platforma poskytovatelům flexibility umožňuje:

- Ohodnotit, zda jsou jejich aktiva umístěna v lokalitách s poptávkou po flexibilitě.
- Získat podkladová data pro umístění nového zdroje flexibility do DS.
- Získat příjem nahrazující vládní podporu nízkouhlíkových/bezemisních technologií.

Obchodní platforma Piclo Flex byla navržena jako neutrální tržní prostředí zpřístupňující flexibilitu na lokální úrovni. Jednotliví účastníci spadají pod regulaci regulačního úřadu OFGEM a musí dodržovat platnou legislativu. Pilotní projekt je financován z Energy Entrepreneurs Fund, Department for Business a Energy & Industrial Strategy.

5.3 Flexibilita v České republice

Zapojení flexibility do obchodu s elektřinou v českém prostředí zavádí dokument Národní akční plán pro chytré sítě 2019–2030 [25]. Tento dokument uvádí uplatnění flexibility v následujících oblastech:

- Krátkodobý trh s elektřinou
- Krytí odchylek subjektů zúčtování
- Podpůrné služby
- Vyrovnávací trh a obdobné platformy

Uplatnění jednotlivých zdrojů flexibility na trzích s elektřinou je podmíněno jejich velikostí a nabízenou flexibilitou. Využití flexibility v České republice je předmětem diskuse.

V České republice je v současné době v realizaci několik různých pilotních projektů zaměřených na využití flexibility na trzích s elektřinou. Jednotlivé pilotní projekty jsou uvedeny v průběžné zprávě NAP SG 01-06/2020 [32]. Zde uvedenými významnými projekty jsou:

Eflex

- Využívání „volné kapacity“ velkých bateriových systémů pro poskytování PpS
- Otestované IT řešení mezi ČEPS a provozovateli bateriových systémů pro využívání „volné kapacity“ pro PpS
- Metodika využívání „volné kapacity“ bateriových systémů pro PpS a principy technických a obchodních podmínek mezi ČEPS a poskytovateli

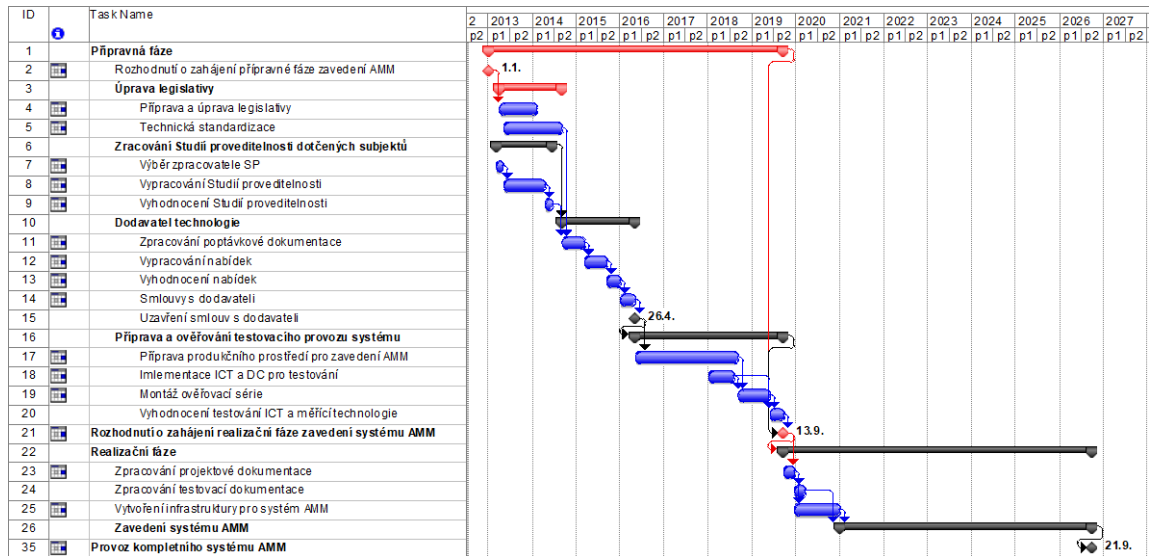
Dflex

- Ověření využitelnosti agregace flexibility s využitím řízení strany spotřeby pro potřeby regulace elektrizační soustavy
- Zpráva pro MPO o využitelnosti agregace flexibility PpS
- Metodika provozovatele přenosové sítě pro monitorování, aktivaci a hodnocení služeb a produktů pro stabilizaci sítě vzniklé agregací flexibility

Projekt Dflex je realizován společností Nano Energies [33] a jeho účelem je zkoumání a testování konceptu agregátora flexibility v českém prostředí. „*Nano Energies už v současnosti funguje jako agregátor flexibility na spotových trzích s elektřinou a do budoucna chce rozšířit svoje služby na poskytování flexibility i pro podpůrné služby*“ [33].

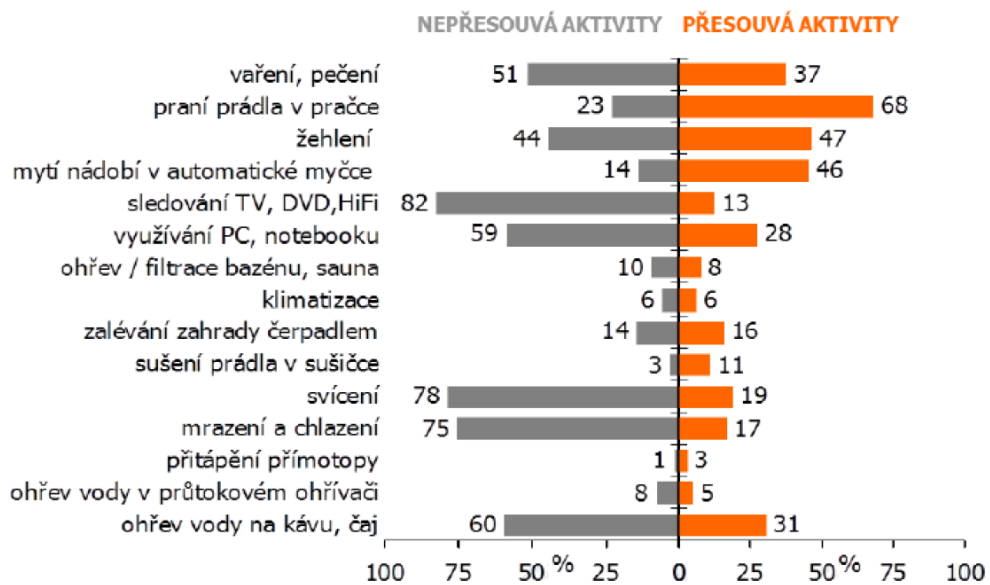
Užití flexibility v DS je podmíněno rozšířením smart metrů s AMM. Zároveň je nutné upustit od současného hromadného dálkového ovládání (HDO) demand response

spotřeby. Tuto potřebu reflektuje legislativou plánovaný roll out smart meteringu, který je popsán v Národním akčním plánu pro chytré sítě. Časový harmonogram realizace rolloutu smart metrů zobrazuje následující Obr. 5.11.



Obr. 5.11 Časový harmonogram přípravy a zavedení systému AMM [39]

S potenciálem poskytování flexibility dále nepřímou souvisí zavedení dynamických tarifů za elektřinu, v nichž časově proměnlivá cena během dne „samoreguluje“ spotřebu elektřiny. Poskytování flexibility malými zdroji je založeno na odložení spotřeby (u poskytovatelů záporné flexibility). U rodinných domů se předpokládá využití agregované flexibility především z bateriových úložišť, tepelných čerpadel a elektrického vytápění. Poskytování flexibility z těchto zdrojů má výhodu v tom, že neomezuje prosumera/odběratele a nevyžaduje změnu jeho chování. V závislosti na potenciálním uvedení dynamického tarifu, bylo v rámci literatury [39] zkoumána ochota odběratelů přesunout určité aktivity závislé na elektřině vzhledem k aktuální ceně za odebranou elektřinu viz. Obr. 5.12.



Obr. 5.12 Ochota spotřebitelů k přesunu spotřeby [39], [36]

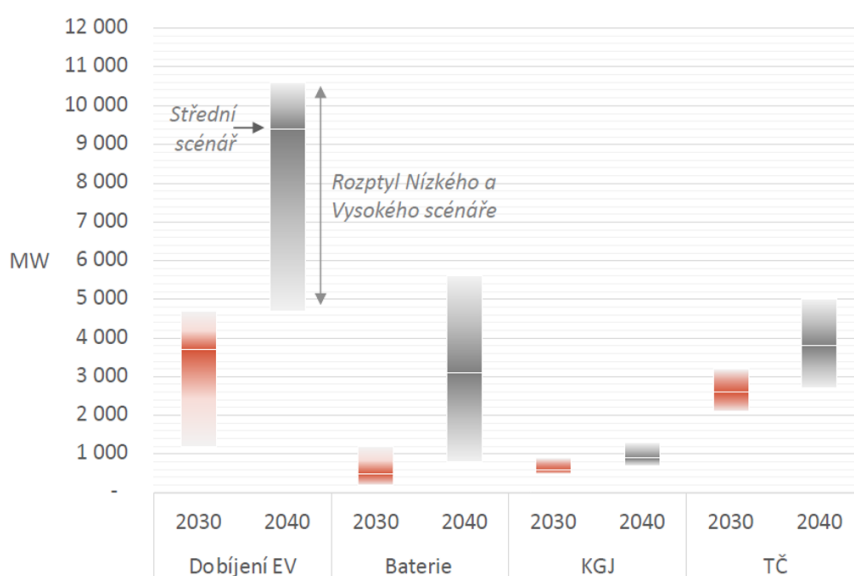
Z výzkumu plyne, že koncový zákazník není příliš ochoten měnit své chování a z toho pohledu je v kontextu flexibility vhodné, aby její poskytovatel v agregovaných domácnostech nebyl při její poskytování omezen.

Výzkum využití flexibility v České republice je v současné době podpořen realizací různých studií a pilotních projektů.

Jedním z takových projektů je například FLEXDER, který je realizován společnostmi LEEF energies, FERAMAT energies a ČVUT. Následující část textu je založena na 2. online workshopu projektu [38]. Více o projektu je k nalezení v lit. [34].

5.3.1 FLEXDER

Cílem projektu FLEXDER je vytvořit odborný odhad realizovatelného potenciálu flexibility v České republice pro roky 2030 a 2040 (pro nízký, střední a vysoký scénář výskytu zdrojů poskytujících flexibilitu) spolu s vytvořením typových denních diagramů potenciálu flexibility pro jednotlivé technologie poskytujících kladnou a zápornou flexibilitu. V rámci tohoto projektu byla jako poskytovatel flexibility uvažována akumulace v domácnostech, soukromé a veřejné AC dobíjení, akumulace u rychlodobíjení, kogenerační jednotky a tepelná čerpadla. Při realizaci projektu byla uvažována některá zjednodušení. Těmi zanedbání „vehicle to grid“ u dobíjení EV. Způsob poskytování flexibility se u jednotlivých zdrojů liší. Dobíjecí stanice pro EV poskytují flexibilitu skrze posun dobíjecího výkonu v čase za předpokladu, že je dobíjeno plným výkonem. Dobíjení EV v rámci studie poskytuje pouze kladnou flexibilitu. Stacionární baterie posouvají nabíjení a vybíjení v čase. Malá kogenerace a mikrokogenerace řídí svůj výrobní diagram na základě tepelného odběru. Podobná regulace je uvažována dále u tepelných čerpadel. Očekávaný odhad výkonového zastoupení jednotlivých technologií poskytujících flexibilitu je zobrazen na následujícím Obr. 5.13.

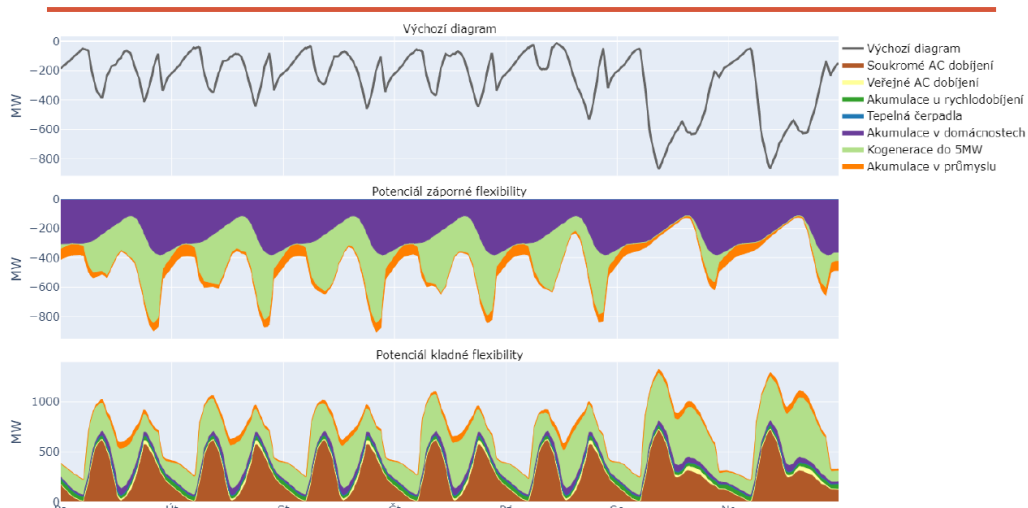


Obr. 5.13 Projekce instalovaného výkonu vybraných technologií 2030 a 2040 [38]

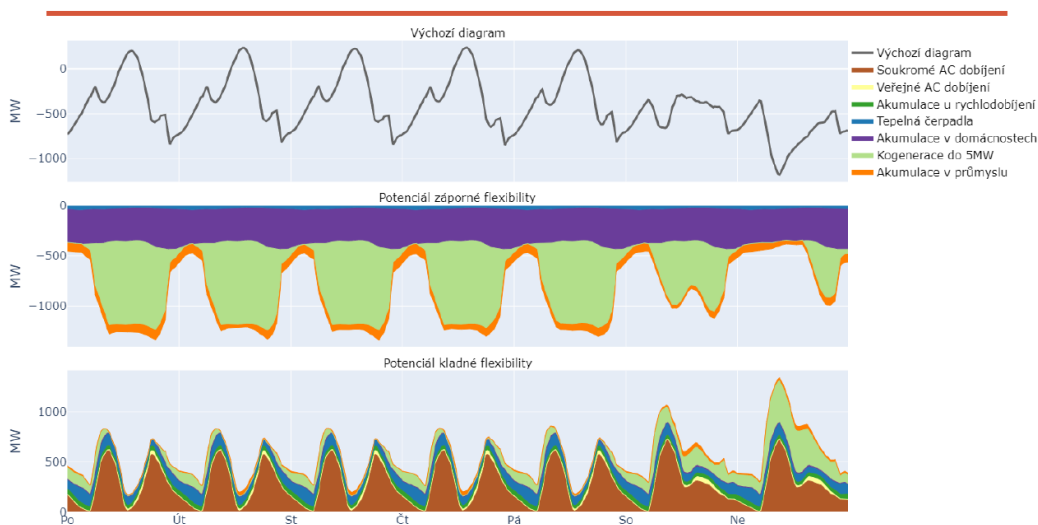
Na základě modelových předpokladů podílu jednotlivých technologií poskytujících flexibilitu byly vytvořeny typové týdenní diagramy. Jedny z průběhových diagramů jsou zobrazeny na následujících obrázcích Obr. 5.14 a Obr. 5.15.

Kladná flexibilita = snížení spotřeby/zvýšení výroby

Záporná flexibilita = zvýšení spotřeby/snížení výroby



Obr. 5.14 Potenciál flexibility léto 2030, střední scénář [38]



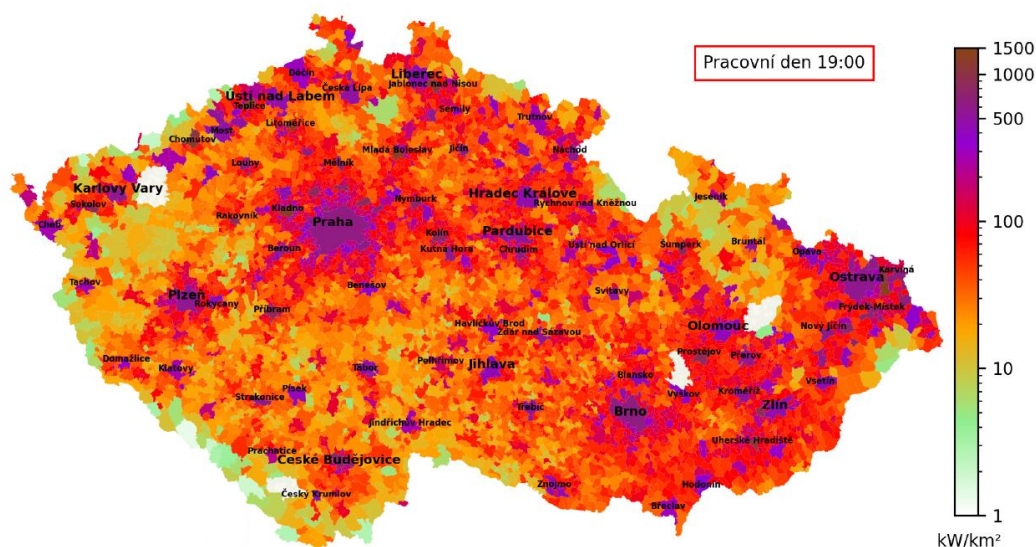
Obr. 5.15 Potenciál flexibility zima 2030, střední scénář[38]

Z diagramů vyplývá, že množství poskytované flexibility je závislé na ročním období. Mezi zimním a letním obdobím jsou výrazné rozdíly v diagramu potenciálu záporné flexibility. V zimě jsou bateriová úložiště převážně vybitá a zároveň byl snížen podíl kogenerace.

Denní maximum potenciálu flexibility přibližně odpovídá času maximálního odběru elektřiny ze sítě. Množství poskytované flexibility je dále liší mezi pracovním dnem a víkendem.

Největší podíl na poskytované flexibilitě se předpokládá u soukromého AC nabíjení z důvodu očekávaného rozvoje elektromobility. Zpracovatelé studie dále předpokládají vzrůst podílu poskytovaného flexibilního výkonu na napěťové hladině NN.

Jedním z výstupů studie jsou geografické mapy zobrazující očekávané rozložení flexibility na území České republiky pro různé scénáře pro jaro, léto, podzim a zimu pro roky 2030 a 2040. Na následujícím Obr. 5.16 je zobrazena ukázka mapy potenciálu flexibility při maximálním scénáři pro pracovní den v 19:00 v zimních měsících pro rok 2040 při maximálním scénáři rozšíření flexibility. Během workshopu byly prezentovány pouze ukázky vizualizací pro vybrané scénáře, a proto níže uvedený obrázek nemůže být brán jako referenční.



Obr. 5.16 Nejvyšší scénář potenciálu flexibility, prac. den 19:00, zima, 2040 [38]

Z mapy potenciálu flexibility pro nejvyšší scénář je patrné, že je flexibilita alokována v oblastech aglomerací krajských měst s vyšší koncentrací zástavby. Zároveň je v městských oblastech situována většina spotřeby elektřiny. Je tedy podporován předpoklad využití flexibility na lokální úrovni provozovatelem distribuční sítě.

Ve studii lze sledovat odlišné zastoupení jednotlivých technologií poskytujících flexibilitu na základě velikosti sídelní jednotky. U malých měst, kde většinu zástavby tvoří rodinné domy, se předpokládá více bateriových úložišť a tepelných čerpadel oproti městské zástavbě bytových domů.

Dále je studií zkoumáno sloučení poskytovatelů flexibility agregátorem a uplatněním na trhu s elektřinou. Pro tržní využití bylo během prezentace odkázáno například na projekt Dflex, do kterého je zapojena společnost Nano Energies.

Projekt FLEXDER přináší odborný odhad rozprostření lokální flexibility na území České republiky. Na začátku projektu byly pevně stanoveny zkoumané zdroje flexibility, které samostatně poskytují malý flexibilní výkon. Tomu odpovídá i stav, že většina flexibilního výkonu je připojena na napěťovou hladinu NN. Studie může v budoucnu sloužit jako podklad pro PDS při plánování posilování lokálních VN vedení. Z prezentace

nevyplývá, zda pro lokální množství připojitelných zdrojů flexibility byla brána v potaz současná pravidla provozu distribučních sítí s ohledem na dodržení množství připojitelného výkonu do DS na lokální úrovni. Předmětem studie nebyla technická realizovatelnost.

5.4 Agregátor

Agregátor je definován jako „účastník trhu, který agreguje flexibilitu jednotlivých poskytovatelů flexibility za účelem prodeje standardních produktů na trzích s elektřinou a/nebo trhu s podpůrnými službami a případně ostatními službami, nebo pro úpravu vlastní pozice. Za agregátora se nepovažuje provozovatel přenosové soustavy a provozovatel distribuční soustavy“ [1],[25].

Agregátor můžeme být blíže specifikován na základě odpovědnosti za odchylku způsobenou smluvními poskytovateli flexibility.

Integrovaný agregátor „spojuje roli agregátora a subjektu zúčtování přebírajícího odpovědnost za odchylku svých poskytovatelů flexibility“[1]. Podoba integrovaného agregátora v současné době působí na velkoobchodním vyrovnávacím trhu s elektřinou.

Nezávislý agregátor „je subjekt, který uzavírá smlouvu na využití flexibility s poskytovateli flexibility, aniž by přebíral odpovědnost za jejich odchylku. Není tedy odpovědný za odchylku svých poskytovatelů flexibility vyvolanou aktivací flexibility. Přímo odpovídá pouze za vlastní odchylku způsobenou případným nedodáním nasmlouvaných produktů na jednotlivých trzích“ [1]. Nezávislí agregátoři v současné době působí na trhu s elektřinou v USA, VB, Austrálii a Novém Zélandu. Otevření trhu s elektřinou pro nezávislého agregátora s sebou přináší zvýšené legislativní požadavky a nový systém zúčtování odchylek. Zároveň je tento systém obchodu náročný na výměnu informací mezi účastníky trhu.

Agregátor zastupuje poskytovatele flexibility na trhu s elektřinou a nabízí flexibilitu na velkoobchodním trhu s elektřinou v podobě bilančních podpůrných služeb, případně dalších služeb jako je snížení odchylky atd.

Přínosem agregátora je vstup malých zdrojů na velkoobchodní trh. Sdružované zdroje mohou být diverzifikované z pohledu technologie výroby elektřiny (obnovitelné/neobnovitelné) i z pohledu geografického umístění. Příkladem může být sdružení několika fotovoltaických elektráren na různých místech republiky. V případě přechodu oblačnosti a poklesu výroby u fotovoltaických elektráren v určité lokalitě může být nasmlouvaná elektřina dodána jinou FV elektrárnou umístěnou v jiné lokalitě.

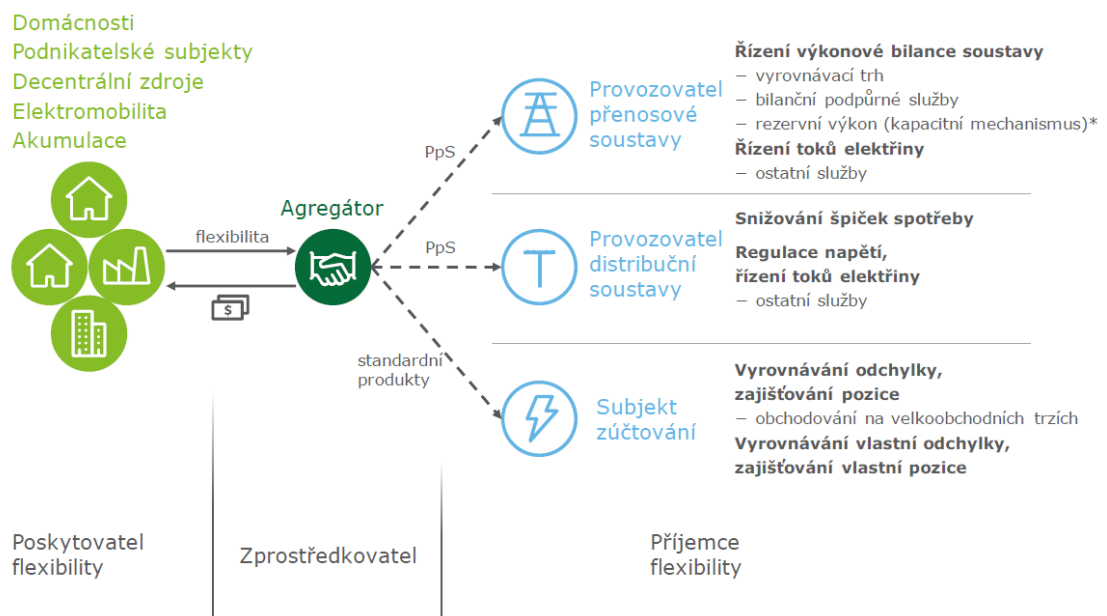
Agregátor může ve svém portfoliu zastupovat různé typy poskytovatelů flexibility. Do jeho portfolia mohou být zařazeny průmyslové i neprůmyslové subjekty, domácnosti, decentrální zdroje elektřiny, bateriová úložiště, elektromobily s možností grid to vehicle a vehicle to grid. Na trhu se může působit agregátor s různým portfoliem zdrojů.

Agregátoři s jedním typem zastupovaného zdroje se obvykle specializují na správu výrobních/spotřebních zdrojů či akumulace.

Do druhé skupiny spadají agregátoři nabízející své produkty na základě komplexního portfolia poskytovatelů flexibility. Tato strategie jim umožňuje lépe reagovat na aktuální požadavek flexibility na trhu. Uvedený přístup je ale náročnější na technickou a softwarovou realizaci, jelikož klade značné nároky na komunikaci mezi jednotlivými zařízeními.

5.4.1 Agregátor na českém trhu

Následující kapitola je stručným shrnutím studie zpracované společností Deloitte na téma role agregátora v české energetice [1]. Vypracovaná studie je postavena na předpokladech, že by agregátor na trhu působil bez jakékoli podpory. Dále by byla zachována transparentní a nediskriminační pravidla pro všechny účastníky trhu (agregátor je zodpovědný za své závazky na jednotlivých trzích). Působení agregátora na trhu s elektřinou nesmí ohrozit bezpečný a spolehlivý chod přenosové a distribuční sítě. Studie zkoumá možnosti činnosti agregátora na organizovaném velkoobchodním trhu, vyrovnávacím trhu a trhu s podpůrnými službami. Oblasti potenciálního působení agregátora jsou zobrazeny na následujícím Obr. 5.17.



Obr. 5.17 Agregátorem poskytované produkty [1]

„Studie uvádí podmínky pro fungování agregátora na trzích s elektřinou a trhu s podpůrnými službami v ČR. Z důvodu odlišnosti uvažovaných podob agregátora a zároveň odlišnosti podmínek vyžadovaných na jednotlivých trzích je fungování agregátora rozděleno na šest modelů z hlediska podoby agregátora (integrováný a nezávislý) a z hlediska trhů (velkoobchodní a vyrovnávací trh, trh s podpůrnými službami bilančními, trh s ostatními službami). Nevylučuje se ovšem možnost působnosti integrovaného nebo nezávislého agregátora na všech zmiňovaných trzích zároveň.“

Konečná doporučení k řešení jednotlivých podmínek zavedení jsou formulována zvlášť pro jednotlivé trhy a podoby agregátora. [1]“

Možné modely agregátora na českém trhu jsou zobrazeny na níže uvedené Tab. 5-2. V této tabulce jsou stručně popsány jednotlivé obchodní modely ve třech tržních prostředí, kterých se může účastnit integrovaný a nezávislý agregátor. Tabulka přibližuje zúčastněné protistrany a obchodované produkty.

Tab. 5-2 Možné modely fungování agregátora v podmínkách ČR [1]

trh	Velkoobchodní trh, Vyrovnávací trh		Podpůrné služby bilanční, kapacitní mechanismus*		Ostatní služby	
	integrovaný	nezávislý	integrovaný	nezávislý	integrovaný	nezávislý
protistrana	subjekt zúčtování (vnitrodenní, denní, blokový trh) PPS (vyrovnávací trh) vyrovnávací trh - hodinové nabídky kladné/záporné regulační energie		PPS - primární regulace - sekundární regulace - minutová záloha		PPS, PDS - omezování špiček zatížení DS (PDS) - congestion management	
produkty	denní trh, vnitrodenní trh - hodinové nabídky/poptávky elektřiny blokový trh - nabídka poptávka energie v blocích base, peak, off-peak		- rezervní výkon (kapacitní mechanismus)*		- řízení U a Q** - start ze tmy** - ostrovní provoz**	
agregátor	integrovaný	nezávislý	integrovaný	nezávislý	integrovaný	nezávislý
model zavedení	IV	NV	IP	NP	IO	NO
určení poskytnutých produktů/ služeb	na základě odchylky	rozdíl výchozího diagramu a dat měření	rozdíl výchozího diagramu a dat měření	rozdíl výchozího diagramu a dat měření	na základě metodiky příjemce služby	na základě metodiky příjemce služby
určení flexibility u PoFI	-	rozdíl výchozího diagramu a dat měření	rozdíl výchozího diagramu a dat měření	rozdíl výchozího diagramu a dat měření	dle požadavků příjemce služby	dle požadavků příjemce služby***
měření, max. interval	průběhové, obchodní interval	průběhové, obchodní interval	průběhové, obchodní interval + dispečerské, stávající dle kodexu	průběhové, obchodní interval + dispečerské, stávající dle kodexu	průběhové, obchodní interval + dle požadavků příjemce služby	průběhové, obchodní interval + dle požadavků příjemce služby
certifikace	ne	ne	ano	ano	ano	ano
smluvní vztahy	- stávající smluvní vztahy dodavatele - PoFI - o poskytování flexibility	- OTE - přístup na trh, zúčtování odchylek - PoFI - o poskytování flexibility	- stávající smluvní vztahy dodavatele - PoFI - o poskytování flexibility - PPS - o poskytování PpS	- OTE - zúčtování regulační energie - PoFI - o poskytování flexibility - PPS - o poskytování PpS	- stávající smluvní vztahy dodavatele - PoFI - o poskytování flexibility - PPS/PDS - o poskytování PpS	- OTE - zúčtování (regulační) energie - PoFI - o poskytování flexibility - PPS/PDS - o poskytování PpS
licence pro obchod s el.	ano	ano	ne	ne	ne	ne

* aktuálně není v ČR možné, vyžadovalo by zavedení kapacitního mechanismu

** pravděpodobně nebude mít smysl poptávat tyto služby prostřednictvím agregátora

*** nezbytné při dodávce činné energie

Pro bezproblémový chod ES je nutné, aby provozovatel distribuční sítě disponoval pravomocí dočasně omezit poskytování flexibility, pokud by v daný okamžik ohrozila bezproblémový chod sítě. Dále je doporučeno, aby poskytovatel flexibility uzavíral

smlouvu o poskytované službě pouze s jedním agregátorem, v jiném případě byly vyžadovány dodatečné podmínky. V nově vzniklém tržní prostředí není doporučeno paralelní poskytování flexibility pomocí HDO. U poskytovatelů flexibility je dále nutná instalace elektroměrů s průběhovým měření AMM.

Tato podkapitola měla za cíl informovat o obsahu zpracované studie Deloitte na téma aplikace agregátora v českém prostředí a krátce přiblížit její obsah. Celý text je k dispozici na [1]. O roli agregátora v ČR v současné době usilují společnosti Nano Energies, E.ON Energie a ČEZ [40].

5.5 Energetická společenství

Občanská energetická společenství (OES) jsou definována jako organizované skupiny spotřebitelů sdružených do většího celku. Problematika energetických komunit je obsahem evropského legislativního balíčku Clean Energy for all Europeans. Energetická společenství jsou v této kapitole zmíněna v kontextu poskytování flexibility, agregace a blockchain obchodování s elektřinou.

Vybrané členské státy Evropské unie v současné době podporují energetická společenství z důvodů dekarbonizace a rozvoje OZE. Příspěvek [21] odpovídá na otázky, jaké výhody přináší energetické komunity do DS a jaké jsou odlišnosti OES od agregátorů poskytujících podobné služby.

Energetické komunity by měly umožnit snížení nákladů na odběr elektřiny u členů OES skrze aktivní účast na trhu s elektřinou (z pohledu odběratele i výrobce). Uvedenou vizi podporuje legislativní balíček Clean Energy for All Europeans (CE4ALL), který zohledňuje sdružení prosumerů a bateriových úložišť na trhu s elektřinou. Zapojení komunit do tržního prostředí může být realizováno samostatně, nebo skrze agregátora. Nabízená elektřina je koncovým spotřebitelům dodána skrze dodavatele elektřiny či peer-to-peer trading.

Energetické komunity mohou být členěny na různým způsobem regulované subjekty. Prvním jsou tzv. Citizen Energy Communities (CEC), které jsou popsány v dokumentu Electricity Market Directive (IMD II, článek 16). Cílem je vyšší liberalizace trhu s elektřinou, která je realizována pomocí povinnosti dodavatele elektřiny s více než 200 000 zákazníky nabízet dynamické tarify v případě, že odběratelé mají nainstalované elektroměry s průběhovým měřením s dálkovým odečtem („smart metry“) AMM. Zároveň je vznešen požadavek přístupu odběratelů k agregačním službám a účasti na demand response.

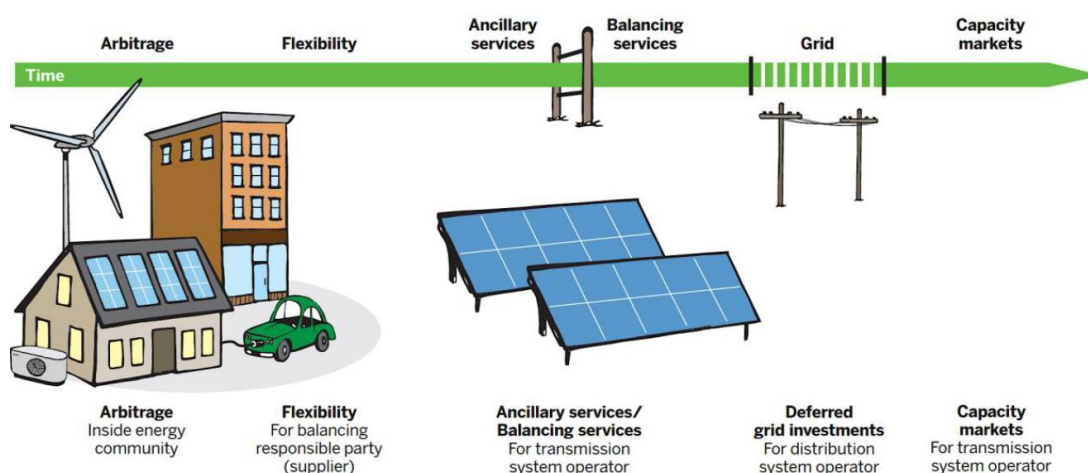
Renewable Energy Communities (REC) jsou součástí Renewable Energy Directive (článek 22). Obsahem je povinnost členských států vytvořit rámec podpůrných programů zaměřených na rozvoj obnovitelných zdrojů elektřiny.

Za účelem prozkoumání přínosu energetických komunit pro distribuční síť vznikl projekt PROSEU, který je financován EU. Během tohoto projektu byl zkoumán business model energetických komunit a prosumerů. Článek dále zmiňuje i jiné pilotní projekty

na toto téma. Pilotními projekty např. jsou Tractebel and Navigant in an Advanced System Studies for Energy Transition a Delta Energy & Environment.

Citovaný text [21] uvádí následující oblasti působnosti OES znázorněné na Obr. 5.18:

- Arbitráž
- Poskytování flexibility
- Balancing
- Doplnkové služby
- Kapacitní trhy
- Odložení investic do distribuční sítě



Obr. 5.18 Služby poskytované energetickými komunitami [21]

Potenciální business model energetických komunit je podobný agregátorovi (viz. 5.4.1). Zapojení energetických komunit do systémových služeb je v současné době pouze v počátku. Příkladem je uveden tarif amerického dodavatele elektřiny Baltimore Gas and Electric, který nabízí slevu na elektřinu pod podmínkou omezení své spotřeby elektřiny v několika vybraných dnech s výjimečně vysokým odběrem elektřiny během roku. O požadavku na snížení spotřeby je odběratel informován den před očekávanou událostí.

CE4ALL dále reguluje síťové tarify tak, aby nedocházelo k diskriminaci jednotlivých účastníků a zároveň byla podpořena účast prosumerů (např. při peer-to-peer tradingu) na lokální úrovni. IMD a RED II hledí vyžadují cost-benefit analýzu distribuovaných zdrojů při stanovování systémových poplatků.

Energetické komunity maximalizují využití vlastní vyrobené elektřiny za účelem lokálního snížení zatěžování DS. Za tuto službu jsou OES odměněny snížením poplatku za distribuci. Slevu na poplatku za distribuci nabízí energetickým komunitám od roku 2019 francouzský energetický úřad CRE. Ke konci roku 2019 bylo registrováno celkem 16 energetických komunit, přičemž pouze jeden projekt (ACOPREV) plně

implementoval daný koncept. V souvislosti s tímto projektem je dále možné zmínit např. The Bridge projekt v Belgii.

Dalším příkladem přínosu energetických komunit distribuční síti je pilotní projekt FLEET v Utrechtu realizovaný PDS Stedin. Provozovatel DS zde představil speciální časově závislý tarif, který dává cenové signály flotile elektromobilů umožňujících dodávku elektřin do DS formou vehicle-to-grid.

Dle evropské regulace IMD a RED II mají členské státy EU vytvořit nediskriminační obchodní prostředí umožňující vstup OES na krátkodobé trhy s elektřinou.

6. BLOCKCHAIN V ENERGETICE

V současné době je elektřina obchodována na burze pod dohledem operátora trhu s elektřinou (viz. 4.1.2). Alternativou k tomuto zavedenému systému se jeví využití technologie blockchain umožňující decentralizaci obchodního procesu skrze distribuovanou databázi. Blockchain s sebou přináší nezávislost na centrální autoritě. Technologie blockchain může přinést nové možnosti do trhu s elektřinou, a proto je předmětem zájmu množství studií zkoumající využití této technologie mimo odvětví kryptoměn. Následující kapitola čtenáře uvede do technologie blockchain. Kapitola 7 v návaznosti na teoretický úvod do využití blockchainu v energetice představuje různé pilotní projekty.

6.1 Úvod k technologii blockchain

Z technologického pohledu má blockchain dva základní významy. Prvním se označuje množina softwarových protokolů umožňujících fungování blockchainu jako technologické platformy. Druhým význam označuje blockchainovou databázi, nad kterou jednotlivé blockchain protokoly operují.

Blockchain má následující vlastnosti:

- Systém funguje bez centralizované důvěry.
- Systém je transparentní, jelikož všichni znají stav všech ostatních účtů.
- Transakce jsou schvalovány konsenzuálním způsobem, který je prezentován procesem těžení
- Autenticita transakcí je chráněna asymetrickou kryptografií
- Za jednotlivé transakce jsou odváděny transakční poplatky
- Databáze je distribuována mezi jednotlivé účastníky
- Integrace databáze je silně chráněna procesem těžení a řetězení bloků

Aby ostatní účastníci mohli ověřit, že účet odesílatele uvedený v transakci je skutečně účtem, ze kterého byla transakce odeslána Blockchain využívá asymetrickou kryptografii. „Ke každému účtu je vygenerována dvojice kryptografických klíčů, přičemž jeden se označuje jako privátní klíč a druhý jako veřejný klíč. Privátní klíč je znám pouze majiteli účtu, veřejný klíč je uveřejněn všem ostatním. Pokud má být z daného účtu odeslána transakce, je nejprve tato transakce digitálně podepsána privátním klíčem. Ostatní, kteří transakci mají kontrolovat, nejprve ověří, že byla skutečně odeslána z účtu, který je uveden jako odesílající. A to právě kontrolou digitálního podpisu veřejným klíčem. Podobný princip používá obecně známé PKI, ovšem s tím rozdílem, že v Blockchainu postrádáme certifikáty, které by svazovaly konkrétní entity s danými veřejnými klíči. Proč Blockchain nevyužívá.“ [6]

Ověření podpisu k danému účtu je provedeno pomocí veřejného klíče. Číslo účtů jsou odvozena z k nim příslušných veřejných klíčů. Při obdržení transakce je vyžadováno ověření digitálního podpisu. Při znalosti privátního klíče je uživatel schopen vytvářet validní

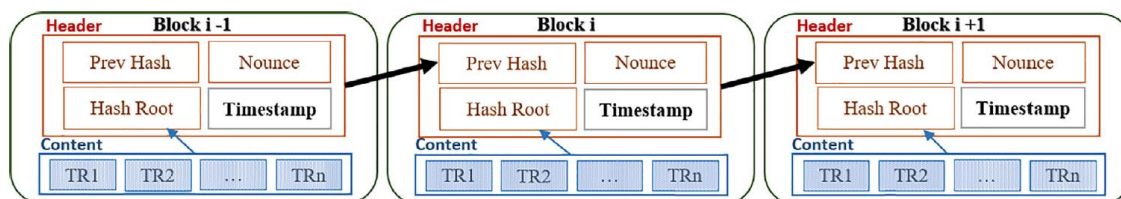
transakce a tím pádem plně kontrolovat daný účet. Zabezpečení účtu je provedeno ochranou privátního klíče, který je uchováván v kryptopeněženkách majících softwarovou či hardwarovou podobu.

Jednotlivé transakce jsou ověřovány pomocí těžení (mining) prováděného těžaři (miner). Proces ověřování transakcí je většinou založen na principu prokázání práce (proof-of-work). S vyšším počtem uživatelů je zvyšována složitost matematického úkolu prováděného minery, a tedy dochází ke zvyšování nároku na výpočetní výkon a s tím spojenou spotřebu elektřiny. Alternativními přístupy jsou např. proof-of-stake, proof-of-space a proof-of-authority. Proof-of-space místo výpočetního výkonu využívá paměť. Proof-of-stake k výběru dalšího těžaře využívá pravděpodobnostní kombinace. Odměnou těžaře za ověření transakce je poplatek spojený s každou transakcí.

Ověřování probíhá v následujících krocích:

- Ověření digitálního podpisu dané transakce
- Ověření stavu účtu vůči převáděné hodnotě
- Provedení výpočtu pro nalezení patřičného vzoru
- Vystavené informace o ověření transakce (blok)

V bloku je obsažena vstupní hodnota hashovací funkce potvrzující transakci. Blok je následně odeslán všem účastníkům. Pokud je blok validní, tak ho příjemce uloží do své databáze. Jednotlivé bloky vytvářejí řetězec (chain). Každý nový blok v sobě obsahuje hash předchozího validního bloku viz. Obr. 6.1. Toto řetězení slouží k ověření platnosti bloků.



Obr. 6.1 Obsah jednotlivých bloků [8]

Jelikož lze blockchain chápat jako výměnu dat/informací – může být využit i mimo kryptoměny/finanční sektor. Následující kapitola 6.2 je obecným přehledem využití technologie blockchain v elektroenergetice.

6.1.1 Problémy technologie blockchain

Jedním z problémů technologie blockchain je konflikt technologie jako takové s obecnými nařízeními o ochraně osobních údajů (General Data Protection Regulation – dále GDPR). Jedná se především o články 17 a 24. Text v této kapitole vychází ze článku Law versus technology: Blockchain, GDPR, and tough tradeoffs zpracovaný univerzitou v Albany (NY, USA) [8]. Citovaný text uvádí, že blockchain je v rozporu s článkem 17 obsahujícího „právo být zapomenut“. Problémem technologie blockchain je, že jednotlivé bloky se řadí za sebe v databázi, která je přístupná zúčastněným členům.

Osobní data jsou dále uchována v řetězci, ačkoli by měla být dle podmínek GDPR vymazána, jelikož už nejsou potřebné pro účely, pro které byla shromážděna. To je však v rozporu s principem fungování blockchainu, který je složen z jednotlivých bloků řazených za sebou. Řazení bloků zabezpečuje důvěru v bezpečnost technologie. Všichni účastníci musí disponovat stejnou databází a nenavazující bloky jsou vyřazeny. Následující text je citován z článku 17 pravidel GDPR platných od 25. května 2018.

„Článek 17. Právo na výmaz („právo být zapomenut“)

1. Subjekt údajů má právo na to, aby správce bez zbytečného odkladu vymazal osobní údaje, které se daného subjektu údajů týkají, a správce má povinnost osobní údaje bez zbytečného odkladu vymazat, pokud je dán jeden z těchto důvodů:

a) osobní údaje již nejsou potřebné pro účely, pro které byly shromážděny nebo jinak zpracovány;

b) subjekt údajů odvolá souhlas, na jehož základě byly údaje podle čl. 6 odst. 1 písm. a) nebo čl. 9 odst. 2 písm. a) zpracovány, a neexistuje žádný další právní důvod pro zpracování;

c) subjekt údajů vznesl námitky proti zpracování podle čl. 21 odst. 1 a neexistují žádné převažující oprávněné důvody pro zpracování nebo subjekt údajů vznesl námitky proti zpracování podle čl. 21 odst. 2;

d) osobní údaje byly zpracovány protiprávně;

e) osobní údaje musí být vymazány ke splnění právní povinnosti stanovené v právu Unie nebo členského státu, které se na správce vztahuje;

f) osobní údaje byly shromážděny v souvislosti s nabídkou služeb informační společnosti podle čl. 8 odst. 1.

2. Jestliže správce osobní údaje zveřejnil a je povinen je podle odstavce 1 vymazat, přijme s ohledem na dostupnou technologii a náklady na provedení přiměřené kroky, včetně technických opatření, aby informoval správce, kteří tyto osobní údaje zpracovávají, že je subjekt údajů žádá, aby vymazali veškeré odkazy na tyto osobní údaje, jejich kopie či replikace.

3. Odstavce 1 a 2 se neuplatní, pokud je zpracování nezbytné:

a) pro výkon práva na svobodu projevu a informace;

b) pro splnění právní povinnosti, jež vyžaduje zpracování podle práva Unie nebo členského státu, které se na správce vztahuje, nebo pro splnění úkolu provedeného ve veřejném zájmu nebo při výkonu veřejné moci, kterým je správce pověřen;

c) z důvodů veřejného zájmu v oblasti veřejného zdraví v souladu s čl. 9 odst. 2 písm. h) a i) a čl. 9 odst. 3;

d) *pro účely archivace ve veřejném zájmu, pro účely vědeckého či historického výzkumu či pro statistické účely v souladu s čl. 89 odst. 1, pokud je pravděpodobné, že by právo uvedené v odstavci 1 znemožnilo nebo vážně ohrozilo splnění cílů uvedeného zpracování;*

e) *pro určení, výkon nebo obhajobu právních nároků.*“ [9]

Kromě článku 17 je základní princip technologie blockchain částečně v rozporu s článkem 25 pravidel GDPR. V obecné podobě blockchainu není možné odebrat osobní data z blockchainového řetězce bez jeho porušení. Data jsou uložena v blockchainovém řetězci transparentně a zároveň jsou odolná proti neoprávněné manipulaci. To umožňuje uživatelům procházet každou transakci a její hodnotu. Každý může vstoupit do systému ověřit, zda je transakce v pořádku. Z pohledu GDPR musí být data zabezpečena, aby nebylo možné na základě transakce identifikovat uživatele. Převzatý článek cituje studii, kde bylo prokázáno, že identifikace IP adresy uživatele je možná přes jeho více jak třicetímístnou anonymizovanou adresu a veřejná data o transakcích.

„Článek 25. Záměrná a standardní ochrana osobních údajů

- 1. S přihlédnutím ke stavu techniky, nákladům na provedení, povaze, rozsahu, kontextu a účelům zpracování i k různě pravděpodobným a různě závažným rizikům pro práva a svobody fyzických osob, jež s sebou zpracování nese, zavede správce jak v době určení prostředků pro zpracování, tak v době zpracování samotného vhodná technická a organizační opatření, jako je pseudonymizace, jejichž účelem je provádět zásady ochrany údajů, jako je minimalizace údajů, účinným způsobem a začlenit do zpracování nezbytné záruky, tak aby splnil požadavky tohoto nařízení a ochránil práva subjektů údajů.*
- 2. Správce zavede vhodná technická a organizační opatření k zajištění toho, aby se standardně zpracovávaly pouze osobní údaje, jež jsou pro každý konkrétní účel daného zpracování nezbytné. Tato povinnost se týká množství shromážděných osobních údajů, rozsahu jejich zpracování, doby jejich uložení a jejich dostupnosti. Tato opatření zejména zajistí, aby osobní údaje nebyly standardně bez zásahu člověka zpřístupněny neomezenému počtu fyzických osob.*
- 3. Jedním z prvků, jimiž lze doložit soulad s požadavky stanovenými v odstavcích 1 a 2 tohoto článku, je schválený mechanismus pro vydávání osvědčení podle článku 42.*“ [10]

Jednou z dalších nevýhod blockchainu je, že na základě současné podoby práva je náročné stanovit, na koho spadá zodpovědnost za dodržování povinností definovaných GDPR. Pravidla GDPR jsou postavena na předpokladu, že data spravuje centrální autorita. V tomto případě centrální autorita nahrazena architekturou blockchainu. GDPR a technologie blockchain spolu sdílí společný cíl, kterým je zvýšení zabezpečení dat a soukromí uživatelů. Přístupy, kterými se snaží tohoto stavu docílit, se různí. Technologie blockchain umožňuje uživatelům kontrolu nad množstvím sdílených dat

a umožňuje jejich omezení na nezbytné minimum. Informace sdílené v řetězci blockchain jsou anonymizována a osobní data jsou zpřístupněna pouze při znalosti privátního klíče. Data o transakcích oddělená od dat osobních jsou veřejně viditelná. Tato transparentnost eliminuje potřebu zprostředkovatele (centrální autority).

6.2 Využití blockchainu v energetice

Využití blockchainu v energetice je spojováno s rozvojem decentralních zdrojů elektřiny a zvýšeným požadavkem na komunikaci jednotlivých prvků sítě a měření. Možná největším uplatněním blockchainu je jeho využití k finančním transakcím a přímému obchodu s elektřinou mezi obchodníkem a zákazníkem. V horizontu několika následujících let se předpokládá rozvoj malých decentralních zdrojů a bateriových úložišť. Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů je silně závislá na vnějších vlivech a nemusí být vždy zcela předvídatelná. Dále lze sledovat další trendy v energetice, jako je zapojení agregátora a prosumerů do trhu s elektřinou a obecný tlak na zvýšení podílu obchodované elektřiny na vnitrodenním trhu. Tyto předpoklady vedou k vyšší likviditě trhu na burze.

Řešení výše uvedených výzev může napomoci užití blockchainu. Blockchain nabízí vyšší zapojení koncových zákazníků (odběratelů a prosumerů) do obchodu s elektřinou. Blockchain může umožnit aplikaci různých typů dynamických tarifů jako jsou Real-Time Pricing (RTP), Time-of-use Pricing (TOU), Variable Peak Pricing (VPP), Critical Peak Pricing (CPP) and Critical Peak Rebate (CPR).

Technologie blockchain může umožnit efektivnější management a řízení sítě. Dále může být blockchain zapojen do vyvážení nabídky a poptávky po elektřině, ověřování správné funkce síťových prvků a zlepšení komunikace mezi distribuovanou výrobou, PDS a PPS.

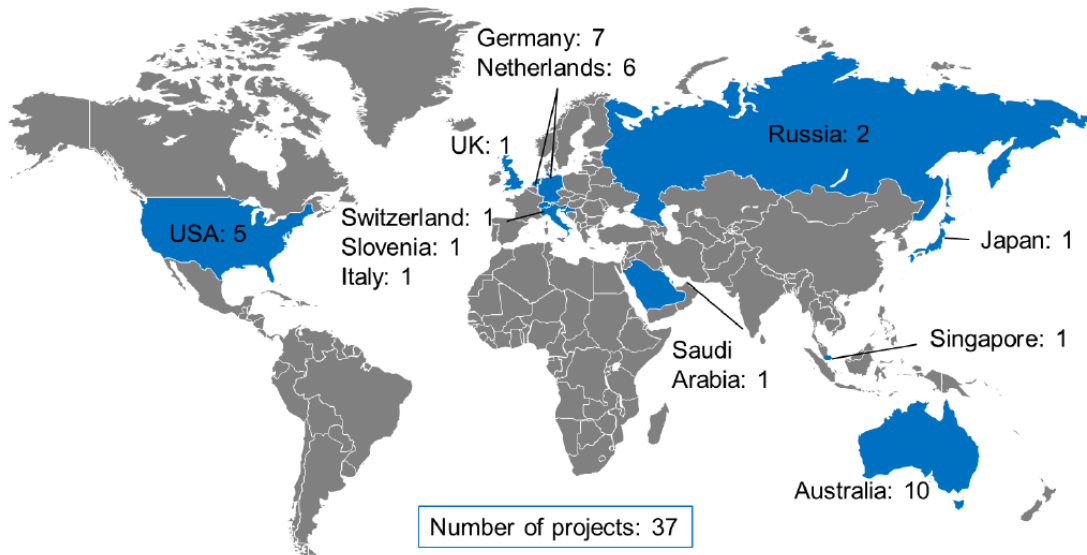
Využití blockchainu má potenciál pro lokální trh s elektřinou na úrovni obcí (Households P2P Trading). Tato oblast byla například předmětem zájmu studií The Brooklyn Microgrid (USA) a Allgau Microgrid project (Německo).

Oproti klasickému obchodování s elektřinou má blockchain výhodu v tom, že obchází prostředníka jako je burza, brokeri a dodavatelé. Technologie blockchain může být uplatněna i při wholesale P2P trading.

Dalším potenciálním využitím blockchainu je vytvoření platebního systému pro dobíjecí stanice elektromobilů. U elektromobilů se dále zvažuje využití interní baterie jako poskytovatele flexibility a nabízení její kapacity na lokálním trhu v zastoupení agregátora.

Zkoumání využití blockchainu v energetice je předmětem zájmu zemí po celém světě. Brožura The role of blockchain technologies in power markets vydaná skupinou cigre aktuální k prosinci 2020 [7] cituje, že celosvětově proběhlo/probíhá 37 pilotních projektů/studií zkoumajících využití technologie blockchain v energetickém odvětví. Přehledem uváděné projekty byly započaty v rozmezí let 2016 až 2020.

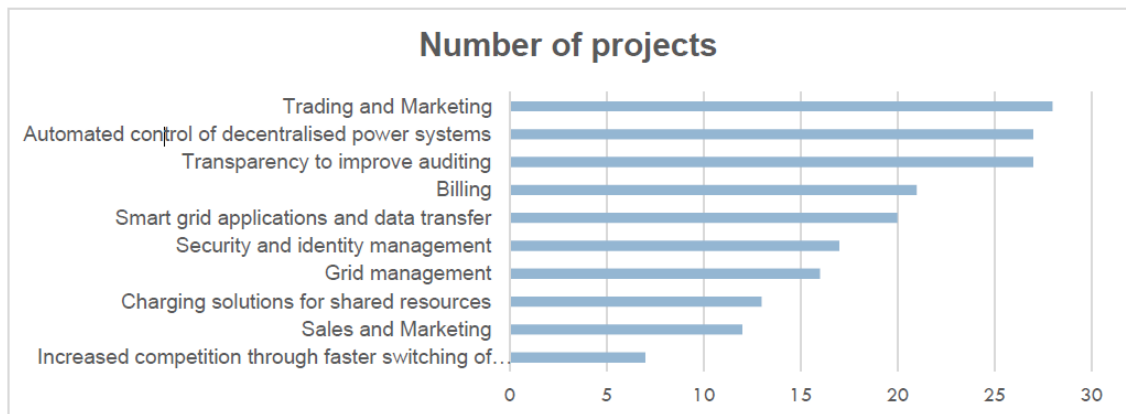
Nejvíce projektů bylo dle Obr. 6.2 uskutečněno v Austrálii v celkovém počtu 10. V rámci Evropy jsou dle počtu provedených studií neaktivnější země Německo (7) a Nizozemí (6). Dále následuje Velká Británie (1), Itálie (1), Slovinsko (1) a Švýcarsko (1). V celosvětovém kontextu je další zemí se zvýšeným zájmem o využití blockchainu USA s 5 pilotními projekty.



Obr. 6.2 Rozložení pilotních projektů dle země [7]

V rámci uskutečněných studií byla nejčastěji využívána blockchain platforma Ethereum a Hyperledger Fabric. Ethereum bylo využito v nejvíce projektech, jelikož umožňuje vytvářet a používat smart contracts (zamezují prostoji, podvodné činnosti, rušení třetími stranami, cenzuře a manipulaci s daty).

Pracovní skupina CIGRE dále vytvořila přehled oblastí využití technologie blockchain v energetice. Následující Obr. 6.3 zobrazuje, jakým způsobem byl nejčteněji využíván blockchain v rámci pilotních projektů.



Obr. 6.3 Rozdělení projektů dle využití technologie blockchain [7]

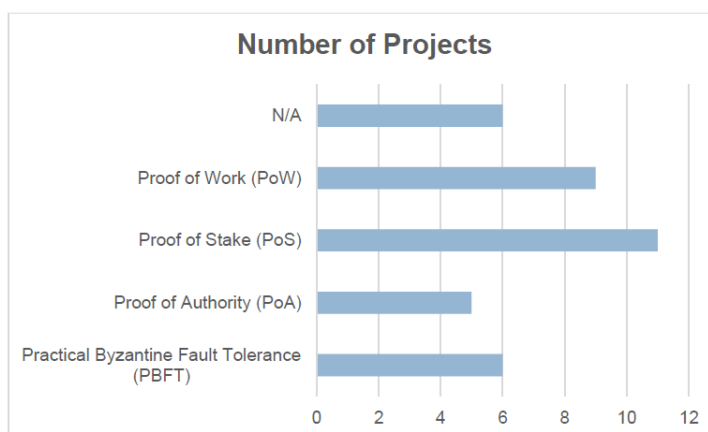
Z uvedeného přehledu je patrné, že nejvíce jsou zastoupeny projekty využívající blockchain na trading a marketing (umožňuje prosumerům vstup na trh s elektřinou a vede

ke snížení nákladů za energie), automatizované řízení decentralních zdrojů elektřiny (klíčový benefit pro rozvoj decentralní výroby) a transparentnost zlepšující audit a fakturaci.

Hlavním využitím blockchainu v elektroenergetickém sektoru se dle počtu provedených studií jeví decentralizované obchodování s elektřinou, které může přinést nové možnosti:

- wholesale energy trading,
- peer-to-peer (P2P) energy trading,
- energy trading pro velkoodběratele a další účastníky trhu,
- trh s flexibilitou,
- snížení nákladů na transakci,
- snížení objemu transakcí

Pilotní projekty/studie jsou níže na Obr. 6.4 rozděleny dle metody validace bloků řetězce. Z přehledu proběhlých studií vyplývá, že nejčtenějšími využívanými metodami konsenzu jsou Proof of Stake (PoS) a Proof of Work (PoW). V menší míře se objevuje Proof of Authority (PoA) a Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)



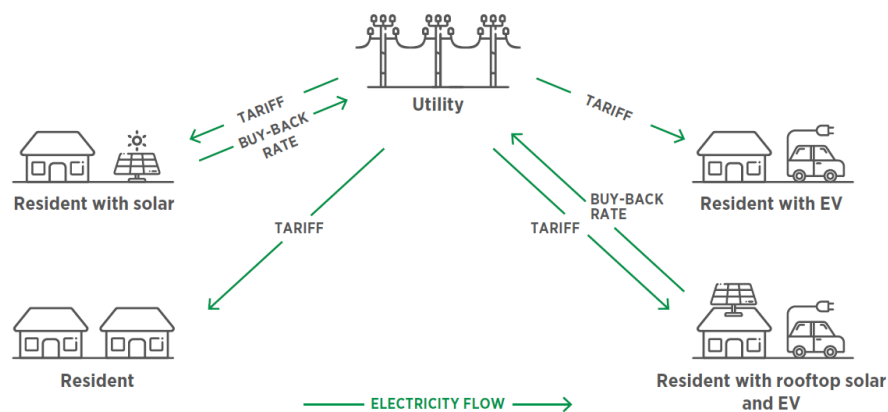
Obr. 6.4 Rozdělení projektů dle zabezpečení [7]

6.3 PEER-2-PEER electricity trading

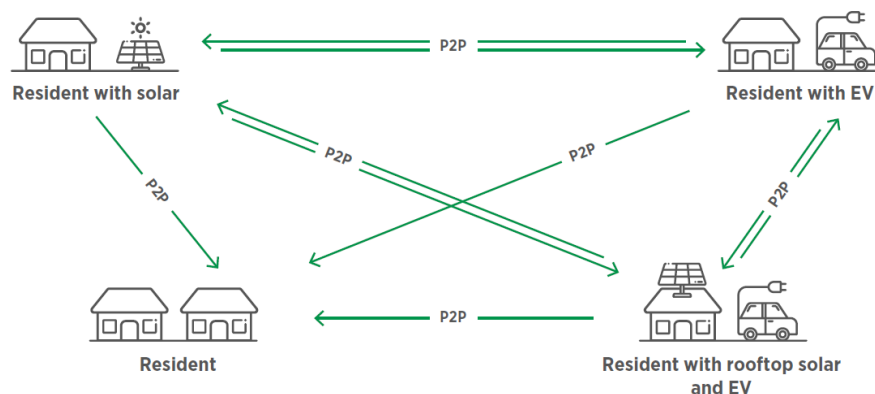
Peer-to-peer (P2P) electricity trading je business model, který je postaven na propojené platformě. P2P model tvoří online marketplace spojující poptávku a nabídku po elektřině bez prostředníka. V současné podobě trhu s elektřinou je obchodníky (dodavateli) elektřina zákazníkům nabízena skrze fixní či time-of-use tarify. Prosumeri prodávají přebytečnou elektřinu dodavateli za „buy-back rate“, jak je naznačeno v následujícím obrázku Obr. 6.5. Tento stav není pro prosumery příliš výhodný, jelikož má vykupovaná elektřina nižší hodnotu než tarifní cena, za kterou ji prodává dodavatel.

Literatura [14] popisuje výhodnější P2P model zapojení prosumerů do trhu s elektřinou na příkladu prosumera s malou fotovoltaickou elektrárnou a jeho sousedem nabíjejícím elektromobil. Dle současného pohledu na dodávku elektrické energie jsou do výsledné ceny započítány poplatky za přenos a distribuci elektřiny, nicméně v tomto případě výroby v místě spotřeby není velká část infrastruktury využívána a při P2P modelu obchodování elektřiny by tyto poplatky mohly být sníženy a vést k celkovému poklesu ceny za elektřinu.

P2P model přímo podporuje rozvoj distribuované výroby. V P2P prostředí mohou prosumeri měnit své postavení ze subjektu elektřinu poptávající na prodávající. Jednotlivé peery jsou mezi sebou přímo propojeny obchodní platformou, která umožňuje odkup elektřiny za nižší buy-back rate cenu oproti klasickému tarifu. Tento tržní koncept cenově výhodný pro stranu elektřinu nabízející i poptávající. Následující Obr. 6.5 a Obr. 6.6 schematicky zobrazují odlišnosti mezi současnou podobou výkupu elektřiny od prosumera a využití P2P tradingu.



Obr. 6.5 Trading model využívající prostředníka [14]



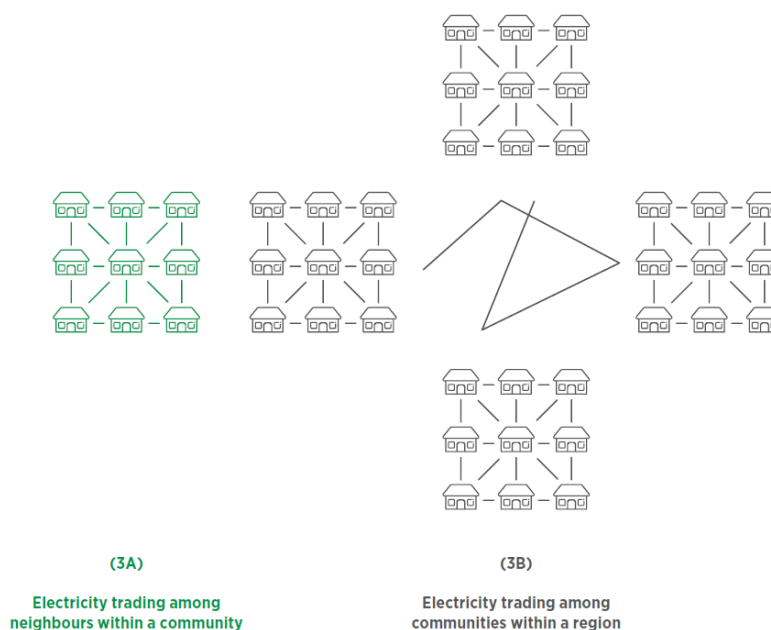
Obr. 6.6 P2P trading model [14]

Využití P2P trading modelu se nabízí uvnitř občanských energetických společenství i ve větším měřítku mezi společenstvími navzájem viz. Obr. 6.7. Část A zobrazuje P2P electricity trading uvnitř jednoho společenství Část B schematicky zobrazuje vztahy komunit využívajících P2P obchodování ve větším měřítku při vzájemném propojených komunit.

Pokud P2P obchodování probíhá v rámci celistvé distribuční sítě, je nutná regulace trhu z následujících důvodů:

- Zachování kvality elektrické energie
- Chod sítě musí být stabilní
- Odběr elektřiny se musí rovnat její výrobě

Pokud je daná elektrická síť provozována v ostrovním provozu je nutné, aby sama zastala regulátora kvality elektrické energie a byla zachována výkonová rovnováha a stabilita sítě.



Obr. 6.7 Demonstrace P2P trading modelu mimo lokální komunity [14]

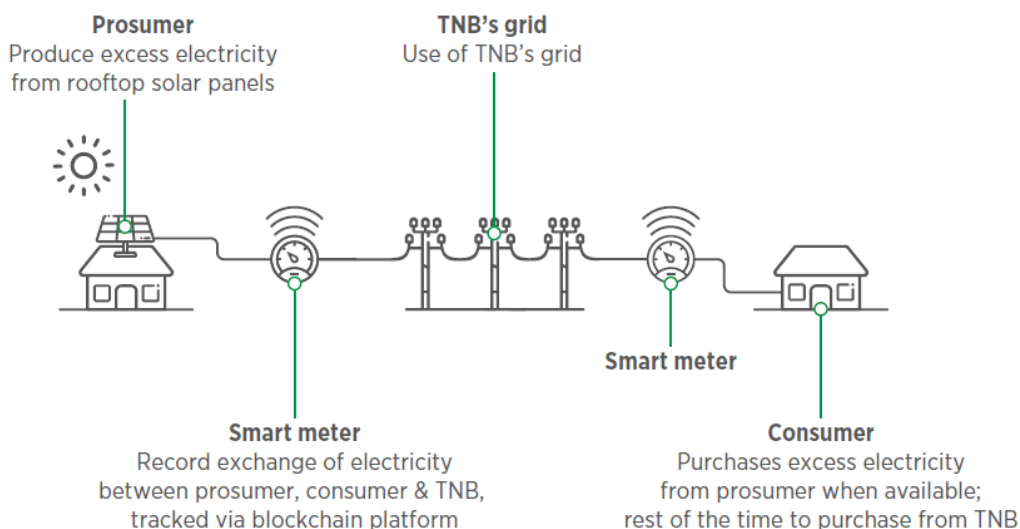
P2P electricity trading model umožňuje efektivnější využití distribuované výroby a zároveň přispívá k vyšší odolnosti sítě v případě výpadků. Přispívají tedy k celkovému zvýšení spolehlivosti chodu sítě. Transformace obchodního prostředí P2P tradingem může přinést následující benefity:

- Vyšší zastoupení distribuované výroby v distribuční síti
- Zvýšení flexibility z důvodu silnějšího postavení spotřebitelů a prosumerů na trhu s elektřinou
- Zlepšení vyvážení výroby a spotřeby díky efektivnějšímu řízení distribuovaných zdrojů
- Poskytování doplňkových služeb elektrizační soustavě
- Výhodnější postavení odběratele uvnitř komunitních sítí (mimi-grids)

Obchod elektřiny využívající P2P modelu podporuje rozvoj distribuované výroby v rámci sídelních komunit. Očekávaný rozvoj se týká především střešních fotovoltaických elektráren s bateriových úložišť. Zapojení prosumerů do P2P modelu dále přináší vyšší příjmy z prodeje elektřiny oproti klasické výkupní ceně buy-back-rate.

Nastavení P2P modelu bylo např. testováno v roce 2019 pod záštitou London's Global University (UCL) a EIA University of Columbia na skupině 14 residentů v pilotním projektu ve městě Medellin v Kolumbii. Ideou projektu bylo P2P propojení rezidenčních budov s distribuovanou výrobou v podobě fotovoltaických instalací na okraji města.

Dalším projektem využívajícím P2P model za účelem lepšího managementu distribuované výroby započal v listopadu 2019 v Malajsii pod záštitou Sustainable Energy Development Authority (SEDA). V rámci tohoto pilotního projektu je elektřina vyrobená prosumery prodávána odběratelům, nebo energetické společnosti Tenaga Nasional Berhad (TNB). Koncept tohoto projektu je schematicky zobrazen na Obr. 6.8.

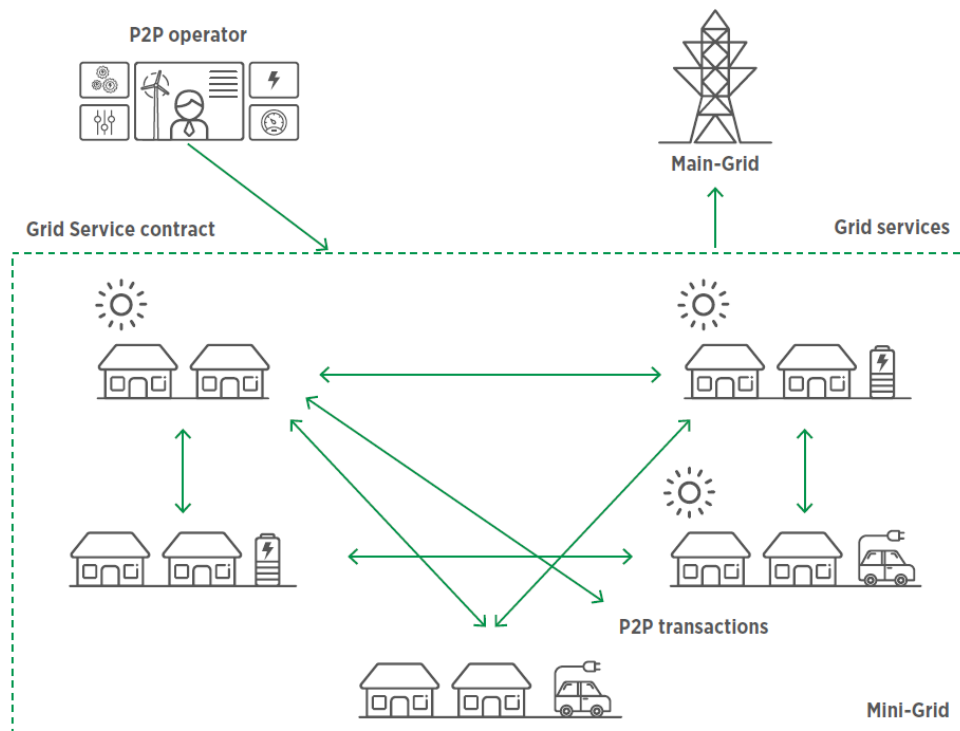


Obr. 6.8 Koncept P2P trading modelu v Malajsii [14]

Výsledky realizovaného pilotního projektu ukazují, že zakomponování P2P modelu do obchodu s elektřinou vede k lokálnímu vyvážení nabídky a poptávky a podporuje vyšší zastoupení distribuované výroby z obnovitelných zdrojů v elektrické síti. Zároveň množství vykupované elektřiny dodavatelem bylo poměrně malé oproti elektřině zobchodované přímo mezi účastníky P2P tradingem.

V rámci podpůrných služeb může provozovatel P2P platformy sružit účastníky komunitní mini-grid sítě do „virtuální elektrárny“ a nabízet flexibilitu na velkoobchodním trhu s elektřinou. Tento koncept je ilustrován následujícím Obr. 6.9.

Uvedený princip je aplikován softwarovou společností Piclo zpravující P2P platformu Piclo Flex na území Spojeného království (UK) ve spolupráci s tamními PDS. Uvedený pilotní projekt je financován vládou UK. Tomuto pilotnímu projektu se podrobněji věnuje kapitola 5.2.2.



Obr. 6.9 Užití P2P modelu komunitní sítě v napojení na DS [14]

7. PŘEDSTAVENÍ PILOTNÍCH PROJEKTŮ

Následující kapitola má za úkol představit jednotlivé pilotní projekty navrhující tržní prostředí obchodu s elektřinou postavené na blockchain platformě využívající peer to peer electricity trading. Využití P2P obchodování se jeví vhodné pro malé lokální sítě za DTS (7.1, 7.3, 7.2, 7.4) či průmyslové zóny s halami pokrytými FV panely různých vlastníků [35]. V současné době není na území ČR žádný pilotní projekt v realizaci, nicméně lze do budoucna předpokládat zapojení ČEPS do výzkumu využití blockchainu v českém prostředí [37].

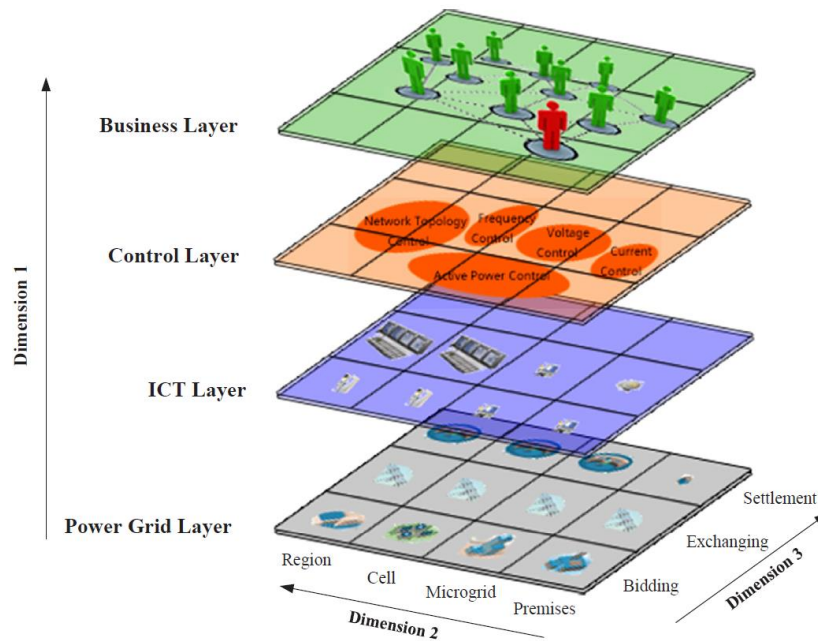
7.1 Elecbay

Tato kapitola popisuje čtyř vrstvou architekturu P2P trading modelu navrženou univerzitou v Cardiffu (UK) popsanou článkem [17]. Celý text studie, která byla předmětem disertační práce je k dispozici na [27]. Navrhovaný dražební systém nazvaný Elecbay je realizován v lokální mikro síti na jednotné hladině napětí. Do P2P platformy Elecbay vstupují celkem 4 účastníci, kteří spolu sdílejí data. Těmito účastníky jsou jednotlivé peery (odběratelé elektřiny či prosumeři), provozovatel distribuční sítě (jeho úloha je starat se o dodržení normou stanovené kvality elektrické energie a nepřetržitosti dodávky), trading platforma Elecbay (zde probíhá obchod mezi jednotlivými peery) a dodavatel (může se chovat jako nakupující nebo prodávající). V rámci této studie není řešen scénář sdružující jednotlivé peery do větších celků zastoupených agregátorem.

Navrhovaný systém je postavený čtyřvrstvé struktuře demonstrované na Obr. 7.1. Jedná se o trojrozměrnou architekturu s několika úrovněmi. Níže popsaný systém je navržený pro mikro síť na napěťové hladině NN připojené k distribuční síti.

První dimenze čtyřvrstvé architektury rozděluje systém do čtyřech úrovní:

- Úroveň distribuční sítě obsahuje všechny fyzické komponenty DS, které se účastní P2P tradingu. Jedná se především o venkovní a kabelová vedení, transformátory, průběhové elektroměry, distribuované zdroje elektřiny atd.
- ICT úroveň obsahuje komunikační zařízení, protokoly a přenos informací. Do této skupiny spadají senzory, drátové/bezdrátové komunikační cesty, routery, spínače, servery a počítače.
- Úkolem řídicí úrovně je zabezpečit bezproblémový provoz distribuční sítě a udržet normou stanové požadavky na kvalitu elektrické energie a spolehlivost dodávky.
- Business úroveň obsahuje tržní prostředí umožňující P2P trading mezi jednotlivými účastníky trhu.



Obr. 7.1 Čtyřvrstvá architektura P2P trading modelu [17]

Druhá dimenze popisované architektury je závislá na rozloze území, na kterém se nacházejí účastníci trhu (jeden přípojný bod, mikro síť, okres, kraj). Přípojným bodem může být myšlena například jedna domácnost, bytový dům či průmyslový závod. Mikro síť obsahuje několik propojených distribuovaných výroben elektřiny skrze distribuční síť na napěťové hladině NN či VN ohraničené transformátory. Vyšší oblastní jednotkou pro daný obchodní systém mohou být navzájem propojené nebo izolované mikro sítě.

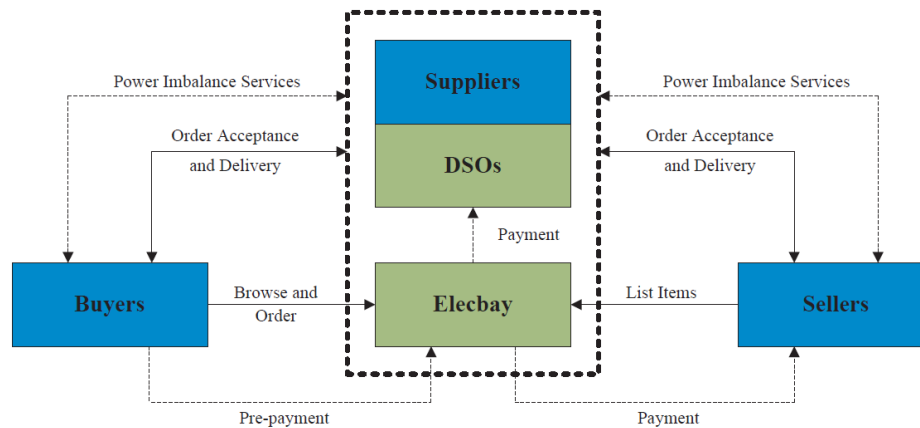
Třetí dimenze zobrazuje jednotlivé kroky vypořádání obchodu s elektřinou při P2P trading procesu. První úroveň je dražba nabídky a poptávky elektřiny výrobcí, odběrateli a prosumery na otevřeném trhu zprostředkovaném platformou Elecbay. V druhém kroku je nasmlouvaná elektřina vyrobena, přenesena a spotřebována. Ve třetím kroku dochází k přenesení a usazení hotovosti (vzájemnému finančnímu vypořádání mezi poptávajícím a nabízejícím). Případný rozdíl mezi nasmlouvaným objemem výroby/spotřeby je penalizován a započten do výsledné ceny.

7.1.1 Peer-to-peer trading platforma

Navržený systém je postaven na využití lokální distribuované výroby a zásobení místních odběratelů elektřiny bez prostředníka, kterým obvykle jsou dodavatelé a agregátoři. Účelem nastaveného systému je vybalancovat lokální výrobu a spotřebu elektřiny při minimalizování nákladů, maximalizaci zisku účastníků, minimalizaci emisí a zabezpečení nepřetržitosti dodávky elektrické energie. Dále si zvolený přístup klade za cíl snížit množství elektřiny dodávané do komunity z vnější DS prostřednictvím dodavatele.

Aby navrhovaný systém mohl spolehlivě fungovat, je zapotřebí spolupráce jednotlivých účastníků a datová výměna mezi jednotlivými peery, provozovatelem distribuční sítě, provozovatelem platformy trading platformy plnicího funkci operátora trhu s elektřinou a dodavatelů elektřiny.

Účastníky navrhovaného tržního systému jsou spotřebitelé, výrobci, prosumeři (mohou volně přecházet mezi postavením spotřebitele a výrobce elektřiny) a dodavatelé elektřiny. Vzájemné vztahy účastníků jsou schematicky propojeny na následujícím Obr. 7.2.



Obr. 7.2 Vztahy mezi účastníky P2P trading modelu [17]

Na platformě Elecbay účastníci trhu poptávají či nabízejí elektřinu v půlhodinových časových úsecích namísto hodiny, která je užívána v rámci vnitrodenního trhu s elektřinou (4.1.2). Každá objednávka obsahuje informace o časovém úseku plnění, množství nasmlouvané energie, cenu, identifikační údaje elektřinu nabízejícího a poptávajícího účastníka atd. Výrobci i odběratelé mohou procházet nabídky protistran a vznést požadavek na výrobu/dodávku. Zveřejnění nabídky a poptávky po elektřině na vybraný 30. minutový interval může být provedeno týdně i dny dopředu před smlouvanou dodávkou.

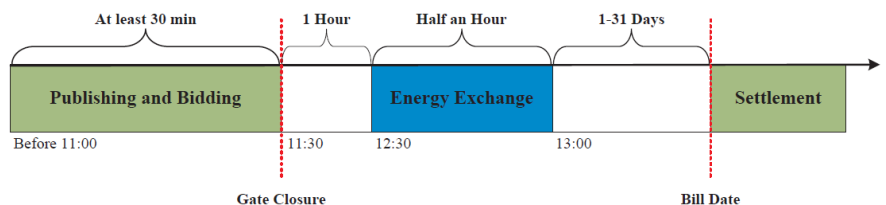
Před uskutečněním dodávky může být kontrakt odmítnut platformou Elecbay, provozovatelem distribuční sítě či dodavatelem. Schválení či odmítnutí kontraktu mezi dvěma peery je závislé na stavu sítě (bezporuchovém), velikosti napětí (podpětí/přepětí), tepelném namáhání (přetížení) atd. Pokud byl vzájemný kontrakt schválen autoritou, tak dojde ve smlouvaném časovém úseku k výrobě/spotřebě elektřiny. Vyrovnání výroby a spotřeby je zajištěno platformou Elecbay přebírající zodpovědnost za udržení výkonové rovnováhy v lokální mikro síti. Dodržení smluvních požadavků daného obchodu pro výrobu/spotřebu elektřiny je kontrolováno skrze elektroměry s dálkovým odečtem AMM. V případě nenaplnění smluvního odběru/dodávky je daný peer na trhu penalizován méně výhodnou nákupní/prodejní cenou elektřiny na platformě Elecbay. Při nedodržení nasmlouvané výroby/spotřeby je daný peer považován za méně spolehlivý. Kromě postihu formou méně výhodných prodejních/nákupních cen elektřiny může být peer pokutován. Nákupní a prodejní ceny elektřiny obchodované v rámci případové studie jsou stanoveny stejným způsobem jako na současném velkoobchodním

trhu s elektřinou ve Velké Británii (VB). Veškeré finanční transakce jsou v rámci mikro sítě provedeny skrze obchodní platformu Elecbay. Po zahrnutí všech poplatků (případně i penálí) jsou peníze převedeny výrobcům a odběratelům podílejících se na balancigu, dodavatelům a provozovateli distribuční sítě (viz. Obr. 7.2).

Prvním krokem k realizaci P2P obchodu je zveřejnění nabídky elektřiny na platformě Elecbay, kde daný peer nastaví 30. minutové okno, ve kterém elektřinu nabízí. Nabídka může být vystavena na měsíce, týdny či dny dopředu. Časové okno vystavení nabídky se uzavírá hodinu před začátkem plánované dodávky. Nabídky mohou být pokládány, rušeny nebo modifikovány pouze do uzavření daného časového okna. Jednotlivé peery předkládají nabídky na základě své očekávané výroby a spotřeby. Obchodní rozhodnutí jsou prováděna na základě porovnání nabízeného množství a ceny elektřiny. Během hodiny předcházející naplnění požadované dodávky elektřiny je objednávka schválena nebo zamítnuta provozovatelem distribuční sítě na základě napěťových poměrů v síti a výkonových toků v síti. V případě, že PDS identifikuje poruchu v síti, tak může rušit či modifikovat objednávky v hodinovém okně před uskutečněním smluvní dodávky.

Platforma Elecbay během 30. minutového okna dodávky zabezpečuje balancing výroby/spotřeby v rámci mikro sítě. Náklady na balancing jsou během každého 30. minutového okna evidovány. Během období vypořádání Elecbay spolupracuje s PDS a dodavateli na vyúčtování jednotlivých peerů. Toto vypořádání a vyúčtování trvá v rozmezí 1–31 dnů.

Výše popsané časové schéma popisuje následující Obr. 7.3, kde jsou časové úseky rozděleny do jednotlivých bloků.



Obr. 7.3 Zpracování objednávky [17]

7.1.2 Případová studie

Proveditelnost P2P obchodování byla demonstrována na simulované lokální síti na napěťové hladině NN. Zároveň byly zkoumány odběrové diagramy prosumerů a změna jejich chování ovlivněná P2P obchodním modelem. Dále byla analyzována výměna energie mezi lokální mikro sítí a vnější DS. Vstupní data simulace jsou založena na základě predikce energetických profilů jednotlivých prosumerů. Simulace zohledňuje následující předpoklady:

- Prosumeři nejsou agregováni do větších celků, které by jim umožnily silnější postavení na trhu s elektřinou.
- Spotřebitelé a prosumeři se podílí na lokálním udržení výkonové rovnováhy.

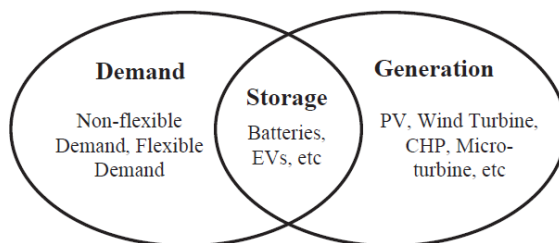
- Dodavatelé mají pozici pasivního peeru. Vykupují elektřinu od prosumerů za nízkou cenu a prodávají ji spotřebitelům a prosumerům za cenu vyšší.
- Servisní poplatky platformě Elecbay jsou zanedbány.

Nejčastější typy energetických zařízení vlastněných odběrateli poskytujících flexibilitu jsou střešní fotovoltaické instalace (flexibilní výroby) a elektrické kotle na ohřev vody (flexibilní spotřeba). Dalšími zařízeními mohou být malé větrné turbíny, malé vodní elektrárny, tepelná čerpadla, baterie, elektromobily atd.

Tyto energetická zařízení mohou být rozděleny do tří skupin:

- Odložitelná a nedoložitelná spotřeba elektřiny
- Výrobní zařízení
- Úložiště energie – umožňuje elektřinu dle potřeby ukládat, nebo dodávat zpátky do sítě

Vztahy mezi jednotlivými skupinami jsou znázorněny na následujícím Obr. 7.4.



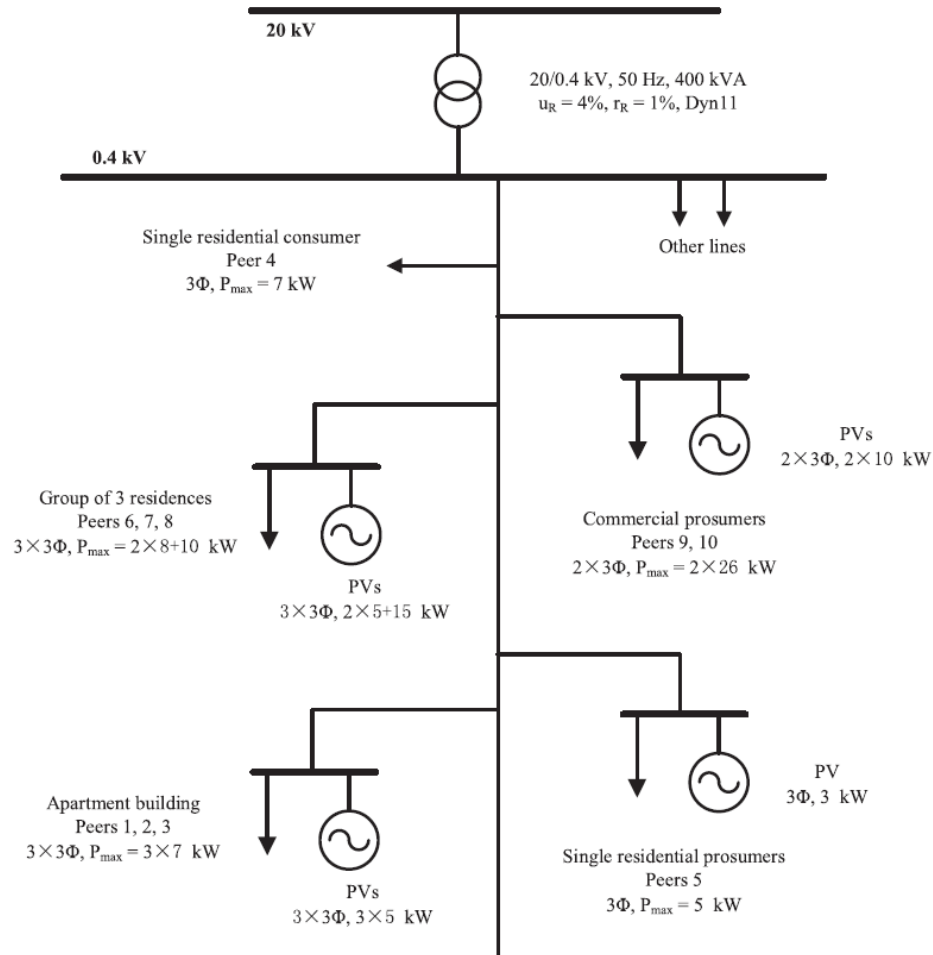
Obr. 7.4 Kategorie energetických zřízení [17]

P2P obchodování je umožněno především díky energetickým zařízením umožňujícím flexibilní odběr elektřiny (záporná flexibilita). Jedná se především o elektrické kotle a bateriová úložiště. Dále je P2P trading vhodný u zdrojů s výrobou závislou na počasí, jako jsou fotovoltaické elektrárny.

V rámci provedené studie jsou decentrální zdroje po celou dobu připojeny k síti a nedochází k jejich odpojování/připojování. Přestože bateriová úložiště elektřiny se nabízí jako výhodný zdroj flexibility v mikro síti, tak nejsou ve zpracované studii uvažovány z důvodu vysokých pořizovacích nákladů. Pro účely flexibilní spotřeby studie uvažuje pouze elektrické kotle (bojlery) na ohřev vody. Cyklické ohřevy vody jsou navrženy tak, aby negativně neovlivnili nebo neomezili jednotlivé uživatele. Na základě časového diagramu spotřeby teplé vody může být voda předeřhřata hodinu/dvě dopředu za nižší cenu elektřiny, aniž by došlo k omezení potřeb uživatele. Dle energetické potřeby dochází k úsekovému spínání a vypínání elektrického kotle a tím vznikají špičky flexibilního odběru. Velikost odebíraného flexibilního výkonu není regulována. Je odlišen pouze stav vypnuto/zapnuto.

Během studie bylo simulováno chování uživatelů v mikro síti, která je zobrazena na následujícím Obr. 7.5. Tato síť byla převzata ze studie z roku 2005 [18]. Součástí mikro sítě je celkem 10 peerů na napěťové hladině NN. Je uvažováno, že každý peer

disponuje flexibilním (v podobě elektrického kotle na ohřev vody) a neflexibilním odběrem. Dále se předpokládá, že všechny peery s výjimkou čtvrtého disponují malou fotovoltaickou elektrárnou. Jelikož se všechny peery nachází ve stejné oblasti, tak mají totožnou křivku výroby elektřiny z fotovoltaických elektráren.



Obr. 7.5 Mikro síť [17]

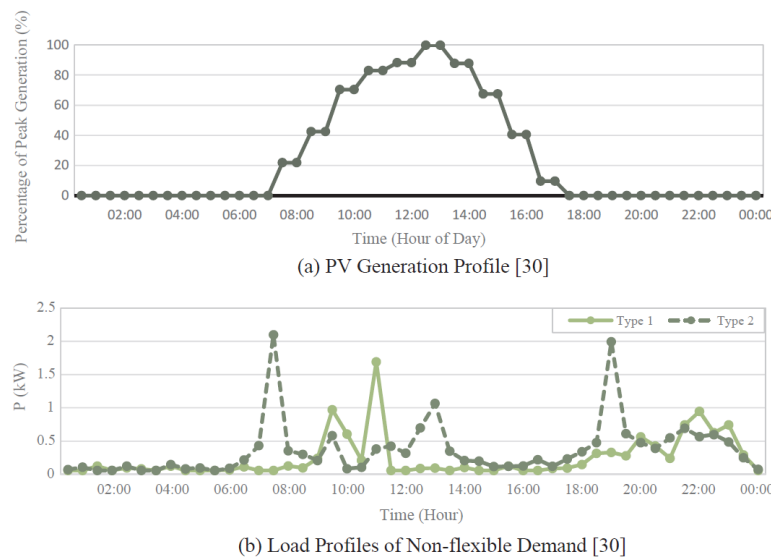
Zkoumaná mikro síť obsahuje apartmánový komplex, který je zastoupen peery 1, 2 a 3. Jejich maximální dílčí odběr je 7 kW a dílčí výroba 5 kW. Peer 4 je samostatná rezidence bez elektrárny s maximální spotřebou 7 kW. Peer 5 představuje residenčního prosumera s maximálním odběrem 5 kW a fotovoltaickou elektrárnu o výkonu 3 kW. Peery 6, 7 a 8 jsou skupina prosumerů se sdíleným přípojným bodem o max odběru ze sítě 8, 8 a 10 kW. Tyto peery disponují střešními FV instalacemi o výkonech 5, 5 a 15 kW. Součástí mikro sítě jsou dva komerční prosumeri 9 a 10 sdílející přípojný bod. Jejich maximální odběr činí shodně 26 kW a oba mají fotovoltaickou elektrárnu o výkonu 10 kW.

Vstupní parametry simulace shrnují tabulky Tab. 7-1 a Tab. 7-3. Obsahem Tab. 7-1 jsou první dva peery s fotovoltaickou elektrárnou o maximálním výkonu 5 kW. Dále jsou oba peery schopny poskytovat flexibilitu odběru ve výši 3 kW. Flexibilní výkon je dán regulací teploty vody v kotli v rozmezí 55 a 65 °C.

Tab. 7-1 Vstupní hodnoty peeru 1 a 2 [17]

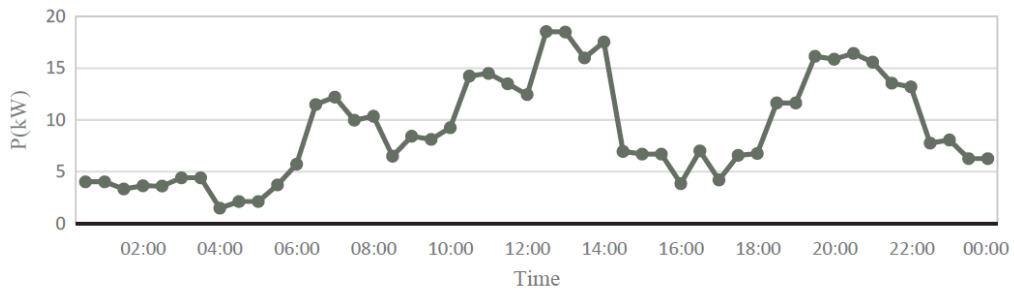
Parameters	Peer 1	Peer 2
Maximum PV generation	5 kW	5 kW
Maximum flexible demand	3 kW	3 kW
$[T_{min}, T_{max}]$ of flexible demand	[55, 65] (°C)	[55, 65] (°C)
Q of flexible demand	3 kW	3 kW
R of flexible demand	1.52 °C/kW	1.52 °C/kW
C of flexible demand	863.4 kWh/°C	863.4 kWh/°C
V of flexible demand	50 gallon	50 gallon
Maximum non-flexible demand	4 kW	4 kW
Non-flexible load profile	Type 1	Type 2

V práci je definována výroba elektřiny fotovoltaickými instalacemi na níže uvedeném Obr. 7.6. V obr. je jsou dále uvedeny typové průběhy neflexibilního odběru elektřiny z DS. Vzhledem k totožné lokalitě všech prosumerů, je křivka výroby elektřiny všech FV elektráren totožná – liší se pouze množství dodané elektřiny do sítě na základě instalovaného výkonu. Graf uvádí dva druhy užitého neflexibilního odběru elektřiny.



Obr. 7.6 Výroba elektřiny FV instalace a neflexibilní odběr [17]

Pro kontext celkové spotřeby elektřiny v mikro síti je níže uveden graf na Obr. 7.7 zobrazující odběr neflexibilní spotřeby elektrické energie. Během typizovaného dne lze v grafu sledovat tři vrcholy odběru. První se nachází mezi 6 a 8 hodinou dopolední, druhá nastává mezi 12 a 14 hodinou a třetí je mezi 19 a 22 hodinou. Z charakteristiky vyplývá, že daná mikro síť je převážně rezidenční oblastí, jelikož mají domácnosti značný vliv na charakter odběru.



(c) Total Power Consumption of Non-flexible Demands in the Microgrid

Obr. 7.7 Neflexibilní odběr v mikro síti [17]

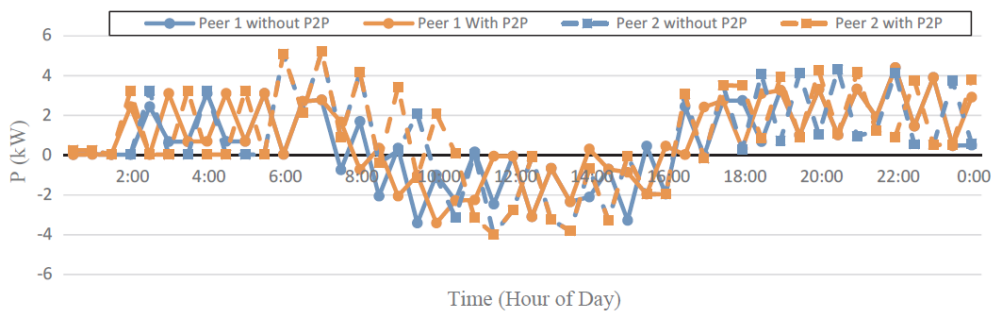
U flexibilní spotřeby byl na základě nabídky a poptávky po elektřině střídán stav vypnuto a zapnuto u elektrického kotle na ohřívání vody. Jednotlivé časové úseky, kdy byl spínán elektrický kotel zobrazuje následující Obr. 7.8. Z grafu vyplývá, že jsou jednotlivé sepnuté úseky rovnoměrně rozloženy během celého dne. U peeru 1 docházelo ke spínání kotle v časových úsecích odběrových špiček neflexibilní spotřeby. U peeru 2 se zdá, že ke spínání elektrického kotle na ohřev dochází rovnoměrně nezávisle na denní době.



(a) ON/OFF Status of Flexible Demand of Peers 1 and 2

Obr. 7.8 Spínání flexibilní spotřeby peeru 1 a 2 [17]

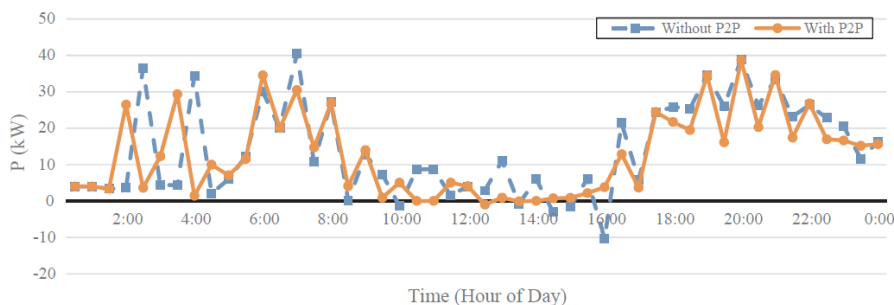
Na následujícím Obr. 7.9 jsou porovnány průběhy celkové denní spotřeby elektřiny peeru 1 a 2 při klasickém nastavení trhu s elektřinou a P2P tradingu. Při využití P2P tradingu dochází k mírné změně odběrové charakteristiky oproti normálnímu stavu.



(b) Total Power Consumption of Peers 1 and 2 without and with P2P

Obr. 7.9 Spotřeba elektřiny peeru 1 a 2 bez a s P2P tradingu [17]

Při využití P2P tradingu mírně poklesl odběr z distribuční sítě a tím je i sníženo celkové zatížení sítě oproti klasickému nastavení trhu s elektrinou. Grafický průběh zatížení mikro sítě během jednoho dne demonstruje Obr. 7.10.



(c) Net Load of the Microgrid

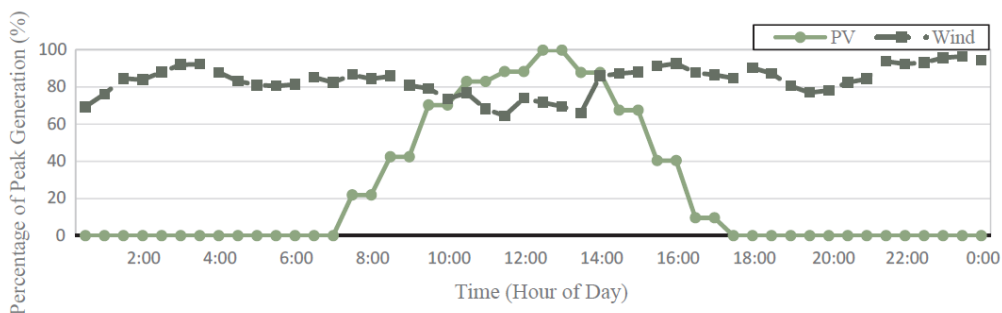
Obr. 7.10 Zatížení mikro sítě [17]

Snížení energetické výměny mezi mikro sítí a DS je vyčísleno v následující Tab. 7-2. Při P2P tradingu je energetická výměna mezi lokální mikro sítí a vnější distribuční sítí snížena o 9,19 % a špičkové zatížení pokleslo o 4,41 %.

Tab. 7-2 Porovnání zatížení mikro sítě bez a s P2P tradingu [17]

	Energy Exchange (kWh)	Reduction of Energy Exchange	Peak Load (kW)	Reduction of Peak Load
Without P2P	339.34	N/A	40.51	N/A
With P2P	308.15	9.19%	38.73	4.41%

V rámci této studie byl dále zkoumán alternativní scénář, který u peerů 3, 8 a 10 nahrazuje fotovoltaickou elektrárnu větrnou turbínou. Typizovaná výroba elektriny z větrné turbíny pro danou oblast je zobrazena na Obr. 7.11.



Obr. 7.11 Výroba elektrin DG pro 2. scénář [17]

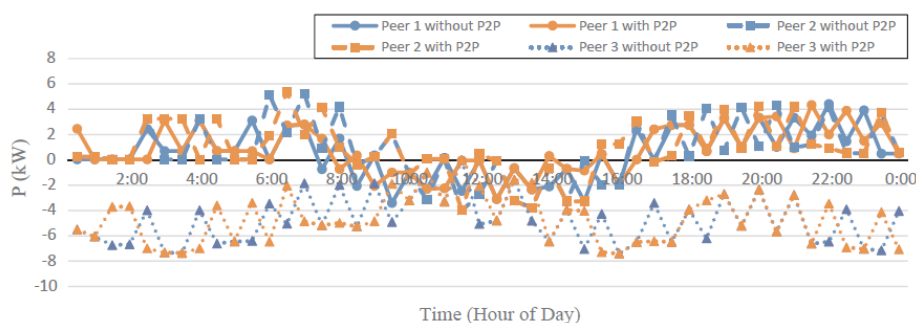
Pozměněné vstupní hodnoty simulace shrnuje Tab. 7-3. Předchozí tabulka pro první scénář je zde rozšířena o peer 3 (větrnou turbínou nahrazující FV instalaci nově disponují peery 8 a 10). Větrná turbína v novém scénáři má maximální výkon 5 kW.

Tab. 7-3 Vstupní hodnoty pro 2. scénář [17]

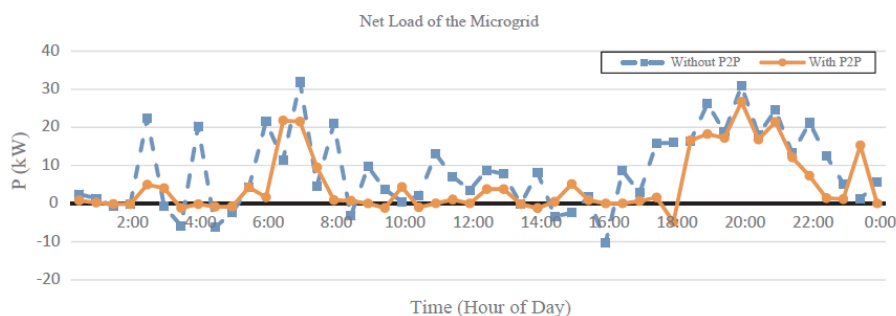
Key parameters of Peers 1, 2 and 3 in Case Study 5.2.

Parameters	Peer 1	Peer 2	Peer 3
Maximum PV generation	5 kW	5 kW	N/A
Maximum wind generation	N/A	N/A	5 kW
Maximum flexible demand	3 kW	3 kW	3 kW
$[T_{min}, T_{max}]$ of flexible demand	[55, 65] (°C)	[55, 65] (°C)	[55, 65] (°C)
Q of flexible demand	3 kW	3 kW	3 kW
R of flexible demand	1.52 °C/kW	1.52 °C/kW	1.52 °C/kW
C of flexible demand	863.4 kWh/°C	863.4 kWh/°C	863.4 kWh/°C
V of flexible demand	50 gallon	50 gallon	50 gallon
Maximum non-flexible demand	4 kW	4 kW	4 kW
Non-flexible load profile	Type 1	Type 2	Type 1

Rozložení výroby mezi zdroje s odlišnými průběhy výroby značně zasáhlo do výsledného odběru elektřiny jednotlivými peery z DS. Dle grafického zobrazení na Obr. 7.12 je vidět, že došlo k značnému snížení zatížení lokální mikro sítě.



(b) Total Power Consumption of Peers 1, 2 and 3 without and with P2P



(c) Net Load of the Microgrid

Obr. 7.12 Souhrnné údaje o zatížení pro 2. scénář [17]

Druhá případová studie ukazuje, že výhody peer to peer tradingu se projeví při diverzifikaci zdrojů. Větrné turbíny během této studie svou charakteristikou zastupují stabilní zdroj a přináší do mikro sítě nový výrobní profil, který značně přispívá k diverzitě trhu. To se projevuje především na snížení výměny elektřiny mezi mikro sítí a vnější DS.

Výměna energie u druhé případové studie poklesla o 42,49 % (viz. Tab. 7-4). Tento pokles odběru z DS je způsoben tím, že průběh výroby u větrných elektráren byl během dne přibližně konstantní. Vzhledem k mizivému zastoupení větrných elektráren u sídelních jednotek se jeví první případová studie, jako více průkazná.

Tab. 7-4 Výsledky druhého scénáře [17]

	Energy Exchange (kWh)	Reduction of Energy Exchange	Peak Load (kW)	Reduction of Peak Load
Without P2P	204.31	N/A	31.87	N/A
With P2P	117.49	42.49%	26.26	17.60%

7.1.3 Zhodnocení

Případová studie P2P trading platformy Elecbay je zpracována univerzitou v Cardiffu a řeší filozofickou a technickou stránku nového tržního systému pro obchod elektřiny uvnitř mikro sítě. Tržní prostředí je postaveno na čtyřvrstvé struktuře aplikující peer to peer trading v DS. V rámci studie byla zkoumána malá lokální síť o 10 peerech na hladině NN za distribučním transformátorem.

Do obchodní platformy jsou jednotlivé peery zapojeny přímo bez prostředníka. Jedním ze zúčastněných subjektů je PDS, který schvaluje probíhající transakce v případě, že je uvnitř sítě dodržena normou udávaná kvalita napětí. Trhu se stále účastní dodavatelé elektřiny, kteří se chovají jako pasivní peery. Všichni tito účastníci jsou propojeni platformou Elecbay, která vypořádává jednotlivé obchody a zároveň se stará o dodržení výkonové rovnováhy.

Aplikace systému je demonstrována na dvou případových studiích. V rámci obou studií byl pro jednotlivé peery typizován neflexibilní a flexibilní odběr elektřiny. Flexibilní odběr je v této studii zastoupen elektrickými kotly na ohřev vody, které udržují teplotu vody v rozmezí teplot 55 a 65 °C.

V první případové studii disponuje 9 z 10 peerů fotovoltaickou elektrárnou. V druhé případové studii je u třech peerů nahrazena fotovoltaická elektrárna větrnou turbínou o stejném výkonu. Tato modifikace se značně projeví ve výsledných hodnotách odběru elektřiny z vnější distribuční sítě. Při prvním scénáři je odběr ze sítě snížen o 9,19 %. Druhý scénář vede k poklesu odběru z vnější DS o 42,49 %.

Předností této studie je promyšlený funkční obchodní systém, který je jinými na blockchain zaměřenými studiemi opomíjen. Zároveň zavádí mnohé zjednodušující faktory, které při plošné aplikaci nelze opomíjet. Jedním z hlavních zjednodušení je omezení flexibilních spotřebičů elektřiny pouze na elektrické kotle. Jako další zařízení schopné poskytovat flexibilitu se s výhledem do budoucnosti mohou být např. bateriová úložiště a elektromobily.

Druhý scénář uvažující větrné turbíny jako zdroje flexibility prosumerů v municipalitě je z pohledu společenského soužití v obci zavádějící.

Peer to peer trading je obecně zaměřen na obchodování s elektřinou v menších komunitách. Příkladem mohou být venkovské oblasti, či městské aglomerace. Větrné turbíny nejsou v těchto oblastech vhodné a sdružují se především v rámci větrných parků mimo sídelní jednotky. Nejběžnější malé výrobní elektriny, kterými disponují prosumeři, jsou fotovoltaické panely. Pro vyšší diverzifikaci lokálních zdrojů se nabízí fotovoltaiku doplnit například o malou vodní elektrárnu na blízkém vodním toku, elektrárnu spalující bioplyn nebo dřevní štěpku či komunitní bateriové úložiště.

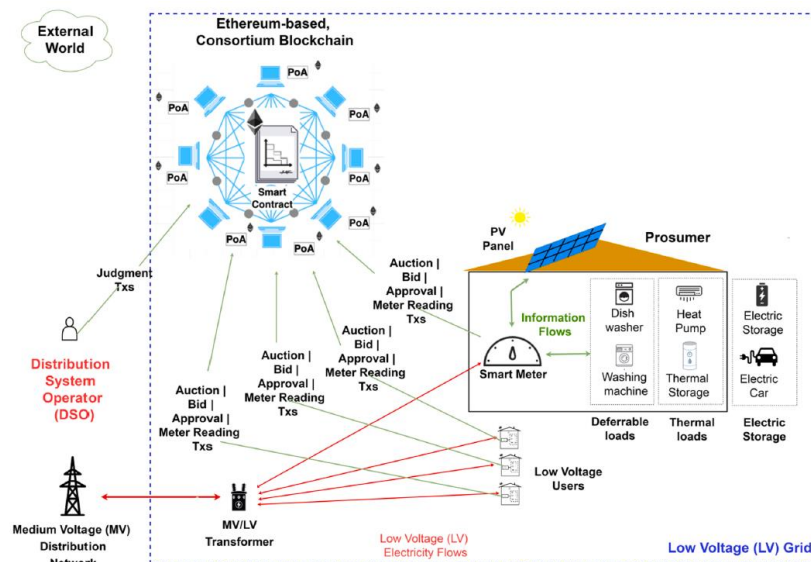
7.2 Výzkumný projekt univerzity v Pise

Jedna z dalších výzkumných prací zabývajících se využitím blockchainu pro komunitní obchodování je zpracována autory univerzity v Pise [19]. Jedná se o aktuální publikaci zveřejněnou 7. února 2021. Tato studie je zaměřena na využití obchodního blockchain P2P modelu postaveného na Ethereum. V úvodu k tomuto převzatému textu je však nutné zmínit, že navržený obchodní model nebyl otestován v reálném prostředí DS. Obchodní model P2P platformy byl simulován v kontrolovaném prostředí na laboratorním přípravku zobrazeném na Obr. 7.21. Využití P2P obchodního modelu je navrženo pro využití na napěťové hladině NN u účastníků za společným distribučním transformátorem.

Rozvoj decentralní výroby a lokálních energetických společenství v mnoha případech vede ke kolísání kvality elektrické energie a zvýšenému nároku na balancing, za který zodpovídá centrální autorita. Řešení obou problémů na hladině NN může přinést vytvoření nového tržního prostředí realizovaného skrze blockchain peer to peer trading.

Elektrická síť má v současné době množství prvků umožňujících flexibilitu, která je pro daný obchodní model nutná. V současné době disponují domácnosti na území Itálie elektroměry s dálkovým odečtem a spotřebiči umožňující flexibilitu. Dále je do distribuční sítě připojeno množství fotovoltaických elektráren, malých bateriových úložišť a v menším množství i odběrateli vlastněné elektromobily. Motivací pro realizaci peer to peer obchodního modelu mohou být i nové business příležitosti pro provozovatele distribučních sítí.

Struktura lokálního trhu s flexibilitou využívající peer to peer obchodní platformu založenou na Etheru schematicky zobrazuje následující Obr. 7.13.



Obr. 7.13 Navržená architektura lokálního P2P trhu s elektřinou [19]

Na Obr. 7.13 je ukázán typizovaný prosumer disponující střešní fotovoltaickou instalací, elektroměrem s průběhovým měřením, bateriovým úložištěm, elektromobilem a flexibilní spotřebou v podobě elektrického kotle na ohřev vody, tepelného čerpadla

a řadou domácích spotřebičů zastoupených pračkou a myčkou na nádobí. Tito prosumeři reprezentovaní rodinnými domy jsou připojeni na napěťovou hladinu NN za distribučním transformátorem. Jednotlivé peery jsou propojeny s blockchain obchodní platformou na bázi Ethera, kde probíhá veřejná aukce. Veškeré aukce probíhají pod dohledem autority, kterou je v tomto případě PDS.

Obchodní model popsaný příspěvkem je postaven na následujících typech trhů:

Trh předcházející dnu dodávky

Každý peer v den předcházející odběru elektřiny na platformu umísťuje odhadované množství vyrobené a spotřebované elektřiny po 15. minutových časových intervalech. Cena elektřiny na tomto denním trhu může být stanovena například pomocí protnutí poptávky a nabídky či jiným modelem. Stanovení výkupní ceny na denním trhu není předmětem tohoto příspěvku.

Kvazi trh v reálném čase

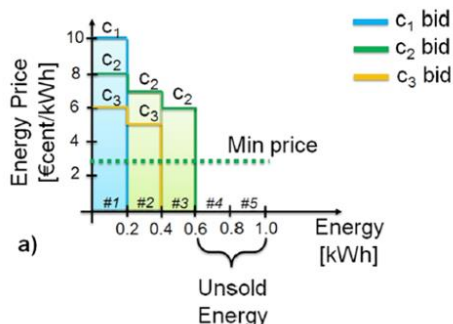
Probíhá v 15. minutovém časovém okně předcházejícím 15. minutového úseku nasmlouvaného z denního trhu předchozího dne. Kvazi trh je dále dělen na analytickou periodu (AP) a časový úsek fyzické dodávky elektřiny (EEK). Analytická perioda je 15. minutový časový úsek, ve kterém je na základě současné odchylky výroby/spotřeby elektřiny od předem nasmlouvaného množství elektřiny z předchozího denního trhu, kdy je v aukci dražena odchylka od této hodnoty. Ta může být kladná nebo záporná. Během AP trh rozdělen na aukci s přebytkem elektřiny a aukci nedostatku elektřiny. Tyto aukce jsou popsány níže a ilustrovány na Obr. 7.15.

Tržní prostředí při quasi real time tradingu v 15. minutovém intervalu AP je zobrazeno na Obr. 7.14 a Obr. 7.15. Množství obchodované elektřiny je rozděleno do slotů po 0,2 kW. Během každého 15. minutového okna probíhá zároveň analytická perioda (obchoduje se odchylka od smlouvaného množství elektřiny z předchozího dne na následující 15. minutový časový úsek) a fyzická dodávka elektřiny (nasmlouvaná na denním trhu a upravena během předchozí 15. minutové AP). Během každé AP se prosumeři mohou účastnit veřejné aukce, pokud se nakoupené/prodané množství elektřiny z předchozího dne liší od současné spotřeby/výroby ovlivněné například náhlou změnou počasí či chováním odběratele elektřiny. AP aukce začíná 15 minut před fyzickou dodávkou elektřiny.

Obr. 7.14 zobrazuje aukci při přebytku elektřiny. Zúčastnění prosumeři nabízejí v daném 15. minutovém intervalu množství elektřiny převyšující původní odhad výroby z předcházejícího denního trhu. Na tuto aukci dále vstupují odběratelé s nižší spotřebou, než byla původně predikována. Cena nabízené elektřiny je omezena spodní hranicí, která je v obrázku značena zelenou tečkovanou čarou. Spodní mez představuje výrobní náklady elektřiny u daného zdroje, popřípadě minimální cena může být nastavena regulátorem.

Výše minimální cenové hranice není předmětem přebírané případové studie. Pro danou aukci s přebytkem elektřiny je minimální cenová hranice nastavena okolo 3 €cent/kWh.

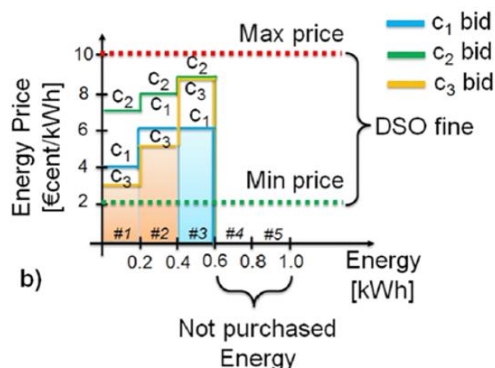
Průběh dražby je níže vysvětlen na interakci třech zúčastněných peerů C1, C2 a C3. Cena za elektřinu v obchodovaném intervalu je obvykle nižší než na denním trhu, což jednotlivé peery motivuje k obchodování v tomto likvidním tržním prostředí. Tento stav může jednotlivé peery pobízet k využití bateriových úložišť a celkovému zvýšení flexibility. Nový obchodní model může vést ke vzniku alternativních obchodních strategií na trhu s elektřinou.



Obr. 7.14 Aukce při přebytku elektřiny [19]

Každý peer je ochoten za nabízenou elektřinu zaplatit různou cenu. Dražbu prvního slotu #1 vyhrál peer C1 poptávající malé množství elektřiny, za které je ochoten zaplatit vysokou cenu (v tomto případě 10 €cent/kWh). Následující sloty #2 a #3 jsou uděleny peeru C2. Ve zbývajících dvou slotech #4 a #5 nejsou zveřejněny žádné nabídky a zbývají neprodány. Neprodané sloty mohou být případně přiděleny účastníkům trhu, kteří prohráli aukce o předchozí sloty či s nimi může být naloženo jiným způsobem (např. prodány agregátorovi).

V tomto 15. minutovém úseku prohrály dražbu o slot #1 peery C2 a C3. Peer C3 prohrál i dražbu o slot #2.



Obr. 7.15 Aukce při nedostatku elektřiny [19]

Obr. 7.15 popisuje aukci nedostatku elektřiny. V tomto případě prosušeři nabídli na denním trhu předchozího dne určité množství elektřiny, které následující den během daného 15. minutového okna nejsou schopni vyrobit, a tak po ostatních účastnících trhu pomocí aukce poptávají snížení odběru elektřiny. Jednotlivé sloty obsahují množství elektřiny, o které jsou jednotlivé peery ochotny snížit odběr v následujícím

15. minutovém časovém okně. Snížení odběru elektřiny je poptáváno z toho důvodu, aby nebyl nutný zásah funkce výkonové rovnováhy, za kterou by byl danému peeru účtován poplatek/pokuta.

Z důvodu motivace jednotlivých peerů obchodovat svou odchylku na P2P platformě je maximální cena za snížení odběru, kterou si může jednotlivý peer účtovat, nastavena na hodnotu poplatku za službu výkonové rovnováhy. Minimální cena slotu za snížení odběru rovna smluvené ceně elektřiny z předcházejícího denního trhu. Takto nastavený systém je výhodný pro výrobce i odběratele elektřiny. Peer omezující svou spotřebu nabízí flexibilitu za vyšší cenu, než dané množství elektřiny nakoupené předchozí den. Výrobci elektřiny je nabídnuta výhodnější alternativa k balancingu, který je dražší než lokální peer to peer protnutí nabídky a poptávky po flexibilitě.

Aukce snížení spotřeby elektřiny je demonstrována na peerech C1, C2 a C3. Každý peer publikuje různé množství energie, kterou je ochoten nespotřebovat. Čím vyšší je dané množství elektřiny, tím se zvyšuje finanční odměna. Na Obr. 7.15 demonstrujícím aukci vyhrál peer C3 dražbu slotu #1 a #2 za 3 a 5 €cent/kWh Vítězem slotu #3 je peer C1 za 6 €cent/kWh. V případě nepoptaného slotu bude muset daný prosumer zaplatit poplatek za balancing na danou obchodní hodinu.

Na dodržení smluvních závazků o výrobě/spotřebě nasmlouvaného množství elektřiny dohlíží PDS na základě dat z elektroměrů s průběhovým měřením s dálkovým odečtem. PDS dále dohlíží na dodržení normou udávané kvality napětí v síti spolu s udržením bezproblémového chodu sítě. Jelikož má PDS přístup k nasmlouvanému množství elektřiny, tak průběžně provádí simulaci chodu sítě a sleduje, zda tyto obchody mohou během následujících 15. minut proběhnout. Pokud by nabízené či požadované množství nasmlouvané energie vedlo k přetížení sítě, tak budou dané obchody odmítnuty z důvodu ochrany ES. Během kvazi trhu probíhajícím v reálním čase si prosumeři nevyměňují žádné kryptoměny. Blockchain je v tomto obchodním modelu využit výhradně pro výměnu a zpracování dat. Vyúčtování jednotlivých obchodů má plně pod kontrolou PDS, který provádí vyúčtování za každý měsíc. PDS má právo pokutovat peery, které nedodržely výrobu/odběr nasmlouvaného množství elektřiny.

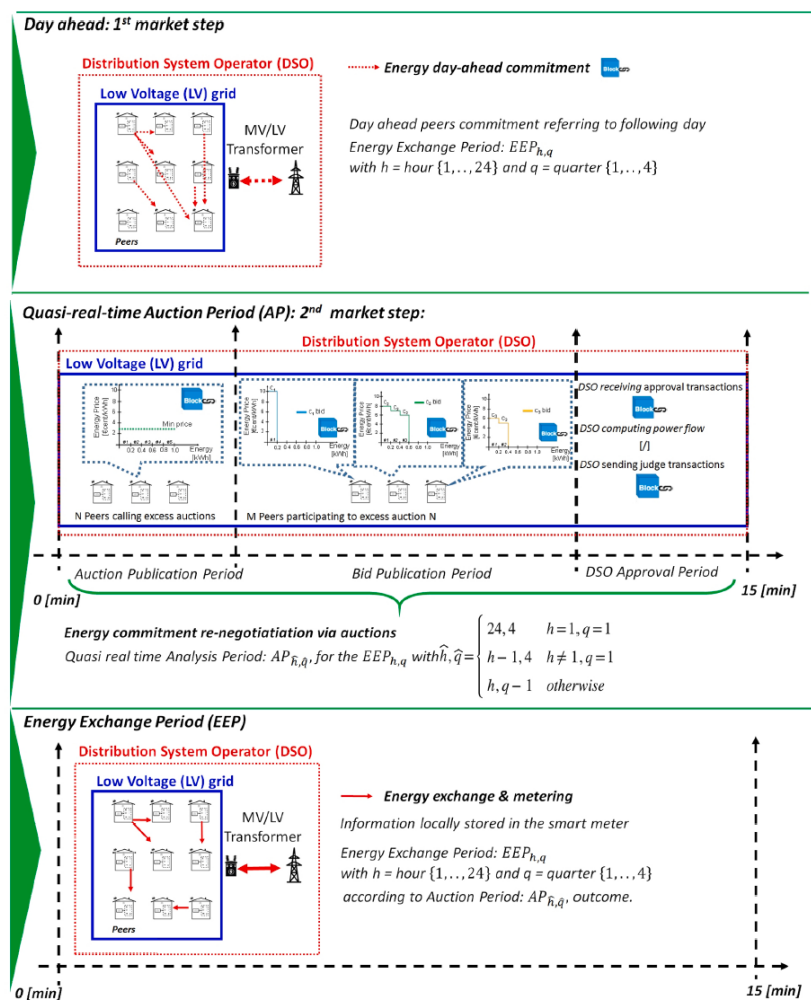
Quasi real time tržní prostředí je postaveno na blockchain platformě. V každém 15. minutovém intervalu za účelem realizace obchodu následuje několik kroků:

- Publikace veřejné aukce
- Publikace nabídky
- Schválení obchodů PDS

Sekvence jednotlivých aktivit je schematicky zobrazena na následujícím Obr. 7.16. Celý obchodní proces začíná denním trhem, kde se jednotlivé peery zavazují vyrobit/spotřebovat elektřinu následující den v časovém úseku trvajícím 15 minut.

Druhým krokem je zobchodování odchylek z předcházejícího denního trhu před vlastním 15. minutovým oknem dodávky elektřiny. Na začátku tohoto časového okna nejprve proběhne publikace aukce, která je následována publikováním nabídek

jednotlivých účastníků trhu a na závěr jsou jednotlivé obchody schváleny PDS. Časový úsek aukce na následující 15. minutový interval a dodávka elektřiny z předchozího denního trhu upravená v předchozí AP se v během jednoho 15. minutového intervalu překrývají.



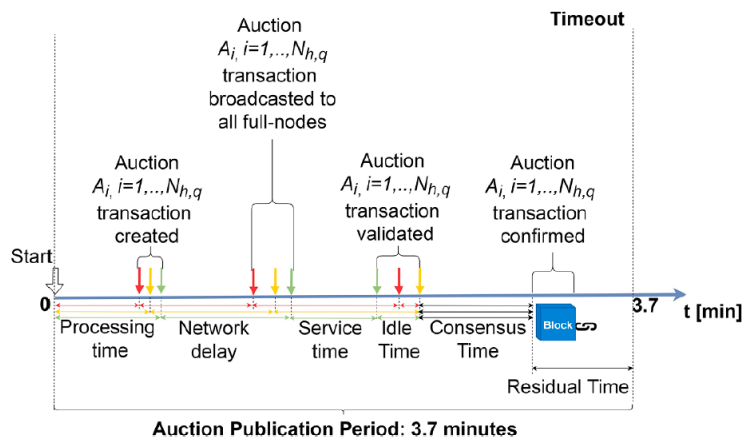
Obr. 7.16 Úkony umožňující implementaci navrhovaného tržního prostředí [19]

Jednotlivé dílčí časové úseky v daném 15. minutovém intervalu nutné k realizaci celého obchodního procesu skrze P2P obchodní platformu jsou detailněji popsány níže.

Publikace veřejné aukce

Publikace veřejné aukce je prvním časovým úsekem každého 15. minutového obchodního okna AP. Dle Obr. 7.17 zveřejnění aukce trvá 3,7 minuty a je rozděleno do několika po sobě jdoucích kroků. Vymezený interval začíná v čase nula daného 15. minutového okna spuštěním aukce. Publikace aukce je v následujícím obrázku pojmenována jako „processing time“ a jedná se o dobu, kterou prosumer potřebuje k vytvoření aukce A_i . Vzhledem k robustnosti systému se počítá s latencí, která je ve schématu značena jako „network delay“. Provedení aukce zprostředkovávají těžařské uzly, které aukční transakce uskuteční a zařadí do bloků. Tito těžaři jsou za svou činnost

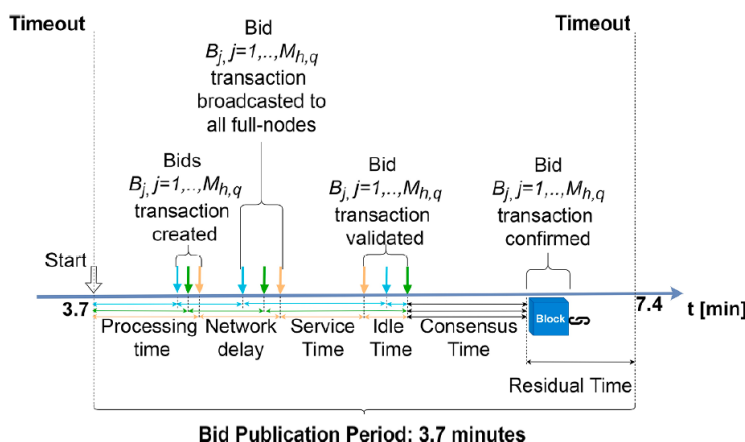
odměnění kryptoměnou. Pro daný obchodní model byla jako vhodná metoda konsenzu vybrána Proof of Authority (PoA). Činnost těžařů je na časové ose pojmenována jako „service time“. Čas nutný k vykonání všech transakcí a jejich zařazení do bloků se nazývá „idle time“. Verifikované transakce jsou následně řazeny do řetězce bloků.



Obr. 7.17 Časová sekvence úkonů blockchainu během publikace aukce [19]

Publikace nabídky

Druhý časový úsek 15. minutového okna začíná po zveřejnění aukce v čase 3,7 minuty od počátku obchodovaného časového úseku. Časová osa jednotlivých kroků popsaných tímto textem je uvedena níže na Obr. 7.18. Každému peeru poptávajícímu/nabízejícímu elektřinu je umožněno dát nabídku na otevřený trh. Každá nabídka se skládá z množství energie rozdělené do slotů viz. Obr. 7.15. Jednotlivým peerům je umožněno položit pouze jednu nabídku v daném slotu. „Processing time“ v tomto případě představuje čas nutný k položení nabídek B_j . Po latenci sítě je každá nabídka B_j doručena do každého uzlu. Těžařské uzly tyto nabídky vykonají a zařadí do bloku. V tomto kroku je stanoven vítěz každé aukce slotů a dané sloty jsou aktualizovány. Časové okno publikační periody je zakončeno v čase 7,4 minuty od začátku obchodní periody AP po potvrzení všech transakcí.



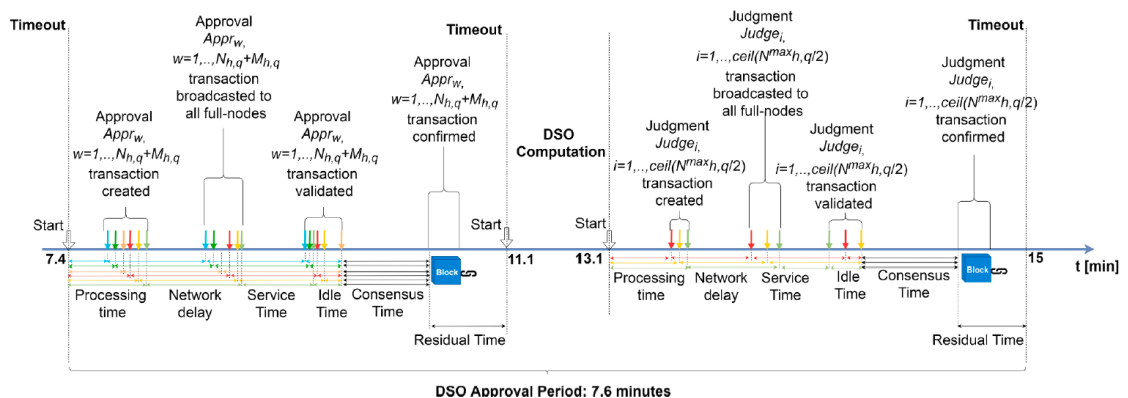
Obr. 7.18 Časová sekvence úkonů blockchainu během publikace nabídky [19]

Schválení PDS

Vítězové aukce způsobují změny ve výkonových tocích elektřiny na úrovni lokální distribuční sítě na napěťové hladině NN. Proto je do schvalovacího procesu transakcí zařazen PDS, který v pozici autority dohlíží, zda vykonávané obchody jsou v souladu s bezproblémovým provozem distribuční sítě. Zapojení PDS do schvalovacího procesu jednotlivých obchodů je znázorněno na Obr. 7.19. V jakýkoli okamžik může dojít k poruše v síti, a proto dochází k paralelnímu schvalování obchodů mezi zúčastněnými peery navzájem.

Níže uvedená časová osa začíná procesním časem reprezentujícím časový úsek, který je nutný pro peerem vytvořené schválení obsahující digitálním podpisem spojený s danou transakcí. Každá schválená transakce je zařazena do řetězce blockchainu a následně jsou tyto transakce doručeny všem uzlům v síti. V tomto okamžiku těžařské uzly transakce vykonají a uloží je bloku. Nakonec algoritmus vytvoří nové bloky, které budou součástí validního řetězce. Jakmile je vytvořen nový blok, tak všechny uzly aktualizují svůj řetězec.

Následně jsou PDS vypočteny výkonové toky v lokální distribuční síti na napěťové hladině NN. Tento krok trvá 2 minuty a je na časové ose značen jako „DSO Computation“. Dvě minuty trvající časové okno bylo stanoveno na základě příspěvkem citovaných studií a mělo by poskytovat dostatečnou časovou rezervu nutnou pro výpočet. Jakmile je simulace dokončena, tak PDS vytvoří stejné množství hodnotících transakcí jako je aukcí s alespoň jedním výhercem dražby. Níže uvedený „Processing time“ udává čas potřebný k vytvoření hodnocení $Judge_i$ a digitálního podpisu dané transakce. Tato hodnocení jsou rozeslána uzlům a ty transakce provedou a zařadí je do bloků. Dále je pomocí AP konsenzu vytvořen nový blok řetězce a jednotlivé uzly aktualizují svou databázi.

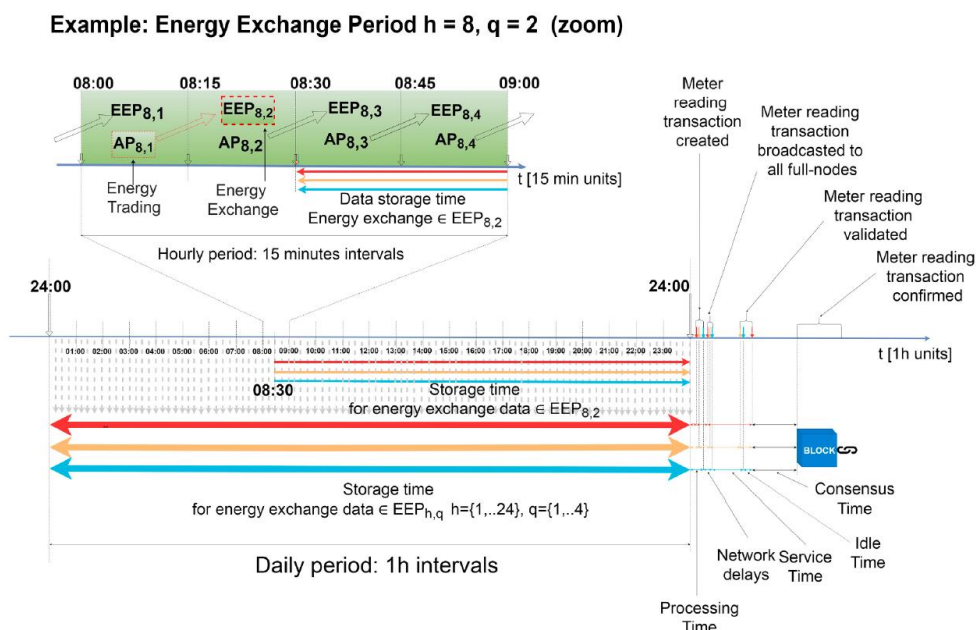


Obr. 7.19 Časová sekvence úkonů blockchainu během schvalování PDS [19]

Množství elektřiny, které bylo nasmlouváno a schváleno PDS během AP, je následně dodáno během dalšího 15. minutového okna EEK. Aby mohlo být skutečné množství vyrobené/spotřebované množství elektřiny kontrolováno, jednotlivé peery jsou vybaveny elektroměry s průběhovým měřením vytvářející digitální podpisy zvané „meter reading“,

kteřé jsou odesílány do řetězce blockchainu. Zároveň dochází k lokálnímu ukládání dat o výrobě/spotřebě elektřiny elektroměrem.

Níže uvedený Obr. 7.20 zobrazuje proces, při kterém elektroměr s průběhovým měřením po realizovné výrobě/spotřebě elektřiny v 15. minutovém intervalu vytvoří svůj digitální podpis, který je spojen s daným množstvím energie. Po určitém čase dojde k odeslání této informace uzlům, které danou transakci zpracují a zařadí ji do bloku. Následně je vytvořen nový blok.



Obr. 7.20 Quasi real time vnitrodenní trh [19]

Účastníci lokálního P2P trhu (výrobci, odběratelé a prosumeři) provádí platbu za elektřinu v € a nikoli v kryptoměně. Kryptoměnou jsou odměňováni jednotlivé uzly za zpracovávání transakcí. Množství kryptoměny, které za poskytovanou službu obdrží, je konstantní. Hodnota kryptoměny je však značně volatilní, a tedy při nastaveném modelu dochází ke značnému kolísání cen poplatků za provedení transakce.

V rámci případové studie bylo pro výpočet transakčních poplatků využito Ethereum, jehož cena v době zařazení do studie v dubnu 2020 byla 158 € (cena k 21. 3. 2021 je 1500 € - tedy přibližně desetinásobná). Typické ceny za silovou elektřinu se v Itálii pohybují v rozmezí 0,03 €/kWh (off-peak) až 0,08 €/kWh (peak). Velikost poplatku za systémové služby, přenos a distribuci atd. je 0,06 €/kWh. Níže uvedená Tab. 7-5 shrnuje provozní náklady na realizaci transakcí skrze blockchain. Z tabulky jasně vyplývá, že poplatky za jednotlivé transakce jsou ve značném nepoměru se samotnou cenou elektřiny v Itálii. Tento rozdíl je ještě více umocněn v době zpracování této diplomové práce v březnu 2021, kdy cena Etherea činí přibližně 1500 € [41]. Cena této kryptoměny je tedy v současné 10x vyšší než dubnu 2020. Při současné tržní ceně Etherea by poplatky dosahovaly nepřijatelné výše. Změny v ceně kryptoměny v rozmezí dubna a srpna 2020 si všimají i autoři původního textu, nicméně nové vyšší ceny nebyly do studie zapracovány.

Tab. 7-5 Náklady na transakci v € při užití Ethera [19]

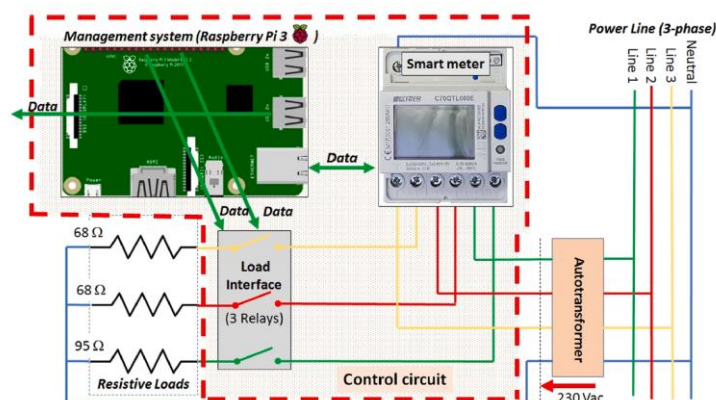
	Overall Gas Cost [gas]	Gas Price [$\frac{Ether}{gas}$]	Exchange Rate [$\frac{Eur}{Ether}$]	Overall Transaction Costs [EUR]
Smart Prosumer	290×10^3	13×10^{-9}	158	~0.60
Smart Consumer	410×10^3	13×10^{-9}	158	~0.84
DSO	35×10^3	13×10^{-9}	158	~0.07

Vzhledem k vysokým cenám za transakční poplatky bylo zkoumáno i využití alternativní kryptoměny zvané Energy Web Token (EWT), která v době zpracování původní studie v dubnu 2020 měla hodnotu přibližně 1 €. Tato kryptoměna se oproti Etheru jevila jako výhodnější řešení, jelikož poplatky za zpracování transakcí byly značně nižší, jak ukazuje Tab. 7-6. Cena této kryptoměny v březnu 2021 vyšplhala na 15,3 € [41]. Tedy i poplatky za provedení transakce se 15x zvýšily.

Tab. 7-6 Náklady na transakci v € při využití EWT [19]

	Overall Gas Cost [gas]	Gas Price [$\frac{Ether}{gas}$]	Exchange Rate [$\frac{Eur}{Ether}$]	Overall Transaction Costs [EUR]
Smart Prosumer	290×10^3	1×10^{-9}	1	~ 0.00029
Smart Consumer	410×10^3	1×10^{-9}	1	~ 0.00041
DSO	35×10^3	1×10^{-9}	1	~ 0.000035

Využití konceptu navrhovaného prostředí obchodní blockchain platformy bylo testováno na univerzitou vytvořeném laboratorní přípravku, jehož schéma je uvedeno na Obr. 7.21.



Obr. 7.21 Schéma laboratorního přípravku [19]

Na schématu je simulována chytrá domácnost jejíž odběrová charakteristika je simulována spínanou odporovou zátěží. Proměnlivá zátěž byla vybrána tak, aby simulovala odběr domácích spotřebičů jako je elektrický kotel na ohřev vody, tepelné čerpadlo, elektromobil, pračka atd. Pro měření odběru je využit smart meter FRER s.r.l.,

80 A C70QTL080E třídy přesnosti B (odchylka měření je nižší než 1 %). Daný elektroměr vyhovuje standardu EN 50470-3. Využití přesných elektroměrů je důležité pro přesnější odhad budoucího odběru a zároveň vede k minimalizaci odchylky od nakoupené/prodané a skutečně spotřebované/vyrobené elektřiny.

Během experimentu byla testována regulace odběru domácnosti a komunikace elektroměru s blockchain platformou. Jednotlivé obchody během AP byly nasmlouvány na základě nasimulovaného rozdílu mezi aktuálně odbíraným množstvím energie ze sítě a predikcí z předchozího dne.

7.2.1 Zhodnocení

Studie navržená týmem z univerzity v Pise navrhuje P2P obchodní systém vhodný pro využití v lokální komunitní síti na napěťové hladině NN. Demonstrovaný systém je postaven na bázi Etherea využívající konsenzus Proof of Authority. V rámci práce je řešen návrh obchodní platformy a její hardwarová realizace. Tržní prostředí je rozděleno na denní trh předcházející dnu fyzické výroby/spotřeby elektřiny a kvazi vnitrodenní trh v reálném čase.

V rámci denního trhu je nasmlouváno množství elektřiny na následující den v 15. minutových intervalech. Stanovení ceny elektřiny na denním trhu není předmětem této práce, a proto se nabízí další možnost rozvoje tohoto obchodního modelu.

Kvazi denní trh probíhá v 15. minutovém časovém okně předcházejícím dodávce elektřiny nasmlouvané z předchozího dne. V rámci tohoto trhu je obchodována odchylka od původně nasmlouvaného množství elektřiny v aukci s přebytkem a s nedostatkem elektřiny. Během každého 15. minutového obchodního okna současně probíhá aukční systém do následujícího časového úseku spolu s dodávkou nasmlouvanou a upravenou v okně předchozím.

Jedním z přínosů navrhovaného tržního systému je snížení požadavek na službu výkonové rovnováhy aFRR a může vést ke snížení zatížení přenosové a distribuční sítě, jelikož je elektřina vyrobena a spotřebována lokálně. Tento tržní systém by mohl účastníkům umožnit snížení poplatků za přenos a distribuci elektřiny a systémovou službu výkonové rovnováhy. V rámci této studie tato problematika není řešena a dané poplatky tvořící cenu elektřiny zanedbává.

Aukční systém probíhá v několika krocích, které uzly vytvářející aktualizovaný řetězec. Prvním krokem v každém 15. minutovém časovém okně je vytvoření aukce, následně jsou publikovány nabídky, které jsou zpracovány a odeslány na hodnocení PDS, který provede simulaci výkonových toků v komunitní síti na časové okno dodávky. Pokud jsou dodrženy podmínky na normou udávanou kvalitu elektřiny, tak jsou obchody schváleny.

Ne vždy je veškerá nabízená elektřina v rámci kvazi trhu v reálném čase využita odběrateli a prosumery. Proto se nabízí možnost prodeje přebývajících elektřiny na velkoobchodním trhu v zastoupení agregátora. Tato úvaha není v publikovaném textu řešena, nicméně se nabízí její budoucí prozkoumání.

Jednotliví těžaři zpracovávající transakce navrženého obchodního modelu byli odměňováni za svou činnost kryptoměnou Ethereum nebo alternativně Energy Web Chain. Samotní uživatelé (výrobci, spotřebitelé a prosumeři) by však své platby za elektřinu prováděli v €, které by následně byly převedeny na danou kryptoměnu za účelem zaplacení poplatku za zpracovávání systémových transakcí. Případová studie však ukázala, že poplatky za transakce a obecný chod platformy by značně převyšovaly cenu spotřebované elektřiny. Navrhované využití kryptoměn se nejeví vhodné i z důvodu značné volatility jejich ceny. Od počátku zpracování studie v březnu 2020 do doby její publikace v únoru 2021 cena výše zmiňovaných kryptoměn vzrostla 10x a spolu s nimi i uvažované poplatky za chod navrhovaného modelu.

Přestože tento navrhovaný model nevyšel pro jeho účastníky výhodně z ekonomického hlediska, tak naznačil cestu, jakou by se obchodování s elektřinou v rámci komunitních sítí mohlo ubírat.

7.3 RENEW Nexus

Na území Austrálie je v současné době značný podíl rodinných domů se střešní fotovoltaickou instalací. Z toho důvodu je i zde zkoumáno vyšší zapojení prosumerů do trhu s elektřinou. Jako jedno z řešení se nabízí P2P trading na lokální úrovni, který by místním prosumerům v lokálních komunitách umožnil prodej elektřiny do sítě za výhodnější výkupní ceny, než je cena výkupního tarifu. Výzkum zabývající se využitím blockchainu a P2P tradingu pro komunitní obchodování s energiemi je v současné době předmětem zvýšeného zájmu, který vyústil v započetí pilotního projektu The Renewable Energy and Water Nexus (dále RENEW Nexus) s případovou studií situovanou na území města Fremantle v západní Austrálii [20]. Toto město bylo pro realizaci studie zvoleno z důvodu nadprůměrného zastoupení prosumerů v síti. Projekt je financován australskou vládou v rámci projektu Smart Cities and Suburbs Program. Cílem této studie je otestovat technické provedení obchodního P2P trading modelu v provozních podmínkách distribuční sítě.

Na studii se podílejí zástupci města Fremantle, developer LandCorp, Curtin and Murdoch university, Power Ledger, Western Power a Synergy. Současné regulační schéma v Austrálii umožňuje nákup elektřiny pouze skrze dodavatele. Z toho důvodu veškeré platby v rámci P2P modelu proběhly pod jeho dohledem. Dodávka elektřiny byla obchodována po 30. minutových časových intervalech a zpětně zúčtována za celý měsíc. Dodavatel elektřiny zároveň jednotlivým peerům poskytuje elektroměry s průběhovým měřením s dálkovým odečtem z důvodu zúčtování elektřiny.

Do studie se dobrovolně přihlásilo 40 prosumerů a 10 odběratelů vlastních rodinných domů. Samotné studie se však po představení nového P2P tarifu zúčastnilo pouze 16 prosumerů a 6 odběratelů. Zajímavostí průzkumu, který proběhl před začátkem studie je, že 67 % zájemců o účast ve studii změnilo své chování týkající se spotřeby elektřiny po instalaci fotovoltaické elektrárny, tak aby více využili vlastní elektřinu během denních hodin a snížili tak podíl odkoupené elektřiny od dodavatele. Hlavním důvodem účasti prosumerů v pilotním projektu byla nespokojenost se stávajícím tarifem za elektřinu ve výši 0,28 AUD kW/h a výkupní cenou za elektřinu z fotovoltaických panelů 0,07 AUD kW/h. Nové tarifní schéma navržené v rámci studie je zobrazeno v Tab. 7-7.

Tab. 7-7 P2P tarifní ceny elektřiny [20]

Existing tariff items	Rate (AUD)	P2P trial tariff item	Rate (AUD)
Supply charge	1.015/day	Network supply charge	2.20/day
Electricity charge	0.2833/kWh	Capacity charge	1.10/day
		Peak (3–9 pm)	0.0909/kWh
		Off-peak	0.0572/kWh
Renewable energy buy-back rate (no feed-in tariff)	0.07135/kWh	Renewable energy buy-back rate	0.04/kWh
Renewable energy buy-back rate (with feed-in tariff)	0.4/kWh	P2P trading platform operator's charge (paid by buyer)	0.005/kWh
		P2P sale price	Set by participants

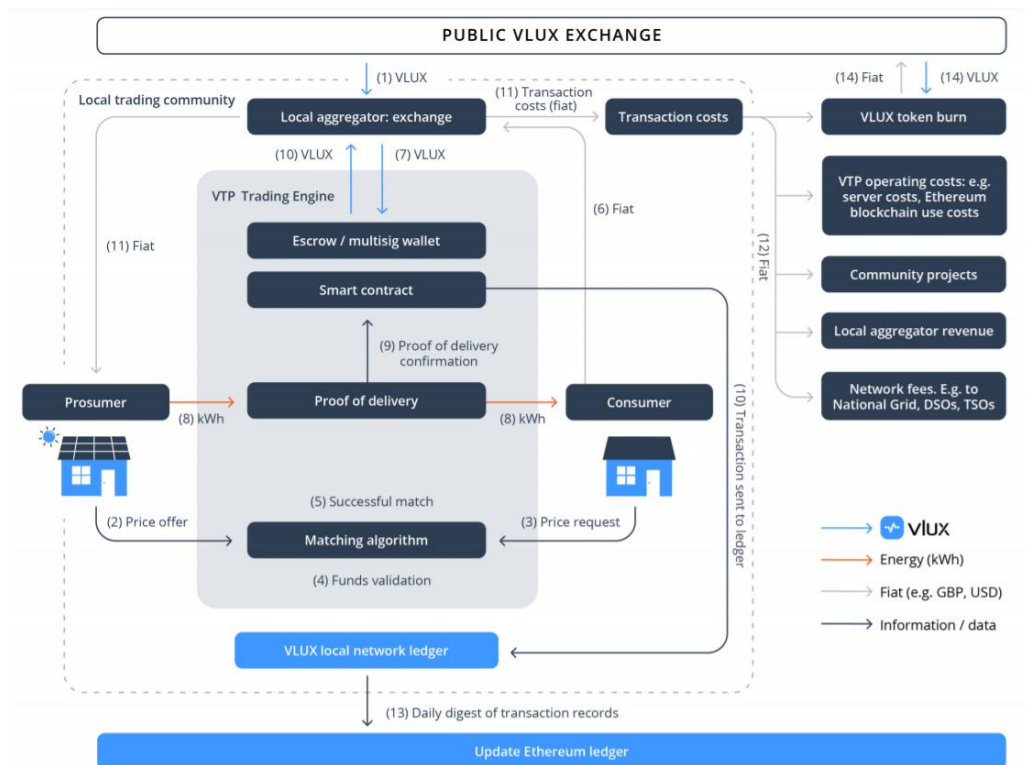
Na základě nového tarifu bylo odhadnuto, že se u 10 peerů náklady na elektřinu zvýší o 200 AUD ročně, u dvou peerů zvýšení cen za elektřinu přesáhne 200 AUD ročně a pro zbylé účastníky bude nově nastavený P2P obchodní model výhodnější ve srovnání se současným tarifem.

7.4 VLUX

Jedním z dalších realizovaných pilotních projektů je VLUX [29] zpracovaný společností Verv [31]. Jedná se o obchodní platformu [30] umožňující prosumerům peer-to-peer prodej elektřiny za výhodnější ceny, než jsou dané výkupními tarify. Zároveň má dojít ke snížení ročního účtu za elektřinu o odběratelů o 10 % (50 £). Roční náklady provozu platformy se odhadují na 4 £ na účastníka. Úspoře na nákladech za odběr elektřiny je docíleno kombinací odběru elektřiny od dodavatele a lokálního peer-to-peer párování poptávky a nabídky prosumerů. Aplikace obchodního prostředí je cílena především na energetické komunity do 500 účastníků. Obchodování je postaveno na bázi Ethereum a je umožněno skrze VLUX token, kterým agregátor v pozici autority umožňuje lokální obchod elektřiny mezi jednotlivými peery. Lokální agregátoři zastupují funkci brokera v každé lokální obchodní oblasti. Prosumeři a odběratelé platí za elektřinu v GBX.

Tento pilotní projekt je součástí OFGEM Sandbox programu, který byl spuštěn na podporu inovačních projektů. Realizace projektu proběhla v městské části Hackney v Londýně ve spolupráci s Re-Powering London. Jednalo se o první pilotní projekt využití peer-to-peer obchodování elektřiny na území UK.

Kromě nových obchodních příležitostí blockchain platforma dále přináší užitečné informace o výkonových tocích v síti, které mohou dále sloužit PDS ke zefektivnění řízení chodu DS. Schéma vztahů účastníků platformy je zobrazeno níže na Obr. 7.22.



Obr. 7.22 Schéma platformy VLUX [29]

8. ZÁVĚREČNÉ SHRNTÍ

Současná energetika prochází přerodem od centralizovaného systému k postupné decentralizaci a obecně více liberalizovanému tržnímu prostředí. Motivace k tomuto přechodu jsou různé. Hlavní hybnou silou je v tomto ohledu snaha o dekarbonizaci elektroenergetiky. S dekarbonizací dále souvisí i zvýšená digitalizace, která má přinést efektivnější využití přenosové a distribuční sítě. V kontextu dekarbonizace je kladen důraz na podporu a rozvoj obnovitelných zdrojů elektřiny, které jsou oproti tradičním uhelným, jaderným a plynovým elektrárnám silně závislé na počasí. V elektrizační soustavě tak dochází ke změně výkonových toků způsobených OZE, které jsou připojené v DS. V elektrizační soustavě dochází k otočení výkonového toku od nižších napěťových hladin k vyšším. Tyto jevy s sebou přináší nové technické výzvy, které je potřeba v současné době řešit. Výkyvy energetických toků při změně počasí se dále projevují na velkoobchodních trzích s elektřinou, kde je zvýšena volatilita ceny elektřiny na vnitrodenním trhu.

Zvýšení likvidity v tržním prostředí v obchodu s elektřinou může vést k vytvoření trhu s flexibilitou. Flexibilita *„představuje změnu množství elektřiny odebírané z PS nebo DS nebo dodávané do PS nebo DS v daném časovém intervalu oproti sjednaným/předpokládaným diagramům odběru nebo dodávky v reakci na cenové signály nebo povel“* [1]. V současném českém energetickém prostředí je obdobná služba řízení spotřeby odběratelů dle potřeby PDS řešena pomocí hromadného dálkového ovládání (HDO). HDO *„je soubor technických prostředků (jako např. vysílače, přijímače, centrální automatika, přenosové cesty apod.) umožňujících vysílat povely nebo signály za účelem zapínání nebo vypínání spotřebičů, přepínání tarifů.“* [42] Dnešní trh směřuje k tomu, aby byla flexibilita využita na tržní bázi. Nicméně v současné době užívaný systém HDO je předobrazem/vzorem poskytování flexibility. Hlavní výhodou flexibility je její vyšší dynamika oproti povelizovanému HDO. Toto směřování reflektuje i Národní akční plán pro chytré sítě [25], který uvažuje využití flexibility pro:

- Krátkodobý trh s elektřinou
- Krytí odchylek subjektů zúčtování
- Podpůrné služby
- Vyrovňovací trh a obdobné platformy

Využití flexibility je na trhu s elektřinou poměrně široké. Technická realizace poskytování flexibility je úzce spjata s rozšířením elektroměrů s průběhovým měřením s dálkovým odečtem AMM. Obchodování flexibility je v evropském kontextu velice aktuální téma, a proto je předmětem řady pilotních projektů. Tato práce například uvádí projekt INTERFLEX (5.2.1), který je především zaměřený na rozvoj potenciálních zdrojů flexibility a jejich technické řešení připojení do DS. Jedním z nejvýznamnějších pilotních

projektů je Piclo Flex (5.2.2), který vznikl na území UK za účelem vytvoření obchodní platformy s flexibilitou. Flexibilitu zde poptává PDS za účelem udržení stabilního chodu sítě. Kromě této služby platforma umožnila vytvoření podrobné mapy lokalizující slabá místa v síti. Z této studie dále vyplynulo zjištění, že na poskytování flexibility se nejvíce podílejí zdroje s výkonovým rozmezím 10 a 25 MW, které dle v ČR platných PPDS spadají do kategorie B (3.1). Studií nashromážděná data mohou dále sloužit jako podklad pro budoucí rozvoj DS spolu s případným přilákáním investorů do vzniku nových komerčních bateriových úložišť či výstavby nových zdrojů.

Obdobným projektem mapujícím potenciál flexibility na území ČR je FLEXDER (5.3.1). Tento projekt je založen na odborném odhadu rozvoje malých zdrojů na území ČR a jeho cílem je vytvořit mapové podklady o předpokládaném zastoupení zdrojů flexibility v letech 2030 a 2040. V rámci projektu FLEXDER jsou domácí bateriová úložiště prezentována jako významný zdroj flexibility, oproti tomu z dat pilotního Piclo Flex vyplývá, že trhu s flexibilitou dominují velká komerční bateriová úložiště spolu s tradičními rotačními zdroji. Tento nesoulad studií může být způsoben zaměřením projektu FLEXDER na napětovou hladinu NN. Rozdílnost výsledků studií mohla způsobit i specifika zadavatele či skutečnost, že tyto zdroje podléhají značné realizační náročnosti a přibývají pouze v jednotkovém množství a nezapadají záběru studie.

V roce 2021 se plánuje v České republice zapojení flexibility do služby výkonové rovnováhy zprostředkované skrze integrovaného agregátora. Jedním z prvních agregátorů působících v Čechách bude společnost Nano Energies [40]. Do roku 2023 se předpokládá vytvoření takového prostředí, které umožní vstup nezávislého agregátora [37].

Za další formu flexibility lze považovat i dynamické tarify, které změnou cenové hladiny odebírané elektřiny samoregulují zbytnou (odložitelnou) spotřebu elektřiny.

Na základě rozvoje malých zdrojů elektřiny jakou např. fotovoltaické instalace na střechách rodinných, bytových a komerčních domů je řešen vstup těchto subjektů na velkoobchodní trh. Tyto zdroje jsou příliš malé na to, aby mohly vstupovat na trh s elektřinou samostatně, a proto vznikl konstrukt agregátora (5.4), který tyto malé zdroje sdružuje a zastupuje je na velkoobchodním trhu. Agregátor může působit na velkoobchodním a vyrovnávacím trhu. Na denním a vnitrodenním trhu může nabízet elektřinu z pozice obchodníka. Agregátor může dále poskytovat podpůrné služby primární a sekundární regulace spolu s minutovou zálohou a rezervním výkonem. Další z činností agregátora na trhu s elektřinou může být omezování špiček zatížení v DS.

Do kontextu zapojení flexibility do trhu s elektřinou a její agregace dále spadají občanská energetická společenství. OES jsou sdružení prosumerů na lokální úrovni sdílejících společnou rozvodnou síť. Může se jednat například o bytový dům sdílející společnou střešní fotovoltaickou elektrárnu. Sdružení prosumerů/odběratelů do větších celků jim umožňuje výhodnější postavení na trhu s elektřinou. Sdílená elektrárna dále členům umožňuje lokální odběr vyrobené elektřiny, a tedy celkové snížení nákladů na odkup elektřiny od dodavatele. Problematika energetických komunit je obsahem evropského legislativního balíčku Clean Energy for all Europeans. V současné době je na území ČR aktivně řešena jeho implementace a jsou vybírány první pilotní projekty,

kterými jsou Ostrovačice, Starý Lískovec, Chytré Líchy, Energeticky soběstačný Hoštětín, Černý most [43].

S poskytováním flexibility na trhu s elektřinou dále úzce souvisí využití technologie blockchain. V rámci energetiky může být blockchain využit především jako distribuovaná databáze pro komunikaci mezi jednotlivými prvky sítě (např. elektroměry s AMM), automatizované řízení decentrálních zdrojů, zúčtování odběratelů, smart grid aplikace a přenos dat. Dalším využitím je realizace peer to peer obchodu s elektřinou. Tomuto tématu se věnují kapitoly 6.2, 6.3 a 7. V kapitole 6.2 je proveden obecný přehled využití technologie blockchain v energetice vycházející z publikace Cigre [7]. Využití blockchainu se jeví zejména výhodné na úrovni komunitní energetiky na hladině NN. Přístupy využití P2P modelu se mohou mezi komunitami lišit. Hlavními přínosy technologie blockchain v kontextu distribučních sítí literatura [7] uvádí:

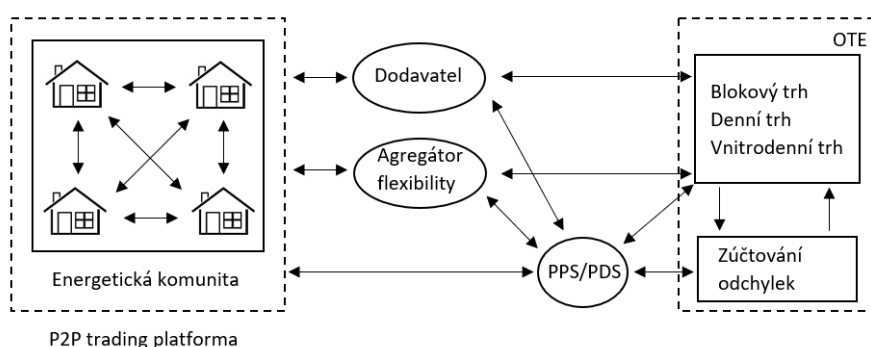
- Podpoření rozvoje distribuované výroby v DS
- Zvýšení flexibility z důvodu silnějšího postavení odběratelů a prosumerů na trhu s elektřinou
- lokální vyvážení výroby a spotřeby díky efektivnějšímu řízení distribuovaných zdrojů
- Poskytování doplňkových služeb elektrizační soustavě
- Výhodnější postavení odběratele uvnitř komunitních sítí (mimi-grids)

Jedním z přístupů zapojení P2P obchodování do trhu s elektřinou je vytvoření otevřené obchodní platformy, kde jednotliví členové energetické komunity uveřejňují poptávku a nabídku elektřiny na ekvivalentu vnitrodenního trhu (hodinových, 30. či 15. minutových intervalech). Případem takto nastaveného tržního prostředí je v diplomové práci popsána studie v kapitole 7.1. U P2P modelu zastává PDS důležitou funkci schvalování plateb mezi jednotlivými peery na základě výkonových toků v síti a jelikož vlastní elektroměry s průběhovým měření, tak má na starost i zúčtování odchylky od smlouveného množství vyrobené/odebírané elektřiny. Dále je do P2P modelu nutný zásah operátora trhu a PPS, kteří zodpovídají za službu výkonové rovnováhy.

Druhým přístupem může být rozdělení lokálního P2P trhu na denní trh a vnitrodenní trh, který je podobný studii popsané kapitolou 7.2. V tomto případě na vnitrodenním trhu, obchodovaném v reálném čase, platforma přispívá ke službě výkonové rovnováhy a jednotliví účastníci trhu vyrovnávají svou odchylku. Studie [17] popsána kapitolou 7.1 ukázala, že P2P obchodní model, ačkoli zjednodušený pouze na využití flexibility pro odložení odběru elektřiny elektrickými kotly na ohřev vody, značně zasahuje do výkonových toků mezi odběrovým bodem lokální energetické komunity a vnější DS.

Další potenciální využití blockchainové platformy nabízí interakce energetické komunity s dalšími účastníky trhu s elektřinou, kterými jsou dodavatelé, agregátoři a PDS. Většina energetických komunit a společenství nemůže být plně samostatných a provozovaných v ostrovním režimu nezávisle na DS. Proto musí být správná funkce energetických komunit podpořena dodávkou elektřiny zprostředkovaně skrze dodavatele, který komunitu podpoří dodávkou při nedostatku elektřiny. Dále může docházet k nadvýrobě a přetokům elektřiny do nadřazené DS. Tato přebytečná energie může být nabízena na velkoobchodním trhu prostřednictvím agregátora sdružujícím energetická společenství do „virtuální elektrárny“ a nabízet tuto elektřinu na vnitrodenním trhu.

Výše uvedené vztahy mezi propojenými účastníky trhu jsou zobrazeny na následujícím Obr. 8.1.



Obr. 8.1 Vztahy mezi účastníky trhu

Průzkum možných obchodních modelů vznáší otázky nad možnými rolami jednotlivých účastníků trhu a jejich vypořádání. Blockchain je stále mladá platforma, která je předmětem oprávněného zájmu a důkazem jsou mnohé realizované pilotní projekty.

Jedny z realizovaných blockchain pilotních projektů jsou Brooklyn Microgrid, Centrica plc, Lumenaza, Piclo, sonnenCommunity a Vandebrom [14]. Dalším významným pilotním projektem s evropským přesahem je platforma Equigy [44].

Flexibilita, agregátor, občanská energetická společenství a zapojení blockchainu do trhu s elektřinou jsou nové směry, kterými se ubírá moderní energetika a do jisté míry jsou odpovědí na požadavek zvýšené liberalizace trhu s elektřinou a obecnou snahou o decentralizaci, dekarbonizaci, digitalizaci a demokratizaci elektroenergetiky.

Literatura

- [1] Role agregátora v české energetice [online]. Deloitte Česká republika, 2018 [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2020/1/Role-agregatora-v-ceske-energetice.pdf>
- [2] PPDS příloha 4: Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy [online]. provozovatelé distribučních soustav, 2018 [cit. 21-10-2020]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/ppds-2018_priloha-4.pdf
- [3] Centrální a decentrální výroba elektřiny a tepla [online]. EGÚ Brno a.s., 2017 [cit. 21-10-2020]. Dostupné z: <https://www.egubrno.cz/wp-content/uploads/2018/03/EFEKT-centralni-a-decentralni-vyroba.pdf>
- [4] Základní údaje OTE [online]. OTE a.s., 2020 [4-11-2020]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/o-spolecnosti/zakladni-udaje>
- [5] Produktové listy OTE [online]. OTE a.s., 2020 [4-11-2020]. Dostupné z: https://www.ote-cr.cz/cs/o-spolecnosti/files-statutarni-organy/Produktove_listy_OTE_CZ.pdf
- [6] Blockchain pro začátečníky [online]. Deloitte Česká republika, 2018 [cit. 10-11-2020]. Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cz/Documents/technology/Blockchain-pro-zacatecniky-Jan-Seidl.pdf>
- [7] The role of blockchain technologies in power markets. Cigre, 2020 [30-12-2020].
- [8] Law versus technology: Blockchain, GDPR, and tough tradeoffs [online]. Unal Tatar, Yasir Gokce, Briam Nussbaum, 2020 [30-12-2020]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0267364920300595>
- [9] Článek 17. Právo na výmaz („právo být zapomenut“) [online]. Evropský parlament, 2018 [30-12-2020]. Dostupné z: <https://gdpr.algolia.com/cs/gdpr-article-17>
- [10] Článek 25. Záměrná a standardní ochrana osobních údajů [online]. Evropský parlament, 2018 [30-12-2020]. Dostupné z: <https://gdpr.algolia.com/cs/gdpr-article-25>
- [11] Objem zobchodované elektřiny na vnitrodenním trhu s elektřinou rekordně narůstá. Význam vnitrodenního trhu stále roste [online]. OTE, a.s., 2020 [cit. 15-01-2021]. Dostupné z: https://www.ote-cr.cz/cs/o-spolecnosti/files-novinky/2020_04_01_objem_zobchodovane_elektriny_na_vdt.pdf
- [12] Úvod do liberalizované energetiky [online]. Praha, 2016 [cit. 15-01-2021]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/kniha-trh-s-elektrinou.pdf>

- [13] Znění statutu schválené valnou hromadou [online]. PXE, 2019 [cit. 15-01-2021]. Dostupné z: https://www.pxe.cz/pxe_downloads/Rules_Regulation/Cz/PXE_statut.pdf
- [14] PEER-TO-PEER ELECTRICITY TRADING INNOVATION LANDSCAPE BRIEF [online]. IRENA [cit. 25-01-2021]. Dostupné z: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Peer-to-peer_trading_2020.pdf?la=en&hash=D3E25A5BBA6FAC15B9C193F64CA3C8CBFE3F6F41
- [15] EVROPSKÝ PROJEKT INTERFLEX – FINÁLNÍ VÝ-SLEDKY PROJEKTU A JEJICH VYUŽITÍ PRO ČEZD. Stanislav Hes, Pavel Derner, Jan Kůla, Tomáš Linhart, Jan Švec, ČEZ Distribuce, a. s. [cit. 15-12-2020]. Dostupné z: <https://www.ckcired.cz/konference-cired/konference-ck-cired-2019-27/ke-stazeni.html>
- [16] Regulační energie [online]. ČEPS, a. s. [cit. 02-03-2021]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/regulacni-energie>
- [17] Peer-to-Peer energy trading in a Microgrid [online]. Chenghua Zhang, Jianzhong Wu, Yue Zhou, Meng Cheng, Chao Long, Cardiff University [cit. 07-03-2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918303398>
- [18] Papathanassiou S, Hatziaargyriou N, Strunz K. A benchmark low voltage microgrid network. In: CIGRE Symposium; 2005. [cit. 11-03-2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/237305036_A_Benchmark_Low_Voltage_Microgrid_Network
- [19] Enabling low-voltage, peer-to-peer, quasi-real-time electricity markets through consortium blockchains [online]. Aldo Bischia, Mariano Basileb, Davide Polia, Carlo Vallatib, Francesco Milianib, Gianluca Caposciuttia, Mirko Marraccia, Gianluca Dinib, Umberto Desideria, 2020. [cit. 14-03-2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626192031744X>
- [20] Is peer-to-peer electricity trading empowering users? Evidence on motivations and roles in a prosumer business model trial in Australia [online]. Sam Wilkinson, Kristina Hojckovab, Christine Eona, Gregory M. Morrison, Björn Sandénb, 2020. [cit. 23-03-2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629620300773>
- [21] Energy communities with grid benefits [online]. Bram Claeys, 2020. [cit. 28-03-2020]. Dostupné z: <https://www.raponline.org/knowledge-center/energy-communities-with-grid-benefits-a-quest-for-a-blueprint/>
- [22] Piloting a flexibility Marketplace to upgrade our energy system [online]. Piclo, 2019 [cit. 28-03-2021]. Dostupné z: <https://piclo.energy/publications/Piclo+Flex++Energy+on+Trial.pdf>
- [23] Investment and opportunity in a flexibility Marketplace [online]. Piclo, 2019 [cit. 28-03-2021]. Dostupné z: <https://piclo.energy/publications/Piclo+Flex++Flexibility+and+Visibility.pdf>

- [24] Piclo Flex [online]. Piclo [cit. 28-03-2021]. Dostupné z: <https://picloflex.com/>
- [25] Národní akční plán pro chytré sítě [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2019 [cit. 14-04-2021]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2019/9/Aktualizace_NAP_SG_2019-2030.pdf
- [26] Flexibility Markets: Q&A with Project Pioneers [online]. Tim Schittekatte, Leonardo Meeus, 2020 [cit. 14-04-2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-the-different-short-term-market-products-in-Piclo-Flex-service-window_fig1_333610192
- [27] Peer-to-Peer Energy Trading in Electrical Distribution Networks [online]. Chenghua Zhang, 2017 [cit. 14-04-2021]. Dostupné z: <http://orca.cf.ac.uk/109074/1/2018ZhangCPhD.pdf>
- [28] Flexibility Services Invitation to Tender – 2019 [online]. UK Power Networks, 2019 [cit. 14-04-2021]. Dostupné z: <https://www.ukpowernetworks.co.uk/internet/asset/7f22bf24-b0d1-4f2f-8d4e-03124be76f5D/Invitation+to+Tender+-+PE1-0029-2019+Flexibility+Services+%281%29.pdf>
- [29] Verv VLUX Whitepaper [online]. Verv [cit. 15-04-2021]. Dostupné z: https://vlux.io/media/VLUX_Whitepaper.pdf
- [30] VLUX [online]. Verv [cit. 15-04-2021]. Dostupné z: <https://vlux.io/>
- [31] Verv [online]. Verv [cit. 15-04-2021]. Dostupné z: <https://verv.energy/>
- [32] NAP SG – průběžná zpráva 01 06/2020 [online]. MPO [cit. 22-04-2021]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2020/9/NAP-SG_kvartalni-report_7-2020_pruvodni-zprava_v4---verejna.pdf
- [33] Pilotní projekt Dflex bude zkoumat, jak mohou spotřebitelé pomáhat vyrovnávat elektrickou soustavu [online]. Nano Energies [cit. 22-04-2021]. Dostupné z: <https://www.nanoenergies.cz/pilotni-projekt-dflex-bude-zkoumat-jak-mohou-spotrebitel-pomahat-vyrovnavat-elektrickou-soustavu/>
- [34] Projekce flexibility v síti NN a VN související s rozvojem elektromobility a decentrálních zařízení, zejm. stacionární akumulací, v ČR do roku 2040 [online]. feramat energies [cit. 22-04-2021]. Dostupné z: <https://www.feramat.com/projekce-flexibility-v-siti-nn-a-vn-souvisejici-s-rozvojem-elektromobility-a-decentralnich-zarizeni-zejm-stacionarni-akumulaci-v-cr-do-roku-2040/>
- [35] Peer-to-peer electricity trading in an industrial site: Value of buildings flexibility on peak load reduction [online]. Guro Sætherad, Pedro Crespo del Granado, Salman Zaferanlouei, 2021 [cit. 22-04-2021]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821000219?dgcid=rss_sd_all

- [36] Využití smart meteringu v systému zúčtování elektrické energie – II. [online]. Bc. Jiří Vastl, 2018 [cit. 22-04-2021]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/17444-vyuziti-smart-meteringu-v-systemu-zuctovani-elektricke-energie-ii>
- [37] ŠOLC, Pavel. Flexibilita pro řízení rovnováhy [přednáška]. Webinář AkuBAT/Unicorn/Nano, 8.4.2021
- [38] Vančura Filip, Cigler Jiří, Adamcová Markéta. Projekce flexibility v síti NN a VN související s rozvojem elektromobility a decentrálních zařízení, zejm. stacionární akumulací, v ČR do roku 2040 [přednáška]. 13. 4. 2021
- [39] Ekonomické posouzení všech dlouhodobých přínosů a nákladů pro trh a jednotlivé zákazníky při zavedení inteligentních měřících systémů v elektroenergetice ČR [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2012 [cit. 22-04-2021]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/46789/52808/592041/priloha002.docx>
- [40] Nano Energies spouští první českou „virtuální elektrárnu“ [online]. 2021 [cit. 29-04-2021]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/nano-energies-spousti-prvni-ceskou-virtualni-elektrarnu-1378677>
- [41] Coinmarketcap [online]. Coinmarketcap [cit. 29-04-2021]. Dostupné z: <https://coinmarketcap.com/>
- [42] Hromadné dálkové ovládání [online]. ČEZ Distribuce [cit. 16-05-2021]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/spinani-hdo>
- [43] Podle ústního sdělení Ing. Pavla Vajnara Phd. [Energetický regulační úřad, Jankovcova 1566/2b, 170 00 Praha 7-Holešovice] [cit. 06-05-2021]
- [44] Euigy [online]. Euigy [cit. 17-05-2021]. Dostupné z: <https://equigy.com/>