

Roberts Lazdiņš

**AKTĪVĀ LIETOTĀJA UN GALALIETOTĀJA
ENERGOKOPIENAS PLĀNOŠANAS RĪKA
UN METODOLOĢIJAS IZSTRĀDE**

Promocijas darba kopsavilkums



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Datorzinātnes, informācijas tehnoloģijas un enerģētikas fakultāte
Enerģētikas institūts

Roberts Lazdiņš

Doktora studiju programmas “Viedā elektroenerģētika” doktorants

AKTĪVĀ LIETOTĀJA UN GALALIETOTĀJA ENERGOKOPIENAS PLĀNOŠANAS RĪKA UN METODOLOĢIJAS IZSTRĀDE

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
profesore *Dr. sc. ing.*
ANNA MUTULE

RTU Izdevniecība
Rīga 2024

Lazdiņš, R. Aktīvā lietotāja un galalietotāja energokopienas plānošanas rīka un metodoloģijas izstrāde. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2024. 37 lpp.

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes “RTU P-05” 2024. gada 26. marta lēmumu, protokols Nr. 97/24.



Promocijas darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu darbības programmas “Izaugsme un nodarbinātība” 8.2.2. specifiskā atbalsta mērķa “Stiprināt augstākās izglītības institūciju akadēmisko personālu stratēģiskās specializācijas jomās” projektā Nr. 8.2.2.0/20/I/008 “Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās”.

Pētījums ir tapis ar Rīgas Tehniskās universitātes Doktorantūras grantu programmas atbalstu.

<https://doi.org/10.7250/9789934370397>
ISBN 978-9934-37-039-7 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2024. gada 20. jūnijā plkst. 10.00 Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes, informācijas tehnoloģijas un enerģētikas fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 306. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Asociētais profesors *Dr. sc. ing.* Romāns Petričenko,
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesore *Dr. sc. ing.* Irina Oļeiņikova,
Norvēģijas Zinātņu un tehnoloģiju universitāte, Norvēģija

Profesors *Dr. sc. ing.* *Saulius Gudžius*,
Kauņas Tehnoloģiskā universitāte, Lietuva

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Roberts Lazdiņš (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 49 attēli, 15 tabulas, trīs pielikumi, kopā 102 lappuses, ieskaitot pielikumus. Literatūras sarakstā ir 95 nosaukumi.

SATURS

| | |
|--|-----------|
| Ievads | 5 |
| Promocijas darba aktualitāte | 5 |
| Promocijas darba hipotēze, mērķis un uzdevumi..... | 7 |
| Pētījumu metodes un rīki | 7 |
| Zinātniskā novitāte | 8 |
| Promocijas darba praktiskā nozīme | 8 |
| Autora personīgais ieguldījums | 9 |
| Pētījumu rezultātu aprobācija | 9 |
| Promocijas darba apjoms un struktūra | 11 |
| 1. Energokopienų ieviešana | 12 |
| 1.1. Energokopienų ieviešanas konteksts..... | 12 |
| 1.2. Noteiktie energokopienų ieviešanas izaicinājumi Latvijā..... | 12 |
| 1.3. Noteiktie energokopienų ieviešanas izaicinājumi citās valstīs..... | 13 |
| 1.4. Diskusija un secinājumi par noteikto izaicinājumu pārvarēšanu..... | 14 |
| 2. Aktīvā lietotāja un galalietotāja energokopienų plānošanas rīka izstrāde | 16 |
| 2.1. Savstarpējās saiknes noteikšana starp aktīvo lietotāju un galalietotāju | 16 |
| 2.2. Ierobežojumi un vadlīnijas | 17 |
| 2.3. Aktīvā lietotāja un galalietotāja energokopienų plānošanas rīks | 18 |
| 2.4. Diskusija un secinājumi | 25 |
| 3. Rekomendācijas aktīvā lietotāja un galalietotāja energokopienų ekonomiskā izdevīguma un ilgtspējas uzlabošanai | 26 |
| 3.1. Pieņēmumi..... | 26 |
| 3.2. Gadījumu izpētes un scenāriju modelēšanā izmantotās bāzes energokopienų | 26 |
| 3.3. <i>NPV</i> , <i>AF</i> , <i>PEB</i> un <i>CEB</i> vērtību noteikšana bāzes energokopienās..... | 27 |
| 3.4. Gadījumu izpētes un scenāriju modelēšana..... | 28 |
| 3.5. Diskusija un secinājumi | 29 |
| Secinājumi | 32 |
| Izmantotā literatūra | 33 |

IEVADS

Promocijas darba aktualitāte

Eiropas Savienība (ES) ir spērusi soli ceļā uz klimata neitralitāti, īstenojot tiesību aktu kopumus: “Tīra enerģija visiem Eiropas iedzīvotājiem” [1] un “Gatavi mērķrādītājam 55 %” [2]. To kopējais mērķis ir panākt līdzsvaru starp lēmumu pieņemšanu ES un nacionālajā līmenī, lai veicinātu energoefektivitātes un atjaunojamās enerģijas (AE) pasākumu ieviešanu.

Apstiprinot “Tīra enerģija visiem Eiropas iedzīvotājiem” paketē iekļautās direktīvas 2018/2001/ES [3] un 2019/944 [4], ES ir pavērusi iespēju plašākai atjaunojamo energoresursu (AER) ieviešanai vietējā un māsaiņniecību līmenī. Papildus tam iepriekšminētās direktīvas ir oficiāli atzinušas un definējušas jaunu enerģijas kopīgošanas konceptu – energokopienas (*EnC*).

Lai noteiktu dažādas darbības vadlīnijas, sagaidāmos mērķus, uzdevumus un to pieņemšanas elastību ES dalībvalstu nacionālajā likumdošanā, 2018/2001/ES un 2019/944 direktīvās ir definēti divi *EnC* veidi: **atjaunojamās enerģijas kopienas** un **iedzīvotāju energokopienas**.

Papildus tam iepriekšminētās direktīvas [3, 4] ir noteikušas vairākus uzsvarus efektīvai un ekonomiski pamatotai *EnC* ieviešanai ES dalībvalstīs.

- **Dalībvalstīm ir jāizveido ietvars**, kas veicinātu un atvieglotu *EnC* izveidi.
- Sadales sistēmu operatoram ir jāsadarbjas ar *EnC*, lai nodrošinātu enerģijas pārvadi.
- **Dalībvalstīm ir jāizstrādā instrumenti un mehānismi**, lai atvieglotu *EnC* piekļuvi finansējumam, tehniskai un citai saistītai informācijai.

Latvija kā ES dalībvalsts ir noteikusi *EnC* konceptu un to ieviešanu kā vienu no **prioritātēm** energosistēmas pārveides veicināšanai. Respektīvi, Latvijas Nacionālajā enerģētikas un klimata plānā (NEKP) 2021.–2030.gadam [5] un grozījumos tiesību aktos.

Lai sekmīgi integrētu *EnC* esošajā elektroapgādes sistēmā, NEKP ir piedāvājis trīs rīcības plāna punktus.

- Atjaunojamās enerģijas pašražošanai, pašpatēriņam un *EnC* ir jādarbojas **ekonomiski pamatotā vidē bez tehniskiem, finansiāliem vai likumdošanas šķēršļiem**.
- Izstrādāt *EnC* elektroenerģijas tirdzniecības mehānismu, izmantojot **savstarpējās tirdzniecības jeb “peer-to-peer” (P2P) biznesa modeli**.
- Izstrādāt likumdošanu un vidi, kas atbalstītu un veicinātu *EnC* izveidi.

Lai spertu pirmos soļus NEKP noteikto un ar *EnC* saistīto mērķu sasniegšanā, ir pieņemtas likumdošanas izmaiņas **Enerģētikas likumā** [6] un **Elektroenerģijas tirgus likumā** [7], tādējādi iesākot risināt ar likumdošanu saistītos šķēršļus. Respektīvi, Enerģētikas likums ir definējis *EnC* kā “tiesību subjektu, kas nodarbojas ar enerģijas – galvenokārt no atjaunojamiem energoresursiem iegūtas elektroenerģijas un cita veida atjaunojamās enerģijas – ražošanu, tirdzniecību, elektroenerģijas kopīgošanu, patēriņu un uzkrāšanu, pieprasījuma reakcijas pakalpojuma nodrošināšanu, elektrisko transportlīdzekļu uzlādes pakalpojuma,

energoefektivitātes pakalpojuma vai citu energopakalpojumu sniegšanu”. Papildus tam Elektroenerģijas tirgus likumā ir noteiktas vairākas *EnC* darbības vadlīnijas.

- Energokopienas biedri vai daļu turētāji ir **galalietotāji un aktīvie lietotāji**, kuru objekti pieslēgti viena sistēmas operatora sistēmai.
- Elektroenerģijas kopīgošana notiek viena tirdzniecības intervāla ietvaros. **Tūlītēji nepatērētā elektroenerģija nav uzkrājama kopīgošanai citā tirdzniecības intervālā, bet ir pārdodama elektroenerģijas tirgotājam par vienošanās cenu.**
- Sistēmas dalībnieku objekti, kas piedalās elektroenerģijas kopīgošanā, vienlaikus **nevar piedalīties neto uzskaites sistēmā, neto norēķinu sistēmā, kā arī elektroenerģijas izcelsmes apliecinājumu sistēmā.**

Neskatoties uz likumdošanas atbalstu *EnC* izveidei gan ES, gan nacionālā līmenī, to ieviešana Latvijā saskaras ar noteiktiem tehniskiem un informācijas pieejamības izaicinājumiem.

Sakarā ar vēsturiski īstenotajiem atbalsta pasākumiem AER bāzēto mikroģeneratoru atbalstam – neto uzskaites sistēmai [7] un valsts atbalstam saules fotoelementu (*PV*) paneļu un vēja ģeneratoru iegādei [8] – 2022. gadā Latvijā bija vairāk nekā 12 000 aktīvo lietotāju [9] (un 904 717 elektroenerģijas patērētāju, kas ir pieslēgti pie elektroenerģijas sadales tīkliem [10]), kuriem elektroenerģijas ražošanas avota maksimālā uzstādītā kapacitāte bija zemāka par 11,1 kW [9]. Turklāt novērtējuma pētījumā noskaidrots, ka tikai 14 % no visiem Latvijas elektroenerģijas patērētājiem (ieskaitot aktīvos lietotājus) būtu gatavi iesaistīties *EnC* [11]. Tas liecina, ka **aktīvo lietotāju un galalietotāju vēlme iesaistīties *EnC* ir zema. Turklāt esošo aktīvo lietotāju skaits ir relatīvi zems**, salīdzinot ar kopējo elektroenerģijas patērētāju skaitu.

Turklāt Elektroenerģijas tirgus likuma grozījumi nosaka, ka aktīvo lietotāju saražotās elektroenerģijas pašpatēriņam jābūt vismaz 80 % no gadā saražotā apjoma [12]. Tas liecina par **ierobežotu elektroenerģijas daudzumu**, ko tie varētu kopīgot *EnC*.

Ņemot vērā iepriekšminēto, relatīvi zemais aktīvo lietotāju skaits un kopīgošanai atvēlētais elektroenerģijas daudzums ir nepietiekams, lai, pamatojoties uz esošajiem apstākļiem, izveidotu liela mēroga, vairāku aktīvo lietotāju un vairāku galalietotāju *EnC*. Līdz ar to **pastāv ievērojams un augsts potenciāls aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* izveidei, tādējādi veicinot spēcīgāku kopienas sajūtu un AER pieejamību galalietotājam**, kuram nav iespēja uzstādīt AER elektroenerģijas ģenerācijas avotu.

Ir svarīgi uzsvērt, ka ES direktīvu ieviešana nacionālajos tiesību aktos, kā arī likumdošanas ES dalībvalstīs veicina dažādību *EnC* noteikumos un tiesiskajos regulējumos. Tādējādi ***EnC* tiesiskais regulējums visās ES dalībvalstīm nav standartizēts un vienots** [13–15]. Tā rezultātā rīki, kas ir izstrādāti *EnC* plānošanai un modelēšanai konkrētās valstīs, ir grūti lietojami vai pat nav izmantojami, lai novērtētu *EnC* efektivitāti un ekonomisko pamatotību citās valstīs [15], tai skaitā, Latvijā.

Ņemot vērā iepriekšminēto, Latvijas elektroenerģijas patērētājiem trūkst ietvara, lai noteiktu elektroenerģijas kopīgošanas priekšrocības un priekšnoteikumus aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* efektīvai izveidei. Papildus tam Latvijas apstākļiem piemērota ***EnC* plānošanas rīka** trūkums apgrūtina šo ieguvumu novērtēšanu. Gan ES direktīvas [3, 4], gan

Latvijas NEKP ir akcentējušas minētā rīka nozīmi un nepieciešamību, kas varētu būt par pamatu *EnC* ekonomiskā pamatojuma noteikšanai. Šī rīka izveides ieguvēji būtu ne tikai aktīvie lietotāji un galalietotāji, bet arī **politikas veidotāji un likumdevēji**, tādējādi ar izstrādātā risinājuma palīdzību ļaujot tiem novērtēt valsts atbalsta efektivitāti un esošās likumdošanas ietekmi uz *EnC* izveides ekonomisko pamatojumu.

Promocijas darba hipotēze, mērķis un uzdevumi

Hipotēze

Visaptverošs ietvars, kas ir vērsts uz elektroenerģijas patērētājiem un iezīmē enerģijas kopīgošanas ekonomiskos ieguvumus, var veicināt *EnC* ieviešanu Latvijā.

Mērķis un uzdevumi

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* plānošanas rīku, kas būtu pielāgots Latvijas likumdošanai un enerģētikas pārejas mērķiem, lai novērstu informācijas trūkumu, kā arī noteiktu elektroenerģijas kopīgošanas ekonomisko pamatotību un ieguvumus potenciālajiem *EnC* dalībniekiem, politikas veidotājiem un citām iesaistītajām personām.

Lai sasniegtu noteikto mērķi, ir noteikti vairāki uzdevumi.

1. Veikt tiesību aktu, zinātnisko publikāciju un plašsaziņas informācijas avotu apskatu, lai noteiktu *EnC* ieviešanas prasības, vadlīnijas un iespējamās ieviešanas izaicinājumus.
2. Izstrādāt metodoloģiju un modelēšanas rīku aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* iniciatīvu plānošanai saskaņā ar Latvijas likumdošanu un enerģētikas pārejas mērķiem.
3. Izpētīt mainīgo faktoru ietekmi uz aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* ekonomisko ilgtspējību, izmantojot gadījumu izpēti un scenāriju modelēšanu.

Pētījumu metodes un rīki

Lai veicinātu pētījuma pārredzamību, promocijas darba izstrādes gaitā veiktie pētījumi tika veikti, izmantojot plaši pieejamus un lietotājiem draudzīgus rīkus. Promocijas darba autors pētījumos izmantotos algoritmus ir izstrādājis Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas institūtā.

Pirmā nodaļa ietver dažādu informācijas avotu empīrisku pārskatu un **PESTLE analīzi**: zinātniskās publikācijas (**izmantojot *Scopus*, *Web of Science*, *IEEE Xplore* un *Science Direct* datubāzes**) un plašsaziņas līdzekļu avotus, lai apkopotu **plašu** enerģētikas ekspertu un sabiedrības viedokļu apjomu par *EnC* ieviešanas gaitu un izaicinājumiem. Lai apkopotu svarīgāko informāciju no publikācijām un citiem informācijas avotiem, tika izmantots *Microsoft Excel*.

Otrajā nodaļā aprakstīts izstrādātais aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* plānošanas rīks, pamatojoties uz piedāvāto *P2P* pieeju, izmantojot akumulētos līdzekļus un ārējā finansējuma apguvi. Lai veicinātu tā pieejamību potenciālajiem *EnC* dalībniekiem, pētniekiem, politikas veidotājiem un citām ieinteresētajām personām, *EnC* plānošanas rīks ir brīvi pieejams **GitHub**

platformā. *Microsoft Excel* tika izmantots, lai izstrādātu analīzes grafikus, attēlus un ilustrācijas.

Trešajā nodaļā aprakstīta mainīgo faktoru ietekme uz aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* ekonomisko ilgtspēju un pamatotību, izmantojot **modelētās gadījumu izpētes un scenārijus**. Ieejas datu iegūšanai par *PV* paneļu sistēmas elektroenerģijas ražošanas un mājsaimniecības elektroenerģijas patēriņa profiliem tiek izmantotas brīvi pieejamas “*Ninja_europe_pv_v1.1*” un “Sadales tīkls” **datubāzes**. *Microsoft Excel* tika izmantots, lai apkopotu ieejas datus, iegūtu pētījuma rezultātus, kā arī izstrādātu analīzes grafikus, attēlus un ilustrācijas.

Zinātniskā novitāte

Lai veicinātu un motivētu *EnC* izveidošanu, ņemot vērā esošos tiesību aktus un enerģētikas pārejas mērķus, tika izstrādāts aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* plānošanas rīks, tādējādi **veicinot** atvērta pieejas elektroenerģijas kopīgošanas aktivitāšu modelēšanu Latvijā. Rīks ietver detalizētu un daudzpusīgu algoritmu, kas nosaka **elektroenerģijas apjomu un naudas plūsmas** *EnC*, kā arī starp *EnC* un elektroenerģijas tirgotāju, izmantojot elektroenerģijas sadales tīklu. Papildus tam rīks ļauj veikt aktīvā lietotāja un galalietotāja **ekonomisko ieguvumu aprēķinu, piedaloties** *EnC*, kā arī neto pašreizējās vērtības analīzi saistībā ar AER bāzētā elektroenerģijas avota iegādi. Tādējādi **izstrādātais plānošanas rīks ir efektīvs līdzeklis**, lai demonstrētu aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* ekonomisko pamatotību Latvijā. Tā metodoloģija nodrošina atvērtības principu, lai tas tiktu izmantots *EnC* ieviešanai arī citās valstīs (ja nepieciešams, pielāgojot un modificējot to attiecīgajām likumdošanas vadlīnijām).

Ņemot vērā izstrādātā rīka darbības pieeju, tas **vispusīgi modelē** aktīvā lietotāja un galalietotāja **elektroenerģijas tarifa plānus** (fiksētos vai dinamiskos), **ikstundas elektroenerģijas ģenerācijas un patēriņa apjomus, ārējā finansējuma apjomu** elektroenerģijas ģenerācijas avota iegādei un uzstādīšanai un **finansiālos indikatorus**, piemēram, kapitālizdevumus un pamatdarbības izdevumus, kā arī veidu, kā šie izdevumi var tikt atmaksāti (**no sākumieguldījumiem vai bankas aizdevuma**). Šī elastība ļauj plānošanas rīkam modelēt dažādu aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* klāstu. Šāda pielāgojamība ļauj rīkam izstrādāt dažādus **gadījumu izpētes un scenāriju** veidus, kas ietver *EnC* dalībnieku elektroenerģijas patēriņa un elektroenerģijas ģenerācijas apjomus, kā arī *EnC* dalībnieku, sadales tīkla operatoru un elektroenerģijas tirgotāju finansiālās saistības.

Promocijas darba praktiskā nozīme

Promocijas darba izstrādes gaitā veiktie pētījumi un rezultāti ir devuši ieguldījumu vairāku pētniecības projektu realizācijā.

- Latvijas Zinātnes padomes finansētais projekts “Viedās enerģētikas stratēģiskā un operatīvā vadība (*I-POWER*)” (2018–2021).
- *ERA-NET* līdzfinansētais un saskaņā ar *CHIST-ERA IV* kopīgo aicinājumu par jaunām skaitļošanas pieejām vides ilgtspējībai finansētais projekts “Energokopienų atbalsts – operatīvā izpēte un enerģētikas analīze (*SCOREA*)” (2019–2024).

Promocijas darba izstrādes gaitā veiktie pētījumi tika veikti ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu darbības programmas “Izaugsme un nodarbinātība” 8.2.2. specifiskā atbalsta mērķa “Stiprināt augstākās izglītības institūciju akadēmisko personālu stratēģiskās specializācijas jomās” projektā Nr. 8.2.2.0/201/008 “Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās” un ar Rīgas Tehniskās universitātes Doktorantūras grantu programmas atbalstu.

Izstrādātais plānošanas rīks un metodoloģija var kalpot ne tikai kā potenciālo aktīvo lietotāja un galalietotāja *EnC* ekonomiskās dzīvotspējas noteikšanas un informācijas izplatīšanas līdzeklis, bet arī kā **palīg līdzeklis politikas veidotājiem**, lai noteiktu valsts atbalsta un tā apjoma efektivitāti un likumdošanas ietekmi uz piedāvātās *EnC* ekonomiskajiem rādītājiem. Plānošanas rīks ir brīvi pieejams *GitHub* platformā, tāpēc tā izmantošana var dot **studentiem, pētniekiem un enerģētikas interesentiem** vērtīgu ieskatu par *EnC* darbību un attīstību, tādējādi padziļinot to zināšanas un interesi par AER un enerģijas kopīgošanas aktivitātēm.

Autora personīgais ieguldījums

Literatūras apskatu par *EnC* ieviešanas vadlīnijām, pieredzi un izaicinājumiem veica promocijas darba autors sadarbībā ar asociēto profesori D. Žalostību profesores A. Mutules vadībā. Autors piedalījās visos šī darba posmos, jo īpaši priekšizpētē, informācijas avotu apkopošanā, apskatā, analizē, publikāciju izveidē, kā arī vizualizācijas materiālu veidošanā.

Biznesa modeļu apskatu, piedāvātā *EnC* biznesa modeļa un aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* plānošanas rīka izstrādi, kā arī gadījumu izpēti un scenāriju modelēšanu veica promocijas darba autors profesores A. Mutules vadībā. Darba autors veica informācijas avotu apkopošanu, biznesa modeļu apskatu un analīzi, plānošanas rīka un tā metodoloģijas izstrādi, ieejas datu noteikšanu, gadījumu izpēti un scenāriju modelēšanu, kā arī publikāciju un vizualizācijas materiālu izveidi.

Pētījumu rezultātu aprobācija

Promocijas darbā iekļautos rezultātus un ar to saistītos pētījumus autors ir prezentējis četrās starptautiskās zinātniskās konferencēs.

1. 2020 IEEE 61th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 05–07 novembris, 2020, Rīga, Latvija.
2. 2021 IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 15–17 novembris, 2021, Rīga, Latvija.
3. 2022 IEEE 63th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 10–12 oktobris, 2022, Rīga, Latvija.
4. 2023 IEEE 64th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 09–11 oktobris, 2023, Rīga, Latvija.

Citus ar promocijas darbu saistītos rezultātus autors ir prezentējis trīs starptautiskos zinātniskos semināros, darbnīcās un pasākumos.

5. 1st follow-up meeting and workshop of the Latvia Country Desk, COME RES project, 06 oktobris, 2022, Rīga, Latvija.
6. World Congress of Latvian Scientists (Science Slam Competition), 27–29 jūnijs, 2023, Rīga, Latvija.
7. Workshop No.4: Digital power system protection and control, Nordic-Baltic Co-Simulation Platform Towards Increasing the Stability of AC/DC Transmission Grids (COSPACT), 23–24 novembris, 2023, Tronheima, Norvēģija.

Promocijas darbā iekļautie rezultāti ir publicēti vairākās recenzētās zinātniskajās publikācijās (indeksēti *Scopus* vai *Web of Science* datubāzēs).

1. **R. Lazdins** and A. Mutule, “Operational Algorithm for Natural Gas Boiler and Heat Pump System Optimization with PV Panel” in *2020 IEEE 61th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 2020, pp. 1–4, doi: 10.1109/RTUCON51174.2020.9316571.
2. **R. Lazdins**, A. Mutule and E. Kairisa, “Feasibility Study in Energy Community Business Model Development for Latvia”, in *2021 IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 2021, pp. 1–5, doi: 10.1109/RTUCON53541.2021.9711730.
3. **R. Lazdins**, A. Mutule and D. Zalostiba, “PV Energy Communities—Challenges and Barriers from a Consumer Perspective: A Literature Review”, *Energies*, vol. 14, art. no. 4873, 2021, doi: 10.3390/en14164873.
4. **R. Lazdins** and A. Mutule, “Scenario simulation of a small-scale energy community management”, in *2022 IEEE 63th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 2022, pp. 1–5, doi: 10.1109/RTUCON56726.2022.9978828.
5. T. Korötko, F. Plaum, T. Häring, A. Mutule, **R. Lazdins**, O. Borščevskis, A. Rosin and P. Carroll, “Assessment of Power System Asset Dispatch under Different Local Energy Community Business Models”, *Energies*, vol. 16, art. no. 3476, 2023, doi: 10.3390/en16083476.
6. **R. Lazdins** and A. Mutule, “Impact of Variable Factors on the Viability and Efficiency of Energy Communities: A Scenario Simulation Study in Latvia”, in *2023 IEEE 64th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 2023, pp. 1–5, doi: 10.1109/RTUCON60080.2023.10413190.

Promocijas darbā iekļautie rezultāti ir apstiprināti iekļaušanai recenzētā zinātniskā publikācijā (indeksēta *Scopus* un *Web of Science* datubāzēs).

7. **R. Lazdins** and A. Mutule, “Assessment of Various Factors Affecting Economic Indicators in Prosumer and Consumer Energy Communities: A Case Study in Latvia”, *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2024.

Citi ar promocijas darbu saistītie rezultāti ir publicēti recenzētā zinātniskā publikācijā (indeksēta *Scopus* un *Web of Science* datubāzēs).

8. J. Stakens, A. Mutule and R. Lazdins, “Agriculture Electrification, Emerging Technologies, Trends and Barriers: A Comprehensive Literature Review”, *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 60, pp. 18–32, 2023, doi: 10.2478/lpts-2023-0015.

Promocijas darba apjoms un struktūra

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā. Tajā ir ievads, trīs galvenās nodaļas, secinājumi, bibliogrāfija ar 95 literatūras avotiem un trīs pielikumi. Promocijas darbā ir 49 attēli un 15 tabulas. Promocijas darba apjoms ir 102 lappuses.

Pirmā nodaļa veltīta *EnC* ieviešanas izaicinājumu noteikšanai Latvijā un citās valstīs, kas varētu rasties Latvijā pēc *EnC* izveides. Nodaļā sniegtas rekomendācijas, lai palīdzētu pārvarēt noteiktos izaicinājumus, izstrādājot aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* plānošanas rīku.

Otrajā nodaļā veikts esošo *EnC* biznesa modeļu un Latvijas likumdošanas apskats. Apskata rezultātā tiek piedāvāts *P2P* pieejā bāzēts biznesa modelis ar akumulēto līdzekļu un ārējā finansējuma apguves modifikāciju. Papildus tam uz piedāvātā biznesa modeļa bāzes tiek prezentēts aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* plānošanas rīks un sniegts ieskats tā izstrādē.

Trešajā nodaļā modelētas trīs bāzes gadījumu *EnC*, tajās ietverot vairākas gadījumu izpētes un scenārijus, lai noteiktu dažādu faktoru ietekmi uz aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* izveides ekonomisko pamatojumu piedāvātā biznesa modeļa izmantošanā. Modelēšanas rezultātā sniegtas rekomendācijas potenciālajiem *EnC* dalībniekiem, politikas veidotājiem un likumdevējiem un citām iesaistītajām personām par pamatnostādņēm, kas varētu paaugstināt *EnC* izveides ekonomisko izdevīgumu un pamatojumu.

1. ENERGOKOPIENU IEVIEŠANA

1.1. Energokopieniu ieviešanas konteksts

Lai cīnītos ar globālās sasilšanas un energoapgādes drošuma saistītiem izaicinājumiem, ir nepieciešamas būtiskas pārmaiņas energosistēmās. 2021. gadā energoapgādes sektors bija vadošais oglekļa dioksīda radītājs, radot aptuveni 25 % no kopējām emisijām [16], tādējādi veicinot diskusijas par enerģētikas transformācijas virzienu un bezemisiju energosistēmas struktūru.

Lielās energosistēmas varētu pāriet uz AER, tādējādi radot nepieciešamību pēc liela apjoma finanšu resursiem. Tomēr nevalstiskās organizācijas un pētnieki rosina šo pāreju veikt mājsaimniecību mērogā ar decentralizētām energoapgādes sistēmām [17].

Elektroenerģijas sistēmas decentralizācijas pirmais posms bija elektroenerģijas galalietotāju pāreja uz aktīviem lietotājiem, tiem uzstādot uz AER bāzētus elektroenerģijas ģenerācijas avotus. Šāda pieeja savukārt veicina klimatneitralitāti, palielina mājsaimniecību energoapgādes neatkarību un elektroenerģijas piegādes drošumu, kā arī samazina elektroenerģijas izmaksas [18, 19].

Lai paātrinātu pāreju uz AER, ES ir definējusi divu veidu enerģijas kopīgošanas konceptus: atjaunojamās enerģijas kopienas [3] un iedzīvotāju energokopienas [4]. Šīs kopienas veicina sabiedrības iesaistīšanos AE projektos [20], palielina elektroenerģijas galalietotāju dalību AER patēriņā un energoefektivitātes pasākumu veikšanā [21].

Lai gan Eiropas Savienībā *EnC* ir plaši izplatītas [22, 23], to ieviešana un izplatība dalībvalstīs nav vienota. Kā norāda vairāki avoti [24–26], Latvijā šobrīd nav pilnībā funkcionējošu *EnC*. Ņemot vērā plašo *EnC* ieviešanu citviet un ar to saistītos ieguvumus, to izveide Latvijā saskaras ar izaicinājumiem gan to ieviešanā, gan integrēšanā elektroapgādes sistēmā. Kā uzsvērts Latvijas NEKP [5], šo izaicinājumu noteikšana un pārvarēšana ir kritiska, lai veicinātu elektroenerģijas kopīgošanu un sekmētu *EnC* izveidi Latvijā.

Lai noteiktu *EnC* ieviešanas izaicinājumus Latvijā, kā arī ņemot vērā citu valstu pieredzi to izveidē, nākamajās apakšnodalās ir veikta to noteikšana un analīze, izmantojot *PESTLE* pieeju [27], tos iedalot četros aspektos: politikas, ekonomiskajos, tehniskajos un sociālajos.

1.2. Noteiktie energokopieniu ieviešanas izaicinājumi Latvijā

Noteikto izaicinājumu apzināšana no zinātniskās literatūras, projektu atskaitēm un citiem informācijas avotiem ir viens no galvenajiem faktoriem, lai novērtētu nacionālā līmeņa *EnC* ieviešanas pasākumus un progresu to risināšanā no dažādām perspektīvām. Papildus apkopojot sabiedrības un ekspertu viedokļus, varētu iegūt plašāku izpratni par *EnC* attīstības izaicinājumiem no elektroenerģijas patērētāju un nevalstisko organizāciju skatpunkta.

Neskatoties uz Enerģētikas likuma un Elektroenerģijas tirgus likuma grozījumiem, *EnC* ieviešanu Latvijā joprojām ir apgrūtināta, jo nav Ministru kabineta noteikumu, kas reglamentētu elektroenerģijas kopīgošanas darbības, pienākumus, uzraudzību un *EnC* darbības attālumu [7, 28]. Tas liecina par nepietiekami attīstītu normatīvo aktu bāzi *EnC*, un, kā norādīts

[29], esošā politika netiešā veidā palēnina *EnC* projektu un iniciatīvu ieviešanu. Šī situācija ir izpelnījies sabiedrības un enerģētikas ekspertu kritiku par acīmredzamo kavēšanos saistīto normatīvo aktu izstrādē. Tas savukārt rada iespaidu, ka likumdevēji vilcinās ieviest *EnC* atbilstošu likumdošanu un darbības vadlīnijas Latvijā [30].

Kā norāda [29], Latvijā esošie atbalsta mehānismi AER nav pietiekami efektīvi, lai veicinātu *EnC* attīstību, tādējādi ierosinot paplašināt atbalsta shēmas, lai finansiāli atbalstītu ne tikai *EnC* izveidi, bet arī radītu ekonomisku pamatojumu to plānošanas aktivitātēm. Papildus tam eksperti uzsver informācijas un rīku trūkumu potenciālo *EnC* atmaksāšanās perioda novērtēšanai, tādējādi elektroenerģijas lietotāju vidū elektroenerģijas kopīgošana un *EnC* ieviešana varētu būt ierobežota un pat nemotivējoša [30, 31].

Elektroenerģijas tirgus likums nosaka, ka *EnC* dalībniekiem jābūt piesaistītiem vienam elektroenerģijas tirgotājam, lai nodrošinātu elektroenerģijas kopīgošanu [7]. Šī prasība var mazināt interesi par *EnC*, jo pastāv risks zaudēt esošā tirgotāja piedāvājumus un atlaides, potenciāli palielinot tarifus un kopējās izmaksas daļai *EnC* dalībnieku. Apvienojot šo izaicinājumu ar zemo aktīvo lietotāju skaitu [9, 10], kā arī ierobežoto elektroenerģijas apjomu, ko var kopīgot pēc aktīvā lietotāja pašpatēriņa [8, 12], liela mēroga *EnC* ieviešanas potenciālu Latvijā var uzskatīt par nepietiekamu.

[28] veiktās ieinteresēto pušu aptaujas rezultāti norāda, ka, ņemot vērā noteikumu neesamību un risinājumu trūkumu iepriekšminētajiem izaicinājumiem, sabiedrības informētība par *EnC* un to ieviešanas potenciālajiem ieguvumiem ir ievērojami zema. Tas liecina par vāju vēlmi iesaistīties elektroenerģijas kopīgošanas un AER sadarbības aktivitātēs [29].

Tomēr Latvijas pieredze attiecībā uz *EnC* ieviešanu līdz šim ir bijusi salīdzinoši neliela, un publikāciju skaits un to piedāvāto izaicinājumu analīze neļauj pilnībā noteikt potenciālos sarežģījumus, kas var rasties, plaši ieviešot *EnC*. Tādējādi citu valstu pieredzes un to noteikto izaicinājumu apskats var palīdzēt paplašināt redzesloku attiecībā uz citām *EnC* ieviešanas grūtībām, ko patlaban Latvijā vēl nav iespējams noteikt.

1.3. Noteiktie energokopieniu ieviešanas izaicinājumi citās valstīs

Lai veiktu ieskatu potenciālajos izaicinājumos, kas varētu rasties pēc *EnC* izveidošanas, šajā apakšnodalā tiek pētīti ieviešanas un pieņemšanas izaicinājumi citās valstīs, izskatot zinātnisko literatūru no politiskajiem, ekonomiskajiem, tehniskajiem un sociālajiem aspektiem [32].

Publikācijas [33] autori uzsver, ka politikas un atbalsta shēmas Baltijas valstīs ir galvenie faktori, kas varētu palielināt AER pievilcību elektroenerģijas patērētāju vidū, tādējādi motivējot *EnC* veidošanu. Amerikas Savienotajās Valstīs veiktais pētījums liecina, ka elektroenerģijas uzņēmumu lobēšanas centieni var kavēt likumdošanas aktu izstrādi [34]. Papildus tam *EnC* saistītās likumdošanas izstrādes vājo progresu var skaidrot ne tikai ar elektroenerģijas uzņēmumu atbalsta trūkumu, bet arī ar citu ieinteresēto personu nepietiekamu iesaistīšanos [35]. Kopumā tas liecina par vāju dialogu starp ieinteresētajām personām, kā arī informācijas pieejamību par AER un elektroenerģijas kopīgošanas iespējām un ieguvumiem. Turklāt politikas un *EnC* pieņemšanas izaicinājumus var radīt specifisku un diferencētu

mērķauditorijas informācijas un komunikācijas stratēģiju trūkums [36, 37]. Spānijā veiktais pētījums [38] liecina, ka *EnC* politika attiecībā uz elektroenerģijas kopīgošanu ir ekonomiski efektīvāka nekā politika, kas saistīta ar elektroenerģijas pārpalikuma pārdošanu un cenām ārpus *EnC* robežām. Minētais pētījums liecina par nepieciešamību pēc pieejas, kā šīs politikas un to savstarpējā ietekme var palielināt kopējo *EnC* efektivitāti.

Finansiālā atbildība un valsts atbalsts [36], pašpatēriņa līmenis, kā arī elektroenerģijas kopīgošanas un pārdošanas tarifa un cenas noteikšanas sistēma [39] ir vieni no galvenajiem faktoriem, kas ietekmē *EnC* atmaksāšanās periodu. Lai noteiktu *EnC* efektivitāti un rentabilitāti, dažādās programmatūrās ir izstrādāti modelēšanas rīki, pamatojoties uz vairākiem biznesa modeļiem [40–43]. Lai gan šīs programmatūras un modelēšanas metodes uzlabo *EnC* plānošanu, to izmantošanai nepieciešams iegādāties licences, lietotājiem ir nepieciešamas augstas programmēšanas prasmes, un tas var radīt brīvas pieejamības un citus izaicinājumus elektroenerģijas lietotājiem. Piedāvātie un izstrādātie modelēšanas rīku gadījumu sagataves un scenāriji nav universāli piemērojami *EnC* saistīto tiesību aktu, biznesa modeļu un darbības ierobežojumu dēļ dažādās valstīs. Turklāt [44] uzsver, ka pašreizējie biznesa modeļi ir salīdzinoši sarežģīti un grūti izsekojami, tādējādi radot pieprasījumu pēc ievērojami vienkāršotiem biznesa, finanšu maksājumu un savstarpējās norēķinu modeļiem.

Šveices pieredze liecina, ka jaunieši ar augstākiem ienākumiem un mazāk konservatīvu attieksmi pret AER izrāda lielāku vēlmi iesaistīties *EnC*. Šo novērojumu apstiprina arī pētījums, kas veikts Pakistānā [46]. Tajā secināts, ka kopējās elektroenerģijas izmaksas, ienākumu līmenis, elektroenerģijas lietotāju izglītības līmenis un informācijas pieejamība par *EnC* priekšrocībām ir galvenie faktori, kas ietekmē sabiedrības atbalstu un vēlmi iesaistīties elektroenerģijas kopīgošanas aktivitātēs. Savukārt citā aptaujā [47] secināts, ka *EnC* izmantotie tehnoloģiskie risinājumi un iekārtas nav izšķirošie faktori, lai elektroenerģijas patērētāji vēlētos piedalītos *EnC*.

Var secināt, ka *EnC* ieviešanas izaicinājumi ārpus Latvijas ir saistīti ar tiesību aktu, komunikācijas un informācijas trūkumu. Turklāt literatūras avoti liecina par viegli saprotamu biznesa modeļu un lietotājiem draudzīgu *EnC* modelēšanas un plānošanas rīku ierobežotu pieejamību un trūkumu. Lai piedāvātu rekomendācijas iepriekšminēto izaicinājumu risināšanai gan Latvijā, gan citās valstīs, nākamajā apakšnodaļā sniegti ieteikumi un priekšlikumi šo izaicinājumu pārvarēšanai.

1.4. Diskusija un secinājumi par noteikto izaicinājumu pārvarēšanu

Lai paātrinātu *EnC* ieviešanu Latvijā, ir būtiski izstrādāt stratēģiju identificēto izaicinājumu pārvarēšanai, piedāvājot atbilstošus ieteikumus. Šajā apakšnodaļā apkopotu gan Latvijas, gan citu valstu literatūras avotos apskatītie secinājumi un sniegti ieteikumi noteikto izaicinājumu pārvarēšanai.

Ministru kabineta noteikumus var uzskatīt par galveno faktoru, kas no tiesiskā viedokļa kavē plaša mēroga *EnC* ieviešanu Latvijā. Lai šo procesu paātrinātu un saskaņotu ar visu ieinteresēto pušu vajadzībām, atbildīgajām ministrijām būtu jāveic konsultācijas un jāaptver ne tikai *EnC* un AER nozares pārstāvji. Attiecībā uz kopīgās elektroenerģijas uzskaiti var

rekomendēt uzdot šo pienākumu veikt gan elektroenerģijas tirgotājam, gan sistēmas operatoram, izmantojot esošās datu apstrādes iestrādes, tādējādi izvairoties no nepieciešamības izveidot īpašas platformas, lai uzskaitītu kopīgotās un pārdotās elektroenerģijas apjomu starp *EnC* dalībniekiem un elektroenerģijas tirgotāju.

Neskatoties uz esošajām *EnC* saistīto tīklošanās un informācijas izplatīšanas darbībām un pasākumiem, ir ieteicams turpināt informācijas izplatīšanas iniciatīvas. Informācijas pieejamība ne tikai veicinātu izpratni un izglītošanu elektroenerģijas lietotāju vidū par AER un elektroenerģijas kopīgošanu, bet arī mudinātu uz starpsektoru attīstību un diskusijām par plaša mēroga *EnC* ieviešanu Latvijā.

Lai radītu pamatojumu vairāku aktīvo lietotāju *EnC* izveidei Latvijā, ir jāpalielina to kopējais skaits. To var panākt, īstenojot iepriekš minētās iniciatīvas, kuru mērķis ir informācijas pieejamība, uzsverot ne tikai *EnC* ieviešanas priekšrocības, bet arī citus aktīvā lietotāja ieguvumus.

Lai noteiktu *EnC* izveides ekonomisko pamatojumu un to potenciālo efektivitāti, ir būtiski vērst uzmanību uz to darbības plānošanu. Latvijai īpaša *EnC* plānošanas rīka izstrāde spētu atrisinātu gandrīz visus iepriekšminētos *EnC* ieviešanas izaicinājumus. Tas efektīvi demonstrētu *EnC* ekonomiskos ieguvumus, veicinātu sabiedrības interesi par elektroenerģijas kopīgošanu un pamatotu ārējā finansējuma efektivitāti un tā ietekmi uz *EnC* ekonomisko pamatojumu, tādējādi padarot to piemērojamu un noderīgu ne tikai elektroenerģijas patērētājiem, bet arī likumdevējiem un politikas veidotājiem. Esošo plānošanas rīku izmantošana ir ierobežota pielietojuma, dažādu likumdošanas un izmantoto biznesa modeļu dēļ [48]. Šie ierobežojumi tos padara grūti lietojamus Latvijā. Tādējādi, lai risinātu noteiktos izaicinājumus un, ņemot vērā aktīvo lietotāju relatīvi zemo skaitu un ierobežotu elektroenerģijas daudzumu, ko aktīvais lietotājs varētu kopīgot ar citiem elektroenerģijas patērētājiem, pastāv nepieciešamība pēc plānošanas rīka, kas balstītos uz aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* izveides pamatošanu.

Lai veicinātu *EnC* izveidošanu Latvijā un novērtētu iespējamos ieguvumus to potenciālajiem dalībniekiem, nākamajā nodaļā aplūkota plānošanas rīka izstrāde aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC*, kā arī sniegts detalizēts apraksts par tajā ietvertajām un saistītajām modelēšanas darbībām.

2. AKTĪVĀ LIETOTĀJA UN GALALIETOTĀJA ENERGOKOPIENAS PLĀNOŠANAS RĪKA IZSTRĀDE

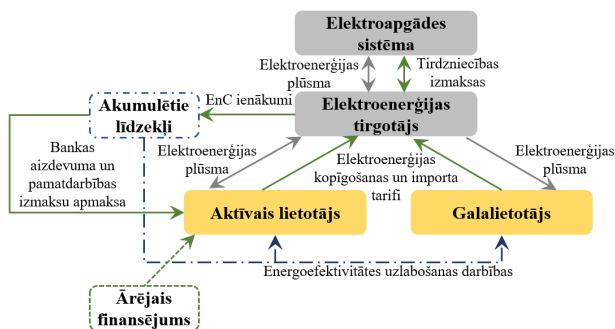
2.1. Savstarpējās saiknes noteikšana starp aktīvo lietotāju un galalietotāju

Lai motivētu aktīvos lietotājus un galalietotājus iesaistīties *EnC*, ir svarīgi tiem piedāvāt viegli saprotamu un atbilstošu savstarpējās saiknes noteikšanas stratēģiju (kā biznesa modeli), kas būtu vērsts uz izmaksu sadalījuma un elektroenerģijas kopīgošanas aktivitāšu īstenošanu, nodrošinot *EnC* iekļauto darbību caurskatāmību.

Latvijas NEKP nosaka mērķi izveidot jaunu tirgus modeli, kas balstīts savstarpējās tirdzniecības (*P2P*) pieejā, tādējādi kalpojot par pamatu *EnC* ieviešanai nacionālā līmenī [5]. Lai gan *P2P* modelim ir ievērojams potenciāls tikt izmantotam Latvijā, citu biznesa modeļu darbības aspektu integrēšana šajā modelī varētu uzlabot tā darbības efektivitāti.

Grantos bāzētais biznesa modelis [45, 49] liecina par nepieciešamību pēc elektroenerģijas kopīgošanas aktivitātēm, izmantojot tarifu, tādējādi padarot *EnC* ekonomiski ilgtspējīgas. Papildus tam ārējā finansējuma piesaiste varētu būtiski uzlabot to atmaksāšanās periodu. Daudzaģentu biznesa modelis [49–51] liecina, ka elektroenerģijas kopīgošanas un maksājumu pārvaldību ir nepieciešams veikt ar viena un *EnC* neatkarīga dalībnieka palīdzību. Neskatoties uz energokooperatīvu biznesa modeļu plašo izplatību [49, 52], Latvijas Elektroenerģijas tirgus likums nosaka, ka *EnC* var piedalīties tikai aktīvie lietotāji un galalietotāji, tādējādi esošā likumdošana liedz neatkarīgiem elektroenerģijas ražotājiem piedalīties elektroenerģijas kopīgošanā. Iepriekšminētā biznesa modeļa modifikācija norāda, ka *EnC* ienākumus var novirzīt akumulētajos līdzekļos un tos izmantot energoefektivitātes pasākumu, elektroenerģijas avota vai citu saistīto izmaksu segšanai bez iespējas iegūt privātu labumu un peļņu kādam individuālam *EnC* dalībniekam. Virtuālās spēkstacijas biznesa modeļa [49, 53] izmantošana Latvijā būtu apgrūtināta agregatoru [54] un ar to saistītās likumdošanas, kas nosaka to saistības ar *EnC*, trūkuma dēļ. Lai gan *P2P* biznesa modeļa [22, 49, 53] izmantošanu var uzskatīt par piemērotu, ņemot vērā Latvijas likumdošanu, enerģētikas pāreju un *EnC* ieviešanas mērķus, *P2P* elektroenerģijas tirdzniecības platformu var aizvietot un to funkciju var izpildīt ar elektroenerģijas tirgotāju un sistēmas operatoru esošajām datu apstrādes un pārvaldības sistēmām.

Integrējot aspektus no katra aplūkotā biznesa modeļa un ieviešot tos *P2P* biznesa modeļa darbības pieejā, tiek piedāvāts *EnC* plānošanas rīka biznesa modelis (2.1. att.).



2.1. att. Piedāvātais *EnC* biznesa modelis [55].

Tomēr ir svarīgi saskaņot piedāvāto biznesa modeli ar papildu ierobežojumiem un darbības pamatnostādņēm, izmantojot visaptverošu tiesiskā regulējuma pārskatu. Biznesa modelī ietvertie ierobežojumi, kā arī paša modeļa darbības princips ir aplūkots nākamajā apakšnodaļā.

2.2. Ierobežojumi un vadlīnijas

Šīs apakšnodaļas galvenais mērķis ir saskaņot iepriekš piedāvāto biznesa modeli ar Latvijas spēkā esošo likumdošanu, tādējādi iekļaujot konkrētas darbības vadlīnijas un tehnoloģiskos risinājumus efektīvai elektroenerģijas kopīgošanai *EnC* ietvaros.

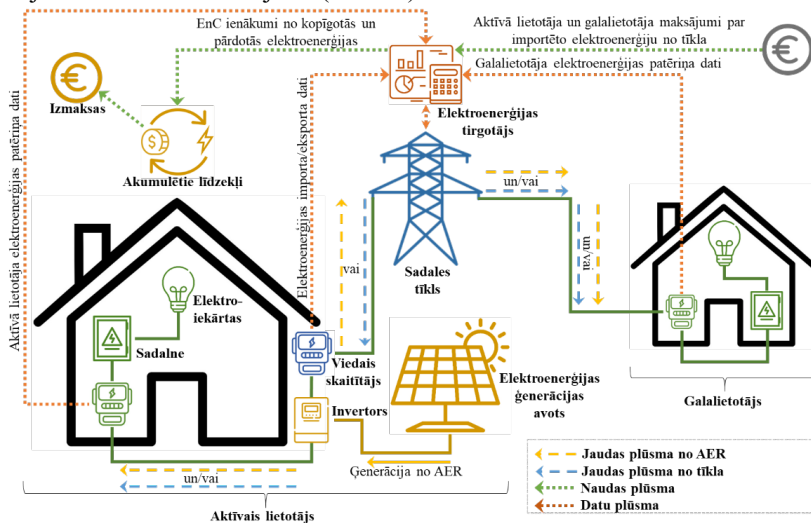
Elektroenerģijas tirgus likums nosaka, ka *EnC* dalībniekiem ir jābūt pieslēgtiem viena operatora sistēmai un elektroenerģijas kopīgošana ir jāveic caur to. Papildus tam *EnC* nav tiesīgas neatkarīgi pārvaldīt (iegūt, nomāt, pirkt u. c.) sadales tīklus. Elektroenerģijas kopīgošana ir jāveic, izmantojot sistēmas operatora infrastruktūru, un to pārvalda elektroenerģijas tirgotājs. *EnC* dalībniekiem ir jāslēdz kopīgošanas līgums, kā arī līgums ar elektroenerģijas tirgotāju. Neskatoties uz pētījumu, kas liecina par neto uzskaites sistēmas izmantošanas efektivitāti un potenciālu elektroenerģijas kopīgošanas darbību veikšanai [56], Elektroenerģijas tirgus likums nosaka, ka tūlītēji nepatērētā elektroenerģija nav uzkrājama kopīgošanai citā tirdzniecības intervālā, bet ir pārdodama elektroenerģijas tirgotājam par vienošanās cenu. Papildus tam sistēmas objekti (aktīvie lietotāji un galalietotāji), kas piedalās elektroenerģijas kopīgošanā, nevar piedalīties neto uzskaites sistēmā, neto norēķinu sistēmā, kā arī elektroenerģijas izcelsmes apliecinājumu sistēmā. Visbeidzot, *EnC* dalībnieki vienlaikus nevar piedalīties citās *EnC* [7].

Enerģētikas likums nosaka, ka *EnC* primārais uzdevums nav iegūt finansiālo peļņu, bet gan sniegt ekonomiskās, sociālās un vides kvalitātes uzlabojumus tās dalībniekiem un iesaistītajām personām. *EnC* iegūto peļņu nevar sadalīt un izmaksāt dividendēs, bet tā ir jāiegulda statūtos noteikto mērķu sasniegšanai. Papildus tam Ekonomikas ministrijai ir jāizstrādā atbalsta programmas energokopienām, kas izmanto tikai atjaunojamus energoresursus, ievērojot komercdarbības atbalsta nosacījumus [6].

Vēsturiski pieņemtā neto uzskaites sistēma, kas ļāva aktīvajiem lietotājiem virtuāli uzkrāt saražotās elektroenerģijas pārpalikumu, ir radījusi uzstādīto elektroenerģijas uzglabāšanas sistēmu (akumulātoru) trūkumu. Turklāt augsti citētā pētījumā [57] uzsvērts, ka akumulātoru

ieviešana ir ekonomiski pamatota, ja aktīvā lietotāja saražotās elektroenerģijas pašpatēriņa līmenis ir zemāks par 75 %. Tāpēc var noteikt, ka akumulatoru izmantošana pie 80 % pašpatēriņa līmeņa nav ekonomiski pamatota.

Ņemot vērā iepriekšminēto likumdošanas aktu noteiktos ierobežojumus un vadlīnijas, kā arī pētījumu par enerģijas uzglabāšanas sistēmām, izveidots piedāvātā aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* vizuālais attēlojums (2.2. att.).



2.2. att. Piedāvātā aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* vizualizācija [58].

Lai izvērtētu *EnC* izveides ekonomisko pamatotību piedāvātajā biznesa modelī, ir nepieciešams izstrādāt rīku, ar kura palīdzību būtu iespējams plānot elektroenerģijas kopīgošanas un pārdošanas aktivitātes atbilstoši katra *EnC* mērķiem un uzdevumiem. Nākamajā apakšnodaļā sniegts visaptverošs piedāvātā *EnC* plānošanas rīka apraksts.

2.3. Aktīvā lietotāja un galalietotāja energokopienas plānošanas rīks

Piedāvātā *EnC* plānošanas rīka galvenais mērķis ir efektīvi modelēt jaudas plūsmas starp *EnC* dalībniekiem un elektroenerģijas tirgotāju, izmantojot sadales tīklu, kā arī aprēķināt maksājumus par saņemto vai eksportēto elektroenerģijas apjomu. Lai aprakstītu piedāvātajā plānošanas rīkā iekļautās darbības, šajā apakšnodaļā ir sniegtas rīkā ietvertās matemātiskās darbības.

Lai noteiktu *EnC* elektroenerģijas ģenerācijas bāzi, ikstundas saražotās elektroenerģijas daudzumu no AER P_{RES}^t var noteikt šādi:

$$P_{RES}^t = P_{RES\ cap.} \cdot \delta_{RES}^t \cdot \Delta_{\%}^y, \quad (2.1)$$

kur $P_{RES\ cap.}$ – elektroenerģijas ģenerācijas avota uzstādītā kapacitāte, kW;

δ_{RES}^t – ikstundas koeficients, kas nosaka ikstundas saražotās elektroenerģijas daudzumu no 1 kW uzstādītās kapacitātes, kWh/kW;

$\Delta\%_y$ – ikgadējais uzstādītā ģenerācijas avota degradācijas koeficients, %.

Aktīvā lietotāja ikstundas elektroenerģijas patēriņa daudzums no tā uzstādītā elektroenerģijas ģenerācijas avota $P_{RES \rightarrow Pros.}^t$ var tikt noteikts šādi:

$$P_{RES \rightarrow Pros.}^t = \begin{cases} P_{RES}^t, ja P_{RES}^t < W_{Pros.}^t \\ W_{Pros.}^t, ja P_{RES}^t \geq W_{Pros.}^t \end{cases} \quad (2.2)$$

kur $W_{Pros.}^t$ – aktīvā lietotāja ikstundas elektroenerģijas patēriņš, kWh.

Gadījumos, kad saražotās elektroenerģijas daudzums nevar nosegt aktīvā lietotāja elektroenerģijas patēriņu, tā ir jānosedz ar importētās elektroenerģijas daudzumu no tīkla. Lai noteiktu importētās elektroenerģijas daudzumu ($P_{grid \rightarrow Pros.}^t$), tiek izmantota 2.3. formula.

$$P_{grid \rightarrow Pros.}^t = \begin{cases} W_{Pros.}^t - P_{RES \rightarrow Pros.}^t, ja P_{RES}^t < W_{Pros.}^t \\ 0, ja P_{RES}^t \geq W_{Pros.}^t \end{cases} \quad (2.3)$$

Ja saražotais elektroenerģijas daudzums ir lielāks par aktīvā lietotāja patēriņu, pārpalikumu var kopīgot ar galalietotāju, izmantojot tīklu. Kopīgošanai pieejamais ikstundas elektroenerģijas daudzums $P_{RES,excess}^t$ tiek noteikts šādi:

$$P_{RES,excess}^t = \begin{cases} 0, ja P_{RES}^t < W_{Pros.}^t \\ P_{RES}^t - P_{RES \rightarrow Pros.}^t, ja P_{RES}^t \geq W_{Pros.}^t \end{cases} \quad (2.4)$$

Gadījumā, ja aktīvais lietotājs izlemj maksāt par saņemto elektroenerģijas daudzumu no tā piederošā AER ģenerācijas avota, aktīvā lietotāja ikstundas tarifu par saņemto elektroenerģijas daudzumu no ģenerācijas avota ar pievienotās vērtības nodokli (PVN) $c_{Pros. EnC+VAT}^t$ var noteikt šādi:

$$c_{Pros. EnC+VAT}^t = c_{Pros. EnC}^t \cdot (1 + PVN), \quad (2.5)$$

kur $c_{Pros. EnC}^t$ – aktīvā lietotāja ikstundas tarifs par saņemto elektroenerģijas daudzumu no ģenerācijas avota bez PVN, EUR/kWh.

Šajā gadījumā aktīvā lietotāja ikstundas maksājums par saņemto elektroenerģijas daudzumu no tā piederošā ģenerācijas avota $C_{EnC \rightarrow Pros.}^t$ tiek noteikts, izmantojot 2.6. formulu.

$$C_{EnC \rightarrow Pros.}^t = P_{RES \rightarrow Pros.}^t \cdot c_{Pros. EnC+VAT}^t \quad (2.6)$$

Gadījumā, kad aktīvais lietotājs saņem elektroenerģiju no tīkla, elektroenerģijas tirgotāja noteiktajā elektroenerģijas cenas komponentes tarifā ir jāiekļauj PVN. Tādējādi aktīvā lietotāja ikstundas elektroenerģijas tarifu par saņemto elektroenerģijas daudzumu no tīkla ar PVN $c_{Pros. grid+VAT}^t$ var aprakstīt ar 2.7. formulu.

$$c_{Pros. grid+VAT}^t = c_{Pros. grid}^t \cdot (1 + PVN), \quad (2.7)$$

kur $c_{Pros. grid}^t$ – aktīvā lietotāja ikstundas elektroenerģijas tarifs par saņemto elektroenerģijas daudzumu no tīkla bez PVN, EUR/kWh.

Aktīvā lietotāja ikstundas maksājumi par saņemto elektroenerģijas daudzumu no tīkla $C_{grid \rightarrow Pros.}^t$ (bez citiem tīkla komponentu tarifiem) tiek noteikti šādi:

$$C_{grid \rightarrow Pros.}^t = P_{grid \rightarrow Pros.}^t \cdot C_{Pros. grid + VAT}^t \quad (2.8)$$

Lai noteiktu aktīvā lietotāja ikgadējo maksājumu par saņemto elektroenerģijas daudzumu, tajā ir jāiekļauj arī citas izmaksu komponentes: pieslēguma nodrošināšanu un elektroenerģijas piegādes pakalpojumu [59]. Aktīvā lietotāja ikgadējās elektroenerģijas izmaksas (ar citiem tīkla izmaksu tarifiem), kad tas piedalās $EnC C_{Pros.with EnC + VAT}^y$, ir šādas:

$$C_{Pros.with EnC + VAT}^y = \Sigma C_{EnC \rightarrow Pros.}^t + \Sigma C_{grid \rightarrow Pros.}^t + (\Sigma P_{grid \rightarrow Pros.}^t \cdot C_{supply (grid).Pros.} + I_{conn.Pros.} \cdot C_{maintenance (grid).Pros.} \cdot 12) \cdot (1 + PVN), \quad (2.9)$$

kur $C_{supply (grid).Pros.}$ – aktīvā lietotāja maksa par elektroenerģijas piegādi no tīkla bez PVN, EUR/kWh;

$I_{conn.Pros.}$ – aktīvā lietotāja ievadaizsardzības aparāta strāvas lielums, A;

$C_{maintenance (grid).Pros.}$ – aktīvā lietotāja maksa par jaudas uzturēšanu bez PVN, EUR/A/mēnesī.

Aktīvā lietotāja ikgadējās elektroenerģijas izmaksas (ar citiem tīkla izmaksu tarifiem), kad tas nepiedalās $EnC, C_{Pros.without EnC + VAT}^y$ tiek noteikts šādi:

$$C_{Pros.without EnC + VAT}^y = \Sigma C_{grid \rightarrow Pros.}^t + (\Sigma P_{grid \rightarrow Pros.}^t \cdot C_{supply (grid).Pros.} + I_{conn.Pros.} \cdot C_{maintenance (grid).Pros.} \cdot 12) \cdot (1 + PVN). \quad (2.10)$$

Galalietotāja ikstundas saņemtais elektroenerģijas daudzums no aktīvā lietotāja $P_{RES,excess \rightarrow Cons.}^t$ tiek aprēķināts šādi:

$$P_{RES,excess \rightarrow Cons.}^t = \begin{cases} P_{RES,excess}^t, ja P_{RES,excess}^t < W_{Cons.}^t \\ W_{Cons.}^t, ja P_{RES,excess}^t \geq W_{Cons.}^t \end{cases} \quad (2.11)$$

kur $W_{Cons.}^t$ – galalietotāja ikstundas elektroenerģijas patēriņš, kWh.

Kad aktīvais lietotājs pilnībā nevar nosegt galalietotāja elektroenerģijas patēriņu, galalietotāja ikstundas importētās elektroenerģijas daudzums no tīkla ($P_{grid \rightarrow Cons.}^t$) var aprēķināt šādi:

$$P_{grid \rightarrow Cons.}^t = \begin{cases} W_{Cons.}^t - P_{RES,excess \rightarrow Cons.}^t, ja P_{RES,excess}^t < W_{Cons.}^t \\ 0, ja P_{RES,excess}^t \geq W_{Cons.}^t \end{cases} \quad (2.12)$$

Ja pēc EnC dalībnieku elektroenerģijas patēriņa noseģšanas ir izveidojies elektroenerģijas pārpalikums, tas ir jāpārdod elektroenerģijas tirgotājam. Tā ikstundas daudzumu ($P_{excess \rightarrow trader}^t$) var noteikt, izmantojot 2.13. formulu.

$$P_{excess \rightarrow trader}^t = \begin{cases} 0, ja P_{RES,excess}^t < W_{Cons.}^t \\ P_{RES,excess}^t - P_{RES,excess \rightarrow Cons.}^t, ja P_{RES,excess}^t \geq W_{Cons.}^t \end{cases} \quad (2.13)$$

Lai Enc gūtu ienākumus no kopīgotās elektroenerģijas ar galalietotāju, tiek ieviests kopīgošanas tarifs bez PVN $c_{Cons. Enc}^t$. Šis tarifs ar PVN tiek aprēķināts šādi:

$$c_{Cons. Enc+VAT}^t = c_{Cons. Enc}^t \cdot (1 + PVN), \quad (2.14)$$

kur $c_{Cons. Enc+VAT}^t$ – elektroenerģijas kopīgošanas tarifs ar PVN, EUR/kWh.

Ar 2.11. un 2.14. formulas palīdzību ir iespējams noteikt ikstundas izdevumus, kas ir saistīti ar galalietotāja saņemto elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja (ar PVN) $C_{Enc \rightarrow Cons. (with VAT)}^t$, izmantojot 2.15. formulu.

$$C_{Enc \rightarrow Cons. (with VAT)}^t = P_{RES \rightarrow Cons.}^t \cdot c_{Cons. Enc+VAT}^t. \quad (2.15)$$

Galalietotāja ikgadējās izmaksas par saņemtās elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja (ar PVN) var aprēķināt šādi:

$$C_{Enc \rightarrow Cons. (with VAT)}^y = \Sigma C_{Enc \rightarrow Cons. (with VAT)}^t. \quad (2.16)$$

Galalietotāja ikstundas izmaksas par saņemtās elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja (bez PVN) $C_{Enc \rightarrow Cons. (without VAT)}^t$ nosaka, izmantojot 2.17. formulu.

$$C_{Enc \rightarrow Cons. (without VAT)}^t = P_{RES \rightarrow Cons.}^t \cdot c_{Cons. Enc}^t. \quad (2.17)$$

Galalietotāja ikgadējās izmaksas par saņemtās elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja (bez PVN) $C_{Enc \rightarrow Cons. (without VAT)}^y$ aprēķina, izmantojot 2.18. formulu.

$$C_{Enc \rightarrow Cons. (without VAT)}^y = \Sigma C_{Enc \rightarrow Cons. (without VAT)}^t. \quad (2.18)$$

Lai aprēķinātu galalietotāja no tīkla importētās elektroenerģijas tarifu (ar PVN, bet bez citiem tīkla komponentu tarifiem) $c_{Cons. grid+VAT}^t$, to nosaka šādi:

$$c_{Cons. grid+VAT}^t = c_{Cons. grid}^t \cdot (1 + PVN), \quad (2.19)$$

kur $c_{Cons. grid}^t$ – galalietotāja no tīkla importētās elektroenerģijas tarifs bez PVN no tīkla, EUR/kWh.

Galalietotāja ikstundas maksājumu par importētās elektroenerģijas daudzumu no tīkla (ar PVN un bez citiem tīkla komponentu tarifiem) $C_{grid \rightarrow Cons.}^t$ var aprēķināt, izmantojot 2.20. formulu.

$$C_{grid \rightarrow Cons.}^t = P_{grid \rightarrow Cons.}^t \cdot c_{Cons. grid+VAT}^t. \quad (2.20)$$

Galalietotāja ikgadējās izmaksas par patērēto elektroenerģiju, piedaloties Enc (ar PVN un citiem tīkla komponentu tarifiem) $C_{Cons.with Enc+VAT}^y$, aprēķina šādi:

$$\begin{aligned} C_{Cons.with Enc+VAT}^y &= C_{Enc \rightarrow Cons. (with VAT)}^y + \Sigma C_{grid \rightarrow Cons.}^t + \\ & (W_{Cons.}^t \cdot c_{supply (grid).Cons.} + \\ & I_{conn.Cons.} \cdot c_{maintenance (grid).Cons.} \cdot 12) \cdot (1 + PVN), \end{aligned} \quad (2.21)$$

kur $c_{supply (grid).Cons.}$ – galalietotāja maksa par elektroenerģijas piegādi no tīkla bez PVN,

EUR/kWh;

$I_{conn.Cons.}$ – galalietotāja ievadaizsardzības aparāta strāvas lielums, A;

$C_{maintenance (grid).Cons.}$ – galalietotāja maksa par jaudas uzturēšanu bez PVN,

EUR/A/mēnesī.

Galalietotāja ikgadējās izmaksas par patērēto elektroenerģiju, nepiedaloties EnC (ar PVN un citiem tīkla komponentu tarifiem) $C_{Cons.without EnC+VAT}^y$, aprēķina šādi:

$$C_{Cons.without EnC+VAT}^y = \Sigma W_{Cons.}^t \cdot c_{Cons. grid+VAT}^t + (\Sigma W_{Cons.}^t \cdot c_{supply (grid).Cons.} + I_{conn.Cons.} \cdot C_{maintenance (grid).Cons.} \cdot 12) \cdot (1 + PVN). \quad (2.22)$$

Piedāvātajā plānošanas rīkā var izmantot trīs dažādus finansējuma avotus, lai nodrošinātu investīcijas elektroenerģijas ģenerācijas avota iegādei EnC : ārējo finansējumu (valsts atbalsts, trešo personu vai organizāciju ziedojumi vai granti); brīvprātīgos investīciju maksājumus no EnC dalībniekiem; bankas aizdevumu. Ņemot vērā aktīvā lietotāja atbildību par elektroenerģijas kopīgošanas nodrošināšanu ar uzstādītā elektroenerģijas ģenerācijas avota palīdzību, plānošanas rīkā tiek pieņemts, ka tas ir atbildīgs par šo finanšu līdzekļu piesaisti un nepieciešamā bankas aizdevuma atmaksu.

EnC dalībnieku apvienotās vienreizējās investīcijas I_0 var noteikt šādi:

$$I_0 = I_{0,Pros.} + I_{0,Cons.}, \quad (2.23)$$

kur $I_{0,Pros.}$ – aktīvā lietotāja sākuminvestīciju maksājums, EUR;

$I_{0,Cons.}$ – galalietotāja sākuminvestīciju maksājums, EUR.

Kopējo kapitālieguldījumu ($CAPEX$) vērtību, iekļaujot PVN, var noteikt šādi:

$$CAPEX = (C_{CAPEX per kW} \cdot P_{PV cap.}) \cdot (1 + PVN) - C_{grants}, \quad (2.24)$$

kur $C_{CAPEX per kW}$ – $CAPEX$ attiecībā uz uzstādītā elektroenerģijas ģenerācijas avota 1 kW kapacitāti bez PVN, EUR;

C_{grants} – piesaistītā ārējā finansējuma apjoms, EUR.

Lai noteiktu bankas aizdevuma nepieciešamību un tā apjomu, tādējādi nosedzot $CAPEX$, jāizmanto 2.25. formula.

$$C_{bank \rightarrow EnC} = \begin{cases} 0, ja I_0 \geq CAPEX \\ CAPEX - I_0, ja I_0 < CAPEX, \end{cases} \quad (2.25)$$

kur $C_{bank \rightarrow EnC}$ – bankas aizdevuma summa, lai pilnībā nosegtu atlikušo $CAPEX$ daļu, EUR.

Ikgadējo bankas aizdevuma apmaksas summu $C_{EnC \rightarrow bank}^y$ nosaka šādi:

$$C_{EnC \rightarrow bank}^y = \begin{cases} C_{bank \rightarrow EnC} \cdot (1 + i_{\%,bank}) \cdot \\ \frac{i_{\%,bank} \cdot (1 + i_{\%,bank})^{y_{loan}}}{((1 + i_{\%,bank})^{y_{loan}}) - 1}, ja y \leq y_{loan} \\ 0, ja y > y_{loan}, \end{cases} \quad (2.26)$$

kur y_{loan} – aizdevuma ilgums, gadi;

$i_{\%,bank}$ – aizdevuma procentu likme, %.

Ikgadējo pamatdarbības izmaksu ($OPEX$) aprēķinu ar PVN $OPEX^y$ nosaka šādi:

$$OPEX^y = (C_{OPEX\ per\ kW}^y \cdot P_{RES\ cap.}) \cdot (1 + PVN), \quad (2.27)$$

kur $C_{OPEX\ per\ kW}^y$ – ikgadējais $OPEX$ attiecībā uz uzstādītā elektroenerģijas ģenerācijas avota 1 kW kapacitāti bez PVN, EUR.

Lai aprēķinātu EnC ikstundas ienākumus no elektroenerģijas tirgotājam pārdotās elektroenerģijas daudzuma $C_{excess \rightarrow trader}^t$, tiek izmantota 2.28. formula.

$$C_{excess \rightarrow trader}^t = P_{excess \rightarrow trader}^t \cdot c_{excess \rightarrow trader}^t, \quad (2.28)$$

kur $c_{excess \rightarrow trader}^t$ – elektroenerģijas tirgotāja noteiktā elektroenerģijas iepirkuma cena bez nodokļiem, EUR.

Lai ietvertu aktīvā lietotāja izmaksu ietaupījumu no elektroenerģijas ģenerācijas avota saražotās elektroenerģijas pašpatēriņa neto pašreizējās vērtības (NPV) aprēķinā, tā ikgadējo maksājumu par patērēto elektroenerģiju, kad tas darbotos kā galalietotājs, nosaka šādi:

$$\begin{aligned} C_{el.Pro \rightarrow trader.without\ RES}^y &= \Sigma(W_{Pros.}^t \cdot c_{Pros.\ grid+VAT}^t) + \\ &(\Sigma W_{Pros.}^t \cdot c_{supply\ (grid).Pros.}) \\ &+ I_{conn.Pro \rightarrow trader} \cdot c_{maintenance\ (grid).Pros. \cdot 12} \cdot (1 + PVN). \end{aligned} \quad (2.29)$$

Izmantojot 2.29. formulu, ir iespējams noteikt aktīvā lietotāja ikgadējo izmaksu samazinājumu $\Delta C_{pros \rightarrow grid}^y$ (*with.without RES*), kas rodas no tīkla importētās elektroenerģijas daudzuma samazinājuma, uzstādot elektroenerģijas ģenerācijas avotu. To aprēķina šādi:

$$\begin{aligned} \Delta C_{pros \rightarrow grid}^y \text{ (with.without RES)} &= \Sigma C_{grid \rightarrow Pros.}^t + (\Sigma P_{grid \rightarrow Pros.}^t \cdot c_{supply\ (grid).Pros.}) \\ &+ I_{conn.Pro \rightarrow trader} \cdot c_{maintenance\ (grid).Pros. \cdot 12} \\ &\cdot (1 + PVN) - C_{el.Pro \rightarrow trader.without\ RES}^y. \end{aligned} \quad (2.30)$$

Ikgadējo ienākošās naudas plūsmu ($Income_{ENC,RES}^y$), ar kuras palīdzību tiek noteikts NPV, aprēķina šādi:

$$\begin{aligned} Income_{ENC,RES}^y &= C_{ENC \rightarrow Cons.}^y \text{ (without VAT)} + \Sigma(P_{RES \rightarrow Pros.}^t \cdot c_{Pros. Enc}^t) + \\ &\Delta C_{pros \rightarrow grid}^y \text{ (with.without RES)} + \Sigma C_{excess \rightarrow trader}^t. \end{aligned} \quad (2.31)$$

Ikgadējā izejošās naudas plūsma $Expenses_{ENC,RES}^y$ ietver divas komponentes: ikgadējo $OPEX$ un ikgadējo bankas aizdevuma apmaksas summu.

$$Expenses_{ENC,RES}^y = OPEX^y + C_{ENC \rightarrow bank}^y. \quad (2.32)$$

Neto naudas plūsmu $R_{ENC,RES}^y$ nosaka šādi:

$$R_{ENC,RES}^y = Income_{ENC,RES}^y - Expenses_{ENC,RES}^y. \quad (2.33)$$

Plānošanas rīks izmanto NPV kā galveno ekonomisko rādītāju investīciju efektivitātes noteikšanai, novērtējot uzstādītā elektroenerģijas ģenerācijas avota vērtību tā 20 gadu darbības

laikā pēc diskonta likmes piemērošanas un aktīvā lietotāja sākumieguldījumiem. Lai aprēķinātu ikgadējo NPV vērtību (NPV^y), tiek izmantota 2.34. formula.

$$NPV^y = -I_{0,Pros.} + \sum_{i=1}^y \frac{R_{EnC,RES}^y}{(1 + i_{\%,d})^y}, \quad (2.34)$$

kur $i_{\%,d}$ – diskonta likme, %.

Aktīvā lietotāja ikgadējie ienākumi no pārdotās elektroenerģijas (vai nodošanas neto norēķinu sistēmā), nepiedaloties EnC , $C_{Pros \rightarrow trader, without EnC}^y$ (bez nodokļiem) aprēķina šādi:

$$C_{Pros \rightarrow trader, without EnC}^y = \Sigma(P_{RES, excess}^t \cdot c_{excess \rightarrow trader}^t). \quad (2.35)$$

Aktīvā lietotāja kopējos ekonomiskos ieguvumus no dalības EnC $EB_{Pros.}^y$ nosaka šādi:

$$EB_{Pros.}^y = I_{0,Cons.} + \sum_{i=1}^y (-\Sigma C_{EnC \rightarrow Pros.}^t + C_{EnC \rightarrow Cons.}^y (without VAT) + \Sigma C_{excess \rightarrow trader}^t - C_{Pros \rightarrow trader, without EnC}^y). \quad (2.36)$$

Galalietotāja kopējos ekonomiskos ieguvumus no dalības EnC $EB_{Cons.}^y$ nosaka šādi:

$$EB_{Cons.}^y = -I_{0,Cons.} + \sum_{i=1}^y (C_{Cons. without EnC + VAT}^y - C_{Cons. with EnC + VAT}^y). \quad (2.37)$$

Var minēt, ka tiešie EnC ienākumi ir jāizlieto statūtos noteikto mērķu sasniegšanai (piemēram, energoefektivitātes, labklājības palielināšanas u. c. darbību nodrošināšanai), tādējādi ieskaitot šos ienākumus EnC akumulētajos līdzekļos (AF). Lai plānošanas rīks varētu noteikt naudas daudzumu, kas katru gadu atrodas šajos līdzekļos AF_{EnC}^y , tiek izmantota 2.38 un 2.39 formula. Ikgadējais naudas apjoms AF pēc bankas aizdevuma un $OPEX$ maksājumiem būs nulle, ja:

$$(C_{EnC \rightarrow bank}^y + OPEX^y) \geq (C_{EnC \rightarrow Cons.}^y (without VAT) + \Sigma(P_{RES \rightarrow Pros.}^t \cdot c_{Pros. EnC}^t) + \Sigma C_{excess \rightarrow trader}^t). \quad (2.38)$$

Citādi

$$AF_{EnC}^y = C_{EnC \rightarrow Cons.}^y (without VAT) + \Sigma(P_{RES \rightarrow Pros.}^t \cdot c_{Pros. EnC}^t) + \Sigma C_{excess \rightarrow trader}^t - (C_{EnC \rightarrow bank}^y + OPEX^y). \quad (2.39)$$

Kopējo naudas daudzumu AF noteiktā gadā var noteikt šādi:

$$\Sigma AF_{EnC}^y = \sum_{i=1}^y AF_{EnC}^y. \quad (2.40)$$

Lai aprēķinātu aktīvā lietotāja ikgadējo pašpatēriņa līmeni, var izmantot 2.41. formulu.

$$SC_{Pros., \%}^y = \frac{\Sigma P_{RES \rightarrow Pros.}^t}{\Sigma P_{RES}^t} \cdot 100 \%. \quad (2.41)$$

Aktīvā lietotāja pašpatēriņa līmenis ir atkarīgs ne tikai no elektroenerģijas patēriņa un ģenerācijas daudzuma, bet arī no to savstarpējās attiecības. Tādējādi elektroenerģijas patēriņa un ģenerācijas apjoma un profilu pārklāšanās ir svarīga, lai sasniegtu noteiktu pašpatēriņa līmeni.

Lai veicinātu pētījuma pārredzamību un lietotāju iesaisti rīka novērtēšanā un izmantošanā, izstrādātais *EnC* plānošanas rīks ir publiski pieejams *GitHub* platformā. [60]

2.4. Diskusija un secinājumi

Lai piedāvātu Latvijas elektroenerģijas patērētājiem rīku, ar kuru var noteikt aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* ekonomisko dzīvotspēju un izveides pamatojumu, nodaļā tika apskatīti esošie biznesa modeļi, analizējot to ieviešanas potenciālu Latvijā. Ņemot vērā to, ka Latvijas NEKP noteikta *P2P* pieejas izmantošana *EnC* darbības nodrošināšanai, tika secināts, ka šī pieeja var būt par pamatu *EnC* plānošanas rīka izveidei.

Pēc grantiem bāzētā, daudzagentu, energokooperatīvu, virtuālās spēkstacijas un *P2P* biznesa modeļu apskata *P2P* modelis tika papildināts ar iespēju saņemt ārējo finansējumu elektroenerģijas ģenerācijas avota iegādei, kā arī izmantot *AF*, lai nosegtu bankas aizdevuma apmaksu, *OPEX*, kā arī ieviest energoefektivitātes un citas *EnC* statūtos noteiktās darbības. Piedāvātais biznesa modelis ietver Latvijas esošās likumdošanas noteiktos ierobežojumus un citas saistītās vadlīnijās.

Uz piedāvātā biznesa modeļa bāzes tika izstrādāts *EnC* plānošanas rīks. Tas kalpo dubultam mērķim: ne tikai novērtē potenciālo aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* izveides ekonomisko pamatojumu, bet arī sniedz likumdevējiem un politikas veidotājiem iespēju novērtēt piedāvātā biznesa modeļa priekšrocības un trūkumus. Turklāt plānošanas rīks var būt par pamatu, lai novērtētu nākotnes tiesību aktu izmaiņu ietekmi ne tikai Latvijas kontekstā, bet arī citās valstīs (ja nepieciešams, to pielāgojot un modificējot atbilstošo valstu tiesību aktiem).

Papildus tam izstrādāto rīku var izmantot, lai analizētu, kā dažādi faktori, piemēram, elektroenerģijas ģenerācijas vai patēriņa daudzums, tarifu un cenu savstarpējās vērtības un investīciju avoti, ietekmē *EnC* ekonomiskos rādītājus. Tas savukārt ļautu izveidot rekomendācijas, lai noteiktu priekšnosacījumus ekonomiski pamatotu *EnC* izveidei Latvijā.

Pamatojoties uz iepriekšējo, nākamajā nodaļā ar vairāku gadījumu izpēti un scenāriju modelēšanu tiek noteikts, kā dažādi faktori un to vērtības ietekmē piedāvātās *EnC* ekonomisko izdevīgumu.

3. REKOMENDĀCIJAS AKTĪVĀ LIETOTĀJA UN GALALIETOTĀJA ENERĢIJIENAS EKONOMISKĀ IZDEVĪGUMA UN ILGTSPĒJAS UZLABOŠANAI

Enerģētikas likums nosaka, ka Ekonomikas ministrijai sadarbībā ar Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministriju ir jāizstrādā un jāpublisko vadlīnijas energokopienas veidošanai, tai skaitā ieteikumus publiskām personām par energokopienas atbalstu un līdzdalību tajās [6]. Lai sniegtu ieguldījumu iepriekšminēto rekomendāciju izstrādē, var izmantot izstrādāto plānošanas rīku, lai sniegtu priekšstatu, kā dažādi faktori un to vērtības ietekmē bāzes gadījumu *EnC* ilgtspēju un to izveides ekonomisko pamatojumu.

3.1. Pieņēmumi

EnC bāzes gadījumu modelēšanā tika ieviesti vairāki pieņēmumi.

- *EnC* dalībnieku elektroenerģijas patēriņa grafiki tika iegūti, izmantojot [61, 62]. Aktīvais lietotājs un galalietotājs izmanto "Sadales tīkls" elektroenerģijas sistēmas pakalpojumu diferenciētos tarifus pie "Pamata-1" tarifu plāna (trīsfāžu pieslēgums ar ievadaizsardzības aparāta strāvas lielumu 20 A) [63].
- Kā *EnC* elektroenerģijas ģenerācijas avots tiek izmantota *PV* sistēma. Elektroenerģijas ģenerācijas grafiks ir bāzēts uz [64, 65]. Papildus tam *CAPEX* attiecībā uz uzstādītā elektroenerģijas ģenerācijas avota 1 kW kapacitāti (bez *PVN*) tiek noteikts, atsaucoties uz [66].
- *EnC* tiek izveidota, izmantojot tās izveidei iegādātu *PV* sistēmu. Tiek pieņemts, ka aktīvais lietotājs ir šīs sistēmas īpašnieks, tādējādi tam netiek piemērots tarifs par tā saņemto un patērēto elektroenerģijas daudzumu no *PV* sistēmas.
- Bāzes *EnC* ārējā finansējuma apjoms *PV* sistēmas iegādei tiek noteikts, atsaucoties uz [8].
- Elektroenerģijas kopīgošanas, pārdošanas un importa tarifu un cenu vērtības ir fiksētas un ar nemainīgu vērtību.

Nākamajās apakšnodalās tiek noteiktas bāzes *EnC*, kā arī izpētes gadījumos un scenārijos ietvertie mainīgie lielumi.

3.2. Gadījumu izpētes un scenāriju modelēšanā izmantotās bāzes energokopienas

Par bāzes *EnC* tiek uzskatītas aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC*, kas savā starpā atšķiras gan pēc elektroenerģijas patēriņa, gan pēc elektroenerģijas ģenerācijas apjoma, tādējādi iegūstot plašāku izstrādāto gadījumu izpētes un scenāriju rezultātu kopumu (3.1. tab.).

Bāzes *EnC* dati

| Dati | Vērtības | | |
|--|------------------|------------------|------------------|
| | <i>EnC</i> Nr. 1 | <i>EnC</i> Nr. 2 | <i>EnC</i> Nr. 3 |
| Uzstādītā <i>PV</i> sistēmas kapacitāte (kW) | 3 | 3 | 4 |
| Aktīvā lietotāja vidējais ikmēneša elektroenerģijas patēriņš (kWh) | 780 | 780 | 1050 |
| Galalietotāja vidējais ikmēneša elektroenerģijas patēriņš (kWh) | 175 | 300 | 175 |
| Ārējā finansējuma apjoms (EUR) | 1800 | 1800 | 2200 |

Katrā bāzes *EnC* tiek iekļauti šādi vienotie dati (bez nodokļiem):

- *PV* degradācijas koeficients – 0,5 %/gadā [58];
- galalietotāja tarifs par saņemto elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja – 0,16 EUR/kWh;
- elektroenerģijas tirgotāja cena par pārpalikušās elektroenerģijas iegādi no *EnC* – 0,14 EUR/kWh;
- no tīkla importētās elektroenerģijas tarifs – 0,18 EUR/kWh;
- aktīvā lietotāja un galalietotāja pieslēgums pie tīkla – trīs fāzes, 20 A [63];
- maksa par elektroenerģijas piegādi no tīkla – 0,03985 EUR/kWh [63];
- maksa par jaudas uzturēšanu – 0,92 EUR/A/mēnesī [63];
- *PV* sistēmas *CAPEX* uz 1 kW uzstādīto kapacitāti – 958 EUR/kW [66];
- ikgadējais *OPEX* – 1,2 % no *PV* sistēmas izmaksām [59];
- bankas aizdevuma ilgums – pieci gadi;
- bankas aizdevuma procentu likme – 5,9 % [67];
- diskonta likme – 9,96 % [68];
- aktīvā lietotāja sākuminvestīciju maksājums – 50 % no *CAPEX*;
- galalietotāja sākuminvestīciju maksājums – 0 % no *CAPEX*;
- PVN – 21 % [69].

Nākamajā apakšnodaļā tiek noteikta elektroenerģijas ģenerācijas, patēriņa un ārējā finansējuma līmeņa ietekme uz bāzes *EnC* definētajiem indikatoriem: *NPV*, *AF*, kā arī aktīvā lietotāja un galalietotāja ekonomiskajiem ieguvumiem, piedaloties *EnC* (attiecīgi – *PEB* un *CEB*).

3.3. *NPV*, *AF*, *PEB* un *CEB* vērtību noteikšana bāzes energokopienās

Izmantojot izstrādāto *EnC* plānošanas rīku, tiek aprēķinātas *NPV*, *AF*, *PEB* un *CEB* indikatoru vērtības pie bāzes *EnC* datiem.

Veicot bāzes *EnC* savstarpējo salīdzinājumu, var secināt, ka izmantoto indikatoru vērtības un atmaksāšanās periods ir krasi atkarīgs no elektroenerģijas patēriņa līmeņa, kā arī uzstādīto *PV* paneļu kapacitātes. Ņemot vērā to, ka bāzes *EnC* gadījumos kopīgošanas tarifa vērtība tika pieņemta lielāka nekā elektroenerģijas tirgotāja noteiktā cena par pārpalikušās elektroenerģijas iegādi no *EnC*, *NPV* un *AF* vērtība palielinās un atmaksāšanās periods samazinās, kad

galalietotāja elektroenerģijas patēriņš ir augstāks, tādējādi palielinot *EnC* ienākumus. Tie savukārt var palīdzēt segt *EnC* izdevumus, kas ir saistīti ar bankas aizdevuma apmaksu un ikgadējo *OPEX*. Papildus tam pie paaugstināta galalietotāja elektroenerģijas patēriņa līmeņa un iepriekšminētā tarifa un cenas attiecības *CEB* un *PEB* vērtības palielinās. Neskatoties uz augstāku uzstādītās *PV* sistēmas kapacitāti *EnC* Nr. 3, šajā gadījumā palielinās *CAPEX* un *EnC* izmaksas. Tas savukārt samazina *NPV* un pagarina atmaksāšanās periodu, jo kopīgošanas un pārdošanas aktivitātes zemākā līmenī kompensē paaugstinātās izmaksas.

Lai noteiktu, kā izmantoto indikatoru vērtības ietekmē dažādi faktori un to skaitliskās vērtības, nākamajā apakšnodaļā tiek aplūkoti gadījumu izpētes un scenāriju izstrādes rezultāti.

3.4. Gadījumu izpētes un scenāriju modelēšana

Ar izstrādātā modelēšanas rīka palīdzību var veikt gadījumu izpētes (*CS*) un tajās ietvertu scenāriju (*SC*) modelēšanu (3.2. tab.).

3.2. tabula

Gadījumu izpētes scenāriji

| CS | Apraksts | Bāzes vērtība | Vērtības katrā SC | | | | |
|-----|--|---------------------------------|-------------------|------|------|------|------|
| | | | SC1 | SC2 | SC3 | SC4 | SC5 |
| I | Galalietotāja tarifs par saņemto elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja (EUR/kWh) | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,18 | 0,20 |
| | Elektroenerģijas tirgotāja cena par pārpalikušās elektroenerģijas iegādi no <i>EnC</i> (EUR/kWh) | 0,14 | 0,09 | 0,16 | 0,18 | 0,14 | 0,14 |
| II | No tīkla importētās elektroenerģijas tarifs (EUR/kWh) | 0,18 | 0,16 | 0,20 | | | |
| III | <i>CAPEX</i> uz 1 kW uzstādīto kapacitāti (EUR/kW) | 958 | 641 | 1427 | | | |
| IV | Bankas aizdevuma ilgums (gadi) | 5 | 3 | 7 | | | |
| V | Ārējā finansējuma apjoms (EUR) | <i>EnC</i> Nr. 1 un Nr. 2: 1800 | 1500 | 2100 | 0 | | |
| | | <i>EnC</i> Nr. 3: 2200 | 1900 | 2500 | | | |
| VI | Aktīvā lietotāja sākuminvestīciju maksājums (% no <i>CAPEX</i>) | 50 | 100 | 0 | 50 | 50 | |
| | Galalietotāja sākuminvestīciju maksājums (% no <i>CAPEX</i>) | 0 | 0 | 0 | 5 | 50 | |

I gadījumu izpēte liecina, ka *NPV* un *AF* vērtības pieaug tad, kad pieaug galalietotāja tarifs par saņemto elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja un elektroenerģijas tirgotāja cena par pārpalikušās elektroenerģijas iegādi no *EnC*. Tomēr *PEB* vērtība samazinās, kad galalietotāja tarifs par saņemto elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja ir zemāks par

elektroenerģijas tirgotāja cenu par pārpalikušās elektroenerģijas iegādi no *EnC*. Ja galalietotāja tarifs par saņemto elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja ir zemāks par no tīkla importētās elektroenerģijas tarifu, *CEB* paaugstinās.

II gadījumu izpētē noteikts, ka zems no tīkla importētās elektroenerģijas tarifs samazina ekonomisko ieguvumus no *EnC* izveides, tādējādi pagarinot atmaksāšanās periodu un samazinot *NPV* vērtību.

III gadījumu izpēte liecina, ka *PV* sistēmas izmaksas ir viens no galvenajiem faktoriem, kas ietekmē *EnC* ekonomisko ilgtspēju un tās izveides pamatojumu. Pie zemākā aplūkotā *CAPEX* pie 1 kW uzstādītās kapacitātes atmaksāšanās periods ir mazāks par trīs gadiem (īsāks nekā bankas aizdevuma ilgums), taču pie augstākā aplūkotā *CAPEX* pie 1 kW uzstādītās kapacitātes *NPV* vērtība krasi samazinās un atmaksāšanās periods ir garāks par *PV* sistēmas ekspluatācijas periodu.

IV gadījumu izpētes rezultāti liecina, ka lielāks bankas aizdevuma ilgums var nedaudz palielināt *NPV* vērtību un samazināt atmaksāšanās periodu. Tomēr ir jāņem vērā, ka pie izvēlētā *CAPEX* pie 1 kW uzstādītās kapacitātes, neviena bāzes *EnC* gadījuma *NPV* nesasniedza pozitīvu vērtību bankas aizdevuma atmaksas laikā. Gadījumos, kad *CAPEX* vērtība ir augsta, bankai var rasties pamatojums aizdevuma piešķiršanas neapstiprināšanai, ja *PV* sistēmas atmaksāšanās laiks pārsniedz bankas aizdevuma atmaksas ilgumu. Ja tiek aplūkotas *AF* vērtības pie dažādām bankas aizdevuma ilgumiem, *AF* paaugstinās, kad aizdevuma ilgums ir īsāks, taču tas var radīt augstāku finansiālo slogu aktīvajam lietotājam.

V gadījumu izpētes rezultāti liecina, ka ārējā finansējuma piesaiste var vērā ņemami samazināt *CAPEX*, bankas aizdevuma apjomu, kā arī atmaksāšanās periodu. Ja netiek piešķirts ārējais finansējums, *NPV* vērtība krasi samazinās un atmaksāšanās periods ir garāks par *PV* sistēmas ekspluatācijas periodu.

VI gadījumu izpētes rezultāti liecina, ka, ja aktīvais lietotājs pilnībā nosedz *CAPEX* ar tā sākuminvestīcijām, atmaksāšanās periods netiek krasi ietekmēts, salīdzinot ar bāzes *EnC* gadījumiem. Papildus tam šajā scenārijā paaugstinās *AF*. Ja *CAPEX* tiek pilnībā segts ar bankas aizdevumu, *NPV* bankas aizdevuma atmaksas laikā krasi samazinās, taču pēc aizdevuma apmaksas tas pieaug un atmaksāšanās periods samazinās, salīdzinot ar bāzes *EnC* gadījumiem. Ja galalietotājs veic sākuminvestīciju maksājumu, tas var paaugstināt *NPV* un *PEB*, taču samazina *CEB*. Ja galalietotājs veic šo maksājumu, galalietotāja tarifam par saņemto elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja ir jābūt pietiekami zemam (vai pat neesošam) un saņemtajam elektroenerģijas daudzumam no aktīvā lietotājam ir jābūt pietiekami augstam, lai *CEB* sasniegtu pozitīvu vērtību.

3.5. Diskusija un secinājumi

Lai sniegtu ieguldījumu Enerģētikas likumā minēto rekomendāciju izstrādē par *EnC* ieviešanu, ar izstrādātā plānošanas rīka palīdzību tika veikta gadījumu izpētes un scenāriju modelēšana. Tās mērķis bija analizēt, kā dažādi faktori un to vērtības ietekmē aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* ekonomisko ilgtspēju un izveides pamatojumu piedāvātajā biznesa modelī, izmantojot četrus rīkā ietvertos indikatorus – *NPV*, *AF*, *PEB* un *CEB*.

Lai palielinātu aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* izveides ekonomisko pamatojumu, var definēt vairākas rekomendācijas.

- *PV* sistēmas iegādei un uzstādīšanai *EnC* dalībniekiem jāizvēlas to izplatītājs ar konkurētspējīgāko piedāvājumu (zemāko *CAPEX* uz 1 kW uzstādīto kapacitāti), tādējādi samazinot atmaksāšanās periodu, paaugstinot *NPV*, kā arī samazinot sākumieguldījumu un bankas aizdevuma apjomu (ja tas tiek piemērots).
- *EnC* dalībniekiem jāveic informācijas iegūšana par elektroenerģijas cenas prognozi, lai noteiktu, vai ietaupījumi no pašpatēriņa un importētās elektroenerģijas daudzuma no tīkla ir pietiekami, lai nosegtu *PV* sistēmas kopējās iegādes un uzturēšanas izmaksas. Izmaksu ietaupījums paaugstinās, ja no tīkla importētās elektroenerģijas tarifs ir relatīvi augsts.
- Likumdevējiem un politikas veidotājiem ir jāvērs uzmanība, ka valsts atbalsts elektroenerģijas ģenerācijas avota iegādei var krasi paaugstināt *EnC* izveides ekonomisko pamatojumu. Tādējādi ir ieteicams ieviest valsts atbalsta shēmas *EnC* izveidei, lai daļēji segtu kapitālieguldījumus tādā pašā vai pat augstākā līmenī, kādā ir noteikts atbalsts individuālajiem aktīvajiem lietotājiem. Papildus tam potenciālajiem *EnC* dalībniekiem jāveic pasākumi, lai iegūtu papildu ārējo finansējumu, lai samazinātu *PV* sistēmas atmaksāšanās periodu.
- Ja tiek izmantots bankas aizdevums daļējai vai pilnīgai *CAPEX* segšanai, aktīvajam lietotājam ir jānovērtē, vai attiecība starp bankas aizdevuma likmi un diskonta likmi, kā arī *EnC* ienākumi un paša aktīvā lietotāja privātie līdzekļi ir pietiekami, lai veiktu aizdevuma apmaksu, ņemot vērā noteikto aizdevuma ilgumu. Papildus tam ir jānovērtē bankas aizdevuma apjoma un ilguma ietekme uz *AF* vērtību. Turklāt, lai saņemtu bankas aizdevumu, aktīvajam lietotājam ir jāpārlicinās, ka *PV* sistēmas atmaksāšanās periods ir īsāks par vai vienāds ar bankas aizdevuma ilgumu. Modelēto scenāriju rezultāti liecina, ka atmaksāšanās periodu var krasi samazināt, uzstādot *PV* sistēmu ar zemāko *CAPEX* pie 1 kW uzstādītās kapacitātes.
- Ja galalietotājs veic sākuminvestīciju maksājumu *PV* sistēmas iegādei un uzstādīšanai, *EnC* dalībniekiem ir jāizvērtē, vai kopīgots elektroenerģijas daudzums ir pietiekams, lai gūtu pozitīvus ekonomiskos ieguvumus gan aktīvajam lietotājam, gan galalietotājam. Papildus tam galalietotāja maksājums *PV* sistēmas izmaksu segšanai rada iespēju samazināt vai pat neņemt vērā galalietotāja tarifu par saņemto elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja, kas savukārt varētu samazināt nepieciešamā bankas aizdevuma apjomu vai ļaut pilnībā nosegt *CAPEX* ar *EnC* dalībnieku sākumieguldījumu maksājumiem.
- Ja tiek ieviests galalietotāja tarifs par saņemto elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja, lai paaugstinātu *EnC* ienākumus un naudas plūsmu *AF*, *PEB* paaugstināsies, ja šis tarifs ir augstāks par elektroenerģijas tirgotāja cenu par pārpalikušās elektroenerģijas iegādi. Savukārt *CEB* palielinās, ja galalietotāja tarifs par saņemto elektroenerģijas daudzumu no aktīvā lietotāja ir zemāks par no tīkla importētās elektroenerģijas tarifu. Var secināt, ka *CEB* un *PEB* vērtības arī ir atkarīgas no galalietotāja sākuminvestīciju maksājumu apjoma.

Līdzās iepriekšminētajām rekomendācijām aplūkoto faktoru ietekme ir atkarīga arī no savstarpējās sasaistes un attiecīgo vērtību savstarpējās atkarības. Katra aplūkotā faktora ietekme ir atkarīga no katra *EnC* dalībnieka elektroenerģijas patēriņa grafika, uzstādītā elektroenerģijas ģenerācijas avota kapacitātes, saražotās elektroenerģijas daudzuma, kā arī katras *EnC* prioritātēm. Šīs prioritātes var saistīties ne tikai ar uzstādītā elektroenerģijas ģenerācijas avota kapacitāti, bet arī katra dalībnieka plānotā ekonomisko ieguvumu apjoma un to mērķi iekrāt vai neiekrāt līdzekļus nākotnes energoefektivitātes un citu pasākumu veikšanai.

SECINĀJUMI

- Aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* plānošanas rīka izstrāde, kas balstīta Latvijas tiesiskajā regulējumā un vietējā AER pieejamībā, apstiprina promocijas darba hipotēzi. Rīks veicina aktīvo lietotāju un galalietotāju iesaisti *EnC*, sekmējot sadarbību elektroenerģijas kopīgošanā un virzoties Latvijas noteikto enerģētikas pārejas mērķu sasniegšanā. Ar modelēto izpētes gadījumu, scenāriju un analīzes palīdzību promocijas darbā tiek piedāvātas rekomendācijas, lai paaugstinātu aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* ieviešanas pamatojumu Latvijā, paverot ceļu ilgtspējīgākai un aktīvākai elektroenerģijas kopīgošanai.
- Promocijas darba uzdevumi ir veiksmīgi izpildīti.
 - Veikts tiesību aktu, zinātnisko publikāciju un plašsaziņas līdzekļu avotu apskats, lai noteiktu *EnC* ieviešanas prasības, vadlīnijas un iespējamos ieviešanas izaicinājumus.
 - Izstrādāta metodoloģija un modelēšanas rīks aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* iniciatīvu plānošanai saskaņā ar Latvijas likumdošanu un enerģētikas pārejas mērķiem.
 - Izpētīta mainīgo faktoru ietekme uz aktīvā lietotāja un galalietotāja *EnC* ekonomisko ilgtspējību, izmantojot gadījumu izpēti un scenāriju modelēšanu.
- *EnC* ieviešana Latvijā saskaras ar izaicinājumiem, kas saistīti ar likumdošanas, informētības, atbalsta pasākumu, plānošanas rīku trūkumu, kā arī sarežģītiem biznesa modeļiem, zemu aktīvo lietotāju skaitu, kopīgošanai atvēlēto elektroenerģijas daudzumu un vēlmi iesaistīties elektroenerģijas kopīgošanā.
- *EnC* plānošanas rīka un metodoloģijas izstrāde gandrīz pilnībā atrisina iepriekšminētos izaicinājumus – norāda *EnC* ekonomiskos ieguvumus, veicina sabiedrības interesi par *EnC* un pamato ārējā finansējuma efektivitāti, tādējādi padarot to lietojamu un noderīgu ne tikai elektroenerģijas patērētājiem, bet arī likumdevējiem un politikas veidotājiem.
- Tiek piedāvāts uz *P2P* pieejā (kā minēts Latvijas NEKP) bāzēts biznesa modelis ar *AF* un ārējā finansējuma apguves iespējas modifikāciju. Plānošanas rīks nosaka ģenerētās elektroenerģijas patēriņu, aplūko elektroenerģijas kopīgošanas aktivitātes, nosaka izmaksu sadalījumu un piedāvā *EnC* ilgtspējas un izveides pamatojuma raksturojošus indikatorus – *NPV*, *AF*, *PEB* un *CEB*. Plānošanas rīks var kalpot par pamatu, lai noteiktu *EnC* izveides ekonomisko pamatojumu ne tikai Latvijas kontekstā, bet arī citās valstīs (ja nepieciešams, pielāgojot un papildinot to ar attiecīgās likumdošanas vadlīnijām).
- Lai veicinātu pētījuma pārredzamību un lietotāju iesaisti rīka novērtēšanā un izmantošanā, izstrādātais *EnC* plānošanas rīks ir publiski pieejams *GitHub* platformā.
- Lai sniegtu ieguldījumu Enerģētikas likumā minēto rekomendāciju izstrādē par *EnC* ieviešanu, modelētās gadījumu izpētes un scenāriji norāda, ka *EnC* ilgtspējību var paaugstināt, izvēloties izplatītāju ar zemākajām elektroenerģijas ģenerācijas avota izmaksām, apgūstot ārējo finansējumu, un gadījumā, kad no tīkla importētās elektroenerģijas tarifs ir relatīvi augsts. Papildus tam *EnC* izveides pamatojums ir atkarīgs no bankas aizdevuma apjoma un ilguma, attiecību starp tā procentu likmi un diskonta likmi, kopīgošanas tarifu un cenu par pārpalikušās elektroenerģijas iegādi, kā arī izmantotā sākumieguldījumu sadalījuma mehānisma.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- [1] European Commission, Directorate-General for Energy, *Clean energy for all Europeans*, Publications Office, 2019.
- [2] G. Erbach and L. Jensen, *Fit for 55 package*, EPRS, 2022.
- [3] EU, *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)*, Official Journal of the European Union, 2018.
- [4] EU, *Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU (recast)*, Official Journal of the European Union, 2019.
- [5] Ministry of Economics of the Republic of Latvia, “National Energy and Climate Plan (*in Latvian*)”, 2020. [Online]. Available: <https://www.em.gov.lv/lv/nacionalais-energetikas-un-klimata-plans> [Accessed: 18-Dec-2023].
- [6] Saeima of Latvia, “Energy Law (*in Latvian*)”, 2024. [Online]. Available: <https://likumi.lv/ta/id/49833-energetikas-likums> [Accessed: 02-Jan-2024].
- [7] Saeima of Latvia, “Electricity Market Law (*in Latvian*)”, 2024. [Online]. Available: <https://likumi.lv/ta/id/108834-elektroenerģijas-tirgus-likums> [Accessed: 02-Jan-2024].
- [8] Cabinet of Ministers, “Regulations of the open competition "Reduction of greenhouse gas emissions in households – support for the use of renewable energy resources" of the project financed by the emission allowance auction instrument (*in Latvian*)”, 2022. [Online]. Available: <https://likumi.lv/ta/id/330568-emisijas-kvotu-izsolisanas-instrumenta-finanseto-projektu-atklata-konkursa-siltumnicefekta-gazu-emisiju-samazinasana-majsaimniecibas> [Accessed: 19-Dec-2023].
- [9] Sadales tīkls, *AS “Sadales tīkls” Annual Report 2022 (in Latvian)*, Sadales tīkls, 2023.
- [10] Public Utilities Commission, “2022 Q4 Electricity Market (*in Latvian*)”, 2023. [Online]. Available: https://prezi.com/i/k5qayucvnqoo/sprk-elektroenerģijas-tirgus-2022-gada-4-ceturksnis_nozares-raditaji/ [Accessed: 20-Dec-2023].
- [11] COME RES, *Assessment report of potentials for RES community energy in the target regions*, COME RES, 2021.
- [12] State Chancellery, “23-TA-1661: Amendments to the Electricity Market Law (*in Latvian*)”, 2023. [Online]. Available: <https://tapportals.mk.gov.lv/structuralizer/data/nodes/63d59906-6b13-4a52-8457-6344e2cebd37/preview> [Accessed: 22-Dec-2023].
- [13] M. H. Bashi *et al.*, “A review and mapping exercise of energy community regulatory challenges in European member states based on a survey of collective energy actors”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 172, art. no. 113055, 2023.
- [14] R. Leonhardt *et al.*, “Advancing local energy transitions: A global review of government instruments supporting community energy”, *Energy Research & Social Science*, vol. 83, art. no. 102350, 2022.

- [15] E. Barabino *et al.*, “Energy Communities: A review on trends, energy system modelling, business models, and optimisation objectives”, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 36, art. no. 101187, 2023.
- [16] EEA, Statista, “Distribution of greenhouse gas emissions in the European Union (EU-27) in 2021, by sector”, 2021. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1325132/ghg-emissions-shares-sector-european-union-eu/> [Accessed: 19-Dec-2023].
- [17] T. Bauwens *et al.*, “Conceptualizing community in energy systems: A systematic review of 183 definitions”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 156, art. no. 111999, 2022.
- [18] smartEn, *Smart Energy Prosumers – Eight ways in which people and companies are leading us to a smart and decarbonised energy system*, smartEn, 2020.
- [19] R. Lazdins and A. Mutule, “Operational Algorithm for Natural Gas Boiler and Heat Pump System Optimization with PV Panel”, in *2020 IEEE 61th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 2020, pp. 1–4.
- [20] G. Yiasoumas, K. Psara and G. E. Georghiou, "A review of Energy Communities: Definitions, Technologies, Data Management," in *2022 2nd International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area (SyNERGY MED)*, 2022, pp. 1-6.
- [21] M.L. Lode *et al.*, “A transition perspective on Energy Communities: A systematic literature review and research agenda”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 163, art. no. 112479, 2022.
- [22] T. Korõtko *et al.*, “Assessment of Power System Asset Dispatch under Different Local Energy Community Business Models”, *Energies*, vol. 16, art. no. 3476, 2023.
- [23] European Commission, Directorate-General for Energy, “In focus: Energy communities to transform the EU’s energy system”, 2022. [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/news/focus-energy-communities-transform-eus-energy-system-2022-12-13_en [Accessed: 18-Dec-2023].
- [24] REScoop, “REScoop.eu network”, 2023. [Online]. Available: <https://www.rescoop.eu/network/map/> [Accessed: 18-Dec-2023].
- [25] European Commission, “Energy communities map”, 2023. [Online]. Available: https://energy-communities-repository.ec.europa.eu/energy-communities-repository-energy-communities/energy-communities-repository-map_en#discover-energy-communities-across-the-eu [Accessed: 18-Dec-2023].
- [26] Energy Communities Hub, “Communities”, 2023. [Online]. Available: <https://energycommunitieshub.com/communities/> [Accessed: 18-Dec-2023].
- [27] LECO, *PESTLE Analysis of Barriers to Community Energy Development*, Agentur für Erneuerbare Energien, 2019.
- [28] COME RES, *Final Policy Report and Recommendations*, COME RES, 2023.
- [29] K. Pētersone, L. Vecvagare and R. Āboltiņš, *Recommendations for development of renewable energy communities in Latvia*, Green Liberty, 2020.

- [30] E. Lesničenoka, “The development of energy communities in Latvia is hindered by incompletely developed regulatory acts (*in Latvian*)”, 2023. [Online]. Available: <https://ir.lv/2023/06/28/energokopienu-attistibu-latvija-kave-nepilnigi-izstradatie-normativie-akti/> [Accessed: 20-Dec-2023].
- [31] S. Diedziņa, “The creation of energy communities is stuck in disorganised regulations (*in Latvian*)”, 2023. Available: <https://lasi.lv/par-svarigo/projekti/energokopienu-izveide-iestregusi-nesakartotos-normativos.4500> [Accessed: 20-Dec-2023].
- [32] R. Lazdins, A. Mutule and D. Zalostiba, “PV Energy Communities—Challenges and Barriers from a Consumer Perspective: A Literature Review”, *Energies*, vol. 14, art. no. 4873, 2021.
- [33] L. Petrichenko *et al.*, “A Comparative Analysis of Supporting Policies for Solar PV systems in the Baltic Countries”, in *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe*, 2019, pp. 1–7.
- [34] G. Michaud, “Perspectives on community solar policy adoption across the United States”, *Renewable Energy Focus*, vol. 33, pp. 1–15, 2020.
- [35] A. Mittal *et al.*, “An agent-based approach to modeling zero energy communities”, *Solar Energy*, vol. 191, pp. 193–204, 2019.
- [36] A. Stauch and K. Gamma, “Cash vs. solar power: An experimental investigation of the remuneration-related design of community solar offerings”, *Energy Policy*, vol. 138, art. no. 111216, 2020.
- [37] D. N.-Y. Mah, “Community solar energy initiatives in urban energy transitions: A comparative study of Foshan, China and Seoul, South Korea”, *Energy Research & Social Science*, vol. 50, pp. 129–142, 2019.
- [38] R. Alvaro-Hermana *et al.*, “Shared Self-Consumption Economic Analysis for a Residential Energy Community”, in *Proceedings of the 2nd International Conference on Smart Energy Systems and Technologies*, 2019, pp. 1–6.
- [39] J. Radl *et al.*, “Comparison of Profitability of PV Electricity Sharing in Renewable Energy Communities in Selected European Countries”, *Energies*, vol. 13, art. no. 5007, 2020.
- [40] C. Molotsi *et al.*, “Design of a solar photovoltaic system to power the community of Riverton in Droogfontein”, in *Proceedings of the 10th International Renewable Energy Congress*, Sousse, Tunisia, 2019, pp. 1–7.
- [41] I. Ibrik, “Design and Verification the Results of Electrification Small Communities in Palestine by Using Decentralized Off-Grid PV Systems”, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, vol. 8, pp. 983–987, 2019.
- [42] R. K. Yadav, V. S. Bhadoria and P. N. Hrisheeksha, “Technical and Financial Assessment of a Grid Connected Solar PV Net Metering System for Residential Community”, in *2019 2nd International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC)*, 2019, pp. 299–303.
- [43] L. Wen *et al.*, “Optimal load dispatch of community microgrid with deep learning based solar power and load forecasting”, *Energy*, vol. 171, pp. 1053–1065, 2019.

- [44] C. Nolden, J. Barnes and J. Nicholls, “Community energy business model evolution: A review of solar photovoltaic developments in England”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 122, art. no. 109722, 2020.
- [45] A. Stauch and P. Vuichard, “Community solar as an innovative business model for building-integrated photovoltaics: An experimental analysis with Swiss electricity consumers”, *Energy and Buildings*, vol. 204, art. no. 109526, 2019.
- [46] I. Jan, W. Ullah and M. Ashfaq, “Social acceptability of solar photovoltaic system in Pakistan: Key determinants and policy implications”. *Journal of Cleaner Production*, vol. 274, art. no. 123140, 2020.
- [47] T. Schunder *et al.*, “A spatial analysis of the development potential of rooftop and community solar energy”, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, vol. 19, art. no. 100355, 2020.
- [48] European Commission, *Digital Tools for Energy Communities*, Energy Communities Repository, 2023.
- [49] R. Lazdins, A. Mutule and E. Kairisa, “Feasibility Study in Energy Community Business Model Development for Latvia”, in *2021 IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 2021, pp. 1–5.
- [50] R. Denysiuk *et al.*, “Multiagent System for Community Energy Management,” in *Proceedings of the 12th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, 2020, pp. 28–39.
- [51] I. F. G Reis *et al.*, “A multi-agent system approach to exploit demand-side flexibility in an energy community”, *Utilities Policy*, vol. 67, art. no. 101114, 2020.
- [52] I. F. G Reis *et al.*, “Business models for energy communities: A review of key issues and trends”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 144, art. no. 111013, 2021.
- [53] D. Brown, S. Hall and M. E. Davis, “Prosumers in the post subsidy era: an exploration of new prosumer business models in the UK”, *Energy Policy*, vol. 135, art. no. 110984, 2019.
- [54] Public Utilities Commission, *Annual Report 2022 (in Latvian)*, Public Utilities Commission, 2023.
- [55] R. Lazdins and A. Mutule, “Assessment of Various Factors Affecting Economic Indicators in Prosumer and Consumer Energy Communities: A Case Study in Latvia”, *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2024.
- [56] R. Lazdins and A. Mutule, “Scenario simulation of a small-scale energy community management”, in *2022 IEEE 63th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 2022, pp. 1–5.
- [57] E. Barbour and M.C. González, “Projecting battery adoption in the prosumer era”, *Applied Energy*, vol. 215, pp. 356–370, 2018.
- [58] R. Lazdins and A. Mutule, “Impact of Variable Factors on the Viability and Efficiency of Energy Communities: A Scenario Simulation Study in Latvia”, in *2023 IEEE 64th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 2023, pp. 1–5.

- [59] Sadales tīkls, “Tariffs for distribution system services (*in Latvian*)”, 2023. [Online]. Available: <https://sadalestikls.lv/en/tarifi> [Accessed: 22-Dec-2023].
- [60] R. Lazdins, “GitHub: EnC planning tool”, 2024. [Online]. Available: <https://github.com/RobertsLazdins/EnC-planning-tool> [Accessed: 15-Feb-2024].
- [61] Elektrum, “Elektroenerģijas tirgus atvēršana mājsaimniecībām (*in Latvian*)”, 2016. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/Elektrumlv/elektroenerijas-tirgus-atvrana-majsaimniecibm> [Accessed: 26-Dec-2023].
- [62] Sadales tīkls, “Typical load distribution schedule (*in Latvian*)”, 2023. [Online]. Available: <https://sadalestikls.lv/lv/tipveida-slozdu-sadalijuma-grafiks> [Accessed: 26-Dec-2023].
- [63] Sadales tīkls, *AS "Sadales tīkls" differentiated tariffs for electricity distribution system services (in Latvian)*, Sadales tīkls, 2023.
- [64] Renewables. ninja, “Downloads”, 2016. [Online]. Available: <https://www.renewables.ninja/> [Accessed: 26-Dec-2023].
- [65] S. Pfenninger and I. Staffell, “Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data”, *Energy*, vol. 114, pp. 1251–1265, 2016.
- [66] EKII, “Support for households (*in Latvian*)”, 2023. [Online]. Available: <https://ekii.lv/index.php?page=atbalsts-majsaimniecibam> [Accessed: 22-Dec-2023].
- [67] Swedbank, “Loan for solar panels”, 2024. [Online]. Available: <https://www.swedbank.lv/private/credit/loans/solar> [Accessed: 29-Dec-2023].
- [68] State Treasury, “Discount rates (*in Latvian*)”, 2023. Available: <https://www.kase.gov.lv/metodika/diskonta-likmes> [Accessed: 29-Dec-2023].
- [69] Saeima, “Value Added Tax Law”, 2023. Available: <https://likumi.lv/ta/id/253451-pievienotas-vertibas-nodokla-likums> [Accessed: 29-Dec-2023].



Roberts Lazdiņš dzimis 1996. gadā Gulbenē. Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) ieguvis bakalaura grādu elektrozinātnē (2018) un maģistra grādu enerģētikā un elektrotehnikā (2020). Kopš 2020. gada strādā RTU Enerģētikas institūtā, patlaban ir šī institūta pētnieks. R. Lazdiņa zinātniskās intereses saistītas ar atjaunojamiem energoresursiem, energokopienām un lokālām enerģētiskām sistēmām.