



**VPP**

Valsts pētījumu  
programma

**VPP “Enerģētika”  
Projekts “INGRIDO”  
VPP-EM-INFRA-2018/1-0006**



**RTU**

**ELEKTROTEHNIKAS UN  
VIDES INŽENIERZINĀTŅU  
FAKULTĀTE**

# Ražotājlietotāju ietekmes uz tīklu modelēšana un rekomendācijas turpmākai attīstībai

Nodevums D3.1–2

Pētījuma pasūtītājs: Ekonomikas ministrija

Pētījumu veica Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas institūts

Autori: profesors *Dr. habil. sc. ing.* **Antans Sauhats**, vadošā pētniece *Dr. sc. ing.* **Ļubova Petričenko**

06.12.2021.

# Saturs

Attēlu saraksts .....	5
Tabulu saraksts .....	7
Saīsinājumu saraksts .....	8
Ievads .....	9
<b>1. Eiropas Savienības enerģētikas pārveidošanas mērķi, tendences un AER tehnoloģijas .....</b>	<b>11</b>
1.1. ES enerģētikas direktīvas un mērķi .....	11
1.2. AER attīstības prognozes .....	13
1.3. AER tehnoloģijas .....	15
1.3.1. Saules paneļu, vēja turbīnu pielietojuma izaugsme .....	15
1.3.2. Saules, vēja vai bioenerģijas kopienas .....	18
1.3.3. Elektriskais transports .....	19
1.3.4. Bateriju enerģijas uzglabāšanas sistēma .....	23
1.3.5. AER Baltijas valstīs .....	24
1.4. Ražotājlietotāji .....	26
1.4.1. RL atbalsta shēmas .....	27
1.5. Sadales tīkla stāvoklis .....	29
1.6. Nodaļas secinājumi .....	30
<b>2. Metodoloģija un modeļi .....</b>	<b>31</b>
2.1. RL ietekmes uz tīklu modelēšanas mērķi un uzdevumi .....	31
2.2. Vēsturiskie dati un nākotnes procesu prognozēšana .....	33
<b>2.3. Sadales tīkla darbības modelēšana .....</b>	<b>34</b>
2.3. RL darbības modelēšana .....	35
2.3.1. Saules staciju darbības modelēšana .....	35
2.3.2. Elektrisko bateriju modelēšana .....	37
2.3.3. Ikgadējās enerģijas izmaksas un novērstās izmaksas .....	37
2.3.4. Tehniski ekonomisko pamatojumu metodoloģija .....	39
2.3.5. Optimizācijas procedūra .....	42
2.3.6. NETO norēķinu sistēmas darbības princips un modelēšana .....	43
2.4. Nodaļas secinājumi .....	45
<b>3. Ražotājlietotāju un tīklu darbības scenāriju modelēšana un rezultāti .....</b>	<b>46</b>
3.1. 1. piemērs. Neto mērīšanas shēmu ekonomiskā ietekme uz ražotājlietotājiem, kam ir uz jumta montētas fotoelektriskās tehnoloģijas .....	48
3.1.1. Pieņēmumi .....	48
3.1.2. Rezultāti .....	49
3.1.3. Apspriedums un secinājumi .....	52
3.2. 2. piemērs. RL – uz jumta montētu fotoelektrisko iekārtu īpašnieki salīdzinājumā ar enerģijas kopienas no ekonomisko ieguvumu viedokļa .....	53

3.2.1. Pieņēmumi par uzņēmējdarbības modeli.....	53
3.2.2. Pieņēmumi par patērētāju/RL skaitu, slodzes profiliem un fotoelektriskās ģenerācijas jaudu .....	54
3.2.3. Pieņēmumi par cenu prognozēšanu.....	59
3.2.4. Pieņēmumi par ģenerāciju fotoelektriskajās iekārtās.....	59
3.2.5. Citi pieņēmumi.....	60
3.2.6. Scenāriju modelēšana .....	62
3.2.7. Rezultāti .....	63
3.2.8. Jutības analīze .....	68
3.2.9. Secinājumi .....	71
3.3. 3. piemērs. RL ir vēja enerģijas kopienas dalībnieki. Ekonomisko ieguvumu salīdzinājums ar saules enerģijas kopienas ekonomisko kritēriju vērtībām .....	71
3.3.1. Pieņēmumi.....	72
3.3.2. Rezultāti .....	73
3.3.3. Secinājumi .....	75
3.4. 4. piemērs. RL – jumta fotoelektrisko iekārtu īpašnieki salīdzinājumā ar enerģijas kopienām no enerģijas zudumu viedokļa .....	76
3.4.1. Rezultāti .....	77
3.4.2. Secinājumi .....	79
<b>4. Rekomendācijas.....</b>	<b>81</b>
4.1. Eiropas enerģētikas regulatoru padomes rekomendācijas.....	81
4.2. Rekomendācijas lēmumu pieņemējiem.....	84

## Attēlu saraksts

1.1. att. ES klimata mērķi un stratēģijas 2030. gadā (stratēģija „Fit for 55”) <sup>5</sup> .....	12
1.2. att. ES enerģijas avotu sastāva maiņa līdz 2030. un 2050. gadam .....	12
1.3. att. Dalībvalstu emisiju samazinājuma mērķvērtības 2030. gadam. Komisijas priekšlikumi – zaļā krāsā <sup>4</sup> .....	13
1.4. att. Atjaunīgās elektroenerģijas ražošana, izmantojot dažādas tehnoloģijas, 2010–2025 <sup>7</sup> .....	14
1.5. att. ES elektroenerģijas ražošana 2020. gadā.....	14
1.6. att. Saules paneļu instalācijas apjoma pieaugums no 2011. g. līdz 2020. g., GWm: jumta saules paneļi un komunāla mēroga saules paneļi <sup>15</sup> .....	16
1.7. att. Ikgadējais fotoelektrisko sistēmu jaudas pieaugums pa lietojuma segmentiem <sup>16</sup> .....	16
1.8. att. Kopējais vēja objektu apjoms Eiropā.....	17
1.9. att. Jauno sauszemes un jūras vēja objektu daudzums Eiropā 2021.–2025. gadā – scenārijs no WindEurope.....	17
1.10. att. Elektriskā mobilitāte Eiropas Savienībā 2020. gadā .....	20
1.11. att. Pasažieru automašīnu tipi līdz 2050. gadam .....	21
1.12. att. Litija jonu akumulatoru gada pieprasījums.....	24
1.13. att. RL lomas.....	26
1.14. att. MĢ pieslēgumu skaits.....	30
2.1. att. Sadales tīkla vispārinātā modeļa struktūra.....	32
2.2. att. Lēmuma pieņemšanas algoritma struktūra .....	33
2.3. att. Ikstundas fotoelektriskās ģenerācijas datu fragments stacijai Jelgavā (24.06.2018.).....	36
2.4. att. Latvijas NETO sistēmas principshēma.....	44
2.5. att. Neto uzkaites sistēmas piemērs .....	44
3.1. att. Fotoelektrisko tehnoloģiju izmaksu atkarība no to jaudas .....	48
3.2. att. Galalietotāja vidējais maksājums NETO norēķinu sistēmas (NBS) un NETO uzskaites sistēmas (NAS) gadījumā.....	49
3.3. att. LCOE atkarība no fotoelektrisko iekārtu jaudas (PV capacity).....	50
3.4. att. NPV fotoelektrisko iekārtu investīcijām 25 RL (ņemot aizdevumu) .....	51
3.5. att. RL ikgadējie ietaupījumi plānošanas perioda laikā .....	51
3.6. att. Korelācija starp LCOE un NPV.....	52
3.7. att. Virtuālā NMS salīdzinājumā ar konvencionālo NMS.....	54
3.8. att. 11 dažādu patērētāju enerģijas patēriņš.....	55
3.9. att. Modelis „IEEE 123 Node Test Feeder” ar RL procentuālo daļu no patērētājiem (30 %, 50 %, 70 % un 100 %).....	55
3.10. att. Slodzes sadalījums starp mezgliem .....	57
3.11. att. Kopējā fotoelektrisko iekārtu jauda un RL kopskaits.....	58
3.12. att. Latvijas ikgadējā enerģijas cena, izmantojot EMPS.....	59
3.13. att. Ikstundas elektroenerģijas cenas prognoze 2030. un 2050. gadam .....	63
3.14. att. Ikstundas elektroenerģijas cenas prognoze 01.04.–02.04. 2030. gadam un 01.04.–02.04. 2050. gadam .....	64
3.15. att. Ikgadējais fotoelektriskās ģenerācijas apjoms .....	64
3.16. att. Novērstās izmaksas vienam RL .....	65
3.17. att. NPV izmaiņas laikā atkarībā no izvēlētā scenārija (bez kredīta ņemšanas) .....	66
3.18. att. NPV izmaiņas laikā atkarībā no izvēlētā scenārija (ar kredītu) .....	66
3.19. att. NPV jutība pret izmaiņām pieņēmumos par investīciju izmaksām (9. scenārijs).....	69

3.20. att. Iekšējās peļņas normas jutība pret izmaiņām kapitālizmaksu pieņēmumos (9. scenārijs)	69
3.21. att. NPV jutība pret izmaiņām pieņēmumos par diskonta likmi (9. scenārijs)	70
3.22. att. NPV jutība pret izmaiņām pieņēmumos par diskonta likmi (24. scenārijs)	70
3.23. att. LCOCE jutība pret izmaiņām pieņēmumos par diskonta likmi	71
3.24. att. Ikgadējais vēja enerģijas kopienas ģenerācijas apjoms	73
3.25. att. NPV izmaiņas laikā atkarībā no izvēlēta scenārija	74
3.26. att. a) Enerģijas zudumi pašpatēriņam: 1.–4. gadījums ar RL – jumta iekārtu īpašniekiem (nepārtrauktās līnijas); 5.–8. gadījums ar enerģijas kopienām (pārtrauktās līnijas); b) Enerģijas zudumi, izdodot ģenerēto enerģiju tīklā: 9.–12. gadījums ar RL – jumta iekārtu īpašniekiem (nepārtrauktās līnijas); 13.–16. gadījums ar enerģijas kopienām (pārtrauktās līnijas)	78
3.27. att. Enerģijas zudumi ar stundas intervālu bāzes gadījumam un 4. gadījumam	79
3.28. att. Aktīvās enerģijas zudumu salīdzinājums dažādām gadījumu grupām	79

# Tabulu saraksts

1.1. tabula. Sistēmas raksturojums. Galvenie darbības rādītāji .....	29
1.2. tabula. Elektroenerģijas sadales sistēmas infrastruktūra .....	29
1.3. tabula. Pieslēgumu pieteikumu skaits .....	30
3.1. tabula. Galvenie pieņēmumi .....	49
3.2. tabula. Sākotnējie finansiālā snieguma rezultāti .....	50
3.3. tabula. Slodžu sadalījums pa mezglēm .....	56
3.4. tabula. 4 gadījumu parametri .....	57
3.5. tabula. Ievadparametri un pieņēmumi .....	60
3.6. tabula. Scenāriju apkopojums .....	62
3.7. tabula. NPV, LCOCE, iekšējās peļņas normas un atmaksāšanās perioda analīzes rezultāti .....	67
3.8. tabula. Ievadparametri un pieņēmumi vēja turbīnai .....	72
3.9. tabula. NPV, LCOCE, iekšējās peļņas normas un atmaksāšanās perioda analīzes rezultāti (vēja stacija) .....	74
3.10. tabula. Izpētīto gadījumu apraksts .....	76
3.11. tabula. Enerģijas zudumu novērtējums .....	78
4.1. tabula. EEP rekomendācijas NETO sistēmas pilnveidei .....	81

## Sāsinājumu saraksts

RL	RL
AER	Atjaunīgie energoresursi
ES	Eiropas Savienība
IEA	Starptautiskā enerģijas aģentūra (angļu val. – <i>International Energy Agency</i> )
ECom	enerģijas kopienas (angļu val. – <i>energy community</i> )
V2G	konceptija „auto – tīkls” (angļu val. – <i>vehicle to grid</i> )
BESS	bateriju enerģijas uzglabāšanas sistēmas (ang. valodā – <i>battery energy storage</i> )
Li-ion	litija jonu baterija
MĢ	mikroģenerators
PVN	pievienotās vērtības nodoklis
NBS	NETO norēķinu sistēmas
NAS	NETO uzskaites sistēmas
LCOE	normētās enerģijas izmaksas (angļu val. – <i>levelised costs of energy</i> )
NPV	neto pašreizējā vērtība (angļu val. – <i>net present value</i> )
NMS	NETO mērījumu sistēmas
PVGIS	Fotoelektrisko tehnoloģiju ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (angļu val. – <i>Photovoltaic geographical information system</i> )
EMPS	<i>Multi-Area Power Planning Model</i>
VPP	Valsts pētījama programma
NR	Ņūtona-Rafsona metode
BFS	atpakaļejošā-turpejošā izvērsuma metode (angļu val. – <i>backward-forward sweep method</i> )
AC	novērstās izmaksas (angļu val. – <i>avoided costs</i> )
NPV	neto pašreizējā vērtība
IRR	iekšējā peļņas norma (angļu val. – <i>internal rate of return</i> )
LCOCE	patērētās enerģijas normētās izmaksas (angļu val. – <i>levelised costs of consumed energy</i> )
OIK	obligātā iepirkuma komponentes
SSO	Sadales sistēmas operators
EEP	Eiropas Enerģoregulatoru padome
PSO	Pārvades sistēmas operators
IRENA	Starptautiskā atjaunīgās enerģijas asociācija (angļu val. – <i>International Renewable Energy Agency</i> )



## Ievads

Šis ir projekta „Inovatīvas viedo tīklu tehnoloģijas un to optimizācija (INGRIDO)” Nr. VPP-EM-INFRA-2018/1-0006 nodevums, kurā aprakstīta izvēlētā pētījuma aktualitāte, pieeja, identificētas galvenās Latvijas energosistēmas tehnoloģijas, kuru izaugsme ir gaidāma tuvākajos gados un kuras var visvairāk ietekmēt sadales tīklu, aprakstīti tīklu darbības scenāriju modelēšanas un imitācijas rezultāti. Veicamā posma izpildes etapa galvenais mērķis bija analizēt ražotājlietotāja (RL), angļu val. – *prosumers*) lomu sadales tīkla darbībā un attīstībā un novērtēt, kādus ekonomiskus ieguvumus var sasniegt, izmantojot dažāda tipa tehnoloģijas, pirmkārt, saules paneļus, elektriskās baterijas un elektromobiļus. Lai aprēķinātu ekonomiskos ieguvumus, veikta nepieciešamo tīkla modeļu sintēze un RL ietekmes uz tīklu modelēšana, kura ļauj pamatot rekomendācijas efektīvas RL un tīklu operatoru sadarbības veicināšanai. Pirms iekļaušanas šī nodevuma rezultāti ir aprobēti starptautiskos recenzētos zinātniskos izdevumos un konferencēs. INGRIDO projekts tiek izpildīts ciešā sasaistē ar projektiem „Ilgtspējīga Latvijas energosistēmas attīstība un integrācija Eiropā (FutureProof)”, Nr. VPP-EM-INFRA-2018/1-0005, un Izp-2018/1-0066 „Viedās enerģētikas stratēģiskā un operatīvā vadība (I-POWER)” un daļēji izmantojot to rezultātus. Kopumā izmantoti materiāli no deviņām mūsu publikācijām, kas veltītas RL ietekmes uz tīklu modelēšanai un efektīvas RL un tīklu operatoru sadarbības veicināšanai:

1. Sauhats, A., Zemīte, L., Petričenko, Ļ., Moškina, I., Jasevičs, A. Estimating the Economic Impacts of Net Metering Schemes for Residential PV Systems with Profiling of Power Demand, Generation, and Market Prices. *Energies*, 2018, Vol. 11, No. 11, 1.-19. lpp. ISSN 1996-1073. Pieejams: doi:10.3390/en11113222.
2. Petričenko, Ļ., Kozadajevs, J., Petričenko, R., Ozgonenel, O., Boreiko, D., Dolgicers, A. Assessment of PV Integration in the Industrial and Residential Sector under Energy Market Conditions. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2021, Vol. 58, No. 3, 82.-97. lpp. ISSN 0868-8257.
3. Petričenko, Ļ., Broka, Z., Sauhats, A., Bezrukovs, D. Cost-Benefit Analysis of Li-Ion Batteries in a Distribution Network. No: *2018 15th International Conference on the European Energy Market (EEM 2018)*, Polija, Lodza, 27.-29. jūnijs, 2018. Piscataway, NJ: IEEE, 2018, 1.-5. lpp. ISBN 978-1-5386-1489-1. e-ISBN 978-1-5386-1488-4. e-ISSN 2165-4093. Pieejams: doi:10.1109/EEM.2018.8469782.
4. Petričenko, R., Petričenko, Ļ., Baltputnis, K., Sauhats, A., Gudzius, S., Slivikas, A. Selection of the Initial State and Duration of the Planning Period in the Tasks of Managing Energy Storage Systems. No: *2020 IEEE 61st International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2020): Conference Proceedings*, Latvija, Rīga, 5.-7. novembris, 2020. Piscataway, NJ: IEEE, 2020, 272.-277. lpp. ISBN 978-1-7281-9511-7. e-ISBN 978-1-7281-9510-0. Pieejams: doi:10.1109/RTUCON51174.2020.9316613.
5. Petričenko, Ļ., Sauhats, A., Petričenko, R., Borščevskis, O., Zima-Bočkarjova, M. Billing System Impact on the Deployment of Electric Vehicles. No: *2020 17th International Conference on the European Energy Market (EEM 2020)*, Zviedrija,

- Stokholma, 16.-18. septembris, 2020. Piscataway: IEEE, 2020, 1.-5. lpp. ISBN 978-1-7281-6920-0. e-ISBN 978-1-7281-6919-4. ISSN 2165-4077. e-ISSN 2165-4093. Pieejams: doi:10.1109/EEM49802.2020.9221909.
6. Zima-Bockarjova, M., Sauhats, A., Petričenko, L., Petričenko, R. Charging and Discharging Scheduling for Electrical Vehicles Using a Shapley-Value Approach†. *Energies*, 2020, Vol. 13, No. 5, Article number 1160. ISSN 1996-1073. Pieejams: doi:10.3390/en13051160.
  7. Illia Diahovchenko, Lubov Petrichenko, Antans Sauhats. Energy Losses in Power Distribution Systems: PV Roof Prosumers vs. Energy communities. 2021 IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2021): Conference Proceedings, Latvija, Rīga, 15.-17. novembris, 2021 (the paper is accepted for presentation).
  8. Sauhats, A., Broka, Z. and Baltputnis, K. "Energy Transition of the Baltic States: Problems and Solutions" *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, Vol. 58, No. 3, 2021, 3.-14. lpp. <https://doi.org/10.2478/lpts-2021-0013>.
  9. Petrichenko, L., Petrichenko, R., Sauhats, A., Baltputnis, K. and Broka, Z. "Modelling the Future of the Baltic Energy Systems: A Green Scenario" *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, Vol. 58, No. 3, 2021, 47.-65. lpp. <https://doi.org/10.2478/lpts-2021-0016>

Publikācijas Nr. 2, Nr. 7, Nr. 8 un Nr. 9 sagatavotas INGRIDO projekta ietvaros.

Šajā nodevumā bez ievada iekļautas vēl četras nodaļas. Pirmā nodaļa veltīta Eiropas Savienības enerģētikas pārveidošanas mērķu, AER attīstības tendenču, attīstības prognožu un tehnoloģiju apskatam, kā arī apskatīta ražotājlietotāju loma un ar tiem saistītie iespējamie ieguvumi un mikroģenerācijas atbalsta shēmas Eiropas valstīs.

Otrajā nodaļā ir aprakstītas izmantotās metodes un metodoloģijas, kas tika izmantotas, modelējot sadales tīklu, RL darbību, prognozējot elektroenerģijas patēriņu un cenas, kā arī fotoelektrisko un vēja ģenerāciju. Tika apskatīta NETO norēķinu sistēma Latvijā un tās darbības princips.

Trešā nodaļa veltīta sadales tīklu modelēšanai, kas veikta, izmantojot dažādus AER attīstības scenārijus. Tiek izmantota sintezēta programmatūra, kura ļauj uzdot jebkuru iespējamo sadales tīkla shēmu un tās elementu parametrus, kā arī novērtēt ekonomiskos kritērijus.

Ceturtnā nodaļa satur Nodevuma rekomendācijas.

# 1. Eiropas Savienības enerģētikas pārveidošanas mērķi, tendences un AER tehnoloģijas

## 1.1. ES enerģētikas direktīvas un mērķi

Saskaņā ar Parīzes nolīgumu 2018. gada decembrī pārstrādātā Atjaunīgo energoresursu (AER) direktīva 2018/2001/ES<sup>1</sup> stājās spēkā kā daļa no kopas „Tīra enerģija visiem eiropiešiem”, kuras mērķis ir saglabāt ES kā pasaules līderi atjaunīgo energoresursu sfērā.

Pērn stājās spēkā Eiropas Savienības (ES) klimata un enerģētikas tiesību aktu kopums, kas izvirzīja klimata un enerģētikas politikas mērķus, kuri bija jāsasniedz līdz 2020. gadam. Viens no tiem bija paaugstināt AER iegūtās enerģijas īpatsvaru līdz 20 procentiem no kopējā bruto enerģijas galapatēriņa. Turklāt Eiropas Zaļā vienošanās nosaka ES ceļu uz klimata neitralitāti līdz 2050. gadam, dziļi dekarbonizējot visas ekonomikas nozares un 2030. gadā samazinot siltumnīcefekta gāzu emisijas<sup>2</sup>.

2021. gada 14. jūlijā Eiropas Komisija pieņēma dokumentu pakotni „Fit for 55” („Gatavi mērķrādītājam 55 %”)<sup>3</sup>. Pakotnē ietilpst likumdošanas priekšlikumi<sup>4</sup> visa EU 2030 klimata un enerģijas ietvara pārskatīšanai, ieskaitot likumdošanas aktus par kopīgajiem centieniem, zemes izmantošanu un mežkopību, **atjaunīgo enerģiju**, energoefektivitāti, **emisijas standartiem attiecībā uz jauniem vieglajiem automobiļiem un furgoniem**, kā arī Enerģijas nodokļu sistēmas direktīva. Savstarpēji saistītie priekšlikumi aptver dažādas jomas, lai pieskaņotos mērķiem, kas norunāti Eiropas Klimata aktā<sup>5</sup>.

Pakotne „Fit for 55” uzstāda mērķi nostādīt ES uz ceļa pretī tās ambiciozajam mērķim (1.1. att.) – sasniegt 55 % samazinājumu siltumnīcefekta gāzu emisijām līdz 2030. gadam salīdzinājumā ar 1990. gada līmeni, pieskaņojot ES politiku Zaļā kursa un Eiropas Klimata akta ambiciozajiem politiskajiem uzdevumiem.

---

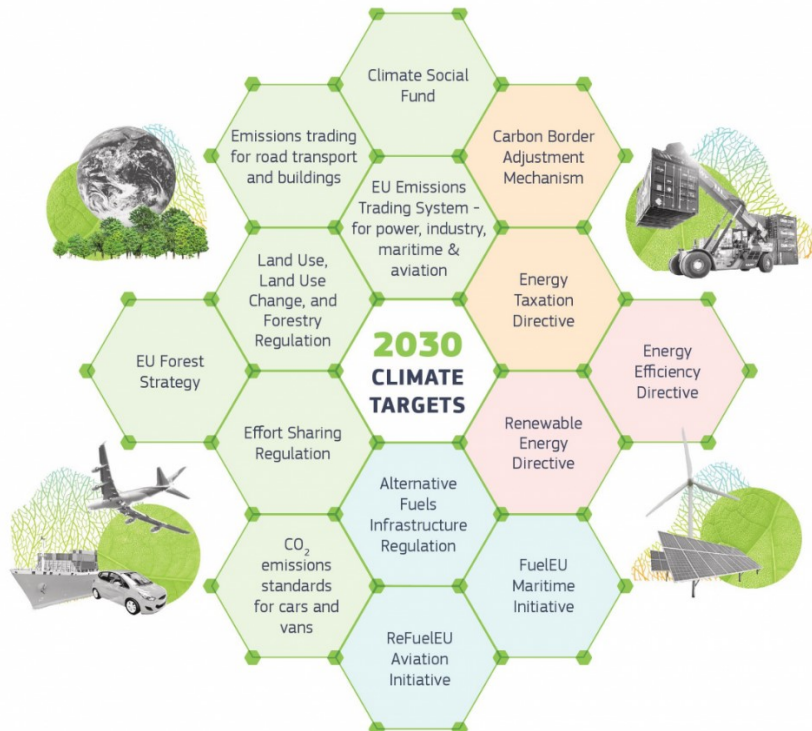
<sup>1</sup>Atjaunīgās enerģijas direktīva. Pieejams: [https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview\\_en#renewable-energy-in-the-European-green-deal](https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview_en#renewable-energy-in-the-European-green-deal)

<sup>2</sup>Globālās sasilšanas un emisiju samazināšanas mērķi. Pieejams: <https://eu2019.fi/en/priorities/climate-leadership/emissions-reduction-targets>

<sup>3</sup><https://ec-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0550>

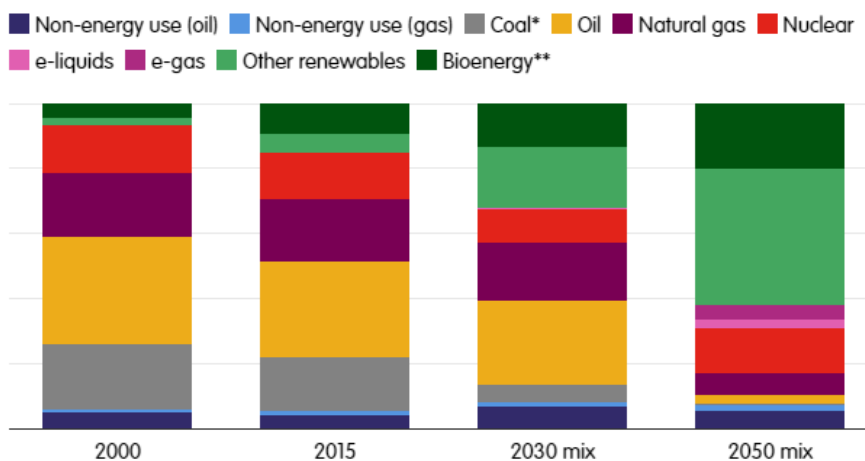
<sup>4</sup> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_21\\_3541](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541)

<sup>5</sup> [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/European-green-deal/European-climate-law\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/European-green-deal/European-climate-law_en)



1.1. att. ES klimata mērķi un stratēģijas 2030. gadā (stratēģija „Fit for 55”)<sup>5</sup>

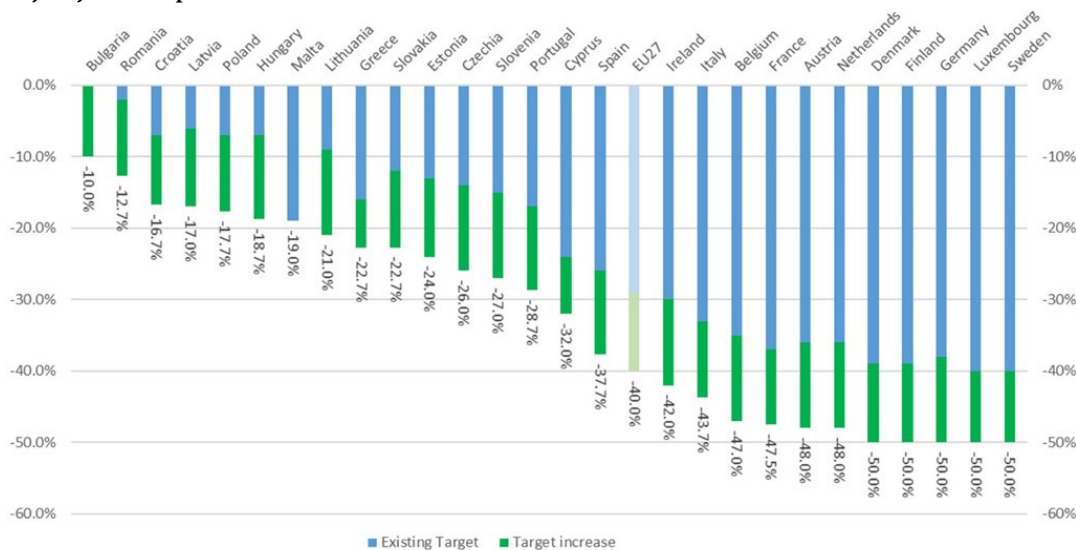
Lai varētu sasniegt ES jauno klimata mērķi līdz 2030. gadam, Komisija tagad piedāvā samazināt Kopīgo centienu regulas emisijas vismaz par 40 %, kur dalībvalstu izvirzītie samazinājuma mērķi ir no 10 % līdz 50 % (1.2. att.).



1.2. att. ES enerģijas avotu sastāva maiņa līdz 2030. un 2050. gadam<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Mark Leonard, Jean Pisani-Ferry, Jeremy Shapiro, Simone, Tagliapietra, Guntram Wolff. The geopolitics of the European Green Deal. February 2021, European Council of Foreign Relations.

Zemāk dotajā grafikā (1.3. att.) parādīts Kopīgo centienu regulas mērķu sadalījums dalībvalstu starpā, kur zilie stabiņi rāda pašreizējos mērķus 2030. gadam, bet zaļie – Komisijas jaunus priekšlikumus.



1.3. att. Dalībvalstu emisiju samazinājuma mērķvērtības 2030. gadam. Komisijas priekšlikumi – zaļā krāsā<sup>4</sup>

Transporta nozare veido gandrīz ceturtdaļu no Eiropas SEG emisijām; turklāt, atšķirībā no citām nozarēm, transporta nozares emisijas pēdējo 5 gadu laikā ir pieaugušas. Turklāt Eiropas transporta vajadzības līdz 2050. gadam ievērojami palielināsies. Transporta dekarbonizācija būs nozīmīgs šķērslis ceļā uz neto nulles emisijām 2050. gadā.

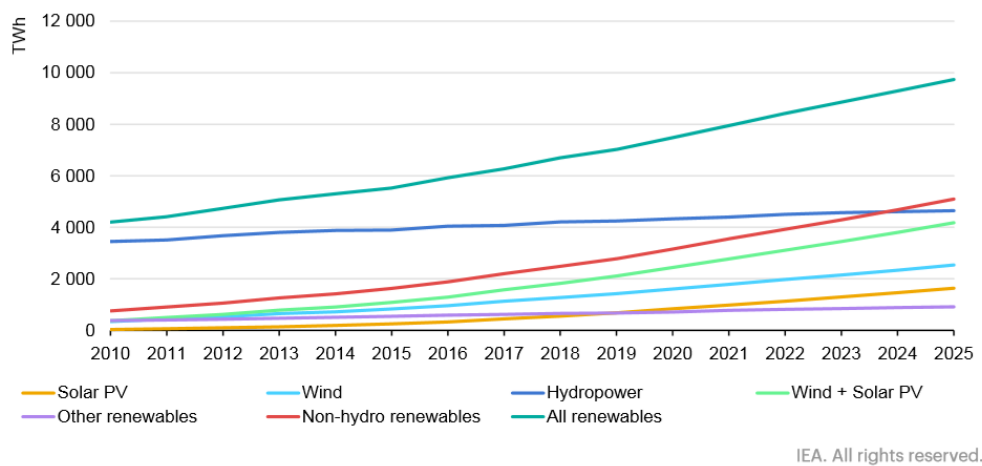
Pakotnē „Fit for 55” ir iekļauti arī grozījumi ES Atjaunojamās enerģijas direktīvai un Energoefektivitātes direktīvai, kuras nosaka mērķus AER īpatsvara palielinājumam un efektīvākai enerģijas izmantošanai būtībā visos ekonomikas segmentos.

Iepriekšējās direktīvās ir izvirzīta mērķvērtība 32 % atjaunīgās enerģijas procentuālajai daļai līdz 2030. gadam. Labojumos „Fit for 55” šī daļa ir pieaugusi līdz 40 %.

## 1.2. AER attīstības prognozes

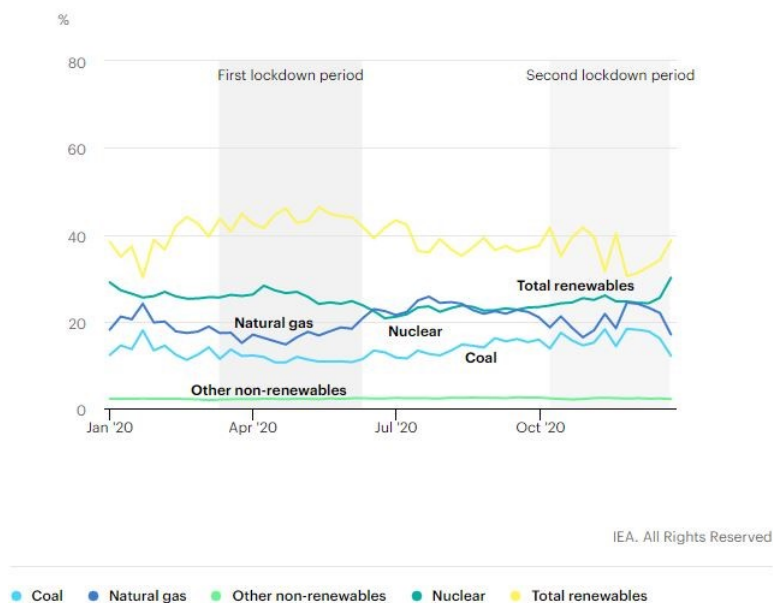
IEA (Starptautiskā enerģijas aģentūra)<sup>7</sup> prognozē, ka līdz 2025. gadam atjaunīgās enerģijas īpatsvars kopējā elektroenerģijas ražošanā būs 33%, pārsniedzot ogļu kurināmā īpatsvaru. Hidroelektroenerģija joprojām ir lielākais atjaunīgās elektroenerģijas ražošanas avots, taču tās īpatsvars 2024. gadā pirmo reizi samazināsies zem 50 %. Vēja un saules enerģijas kombinētā ražošana prognozētajā periodā gandrīz dubultojas un nedaudz pārsniedz 4 000 TWh (1.4. att.).

<sup>7</sup> IEA (2020), *Renewables 2020*, IEA, Parīze. Pieejams: <https://www.iea.org/reports/renewables-2020>



1.4. att. Atjaunīgās elektroenerģijas ražošana, izmantojot dažādas tehnoloģijas, 2010–2025<sup>7</sup>

1.4. att. dotā prognoze neņem vērā COVID-19 pandēmijas ietekmi. Kā rāda dati (1.5. att.), AER ir mazāk jutīgi pret pandēmiju nekā citi kurināmā veidi. COVID-19 krīze neaptur AER jaudas globālo pieaugumu. Jaunu AER iekārtu jauda 2020. g. samazinājās COVID-19 krīzes rezultātā, bet sagaidāms, ka izaugsme atjaunosies 2021. gadā, jo lielākā daļa kavēto projektu attīstības notiek tiešsaistē.



1.5. att. ES elektroenerģijas ražošana 2020. gadā<sup>8</sup>

Neraugoties uz COVID-19 pandēmijas iespaidu pasaulē 2020. gadā, šajā pašā gadā tomēr tika uzstādīts 138,2 GW saules enerģijas iekārtu, kas veido 18 % pieaugumu salīdzinājumā ar 2019. gadu un ir vēl viens pasaules gada uzstādītās jaudas rekords saules fotoelektrisko iekārtu nozarē. Kopā ar šo palielinājumu pasaules kopējā saules iekārtu jauda ir 773,2 GW, kas sasniedz jaunu saules enerģijas nozares orientieri, pārsniedzot trīs ceturtdaļas teravata<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> IEA (2021), Covid-19 ietekme uz elektroenerģiju, IEA, Parīze. Pieejams: <https://www.iea.org/reports/covid-19-impact-on-electricity>

<sup>9</sup> Saules enerģijas globālā tirgus perspektīva 2021.–2025. Pieejams: [https://www.solarpower-europe.org/wp-content/uploads/2021/07/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-for-Solar-2021-2025\\_V1.pdf](https://www.solarpower-europe.org/wp-content/uploads/2021/07/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-for-Solar-2021-2025_V1.pdf)

### 1.3. AER tehnoloģijas

Ņemot vērā augstāk apskatītās AER attīstības tendences, varam apgalvot, ka globāli gaidāma saules un vēja energoavotu strauja izaugsme. Daļa no šiem avotiem var būt pieslēgta sadales tīklam un, iespējams, ievērojami ietekmēt tā darbību. Jāņem vērā, ka vēja un saules staciju elektrības izstrāde ir stipri mainīga laikā, kas rada nepieciešamību izmantot enerģijas akumulācijas iekārtas<sup>10,11,12,13,14,15</sup>. Paralēli AER izaugsmei ir gaidāmas sadales tīkla slodzes izmaiņas, pirmām kārtām elektriskā transporta un enerģijas akumulācijas ietekmes rezultātā.

#### 1.3.1. Saules paneļu, vēja turbīnu pielietojuma izaugsme

Paredzams, ka uz jumta uzstādāmu fotoelektrisko paneļu globālais tirgus tuvākajos gados pieaugs par 11 %, dzīvojamā sektora enerģijas akumulācijas sistēmu apjomam papildus pieaugot no 95 MW 2016. gadā līdz 3 700 MW 2025. gadā<sup>12</sup>. Viena no lielajām fotoelektriskās ģenerācijas priekšrocībām ir iespēja veidot ļoti dažāda mēroga projektus: individuālās mājas ar uz jumta vai uz zemes montējamiem fotoelektriskajiem paneļiem, komerciālas fotoelektriskās iekārtas, komunāla mēroga fotoelektriskās iekārtas, peldošas fotoelektriskās iekārtas u.c.

Fotoelektriskās tehnoloģijas ir ļoti pieprasītas globālajā saules enerģijas tirgū kā dzīvojamām, tā arī rūpnieciskajām ēkām. Turklāt nesētajos gados šo tehnoloģiju izmaksas ir samazinājušās<sup>13</sup>. Tas ir veicinājis garantēto tarifu (*feed-in tariff*) programmu ieviešanu daudzās valstīs.

Saules paneļu daudzums ES valstīs gandrīz divkāršojās 2019. gadā, sasniedzot 17 GW uzstādīto jaudu, salīdzinot ar tikai 10 GW, kas bija uzstādīta 2018. gadā<sup>14</sup>.

Kā redzams saules paneļu daudzuma pieauguma grafikā (1.6. att.)<sup>15</sup>, stacionāro instalāciju skaits pēdējos gados ir ievērojami pieaudzis, un to uzstādītā jauda līdz 2020. gadam sastādīja 135 GW. Tie galvenokārt ir saules parki ar lielu uzstādīto jaudu, kuros lielie uzņēmumi investē kopā ar valsts subsīdijām ar mērķi sasniegt iespējami īsu

---

<sup>10</sup> Xinjing Zhang, Chao (Chris) Qin, Eric Loth, Yujie Xu, Xuezhi Zhou, Haisheng Chen, Arbitrage analysis for different energy storage technologies and strategies, Energy Reports, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.09.009>.

<sup>11</sup> IEA atskaite: Technology Roadmap, Energy storage. Pieejams: [https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjRyMTqyeXzAhWLQ\\_EDHcMIDpcQFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fspeicherinitiative.at%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F8%2F2020%2F11%2F20-technologyroadmapenergystorage.pdf&usg=AOvVaw0hO3-EloqOeuHHy-VeDR5g](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjRyMTqyeXzAhWLQ_EDHcMIDpcQFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fspeicherinitiative.at%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F8%2F2020%2F11%2F20-technologyroadmapenergystorage.pdf&usg=AOvVaw0hO3-EloqOeuHHy-VeDR5g)

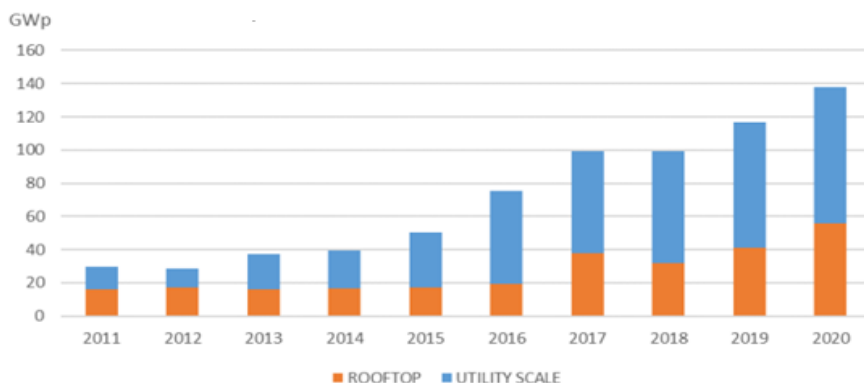
<sup>12</sup> W. Tushar, T. K. Saha, C. Yuen, D. Smith and H. V. Poor, "Peer-to-Peer Trading in Electricity Networks: An Overview," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 11, no. 4, pp. 3185-3200, 2020

<sup>13</sup> B. Kampman *The potential of energy citizens in the European Union*, Nov. 2016. [Online]. Pieejams: <https://ce.nl/publicaties/the-potential-of-energy-citizens-in-the-European-union/>

<sup>14</sup> IEA atjaunīgās enerģijas tirgus atjauninājums — perspektīva 2020. un 2021. gadam. Pieejams: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/9ee2be30-de3f-4507-940c-ae4726c78845/Renewable\\_Energy\\_Market\\_Update.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/9ee2be30-de3f-4507-940c-ae4726c78845/Renewable_Energy_Market_Update.pdf)

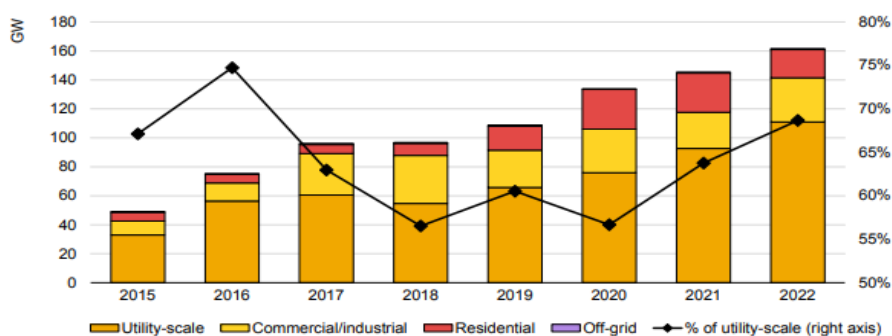
<sup>15</sup> Snapshot of Global PV Markets 2021, IEA-PVPS. Pieejams: [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA\\_PVPS\\_Snapshot\\_2021-V3.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA_PVPS_Snapshot_2021-V3.pdf)

atmaksāšanās periodu. Ievērojami pieaug arī saules paneļu skaits, kas tiek uzstādīti uz māsaimniecību jumtiem. Līdz 2020. gadam šādu paneļu uzstādītā jauda bija trīskāršojusies un sasniedza 55 GW.



1.6. att. Saules paneļu instalācijas apjoma pieaugums no 2011. g. līdz 2020. g., GWm: jumta saules paneļi un komunāla mēroga saules paneļi<sup>15</sup>

Saskaņā ar IEA prognozi (1.7. att.)<sup>16</sup> sagaidāms, ka saules bateriju jaudas pieaugums 2021. gadā sasniegs 8 % un kopējā saules staciju jauda sasniegs 145 GW.



1.7. att. Ikgadējais fotoelektrisko sistēmu jaudas pieaugums pa lietojuma segmentiem<sup>16</sup>

Saules enerģija ir kļuvusi par lētāko elektroenerģijas ražošanas avotu daudzās valstīs, īpaši valstīs ar labu saules resursu un finansējuma pieejamību. Paredzams, ka saules paneļu uzstādītā jauda pasaulē 2022. gadā pieaugs līdz 162 GW<sup>17</sup>.

2020. gads vēsturiski bija vislabākais pasaules vēja industrijā – pieaugums kopš iepriekšējā gada bija 53 %. Tā kā tika uzstādīts vairāk nekā 93 GW vēja enerģijas iekārtu, lai gan 2020. bija izaicinājumiem pilns gads ar traucētām globālajām piegādes ķēdēm un traucējumiem objektu būvniecībā, varam spriest, ka vēja industrija uzrāda ārkārtīgu izturību<sup>18</sup>.

Eiropā 2020. gadā tika uzstādīts 14,7 GW jaunu vēja jaudu. Tas bija par 6 % mazāk nekā 2019. gadā un par 19 % mazāk, nekā tika sagaidīts pirms Covid-19. 27 ES valstīs tika

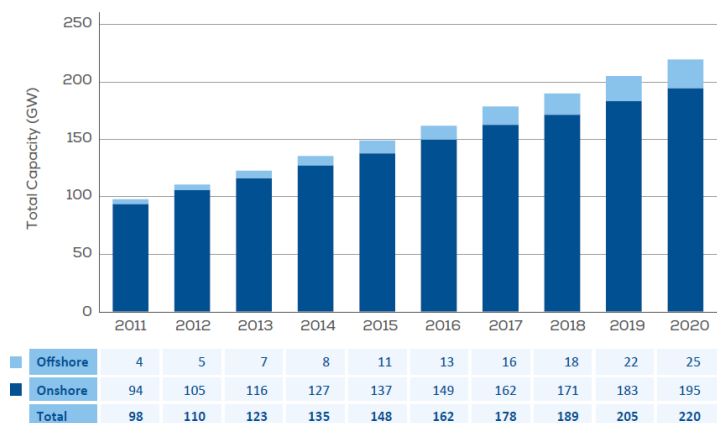
<sup>16</sup> IEA (2021), Atjaunīgās enerģijas tirgus atjauninājums 2021, IEA, Parīze, Pieejams:<https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2021>.

<sup>17</sup> Darbības joma Saules elektroenerģijas ražošana sasniedza augstāko līmeni 2020. gada 2. ceturksnī. Pieejams: <https://solaredition.com/€ope-solar-electricity-generation-reached-the-highest-level-in-2nd-quarter-of-2020/>

<sup>18</sup> Joyce Lee, Feng Zhao. GWEC. GLOBAL WIND REPORT 2021. 25 March 2021. Pieejams:<https://gwec.net/global-wind-report-2021/>



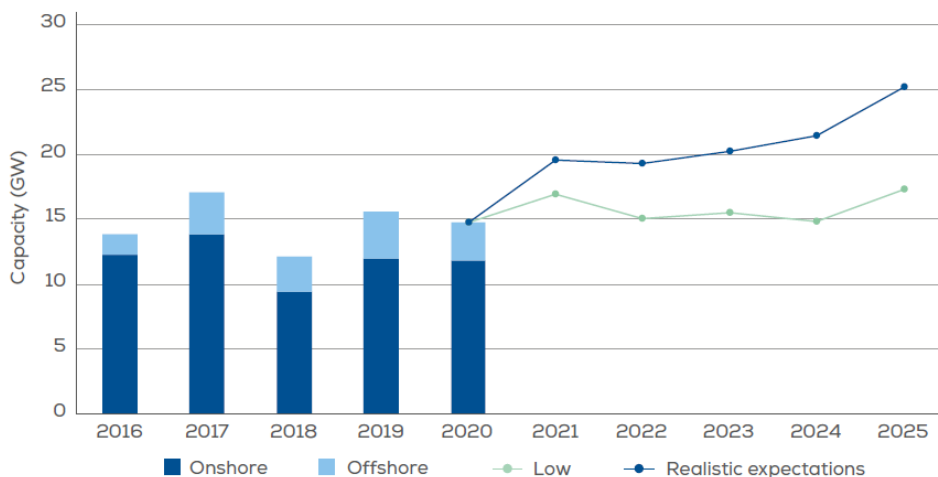
uzstādīts 10,5 GW <sup>19</sup>. 80 % no jaunajiem vēja objektiem tika būvēti uz sauszemes. Vēja enerģijas daļa 2020. gada elektroenerģijas patēriņā bija 16 % (dati par 27 ES valstīm un Apvienoto Karalisti). Eiropā pašlaik ir 220 GW vēja jaudu (1.8. att.). Vācijā joprojām ir vislielākā uzstādītā jauda Eiropā, tai seko Spānija, Apvienotā Karaliste, Francija un Itālija. Vēl 6 valstīm (Zviedrija, Turcija, Nīderlande, Polija, Vācija un Portugāle) ir vairāk nekā 5 GW uzstādītās vēja jaudas katrai. Visbeidzot, vēl 5 valstīm (Beļģijai, Īrijai, Grieķijai, Austrijai, Rumānijai) ir pāri par 3 GW uzstādītās vēja jaudas katrai.



Source: WindEurope

1.8. att. Kopējais vēja objektu apjoms Eiropā

Tiek sagaidīts, ka 2021.–2025. gadā Eiropā tiks uzstādīts 105 GW jaunu vēja parku, ar nosacījumu, ka valstu valdības izpilda savus solījumus. Pāri par 70 % no šī apjoma būs sauszemes objekti (1.9. att.).



Source: WindEurope

1.9. att. Jauno sauszemes un jūras vēja objektu daudzums Eiropā 2021.–2025. gadā – scenārijs no WindEurope

<sup>19</sup> Vēja enerģija Eiropā, 2020. gada statistika un perspektīvas 2021.–2025. gadam, publicēts 2021. gada februārī,

Pieejams: [https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwja8oKjL30AhXnh4sKHWWYUC3wQFnoECAUQA&url=https%3A%2F%2Fwind-europe.org%2Fdata-and-analysis%2Fproduct%2Fwind-energy-in-europe-in-2020-trends-and-statistics%2F&usg=AOvVaw0fBCceCkeBVtPg\\_4EIAUBp](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwja8oKjL30AhXnh4sKHWWYUC3wQFnoECAUQA&url=https%3A%2F%2Fwind-europe.org%2Fdata-and-analysis%2Fproduct%2Fwind-energy-in-europe-in-2020-trends-and-statistics%2F&usg=AOvVaw0fBCceCkeBVtPg_4EIAUBp)

Piecgadīgais tirgus pārskats (*Market Outlook*) par vēja objektiem analizē gaidāmo vēja jaudu attīstību Eiropā. Tajā izklāstīti 2 scenāriji<sup>19</sup>:

- *Reālistisko gaidu scenārijs*, kurš sniedz vislabāko novērtējumu par uzstādītajām jaudām Eiropā nākamo 5 gadu laikā. Saskaņā ar šo scenāriju Eiropā būs 318 GW kopējās uzstādītās jaudas, ar vidējo uzstādīšanas ātrumu 21 GW gadā. Reālistisko gaidu scenārijā 27 ES valstīs tiks uzstādīts 15 GW gadā. Tas ir pārlicinoši mazāk nekā tie 18 MW gadā, kas ES jāuzstāda, lai piepildītu nacionālos enerģijas un klimata plānus, kā arī lai sasniegtu pastāvošo 2030. gada atjaunīgās enerģijas mērķvērtību – 32 %<sup>20</sup>.
- *Pazeminātais scenārijs*, saskaņā ar kuru Eiropas valstu valdības nerisina jautājumus saistībā ar atļaujām, tām neizdodas ieviest efektīvas stratēģijas objektu pārbūvei un tās ievieš jaunus ierobežojumus brīvai preču un pesonu kustībai sakarā ar pandēmiju. Šajā gadījumā gaidāmais kopējās uzstādītās vēja jaudas apjoms ir 292 GW, ar vidējo uzstādīšanas ātrumu 16 GW gadā.

Abi šie scenāriji atspoguļo iespējamās izmaiņas Eiropas regulējumā, valstu politikā, projektu izstrādes laika grafikos un vēja enerģijas spēju nodrošināt papildu jaudu ar nākotnes izsoļu un konkursu starpniecību.

Gadu kopš pandēmijas sākuma vēja industrija ir uzrādījusi ārkārtīgu izturību. 2020. gada 2. ceturksnī Pasaules vēja enerģijas padomes analīze *Market Intelligence* prognozēja 20–30 % samazinājumu gada beigu prognozē. Investīcijas jūras vēja objektos pārsniedza 2019. gada līmeni, 2020. gadā sasniedzot 303 miljardus ASV dolāru; daļēji tas skaidrojams ar garākiem projektu attīstības grafikiem šajā nozarē, kas rada lielāku izturību pret pandēmijas ietekmi<sup>21</sup>. Pirms 2025. gada nozarē tiks pārsniegta pasaules kopējā uz sauszemes un jūrā uzstādītā vēja jauda 1 TW – tā liecina Pasaules vēja enerģijas padomes analīze *Market Intelligence*. Lielāku vēja turbīnu izmaksu samazinājums, inovācijas saistībā ar uzstādīšanu, ekspluatāciju un apkopi, kā arī investoru riska samazinājums veicinās turpmāku objektu uzstādīšanu: līdz 2030. gadam Starptautiskā atjaunīgās enerģijas asociācija (IRENA) sagaida, ka vidējais sauszemes vēja objektu LCOE turpinās samazināties, krītoties par 25 % salīdzinājumā ar 2018. gadu, savukārt jūras objektu LCOE salīdzinājumā ar 2018. gadu samazināsies par 55 %<sup>22</sup>.

### **1.3.2. Saules, vēja vai bioenerģijas kopienas**

Ir iespējams arī radīt jaudīgas saules, vēja vai bioenerģijas stacijas, veidojot enerģijas kopienas (angļu val. – *energy community*, (ECom)). Eiropas Komisijā uzskata, ka

---

<sup>20</sup> Nacionālajos enerģijas un klimata plānos izvirzītās vēja jaudu mērķvērtības. Pieejams: <https://windeurope.org/data-and-analysis/product/wind-energy-and-economic-recovery-in-europe/>

<sup>21</sup>

<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:SJo8SyYNV5cj:https://www.windpowermonthly.com/article/1704954/offshore-wind-spending-reaches-record-high-2020+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=uk>

<sup>22</sup> <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>

šādu kopienu īpašumā uz 2030. gadu varētu būt ap 21 % visas uzstādītās saules iekārtu jaudas. Savukārt līdz 2050. gadam, kā tiek sagaidīts, gandrīz puse ES mājsaimniecību būtu ražotājlietotāji<sup>13</sup>.

Enerģijas kopienu galvenā funkcija ir izveidot apstākļus investīcijām vietējos atjaunīgajos energoresursos no privātpersonu puses, kuru rīcībā nav daudz kapitāla. Enerģijas kopienas var palīdzēt samazināt jaudas zudumus sakarā ar divvirzienu jaudas plūsmu efektu mazināšanu, un tām piemīt elastīgums, lai darbotos kā sistēmas ģeneratori vai kā pašpatērētāji, arī pārdodot elektroenerģijas pārpalikumu tīklā. Darbojoties kā vienotam kopumam, enerģijas kopienas var būt perspektīvākas saistībā ar papildu ienākumiem to dalībniekiem, salīdzinājumā ar atsevišķu RL ienākumu summu, kuriem ir vietējā fotoelektriskā ģenerācija. Šādu priekšrocību var sasniegt ar stratēģiskas darbības palīdzību, kas ir koncentrēta nevis uz katra atsevišķā lietotāja peļņas maksimizāciju, bet uz ienesīguma paaugstināšanu visai enerģijas kopienai.

Enerģijas kopienu straujā izplatīšanās ES un to attīstība ir saistīta ar nozīmīgiem izaicinājumiem, īpaši šādiem: enerģijas kopienu ienesīguma novērtēšanu un enerģijas izmaksu samazināšanu ražotājlietotājiem.

Kopsavilkums par enerģijas kopienu progresu un attiecībām tajās ir sniegts<sup>18</sup>. Šajā apskatā iezīmēta pilsoņu lomas nozīme enerģijas kopienu attīstībā un aprakstīti to ieguvumi, kā arī šķēršļi to ieviešanai. Avota <sup>23</sup> autori ir izvērtējuši perspektīvas, kādas būtu saules fotoelektrisko tehnoloģiju integrācijai rūpnieciskajā un dzīvojamā sektorā enerģijas tirgus apstākļos, un secinājuši, ka vislielāko labumu dod fotoelektriskās iekārtas, kas kombinētas ar optimālu slodzes plānošanu.

### **1.3.3. Elektriskais transports**

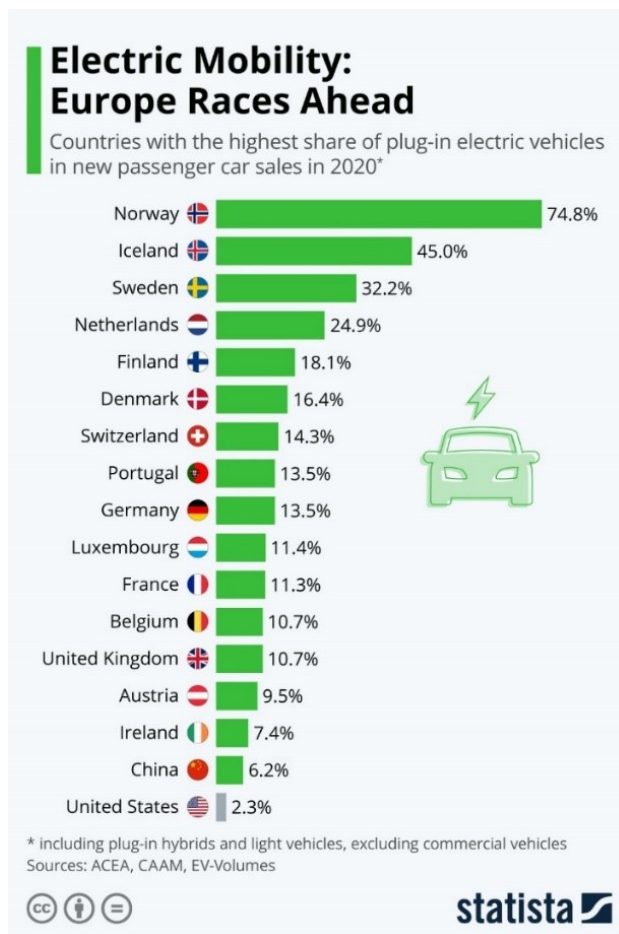
Atjaunīgo energoresursu izmantošana ir nozīmīgs solis CO<sub>2</sub> emisiju ierobežošanas virzienā, kā arī daļēji transporta elektrifikācijas veicināšanas virzienā. Dažādās attīstītajās valstīs elektrisko transportlīdzekļu skaits strauji aug. Saskaņā ar dokumentu „Global EV Outlook 2019”<sup>24</sup> 2018. gadā pasaules elektrisko transportlīdzekļu skaits bija 5,1 milj. Tiek plānots, ka elektrisko transportlīdzekļu skaits sasniegs simt miljonus.

Neraugoties uz grūtajiem apstākļiem un pandēmijas negatīvo ietekmi uz autorūpniecību, elektroauto apjoma ziņā daudzās valstīs 2020. gadā bijuši milzu izrāvieni (1.10. att.)<sup>25</sup>.

---

<sup>23</sup> Petričenko Ļ. et. al. “Assessment of PV Integration in the Industrial and Residential Sector under Energy Market Conditions,” *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, Vol. 58, No. 3, pp. 82.-97, 2021.

<sup>24</sup>Global EV Outlook 2019, May, 2019. Pieejams: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>



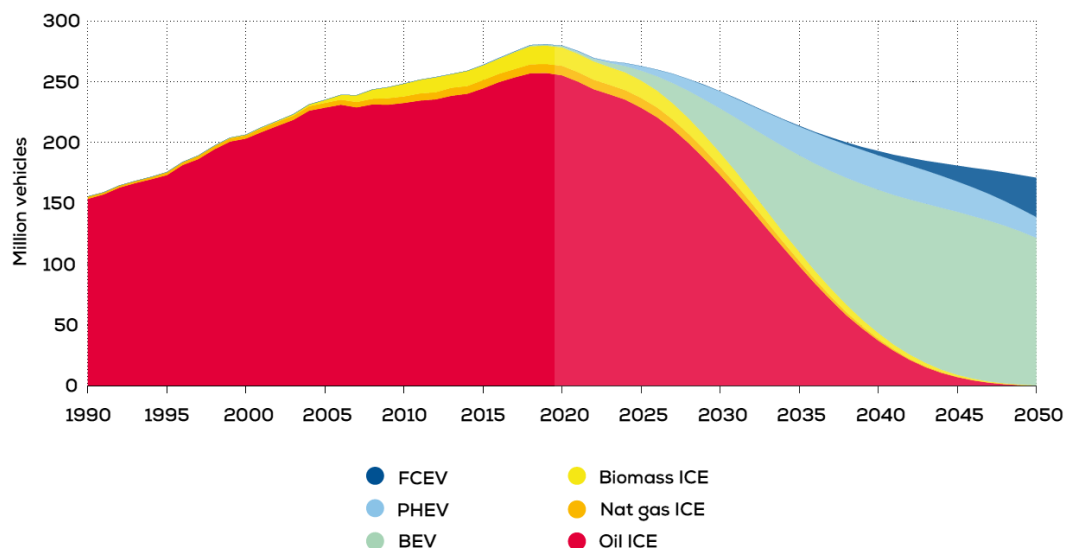
1.10. att. Elektriskā mobilitāte Eiropas Savienībā 2020. gadā<sup>25</sup>

Saskaņā ar pētījumu institūta „Industry Tracker” novērtējumiem<sup>26</sup> no rozetes uzlādējamie elektroautomobiļi pagājušogad veidoja 4,2 % no pasaules vieglo automašīnu pārdošanas apjoma, kas bija kāpums salīdzinājumā ar 2019. gadu, kad šis rādītājs bija 2,5 %. Kamēr 2019. gadā šis procents bija 5 % vai augstāks tikai 8 valstīs, 2020. gadā 13 valstīs tas pārsniedza 10. Tāpat kā agrākos gados, Norvēģija bija pozitīvs izņēmums – tur pārdoto vieglo automašīnu vidū no rozetes uzlādējamie elektroauto veidoja 75 %, bet Islande, Zviedrija un Somija arī atradās pirmajā pieciniekā, kas liecina par elektroauto ātro pieņemšanu Ziemeļvalstīs. Ķīna, kas pārlicinoši ir lielākais elektroauto tirgus attiecībā pārdoto izstrādājumu skaitu, pirmajā desmitniekā neiekļuva – tur pārdoto elektroauto daudzums veidoja 6,2 % no visu pārdoto pasažieru automašīnu skaita. Amerikas Savienotās Valstis atpalika ar rādītāju 2,3 %.

Pasažieru automašīnu skaits no 2020. līdz 2050. gadam samazināsies par 40 % sakarā ar automašīnu/braucīenu kopīgu izmantošanu un automatizāciju. Taču šīs automašīnas tiks izmantotas intensīvāk, tādēļ minētajam faktoram būs tikai neievērojams iespaids uz galīgo enerģijas patēriņu. Lietderības ieguvumi no šo automašīnu elektrifikācijas būs galvenais virzītājfaktors enerģijas pieprasījuma samazinājumam šajā sektorā (1.11. att.).

<sup>25</sup> <https://www.statista.com/chart/17344/electric-vehicle-share/>

<sup>26</sup> <https://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>



1.11. att. Pasažieru automašīnu tipi līdz 2050. gadam<sup>27</sup>

Saskaņā ar DNV<sup>28</sup> ziņām, 20. gadu beigās Eiropas elektroautomobiļi sasniegs 50 % no pasažieru auto tirgus daļas, bet līdz 2031. gadam – 50 %. Pastāv zināma neskaidrība attiecībā uz transportlīdzekļu tipu un degvielu, kādi tiks izmantoti 2050. gadā. Ir arī bažas par to, vai no rozetes uzlādējamie hibrīdauto un degvielas šūnas elektroauto tiešām strauji ieviesīsies attiecīgi pēc 2025. un 2035. gada, kā prognozēts EK ietekmes novērtējumā (sk. 1.11. att.). Līdz 2050. gadam tiks panākts, ka visas pasažieru automašīnas tiks darbinātas ar elektroenerģiju – vai nu tieši, vai netieši (e-degvielas).

Elektriskais transportlīdzeklis kā elektroenerģijas patērētājs darbojas kā enerģijas akumulācijas sistēma (uzglabā enerģiju un pat atdod to energosistēmai)<sup>29,30,31</sup> un arī kā elektriskā slodze. Turklāt elektroauto (tā vadītājs) spēj izvēlēties vietu, kur notiek pieslēgums tīklam, kā arī uzlādes/izlādes procesa grafiku. Šis elektroauto priekšrocības kontekstā ar atjaunīgo un ļoti nepastāvīgo enerģijas avotu pieaugošo izmantošanu piesaista īpašu interesi, jo nodrošina balansu starp patērēto un ģenerēto enerģiju. Turklāt brīvība izvēlēties patēriņa grafiku elektroautomobiļiem piedāvā regulēšanas pakalpojumus un patēriņa elastīgumu, ko var izmantot, lai atrisinātu virkni citu svarīgu uzdevumu<sup>32</sup>, kādi rodas elektriskajam tīklam un sistēmai. Jāievēro, ka elektroauto var izmantot kā akumulācijas un balansēšanas ierīci tikai tad, kad tas atrodas stāvvietā. Taču

<sup>27</sup> DNV for ETIPWind- based on the EU Impact Assessment COVID mix scenario

<sup>28</sup> <https://www.dnv.com>

<sup>29</sup> Liu, Y.; Xu, Q.; Zang, H.; Zeng, P.; Xu, X.; Ding, M. Research on the Evaluation Method of Capacity on Electric-Vehicle Energy Storage System. In Proceedings of the 2014 IEEE International Workshop on Intelligent Energy Systems, San Diego, CA, USA, 5–8 October 2014; doi:10.1109/IWIES.2014.6957052.

<sup>30</sup> Markel, T.; Simpson, A. *Plug-In Hybrid Electric Vehicle Energy Storage System Design*; National Renewable Energy Laboratory (NREL): Golden, CO, USA, 2006; Advanced Automotive Battery Conference, Baltimore, MD, USA, May 17–19, 2006.

<sup>31</sup> Paterakis, N.; Erdinc, O.; Pappi, I.N.; Bakirtzis, G.A.; Catalão, J. Coordinated Operation of a Neighborhood of Smart Households Comprising Electric Vehicles, Energy Storage and Distributed Generation. *IEEE Trans. Smart Grid* 2016, 7, 2736–2747, doi:10.1109/TSG.2015.2512501.

<sup>32</sup> Sundstrom, O.; Binding, C. Optimization Methods to Plan the Charging of Electric Vehicle Fleets. *ACEEE Int. J. Commun.* 2010, 1, 45–50, doi:01.ijcom.2010.02.09.

šis ierobežojums vairumam elektroauto nav kritisks, jo tie vidēji stāvvietā atrodas vairāk nekā 90 % laika<sup>33</sup>.

Elektroauto izplatīšanās nav iespējama bez stāvvietu tīkla izveides ar uzlādes iespējām. Ir svarīgi, ka stāvvietā atrašanās laikā elektroauto var darboties kā slodze vai kā izklīdētās akumulācijas ierīce, lai maksimizētu iegūstamos labumus energosistēmai un auto īpašniekam. Lai vēl vairāk paātrinātu autotransporta elektrifikācijas procesu, ir nepieciešams izmantot jaunās funkcijas, integrēt tās tīklā un uzturēt uzlādes/izlādes racionālu pārvaldību.

Veikts ievērojams skaits pētījumu, lai izvērtētu iespējas un izaicinājumus, kas saistīti ar elektroauto plašu izmantošanu<sup>30</sup>.

Citos pētījumos uzsvērts tas, cik svarīgi ir analizēt elektroauto lietotāju lādēšanas ieradumus, viņu vēlmes, kā arī iespējas novērtēt elektroauto labvēlīgo uzlādes un izlādes laiku lietotājam un tīklam<sup>34,35,36</sup>. Vēl citās publikācijās<sup>37,38,39,40,41,42</sup> analizēta elektroauto koalīciju veidošana no vairākiem spēlētājiem (lēmumu pieņēmējiem).

Dažos projektos apskatīts, kādos veidos elektroautomobiļu baterijas var izmantot enerģijas uzglabāšanai. Auto varētu uzlādēt brīžos, kad pieprasījums (kā arī cenas) ir zemāks, un elektroenerģiju pārdot brīžos, kad pieprasījums (kā arī cenas) ir augstāks. Šī

---

<sup>33</sup> Osório, G.J.; Shafie-khah, M.; Coimbra, P.D.L.; Lotfi, M.; Catalão, J.P.S. Distribution System Operation with Electric Vehicle Charging Schedules and Renewable Energy Resources. *Energies* 2018, *11*, 3117.

<sup>34</sup> Wang, M.; Zeng, P.; Mu, Y.; Liang, W.; Qi, Y. An Efficient Power Plant Model of Electric Vehicles Considering the Travel Behaviors of EV Users. In Proceedings of the 2014 International Conference on Power System Technology, Chengdu, China, 20–22 October 2014; IEEE: Piscataway Township, NJ, USA, doi:10.1109/POWERCON.2014.6993890.

<sup>35</sup> Bessler, S.; Grønbaek, J. Routing EV Users towards an Optimal Charging Plan. *World Electr. Veh. J.* 2012, *5*, 688–695, doi:10.3390/wevj5030688.

<sup>36</sup> Rizopoulos, D.; Esztergár-Kiss, D. A Method for the Optimization of Daily Activity Chains Including Electric Vehicles. *Energies* 2020, *13*, doi:10.3390/en13040906.

<sup>37</sup> Ding, J.; Zhong, W.; Liu, Y.; Xie, S. PHEV Charging and Discharging Cooperation in V2G Networks: A Coalition Game Approach. *IEEE Internet Things J.* 2014, *1*, 578–589, doi:10.1109/JIOT.2014.2363834.

<sup>38</sup> Zhang, R.; Cheng, X.; Yang, L. Flexible Energy Management Protocol for Cooperative EV-to-EV Charging. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2019, *20*, 172–184, doi:10.1109/TITS.2018.2807184.

<sup>39</sup> Zou, F.; Liu, N.; Chen, Q. Multi-Party Energy Management for EV Charging Station Cooperated with PV Systems in Smart Grid. In Proceedings of the 2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies—Asia (ISGT ASIA), Bangkok, Thailand, 4–6 November 2015; pp. 1–6, doi:10.1109/ISGT-Asia.2015.7387001.

<sup>40</sup> Zhigang, W. Research on Profit Distribution Strategy of Electric Vehicles Absorbing Wind Power Based on Cooperative Game. In Proceedings of the 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), Beijing, China, 20–22 October 2018; pp. 1–6, doi:10.1109/EI2.2018.8582604

<sup>41</sup> Shuang, Y.; Min, Y. Study on Cooperative Games in Electric Vehicle Charging Market on Account of Shapley Distribution Model. *Adv. Mater. Res.* 2014, *986–987*, 556–559; Trans Tech Publications Ltd.: Stafa-Zurich, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.986-987.556

<sup>42</sup> Perez-Diaz, A.; Gerding, E.; McGroarty, F. Coordination of Electric Vehicle Aggregators: A Coalitional Approach. In Proceedings of the 17th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, Stockholm, Sweden, 10–15 July 2018; International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems (IFAAMAS), pp. 676–684

konceptija „auto – tīkls” (V2G) jau nelielā mērogā funkcionē ASV, Dānijā un Apvienotajā Karalistē. Alternatīva iespēja lietotājiem ir izmantot automašīnu enerģiju mājokļa enerģijas vajadzībām.

Elektroauto straujā attīstība un izplatība var ievērojami ietekmēt enerģijas piegādes procesu, radīt dažādas problēmas un pavērt jaunas iespējas. Turklāt elektroauto plašā iesaistīšanās energosistēmā stimulē stāvvietu tīkla izveidi<sup>43</sup>.

#### 1.3.4. Bateriju enerģijas uzglabāšanas sistēma

Mūsdienu energosistēma saskaras ar jaunu tehnoloģiju izmantošanu taupīgākai un efektīvākai darbībai. Tādējādi no jauna ir parādīties senais jēdziens – bateriju enerģijas uzglabāšanas sistēmas (ang. valodā – *battery energy storage*, (BESS)), kas gadu gaitā ir izmantots, lai uzlabotu sistēmas darbību. Enerģijas akumulācija sniedz virkni iespēju pārbīdīt slodzi un enerģijas ražošanu laikā, kas palīdz integrēt pārtraukumainas ģenerācijas un slodzes. Slodzes regulēšana ir palīgpakalpojums, ko izmanto, lai nepieļautu īstermiņa atšķirības starp piedāvājumu un pieprasījumu. Plaši tiek apspriests jautājums par enerģijas akumulācijas integrāciju; starp nozīmīgajām un aktuālajām pētījumu tēmām ir analīze par BESS izmantošanu, samazinot balansēšanas un darbības izmaksas energosistēmā, kā arī elektrotīkla drošuma uzturēšana, ņemot vērā, ka uzglabāšanas ierīces pārvalda sistēmu operatori. Vairāki ieguvumi no BESS integrācijas energosistēmā atrodami <sup>44,45</sup>. Tuvākajos gados enerģijas uzglabāšanai tīkla līmenī būs nozīmīga loma enerģētikas nozarē kā svarīgam elementam vietās ar pievienotiem ģenerācijas avotiem un objektiem, kur ir nepieciešams pārraudzīt elektroenerģijas patēriņu saskaņā ar tirgus cenu<sup>46,47,48</sup>.

Pēdējos gados enerģētikas nozarē ir audzis tirgus litija jonu (Li-ion) baterijām. Litija jonu akumulācijas iekārtām ir strauji mazinājušās cenas, tās lieliski uztur lādiņu, tām ir augsts elementa spriegums, tās ļoti labi darbojas zemā temperatūrā, tām ir ilgs darbmužs

---

<sup>43</sup>Osório, G.J.; Shafie-khah, M.; Coimbra, P.D.L.; Lotfi, M.; Catalão, J.P.S. Distribution System Operation with Electric Vehicle Charging Schedules and Renewable Energy Resources. *Energies*, 2018, 11, 3117

<sup>44</sup> O. Vilppo, J. Markkula, P. Jarventausta, S. Repo, T. Hakala, “Cost-benefit analysis for using the Li-ion batteries in Low-Voltage network for decreasing the outage time experienced by customers,” Proc. in the 24th International Conference on Electricity Distribution. Glasgow, paper 1006, pp. 1-5, June 2017.

<sup>45</sup> M. Uddin, M. F. Romlie, M. F. Abdullah, S. A. Halim, A. H. Abu Bakar, T. C. Kwang, “A review on peak load shaving strategies,” in ScienceDirect (Renewable and Sustainable Energy Reviews 82), 2018, pp. 3323–3332

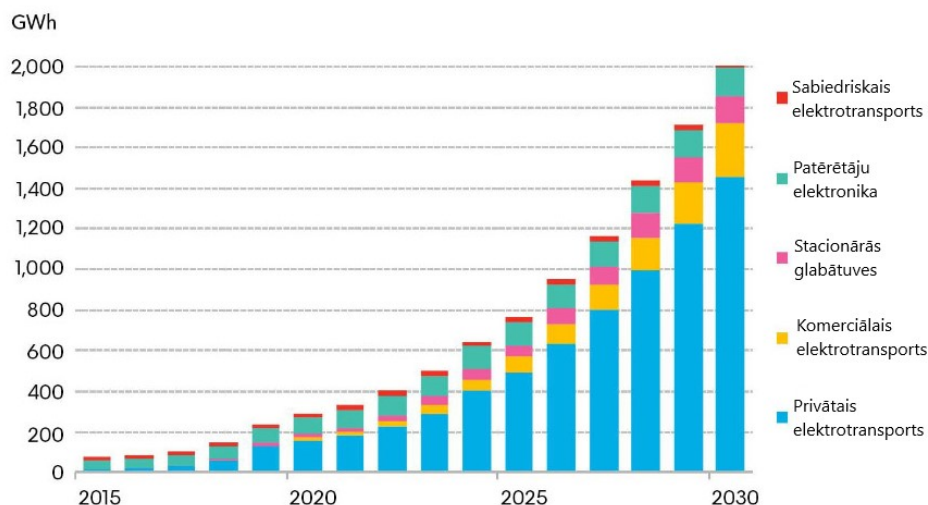
<sup>46</sup> P. Jain, “Energy storage in grids with high penetration of variable generation”, Asian Development Bank, February 2017.

<sup>47</sup> Lazard’s Levelized Cost of Storage – Version 2. Pieejams: <https://www.lazard.com/media/438042/lazard-levelized-cost-of-storage-v20.pdf>

<sup>48</sup> Toshiba, “Toshiba Completes Delivery of World’s largest Lithium-ion Battery Energy Storage System in Operation,” (February 2016) Pieejams: <https://www.mynewsdesk.com/toshiba-global/news/toshiba-completes-delivery-of-world-s-largest-lithium-ion-battery-energy-storage-system-in-operation-152834>

un liels izlādes dziļums <sup>49</sup>. Šajā darbā tiek pētītas izmaksas un ieguvumi saistībā ar litija jonu bateriju izmantošanu sadales tīklā no galalietotāja viedokļa.

Pieprasījums pēc akumulatoriem pasaulē ar katru gadu arvien pieaug, kā to var redzēt pēc grafika 1.12. attēlā <sup>50</sup>.



1.12. att. Litija jonu akumulatoru gada pieprasījums

No grafika 1.12. attēlā ir redzams, ka lielākā daļa no akumulatoriem tiek izmantota privātajā elektrotransportā, un šis daudzums ar laiku tikai palielināsies. Jau tagad lieli akumulatoru ražotāji būtiski palielina savu rūpnīcu ražošanas jaudas, lai tuvākajā nākotnē varētu nodrošināt lielu akumulatoru pieprasījumu.

### 1.3.5. AER Baltijas valstīs

**Lietuva** aktīvi atbalsta decentralizētu enerģijas ražošanu ar savas RL shēmas palīdzību. Šī modeļa ietvaros enerģijas patērētāji kļūst par enerģijas ražotājiem vietējā elektroenerģijas ģenerācijā, ieskaitot saules fotoelektriskās iekārtas un vēja enerģētiskās iekārtas, pateicoties dažādu atbalsta shēmu kombinācijai, to skaitā tiešu subsīdiju; neto mērījumiem un virtuālajām elektrostacijām.

Lietuva plānoja, ka līdz 2020. gadam par RL būs kļuvuši 2 % no elektroenerģijas patērētāju kopskaita (1,6 miljoni), 30 % līdz 2030. gadam un 50 % līdz 2050. gadam. 2020. gada beigās Lietuvā bija 8 473 RL ar uzstādīto jaudu 80,5 MW, kas ir ievērojams pieaugums kopš 2015. gada, kad bija 63 RL ar kopējo jaudu 0,5 MW<sup>51</sup>. Plānots, ka līdz 2024. gadam uzstādītā jauda būs 696 MW, kas tiks sasniegts saskaņā ar RL shēmu mazmēroga atjaunīgās enerģijas objektos. Lietuvas RL modelī tiek integrētas virtuālās elektrostacijas, kas veicinās pieprasījuma puses un piedāvājuma puses sistēmas

<sup>49</sup> S. Sabihuddin, A. Kiprakis, and M. Mueller, "A Numerical and Graphical Review of Energy Storage Technologies," *Energies*, vol. 8, no. 1, pp. 172–216, Dec. 2014.

<sup>50</sup> *World Battery Production*. The Energy Collective Group, 2020. Pieejams: <https://energycentral.com/c/ec/world-battery-production>

<sup>51</sup> INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Lithuania 2021. Energy\_Policy\_Review 2021. Pieejams: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/4d014034-0f94-409d-bb8f-193e17a81d77/Lithuania\\_2021\\_Energy\\_Policy\\_Review.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/4d014034-0f94-409d-bb8f-193e17a81d77/Lithuania_2021_Energy_Policy_Review.pdf)



pakalpojumu. Ir iespējams uzbūvēt fotoelektriskās stacijas vienā valsts daļā un patērēt to saražoto enerģiju citā; maksa tiks prasīta tikai par elektroenerģijas pārvadi. Privātpersonas var pirkt vai nomāt daļu no liela fotoelektriskās ģenerācijas objekta (piemēram, ar 1 000 kW jaudu), tādējādi dodot daudzdzīvokļu mājām iespēju izmantot saules enerģiju.

**Igaunijā** no 2007. līdz 2017. gadam vēja iekārtu jauda pieauga no 50 MW līdz 312 MW, vēja ģenerācijai pieaugot no tikai 0,7 % līdz 5,6 % no kopējā elektroenerģijas ģenerācijas apjoma.

Bioenerģijas loma elektroenerģijas ražošanā no atjaunīgajiem resursiem no 2008. gada līdz 2018. gadam nozīmīgi mainījās. 2008. gadā bioenerģija veidoja tikai 18 % no visas atjaunīgo resursu elektroenerģijas. 2018. gadā ģenerācija no bioenerģijas bija 1,3 teravatstundas (TWh), kas atbilda 66 % no visas atjaunīgo avotu elektroenerģijas<sup>52</sup>.

Igaunija izmanto AER atbalstu: stacijas saņem piemaksu, kuras apmērs ir 0,0537 €/kWh un kura tiek maksāta papildus iepriekšējā mēneša vidējai elektroenerģijas tirgus cenai. Piemaksa tiek samazināta, ja vidējā cena pieaug virs 0,0393 €/kWh, un kļūst vienāda ar 0, ja vidējā cena ir virs 0,093 €/kWh. Slīdošā prēmija tiek garantēta 12 gadiem, ja projektā tiek ģenerēts norunātais atjaunīgās elektroenerģijas daudzums. Igaunijā salīdzinoši plaši tiek izmantota elektriskā apkure – 4,6 % apkures veido siltumsūkņi, kas izmanto atjaunīgo enerģiju.

**Latvija** aizņem ļoti augstu vietu starp Eiropas valstīm AER izmantošanā – tā ir 3. vietā Eiropas Savienībā atjaunīgo resursu enerģijas izmantošanā<sup>53</sup>. 2020. gadā Latvijā tika saražots 5 725 GWh elektroenerģijas, no kā 3 650 GWh bija ražots no atjaunīgajiem avotiem; salīdzinājumā ar 2019. gadu no AER saražotais enerģijas apjoms pieauga par 14,3 % (absolūtos skaitļos – par 457 GWh). Pagājušajā gadā primārā elektroenerģijas ražošana hidroelektrostacijās ievērojami pieauga, sasniedzot 2 603 GWh, kas ir par 23,5 % jeb 495 GWh vairāk nekā 2019. gadā. 2020. gadā vēja elektrostacijās tika saražots 177 GWh, kas ir par 14,9 % jeb 23 GWh vairāk elektroenerģijas nekā iepriekšējā gadā, savukārt saules elektrostacijās – 5 GWh elektroenerģijas, kas ir par 66,7 % (2 GWh) vairāk nekā iepriekšējā gadā. Pagājušajā gadā koģenerācijas stacijas saražoja 2 940 GWh elektroenerģijas, no kā 29,4 % no AER (biogāzes un biomasas koģenerācijas stacijas), kas bija par 7,2 procentpunktiem vairāk nekā 2019. gadā. 2020. gadā salīdzinājumā ar iepriekšējo gadu biomasas elektrostacijās un koģenerācijas stacijās saražotās elektroenerģijas daudzums samazinājās no 575 GWh līdz 520 GWh (par 9,6 %), bet biogāzes koģenerācijas stacijās – no 353 GWh līdz 345 GWh (par 2,3 %).

Vienlaikus var atzīmēt, ka saules un vēja enerģijas izmantošanā Latvija stipri atpaliek no kaimiņvalstīm. Augstā vieta reitingā sasniegta, pirmkārt pateicoties Daugavas hidroelektrostacijām.

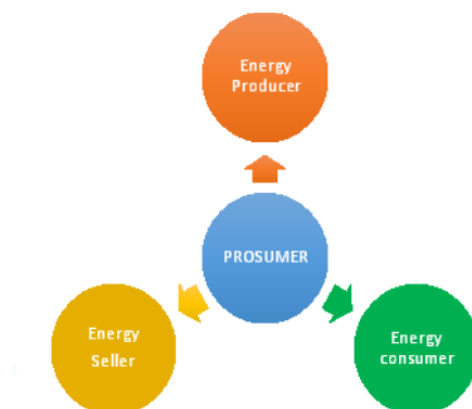
---

<sup>52</sup> [https://webstore.iea.org/download/direct/2869?fileName=Estonia\\_2019\\_Review.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2869?fileName=Estonia_2019_Review.pdf)

<sup>53</sup> Latvijas sabiedriskie mēdiji. Latvia third in EU for renewable energy use. Pieejams: <https://eng.lsm.lv/article/society/environment/latvia-third-in-eu-for-renewable-energy-use.a420046/>

## 1.4. Ražotājlietotāji

Plašā atjaunīgo enerģijas avotu izmantošana pārveido enerģijas ražošanas tīklu no klasiskās shēmas „no ražotāja uz patērētāju” uz jauniem darbības modeļiem, kur mazs patērētājs ar vietējām atjaunīgās enerģijas sistēmām kļūst ražotājs-ražotājlietotājs, aktīvs enerģijas patērētājs, kas vienlaikus ir arī enerģijas ražotājs (1.13. att.).



1.13. att.. RL lomas

RL – personu, kas ražo un patērē pašas savu enerģiju no atjaunīgajiem resursiem, – skaita pieaugums rada izaicinājumus pastāvošajām enerģijas tirgus struktūrām un institūcijām. Ir ES iniciatīva, kas palīdz nostādīt RL un pilsoņus Eiropas enerģētiskās pārejas centrā<sup>54</sup>.

Pastāv dažādu veidu RL: ir dzīvojamā sektora RL, kas ražo elektroenerģiju mājās – galvenokārt tiek izmantoti uz jumta uzstādāmi saules fotoelektriskie paneļi –, pilsoņu vadīti enerģijas kooperatīvi vai mājokļu asociācijas, komerciāli RL, kuru galvenais darbības virziens nav saistīts ar elektroenerģijas ražošanu, un publiskas institūcijas, tādas kā skolas vai slimnīcas.

Taču pašražošana ne vienmēr tiek uzskatīta par RL definējošu iezīmi. Plašākā nozīmē te domāti visi patērētāji, kuri ne tikai pasīvi patērē enerģiju, bet arī aktīvi piedalās tirgū, tādējādi sniedzot labumu sev vai citiem enerģijas tirgus spēlētājiem. RL var, piemēram, „ražot” enerģijas ietaupījumus – tas notiek ar energoefektivitātes pasākumiem un pieprasījuma reakciju (t.i., enerģijas pieprasījuma pārvietošanu uz laiku, kad piedāvājums ir lielāks). Šādam samazinātam patēriņam ir vērtība tirgū, cita starpā tas palīdz balansēt energosistēmu, par ko RL varētu saņemt kompensāciju. RL varētu arī pārdot elektroenerģijas pārpalikumu no sava akumulētās enerģijas apjoma<sup>55</sup>. RL darbības ienesīgums ir daļēji atkarīgs no tā saražotās enerģijas procenta, ko RL var patērēt paši, jo tas tiešā veidā ietekmē to maksājamos rēķinus.

<sup>54</sup> <https://cordis.europa.eu/article/id/422397-empowering-ordinary-citizens-to-play-a-key-role-in-europe-s-transition-to-clean-energy>

<sup>55</sup>

[https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewji2MnX--nzAhW7CRAIHQ8ADEMQFnoECACQAw&url=https%3A%2F%2Fwww.€oparl.€opa.eu%2FRegD%2Fata%2Fetudes%2FBRIE%2F2016%2F593518%2FEPRS\\_BRI\(2016\)593518\\_EN.pdf&usq=AOvVaw3ltpE4v9Usp-uyi0MyfuGV](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewji2MnX--nzAhW7CRAIHQ8ADEMQFnoECACQAw&url=https%3A%2F%2Fwww.€oparl.€opa.eu%2FRegD%2Fata%2Fetudes%2FBRIE%2F2016%2F593518%2FEPRS_BRI(2016)593518_EN.pdf&usq=AOvVaw3ltpE4v9Usp-uyi0MyfuGV)

RL aktīvi ietekmē enerģijas sadales sistēmu darbību, patērējot un uzglabājot enerģiju un daloties tajā ar citiem energosistēmas lietotājiem<sup>56</sup>. RL uzvedība ir izšķiroši svarīga viedā tīkla ilgtermiņa efektivitātei, ilgtspējai un elastībai. Ar pienācīgu pārvaldību RL var sniegt ievērojamus labumus enerģijas sadales sistēmām, samazinot pīķa slodzi<sup>57</sup>, pazeminot investīciju un darbības izmaksas<sup>58</sup>, kā arī uzlabojot energosistēmu drošumu. Tādējādi ir pieaugusi uzmanība, kas tiek veltīta RL pārvaldībai, un vairākas pētnieku grupas ir koncentrējušās uz ar to saistītiem jautājumiem.

Kā vieni no galapatērētājiem ir mājsaimniecības, kurām vairākās ES valstīs piemēro NETO vai citu atbalsta sistēmu ar mērķi paaugstināt AER tehnoloģiju lietošanu Eiropas Savienībā. Piemērota AER izmantošana mājsaimniecībā sniedz ilglaicīgu ekonomisko ieguvumu, paaugstinot mājsaimniecību konkurētspēju, samazinot CO<sub>2</sub> izmešu apjomu, paaugstinot AER izmantošanas īpatsvaru valstī, veicinot investīciju piesaisti.

Visbiežāk izmantotā AER tehnoloģija mājsaimniecībās ir saules stacijas, kas vienlaicīgi ļauj samazināt maksu par elektroenerģiju un paaugstināt AER tehnoloģiju izmantošanas īpatsvaru.

#### 1.4.1. RL atbalsta shēmas

RL skaita pieaugumu iespējams nodrošināt tikai ar nosacījumu, ka investīcijas ģenerācijā atmaksājas pieņemamā laika periodā. Atmaksāšanās periods atkarīgs no virknes faktoru un no specifiskajiem lietošanas nosacījumiem<sup>59</sup>. Vissvarīgāko ietekmējošo faktoru skaitā ir nepieciešamo investīciju apjoms, enerģijas pārdošanas un pirkšanas nosacījumi, pieejamība, kā arī atbalsta apjoms zaļajai enerģijai<sup>60</sup>. Atbalsta shēmu izvēlas valsts iestādes, un tā ir balstīta uz katras valsts ekonomiskajām iespējām<sup>61</sup>.

Dažādās valstīs tiek izmantotas atšķirīgas shēmas ražotājlietotāju atbalstam. Visbiežāk izmantotās shēmas ir garantētais tarifs (angļu val. – *feed-in tariff*), investīciju atbalsta mehānismi un neto mērījumu sistēma (NMS)<sup>62</sup>. Garantētā tarifa shēma dod ražotājlietotājam cenu ar uzcenojumu un uzliek sistēmu operatoriem pienākumu iegādāties ģenerēto elektroenerģiju<sup>54</sup>. Garantētā tarifa un investīciju atbalsta shēmu

---

<sup>56</sup> Lazdiņš R., Mutule A., Žalostība D. "PV energy communities – challenges and barriers from a consumer perspective: A literature review," *Energies*, Vol. 14, No. 16, pp. 1-20, 2021.

<sup>57</sup> C. Zhang, J. Wu, Y. Zhou, M. Cheng, and C. Long, "Peer-to-Peer energy trading in a Microgrid," *Appl. Energy*, 2018.

<sup>58</sup> E. González-Romera et al., "Advantages of minimizing energy exchange instead of energy cost in prosumer microgrids," *Energies*, 2019.

<sup>59</sup> Elektroenerģijas cenu statistika. Pieejams: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_price\\_statistics#Electricity\\_prices\\_for\\_household\\_consumers](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics#Electricity_prices_for_household_consumers)

<sup>60</sup> Popovic, I.; Radovanovic, I. Methodology for detection of photovoltaic systems underperformance operation based on the correlation of irradiance estimates of neighboring systems *J. Renew. Sustain. Energy* 2018, 10, Article number 053701, doi:[10.1063/1.5042579](https://doi.org/10.1063/1.5042579)

<sup>61</sup> Dusonchet, L.; Telaretti, E. Comparative economic analysis of support policies for solar PV in the most representative EU countries. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, 42, 986–998, doi:[10.1016/j.rser.2014.10.054](https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.054)

<sup>62</sup> La Monaca, S.; Ryan, L. Solar PV where the sun doesn't shine: Estimating the economic impacts of support schemes for residential PV with detailed net demand profiling. *Energy Policy* 2017, 108, 731–741. doi:[10.1016/j.enpol.2017.05.052](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.05.052).

pielietošana ir palīdzējusi izplatīties lielam skaitam AER. Pārskats par garantētā tarifa atbalsta shēmām sniegts avotos <sup>63,64,65,66,67</sup>. Garantētais tarifs un investīciju atbalsts var nodrošināt strauju atjaunīgās enerģijas izplatību, bet galu galā to rezultātā palielinās galalietotāju rēķini<sup>68</sup>. Neto mērījumu sistēma ir elektroenerģijas politika, kas ļauj enerģijas ražotājlietotājiem sabalansēt savu elektroenerģijas patēriņu ar pašu saražoto elektroenerģiju. Enerģijas ražošanas un patēriņa grafiku mainīgums un nepastāvīgums noved pie nepieciešamības pēc enerģijas apmaiņas starp patērētāju un elektrisko tīklu<sup>69,70,71</sup>. NMS sistēma iedibina noteikumus enerģijas apmaiņai starp elektrisko tīklu un patērētāju, kā arī maksājumu veidošanās procesam par enerģijas lietošanu<sup>72</sup>. Kopīga iezīme dažādām sistēmām ir tāda, ka katra no tām nodrošina iespēju piegādāt enerģiju no patērētāja sistēmai tādos brīžos, kad ģenerācijas apjoms pārsniedz patēriņu, kā arī saņemt to atpakaļ pretējā gadījumā. NMS izmantotās metodes tiek atšķirtas, balstoties uz veidu, kādā tiek maksāts par nodoto vai saņemto enerģiju rēķinu veidošanās procesā. Eiropas valstīs tiek izmantotas 2 galvenās NMS variantu grupas <sup>65</sup>. Pirmā grupa balstās uz to, ka tiek ņemta vērā enerģijas apmaiņa starp elektrotīklu un ražotājlietotāju (neto uzskaites sistēma (NAS)). NAS neņem vērā ražošanas/patēriņa laiku, ne arī saražotās vai patērētās enerģijas tirgus vērtību. NAS<sup>58</sup>, kas šobrīd pastāv daudzās valstīs, neņem vērā

---

<sup>63</sup> EK "Solar energy policy in the EU and the Member States, from the perspective of the petitions received". Pieejams:

[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/556968/IPOL\\_STU\(2016\)556968\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/556968/IPOL_STU(2016)556968_EN.pdf)

<sup>64</sup> Zemite, L.; Kutjuns, A.; Bode, I.; Kunickis, M.; Zeltins, N. Consistency Analysis and Data Consultation of Gas System of Gas-Electricity Network of Latvia, *Latv. J. Phys. Tech. Sci.* 2018, 55, 22-34, doi:[10.2478/lpts-2018-0003](https://doi.org/10.2478/lpts-2018-0003)

<sup>65</sup> Dufo-López, R.; Bernal-Agustín, J.L. A comparative assessment of net metering and net billing policies. Study cases for Spain. *Energy* 2015, 84, 684–694, doi:10.1016/j.energy.2015.03.031.

<sup>66</sup> Pyrgou, A.; Kylili, A.; Fokaides, P.A. The future of the feed-in tariff (FiT) scheme in Europe: the case of photovoltaics. *Energy Policy* 2016, 95, 94–102, doi:10.1016/j.enpol.2016.04.048

<sup>67</sup> Mina Mesbahi, Solarplaza, Overview of European PV capacity running out of feed-in tariffs & alternative revenue streams. Pieejams: <https://www.solarplaza.com/channels/asset-management/11738/overview-european-pv-capacity-running-out-feed-tariffs-alternative-revenue-streams/>

<sup>68</sup> Yamamoto, Y. Pricing electricity from residential photovoltaic systems: a comparison of feed-in tariffs, net metering, and net purchase and sale. *Sol. Energy* 2012, 86, 2678–2685, doi:10.1016/j.solener.2012.06.001

<sup>69</sup> Jacobs, D.; Sovacool, B.K. Feed-In Tariffs and Other Support Mechanisms for Solar PV Promotion *Compr. Renew. Energy* 2012, 1, 73–109. doi:[10.1016/B978-0-08-087872-0.00104-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00104-9).

<sup>70</sup> Campoccia, A.; Dusonchet, L.; Telaretti, E.; Zizzo, G. Comparative analysis of different supporting measures for the production of electrical energy by solar pv and wind systems: four representative European cases. *Sol. Energy* 2009, 83, 287–297, doi:10.1016/j.solener.2008.08.001

<sup>71</sup> Poullikkas, A.; Kourtis, G.; Hadjipaschalis, J. A review of net metering mechanism for electricity renewable energy sources, *Int. J. Energy Environ.* 2013, 4, 975–1001

<sup>72</sup> European Commission Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (2009). Pieejams: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:en:PDF>

nodotās un saņemtās enerģijas cenas<sup>73</sup>. Enerģijas pārpalikums tiek mērīts enerģijas vienībās (kWh), un, kad saražotās elektroenerģijas apjoms pārsniedz patēriņu, tas tiek nodots tīklā; pretējā gadījumā to var saņemt atpakaļ no tīkla. Otrajā grupā tiek ņemts vērā ne tikai enerģijas daudzums, bet arī tās cena<sup>61</sup> (neto norēķinu sistēma (NBS)). Šajā gadījumā būtu jāizmanto jauna, sarežģītāka maksājumu shēma. Tas balstās uz enerģijas mainīgās cenas traktējumu atkarībā no elektroenerģijas faktiskās vairumtirdzniecības cenas. Enerģijas cena veido pamatu savstarpējiem norēķiniem starp elektrisko tīklu un ražotājiem<sup>64</sup>. Tīkla parāda NBS gadījumā tiek ņemta vērā nodotās un saņemtās enerģijas tirgus cena<sup>64,58</sup>. Tīkla parāds tiek izteikts naudas izteiksmē.

Šajā nodevumā uzmanība ir pievērsta Latvijas NETO sistēmai.

## 1.5. Sadales tīkla stāvoklis

Galvenie sadales tīkla radītāji doti 1.1, 1.2. un 1.3. tabulā<sup>74</sup>.

1.1. tabula. Sistēmas raksturojums. Galvenie darbības rādītāji

Darbības rādītāji		2020	2019	2018	2017	2016
Sistēmas lietotāju skaits	tūkst.	800	805	811	819	828
Pieslēgumu skaits	tūkst.	1 106	1 107	1 106	1 110	1 117
Lietotāju pieprasītā jauda	MVA	11053	11 055	11 057	11 299	11 326
Sadalītā elektroenerģija	GWh	6 286	6 532	6 600	6 463	6 465
Elektroenerģija sadales sistēmas vajadzībām	GWh	277	293*	327	337	334
Elektroenerģijas zudumi	%	3.99	4.05	4.4	4.6	4.6

Var redzēt, ka 2020. gadā bija vērojams neliels (mazāk par 4 %) sadalītās elektroenerģijas samazinājums, kas daļēji saistīts ar COVID-19 pandēmiju.

1.2. tabula. Elektroenerģijas sadales sistēmas infrastruktūra

Rādītājs		2020	2019	2018	2017	2016
Pārvades sistēmas pieslēgumu skaits (110 kV apakšstacijas)	gb.	132	132	132	131	131
Sadales transformatori	gb.	31 333	30 437	30 316	29 967	29 899
Uzstādītā sadales transformatoru jauda	MVA	6 118	5 922	5 930	5 913	5 892
Sadales transformatoru apakšstacijas (TP)	gb.	28 127	27 854	27 405	27 085	26 916
EPL balsti kopā	tūkst.gb.	1 112	1 130	1 158	1 190	1 220
VS līnijas kopā	km	35 513	35 579	35 541	35 550	35 468
ZS līnijas kopā	km	57 144	57 379	57 634	58 010	58 345
Elektrolīniju kopgarums	km	92 657	92 958	93 175	93 560	93 813
Izolēts tīkls	%	59%	56%	54%	51%	48%
Viedie skaitītāji	tūkst.gb.	867	706	544	391	270

<sup>73</sup> Jasevics, A.; Zemite, L.; Kunickis, M. Demand load control with smart meters. In Proceedings of the 58th Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga, Latvia, 12–13 October 2017, doi:[10.1109/RTUCON.2017.8124757](https://doi.org/10.1109/RTUCON.2017.8124757)

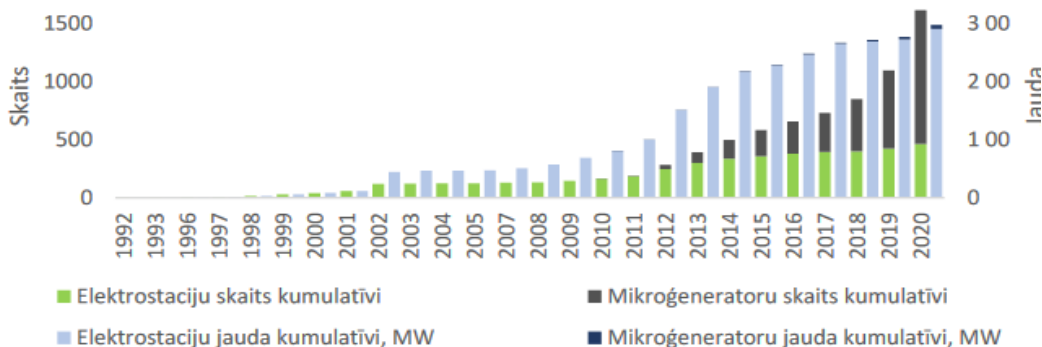
<sup>74</sup> AS "SADALES TĪKLS", Elektroenerģijas sadales sistēmas, attīstības plāns 2022-2031, Pieejams: [https://www.sprk.gov.lv/sites/default/files/tarifu\\_projektu\\_kopsavilkums/Atts%C4%ABst%C4%ABbas%20pl%C4%81ns\\_SPRK\\_gala.pdf](https://www.sprk.gov.lv/sites/default/files/tarifu_projektu_kopsavilkums/Atts%C4%ABst%C4%ABbas%20pl%C4%81ns_SPRK_gala.pdf)

AS „Sadales tīkls” īsteno plānveidīgu elektroenerģijas uzskaites iekārtu parka nomaiņu, un viedo elektroenerģijas skaitītāju ieviešanu plānots pabeigt 2022. gadā.

1.3. tabula. Pieslēgumu pieteikumu skaits

		2020	2016	Izmaiņa
<b>Reģistrēti pieteikumi</b>	jauns	27 557	15 131	82%
	esošs	8 094	8 087	0%
	ģenerācija	758	150	405%
	kopā	36 409	23 368	56%
<b>Izbūvēti pieteikumi</b>	jauns	10 445	5 482	91%
	esošs	4 334	3 792	14%
	ģenerācija	581	80	626%
	kopā	15 360	9 354	64%

Vērojams straujš mikroģeneratoru (MĢ) pieslēgumu pie tīkla skaita pieaugums. Lēna izaugsme ir vērojama lielākas jaudas elektrostaciju pieslēgumiem (1.14. att.).



1.14. att. MĢ pieslēgumu skaits

Kapitālieguldījumu projektos galvenais uzsvars likts uz ieguldījumu efektivitāti, optimālā tehniskā risinājuma izvēli, elektrotīkla tehnoloģisko attīstību, viedizāciju, inovācijām un klientu prasībām. Attīstības plāna periodā no 2022. līdz 2031. gadam kapitālieguldījumu apjoms sadales sistēmas aktīvos sasniedz 745 milj. €, vidēji gadā veidojot 75 milj. €. Elektrotīkla pārbūvē un atjaunošanā plānots ieguldīt 78% no kopējiem ieguldījumiem jeb vidēji 58 milj. € gadā.

## 1.6. Nodaļas secinājumi

Pieaugošais enerģijas patēriņš un klimata izmaiņas ir virzītājspēki, kas veicina atjaunīgo energoresursu plašāku izmantošanu. Atjaunīgo energoresursu izmantošana ļaus ražot elektroenerģiju, ievērojami samazinot siltumnīcefekta gāzu emisiju. Saules un vēja enerģija, kā arī bioenerģija ir kļuvušas par pasaules energosistēmu neatņemamu sastāvdaļu. Progresējot tehnoloģijām, samazinoties izmaksām un parādoties jauniem atbalsta politikas mehānismiem, paātrināti ir pieaugusi saules atjaunīgo resursu izmantošana. Saules fotoelektriskās sistēmas, akumulatori un uzlādes stacijas elektriskajiem automobiļiem, kā arī elektriskās apkures sistēmas kļūst par izplatītākiem elementiem sadales tīklos.

## 2. Metodoloģija un modeļi

### 2.1. RL ietekmes uz tīklu modelēšanas mērķi un uzdevumi

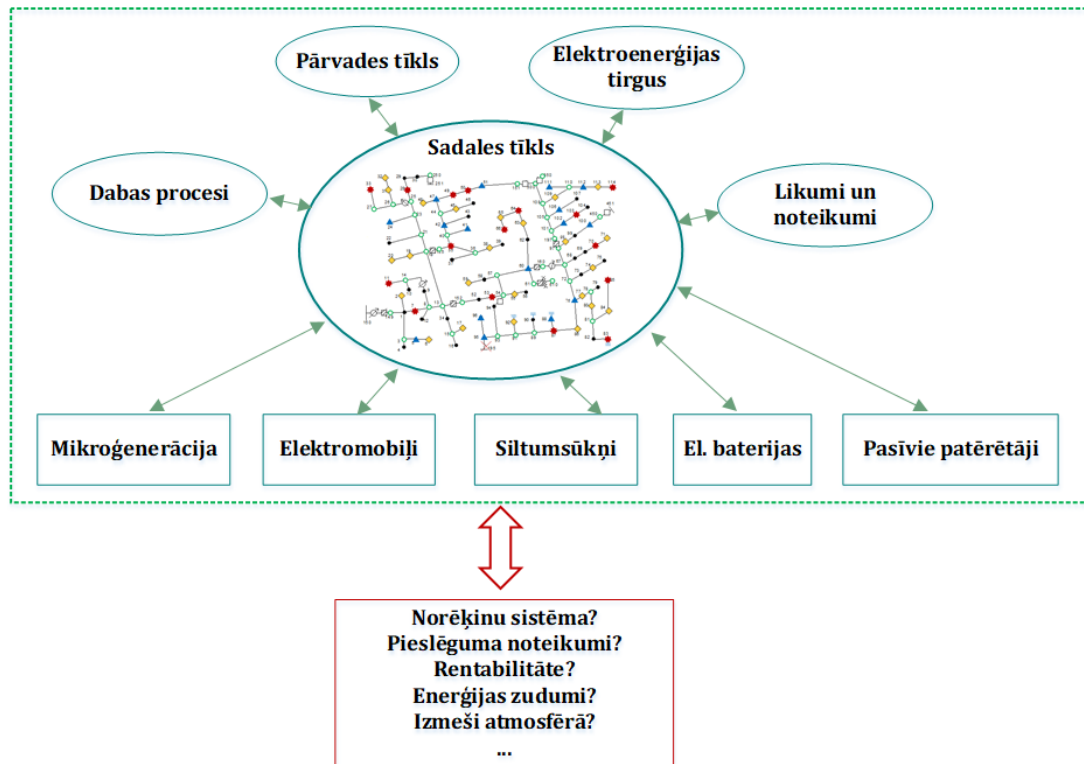
Jebkurš atsevišķs RL un to kopa ietekmē tīkla, pie kura tas ir pieslēgts, darbību. Jauna pieslēgšana maina jaudu plūsmas, palielina vai samazina enerģijas un sprieguma zudumus, iespējams, rada vai samazina pārslodzes. Daudzu RL kopdarbība ietekmē arī lielo ražotāju noslodzi un tādējādi visas energosistēmas darbību. Pieslēdzoties pie sadales tīkla vienam vai daudziem RL, ir jāatrisina vairāki svarīgi uzdevumi:

1. Jāizvēlas tehnoloģijas un to parametri.
2. Jāpārbauda iespējamā pieslēguma atbilstība esošajai likumdošanai.
3. Jāizvēlas pieslēguma vieta un shēma.
4. Jānovērtē nepieciešamie kapitālieguldījumi.
5. Jānovērtē ieguldījumu rentabilitāte.
6. Jāpārbauda enerģijas zudumi tīklā.
7. Jāpārbauda atbilstība pieļaujamām sprieguma svārstībām.

Minētie uzdevumi tiek risināti, ievērojot esošos spēkā valdības normatīvos aktus, kuri nosaka pieslēgšanas noteikumus un ierobežojumus, tostarp ar sadales tīkla ekspluatāciju saistītos. Minēto uzdevumu atrisināšanu ietekmē valdības normatīvie akti, sadales tīkla noteikumi un RL lēmumi. Tādējādi var apgalvot, ka pieslēgums vai pieslēgumi un elektriskā tīkla struktūra veidojas dažu lēmēju darbības rezultātā. Turklāt šo lēmēju intereses var nesakrist. Dabīgi ir pieļaut, ka katrs no lēmējiem cenšas atrisināt energosistēmas un tīkla uzdevumu pēc iespējas labāk. Lai to izdarītu, vēlams formulēt un atrisināt tīkla darbības optimizācijas uzdevumu, kura pamatu veido tīkla un RL darbības modelēšana. Modelis iekļauj virkni apakšmodeļu, kuri veic:

1. Ietekmējošo procesu prognozēšanu.
2. RL darbības (ģenerācijas vai patēriņa) modelēšanu.
3. Tīkla modelēšanu (strāvu, spriegumu, jaudu, zudumu aprēķini).
4. Mērķa funkciju aplēsi.
5. Mērķa funkciju minimizēšanu vai maksimizēšanu.
6. Ekonomisko indikatoru aplēsi.

Apvienojot nosauktos apakšmodeļus (sk. 2.1. att.), tiek sasniegta iespēja meklēt optimālos energoapgādes variantus, novērtēt noteikumu iespaidu uz lietotājiem un tīkliem.

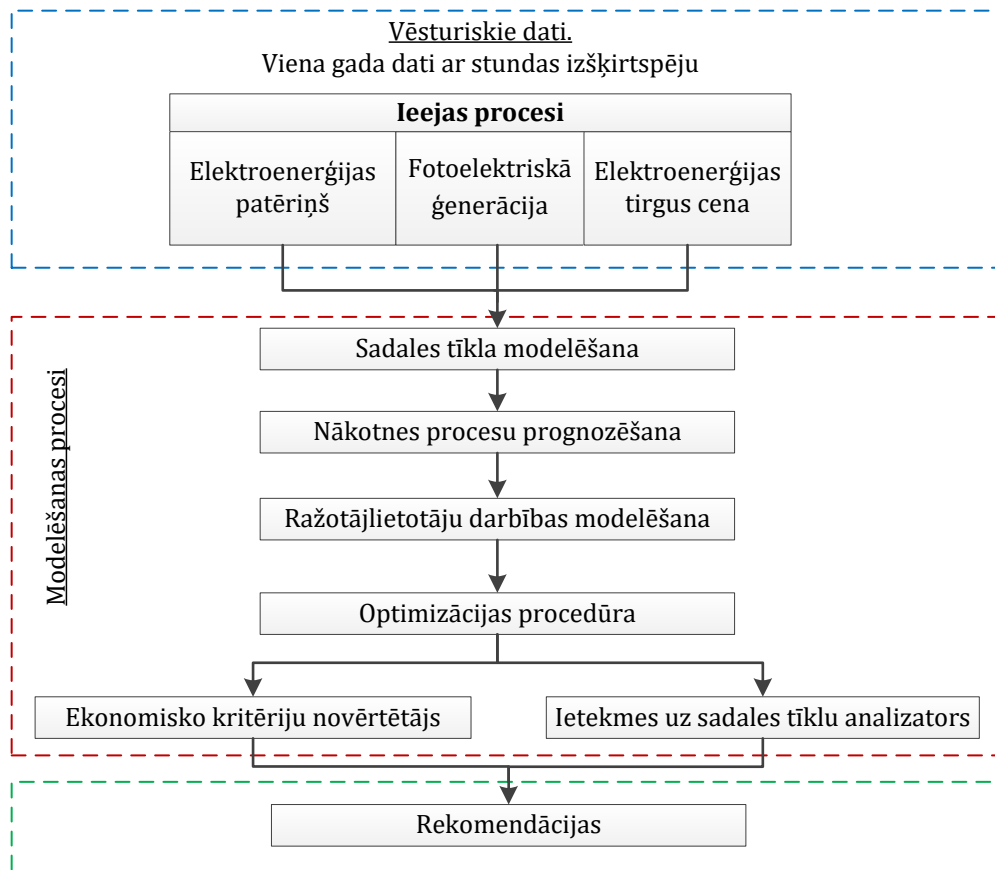


2.1. att. Sadales tīkla vispārīgā modeļa struktūra

Sadales tīkls un tā lietotāji ir pieslēgti augstsprieguma pārvades tīklam, ir spiesti pirkt un, iespējams, pārdot enerģiju par tirgus cenām, ir ietekmēti ar valdības lēmumiem, kuri nosaka galalietotāja enerģijas cenas, un dabas procesiem. Savukārt sadales tīkls apkalpo daudzus un dažādus RL, kuru sastāvs var mainīties gadu gaitā. Sadales tīkla attīstības problēma ietver sevī daudzveidīgus uzdevumus, kas saistīti ar nepieciešamību veikt ietekmējošo procesu prognozes un uz to pamata nodrošināt racionālu lēmumu pieņemšanu. Lai gan lēmuma pieņemšanas problēmas atrisināšana ir atkarīga no konkrētiem mērķiem, tomēr var izdalīt pamatsoļus, kas raksturīgi daudziem uzdevumiem. 2.2. attēlā dotais lēmuma pieņemšanas algoritms sadalīts trijos pamatblokos: pirmais satur ietekmējošo procesu vēsturisko datu ierakstus, otrs veic nākotnes procesu prognozēšanu, tīkla darbības optimizāciju, sadales tīkla un RL darbības modelēšanu, ekonomisko un tehnisko indikatoru novērtēšanu, trešajā ir dotas rekomendācijas lēmumu pieņemējiem.

Vispirms notiek ieejas procesu datu bāzes formēšana. Tiek vākti vēsturiskie (pagātnes) dati par lietotāju enerģijas patēriņu, gaisa temperatūru apskatāmā tīkla reģionā, vēja ātrumu, Saules radiāciju, elektroenerģijas tirgus cenām. Pēc tam, izmantojot kādu no prognozēšanas procedūrām, notiek nākotnes procesu formēšana. Nākamajā solī notiek novērsto izmaksu aplēšana, ņemot vērā NETO mērījumu sistēmas noteikumus, tarifu politiku un citus rādītājus, kas ir nepieciešami konkrētajam gadījumam. Visbeidzot notiek AER tehnoloģijas uzstādīšanas ekonomisko kritēriju novērtēšana un tā ietekmē uz sadales tīklu.





*2.2. att. Lēmuma pieņemšanas algoritma struktūra*

Apskatāmā algoritma struktūra satur ļoti sarežģītas, darbietilpīgas un zinātniski līdz galam neatrisinātas problēmas un procedūras, kuru īss apskats sniegts zemāk.

## **2.2. Vēsturiskie dati un nākotnes procesu prognozēšana**

Vairumā gadījumu prognozes tiek veiktas, pamatojoties un izmantojot vēsturisko lielumu mērījumus un reģistrācijas datus. Ja dati satur pastāvīgas sakarības, tad tās var atklāt ar statistiskās analīzes vai mākslīgā intelekta paņēmieniem, starp kuriem ir laicrindu izmantošana. Zinot sakarības, var prognozēt nākotni. Lai novērtētu sadales tīkla vai tā elementu darbības rentabilitāti, nepieciešamas šādu visvairāk ietekmējošo procesu ilgtermiņa prognozes:

1. Elektriības cenas.
2. Kurināmā cena.
3. Elektroenerģijas pieprasījums.
4. Siltumenerģijas pieprasījums.
5. Gaisa temperatūra.
7. Saules radiācija.
8. Vēja ātrums.

Minētos procesus var izmantot esošā un plānotā sadales tīkla attīstības vai darbības modelēšanai. Lai novērtētu tā rentabilitāti, nepieciešami procesu ieraksti ar vienas

stundas izšķirtspēju. Ņemot vērā, ka darbība tiek plānota 25 un vairāk gadiem uz priekšu, var apgalvot, ka arī prognozējamo procesu ilgumam jābūt tādā pašam.

Nosaukto procesu ierakstu datu bāze un izvēlēta prognozēšanas metode detalizēti aprakstīta nodevumā, kurš sagatavots un publicēts Valsts pētījumu programmas (VPP) Enerģētika projekta *FutureProof* ietvaros<sup>75</sup>.

### 2.3. Sadales tīkla darbības modelēšana

Sadales tīkla, kurš satur vairākus ģeneratorus, modelēšana rada nepieciešamību risināt relatīvi darbietilpīgu slodzes sadales uzdevumu. Šajā dokumentā ietekme no izklaidētās ģenerācijas integrēšanas sadales tīklā ir parādīta, izmantojot laikrindu analīzi. Tiek ņemta praktiska testa sistēma ar nebalansētu slodzes profilu, un jaudas plūsmu aprēķināšanai un analīzei tiek izvēlēta trīsfāžu strāvas ievades metode, kura ir Ņūtona-Rafsona (NR) metodes modifikācija. Šī ir viena no galvenajām konvencionālajām slodzes plūsmu risināšanas metodēm, kas izmanto strāvas ievadi katrā mezglā ar ortogonālo koordinātu palīdzību, nodrošinot ātrāk iegūstamu risinājumu ar mazāku iterāciju skaitu<sup>76,77</sup>. NR jaudas plūsmu modelis satur vienādojumu sistēmu, kas definē strāvas ievadi no patērētāja dotajā tīklā:

$$\Delta I_{rk} = \frac{P_k^{sp} V_{rk} + Q_k^{sp} V_{mk}}{V_{rk}^2 + V_{mk}^2} - \sum_{i=1}^n (G_{ki} V_{ri} - B_{ki} V_{mi}) = 0, \quad (2.1)$$

$$\Delta I_{mk} = \frac{P_k^{sp} V_{mk} - Q_k^{sp} V_{rk}}{V_{rk}^2 + V_{mk}^2} - \sum_{i=1}^n (G_{ki} V_{mi} - B_{ki} V_{ri}) = 0, \quad (2.2)$$

kur  $\Delta I_{rk}$  ir reālās strāvas ievade kopnē  $k$ ;  $\Delta I_{mk}$  ir reaktīvās strāvas ievade kopnē  $k$ ;  $P_k^{sp}$  ir plānotā reālās strāvas ievade mezglā  $k$ ;  $Q_k^{sp}$  ir plānotā reaktīvās strāvas ievade kopnē  $k$ ;  $G_{ik}$  ir pilnās vadītspējas starp mezgliem  $i$  un  $k$  reālā daļa;  $B_{ik}$  ir pilnās vadītspējas starp mezgliem  $i$  un  $k$  imaginārā daļa;  $V_{rk}$  ir sprieguma mezglā  $k$  reālā komponente;  $V_{mk}$  ir sprieguma mezglā  $k$  imaginārā komponente.

Slodzes plūsmu apvienotās strāvas ievades nesaskaņotības var aprēķināt no:

$$\begin{bmatrix} \Delta V_{rk} \\ \Delta V_{mk} \end{bmatrix} = -J^{-1} \begin{bmatrix} \Delta I_{mk} \\ \Delta I_{rk} \end{bmatrix}, \quad (2.3)$$

<sup>75</sup> VPP Enerģētika, projekts FutureProof. Nodevums D2.1.

<sup>76</sup> P. A. N. Garcia, J. L. R. Pereira, S. Carneiro, V. M. da Costa and N. Martins "Three-phase power flow calculations using the current injection method," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 15, no. 2, pp. 508-514, 2000.

<sup>77</sup> I. Diahovchenko and Z. Viacheslav, "Optimal composition of alternative energy sources to minimize power losses and maximize profits in distribution power network," 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), pp. 247-252, 2020

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\delta \Delta I_{mk}}{\delta V_{rk}} & \frac{\delta I_{mk}}{\delta V_{mk}} \\ \frac{\delta \Delta I_{rk}}{\delta V_{rk}} & \frac{\delta \Delta I_{rk}}{\delta V_{mk}} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Atšķirībā no tradicionālā NR risinātāja, kur tiek aprēķināts spriegums un sprieguma leņķis, mūsu izmantotais risinātājs aprēķina reālo un reaktīvo komponenti. Pēc tam no absolūtajām vērtībām var aprēķināt sprieguma leņķi.

Lai pārbaudītu rezultātu konvergenci, tiek izmantota atpakaļejošā-turpejošā izvērsuma metode (BFS metode, angļu val. – *backward-forward sweep method*). Atpakaļejošais izvērsums sākas ar pieņemtu vai zināmu sprieguma vērtību un aprēķina katra sistēmas patērētāja patērēto strāvu. Strāvas katrā sistēmas mezglā tiek sasummētas, līdz tiek noteikta strāva avotā. Turpejošā izvērsuma laikā tiek noteikti sprieguma kritumi katrā segmentā, izmantojot aprēķinātās strāvas. Balstoties uz jaunajiem spriegumiem, tiek pārrēķināts katras slodzes jaunais strāvas patēriņš, un tiek veikts jauns izvērsums.

Aprakstītās metodes izmantošanas apraksts tiks dots trešajā nodaļā uz konkrētas sadales tīkla shēmas piemēra. Atzīmēsim, ka uzdevumos, kuri nav saistīti ar enerģijas zudumu novērtēšanu, tīkla shēmu var vienkāršot. Piemēru var atrast mūsu publikācijās 78,79.

## 2.3. RL darbības modelēšana

### 2.3.1. Saules staciju darbības modelēšana

Fotoelektriskās ģenerācijas novērtēšanu var veikt ar divām pieejām:

1. Teorētiska pieeja, kur fotoelektriskā ģenerācija tiek modelēta, izmantojot ikstundas Saules radiāciju kā laikā mainīgas parametru sistēmas<sup>80</sup>. Viena no vienkāršotajām metodēm, lai aprēķinātu ik stundu fotoelektriski ģenerēto elektroenerģiju ( $W_{gen,t}$ ), ir:

$$W_{gen,t} = Rad_t \cdot \eta_{PV} \cdot S_{PV} = Rad_t \cdot \eta_{PV} \cdot 6.4 \cdot W_{PV} \quad (2.5)$$

kur  $t$  ir laika solis, parasti 1 stunda;  $S_{PV}$  ir uzstādīto fotoelektrisko tehnoloģiju nominālā platība, m<sup>2</sup>;  $\eta_{PV}$  ir fotoelektrisko iekārtu lietderības koeficients; 6.4 ir platība,

<sup>78</sup> Zima-Bockarjova, M., Sauhats, A., Petričenko, Ļ., Petričenko, R. Charging and Discharging Scheduling for Electrical Vehicles Using a Shapley-Value Approach†. *Energies*, 2020, Vol. 13, No. 5, Article number 1160. ISSN 1996-1073. Pieejams: doi:10.3390/en13051160

<sup>79</sup> Petričenko, Ļ., Broka, Z., Sauhats, A., Bezrukovs, D. Cost-Benefit Analysis of Li-Ion Batteries in a Distribution Network. No: *2018 15th International Conference on the European Energy Market (EEM 2018)*, Polija, Lodz, 27.-29. jūnijs, 2018. Piscataway, NJ: IEEE, 2018, 1.-5.lpp. ISBN 978-1-5386-1489-1. e-ISBN 978-1-5386-1488-4. e-ISSN 2165-4093. Pieejams: doi:10.1109/EEM.2018.8469782

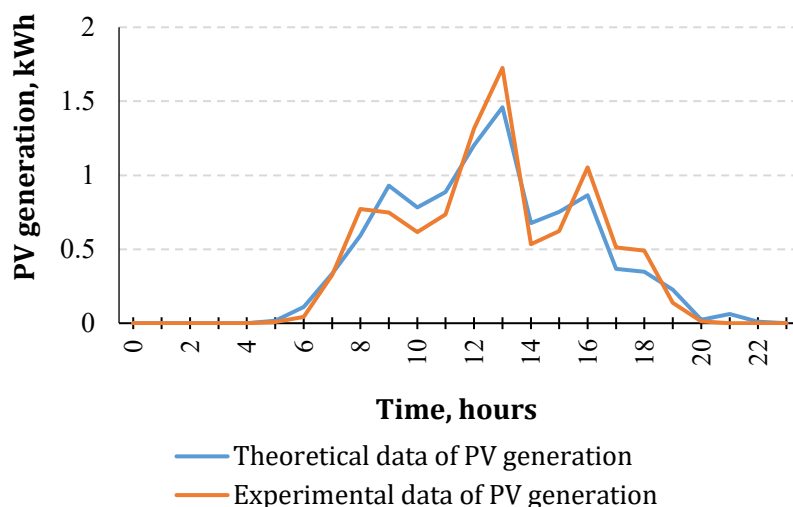
<sup>80</sup> SolarGIS map. Pieejams: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download>

kas atbilst 1 kilovatam uzstādītās jaudas,  $m^2/kW^{81}$ ;  $W_{PV}$  ir fotoelektrisko iekārtu jauda, kW;  $Rad_t$  ir ikstundas Saules radiācija, kWh/m<sup>2</sup>.

Saules radiācija tiek noteikta, ņemot vērā Latvijas ikstundas Saules radiācijas datus, kas saņemti no meteoroloģiskā dienesta<sup>82</sup>.

2. Eksperimentāla pieeja, kur fotoelektriskās enerģijas ģenerācijas apjoms tiek noteikts no vietēji mērītiem datiem. Gadījumos, kad tiek stādīts jaunas stacijas rentabilitātes novērtēšanas uzdevums, var izmantot vienas vai vairāku jau tuvumā esošu staciju ģenerācijas ierakstu datus. Šajā gadījumā ir jāmaina datu mērogs, lai ņemtu vērā jaudas un lietderības koeficientu atšķirību.

2.3. attēlā parādīts abu pieeju salīdzinājums konkrētai stacijai Jelgavā. Maksimālā jauda fotoelektriskajām iekārtām ir 5,88 kW.



2.3. att. Ikstundas fotoelektriskās ģenerācijas datu fragments stacijai Jelgavā (24.06.2018.)

2.3. attēlā novērojam, ka fotoelektriskā ģenerācija pēc teorētiskās pieejas ir līdzīga eksperimentālajiem datiem, ar vidējo kļūdu 20 %. Šī atšķirība saistīta ar vietējām laikapstākļu parādībām (mākoņu aizsegs) vai konkrētās ainavas ietekmi (aizsedzoši koki, ēkas utt.). Daudzi faktori ietekmē precīzu fotoelektriskās ģenerācijas noteikšanu<sup>83</sup>, taču mēs uzskatām statistiskos datus par pietiekami precīziem šim darbam, un dati tiek ņemti no brīvpieejas datu bāzes „SolarEdge” (valsts: Latvija)<sup>84</sup>.

„SolarEdge” ir pasaules līmeņa invertoru ražotājs, kurš dod iespēju izmantot uzraudzības platformu, kura nepārtraukti izseko vairāk nekā 1,5 miljonus saules staciju

<sup>81</sup> Saules baterijas. Pieejams: <http://solenergo.lv/saules-baterijas>

<sup>82</sup> <https://www.meteo.lv/meteorologija-datu-pieejamiba/?iBy=parameter&nid=462&pMonitoringType=METEOROLOGY&iParameter=4220&iStation=30046>

<sup>83</sup> Chris Gueymard, Direct and indirect uncertainties in the prediction of tilted irradiance for solar engineering applications, *Solar Energy* 83(3), Pieejams: doi: 10.1016/j.solener.2008.11.004

<sup>84</sup> [https://monitoringpublic.solaredge.com/solaredge-web/p/home/public?locale=en\\_US](https://monitoringpublic.solaredge.com/solaredge-web/p/home/public?locale=en_US).

visā pasaulē<sup>85</sup>. Uzraudzības platformā ir pieejama publiska informācija par vairāk nekā 29 tūkstošiem saules staciju visā pasaulē.

Attiecībā uz vēja stacijas darbības modelēšanu šajā nodevumā tiks izmantota arī eksperimentāla pieeja. Statistiskus datus var iegūt no dažādiem avotiem. Eiropas datus var iegūt Nord Pool<sup>86</sup> un ENTSO-E<sup>87</sup> Transparency platformā. Augstsprieguma tīklu mājaslapā var izmantot tikai datus par Latvijas vēja ražošanu<sup>88</sup>.

### 2.3.2. Elektrisko bateriju modelēšana

BESS darbības mērķis ir nodrošināt ietaupījumus klientam ar slodzes pārbīdes palīdzību, t.i., baterija tiek uzlādēta stundās ar zemu cenu un izlādēta pašpatēriņam pīķa stundu laikā. Tā mērķa funkcija tiek formulēta šādi:

$$C_{benefit}^d = \sum_{t=1}^{24} (W_{disch}^t \cdot Pr_{mark}^t - W_{ch}^t \cdot Pr_{mark}^t) \rightarrow \max \quad (2.6)$$

kur  $C_{benefit}^d$  ir saņemtais ieguvums no BESS darbības dienai  $d$ , €.

Izvēloties optimizācijas mainīgo vērtības ( $W_{ch}^t$ ,  $W_{disch}^t$ ), nepieciešams ņemt vērā ierobežojumus, kādus uzliek sadales tīkls. Šo ierobežojumu izpilde atkarīga ne tikai no bateriju darbības režīma, bet arī no tīklam pieslēgto patērētāju kopējās slodzes.

Auto bateriju uzlādes un izlādes procesu parasti raksturo šādi pamatparametri:

- maksimālā jauda  $W_{BESS}$  (kWh) ir maksimālā enerģija, kuru baterijas var uzlādēt vai izlādēt;
- uzlādes un izlādes lietderības koeficients  $\eta_{ch}$  (%) vai attiecīgi  $\eta_{disch}$  atspoguļo pārveidošanas zudumus uzlādes vai izlādes laikā;
- uzlādes un izlādes jauda  $W_{ch}$  (kWh/h) vai attiecīgi  $W_{disch}$  apzīmē enerģiju, ko var pārvadīt vienā uzlādes vai izlādes laika vienībā;
- akumulācijas lietderības koeficients  $\eta_{st}$  (%) apraksta uz laiku balstītos zudumus bateriju enerģijas uzglabāšanas sistēmā;
- orientējošais bateriju uzlādes ciklu skaits,  $n_{cycle}$ ;
- uzlādes stāvoklis (SOC)  $S_i$  (%) jebkurā brīdī;  $i$  raksturo baterijas uzpildes pakāpi.

### 2.3.3. Ikgadējās enerģijas izmaksas un novērstās izmaksas

Norēķinu noteikumi dažādās valstīs ir dažādi.

Enerģijas galīgā cena atkarīga no vairākiem aspektiem: piedāvājuma un pieprasījuma nosacījumiem, ģeogrāfiskā novietojuma, enerģijas avotu sastāva valstī, tīkla izmaksām, vides aizsardzības izmaksām, laikapstākļiem un nodokļu apmēra. ES valstīs, līdzīgi kā citur, elektroenerģijas maksājums sastāv no vairākām daļām: enerģijas un

---

<sup>85</sup> SolarEdge Fact Sheet / Internets. Pieejams:

<https://www.solaredge.com/sites/default/files/se-fact-sheet-na.pdf>

<sup>86</sup> <https://www.nordpoolgroup.com/historical-market-data/> (sadaļa "Wind power")

<sup>87</sup> <https://transparency.entsoe.eu/>

<sup>88</sup> <https://www.ast.lv/lv/content/situacija-energosisistema>

piegādes izmaksām (elektroenerģijas cena), tīkla izmaksām (tīkla tarifs) un papildu nodokļiem un nodevām (piem., atjaunīgās enerģijas piemaksa, koncesijas nodeva, ārzonas atbildības nodeva utt.)<sup>89,90,59</sup>. Augstākie ienākumi no fotoelektrisko tehnoloģiju, elektroauto un BESS izmantošanas ir iespējami ar tarifiem, kas atkarīgi no elektroenerģijas vairumtirgus cenas, kas katru stundu ir atšķirīga. Enerģijas cenas veidošanās noteikumus sastāda valsts pārvaldes aģentūras un tirgotāji. Pastāv plaša rēķinu veidošanas noteikumu dažādība<sup>91,92</sup>. RL ir tiesības izvēlēties vispiemērotākos noteikumus no tiem, kādi pastāv katrā valstī. Daudzās valstīs tiek piedāvāta iespēja izvēlēties dinamiskus tarifus, kas balstās uz vairumtirgus cenām<sup>93</sup>.

Rēķinu veidošanās noteikumu, ņemot vērā dinamisko tarifu, var pierakstīt šādā formā:

$$C_i^t = k_{m,i} \cdot P_{r\ mark}^t \cdot W_i^t + k_{f,i} \cdot P_{r\ add}^t \cdot W_i^t + P_{fix,i} \quad (2.7)$$

kur  $C_i^t$  ir  $i$ -tā galalietotāja kopējās izmaksas par elektroenerģijas rēķinu stundā  $t$ , €;  $W_i^t$  ir  $i$ -tā galalietotāja patērētā enerģija stundā  $t$ , kWh;  $P_{r\ mark}^t$  ir elektroenerģijas tirgus cena stundā  $t$ , €/kWh;  $P_{r\ add}^t$  atspoguļo norēķinu sistēmas papildu mainīgās komponentes bez elektroenerģijas tirgus cenas stundā  $t$ , €/kWh;  $k_{m,i}$  un  $k_{f,i}$  ir proporcionalitātes koeficienti; un  $P_{fix,i}$  ir elektroenerģijas rēķina fiksētā komponente  $i$ -tajam galalietotājam, €/kW(A)/h.

Brīvību izvēlēties  $k_{m,i}$ ,  $k_{f,i}$  un  $P_{fix,i}$  ierobežo valdības lēmumi. Koeficientus var izvēlēties tirgotāji, darbojoties valdības izveidotajā ietvarā, kā arī patērētāji, izvēloties visizdevīgāko tirgotāju.

Lai noteiktu AER tehnoloģiju (fotoelektriskās tehnoloģijas, elektroauto vai BESS) ekonomisko efektivitāti, aprēķinām novērstās izmaksas (AC), kur AC ( $C_{AC\_total,y}$  (€)) tiek definētas kā starpība starp enerģijas izmaksām gadījumā, kad AER tehnoloģijas nav uzstādītas ( $C_{base,y}$  (€)), un enerģijas izmaksām, kad AER tehnoloģijas tiek izmantotas ( $C_{REStech,y}$  (€)). Tādējādi kopējās novērstās izmaksas gadam,  $y$ , ir šādas:

$$C_{AC\_total,y} = (C_{base,y} - C_{REStech,y}) \quad (2.8)$$

<sup>89</sup> Pasaules enerģijas cenas 2019. gadā: pārskats — analīze - IEA. Pieejams: <https://www.iea.org/reports/world-energy-prices-2019>

<sup>90</sup> Enerģijas cenas un nodokļi OECD valstīm, 2019. gada 3. ceturksnis - 11. Pieejams: <http://www.oecd.org/publications/energy-prices-and-taxes-for-oecd-countries-7b080c52-en.htm>

<sup>91</sup> Triki, C.; Violi, A. Dynamic pricing of electricity in retail markets. *4OR* 2009, 7, 21–36

<sup>92</sup> Grave, K.; Breitschopf, B.; Ordóñez, J.; Wachsmuth, J.; Boeve, S.; Smith, M.; Schubert, T.; Friedrichsen, N.; Herbst, A.; Eckartz, K.; et al. *Final Report: Prices and Costs of EU Energy*; 29 April, 2016, Ecofys 2016 by order of: European Commission. Pieejams: [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2016/report\\_ecofys\\_2016.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2016/report_ecofys_2016.pdf)

<sup>93</sup> Rizopoulos, D.; Esztergár-Kiss, D. A Method for the Optimization of Daily Activity Chains Including Electric Vehicles. *Energies* 2020, 13, doi:10.3390/en13040906

Ikgadējās izmaksas ( $C_y$ ) par RL enerģijas patēriņu pirms AER tehnoloģiju uzstādīšanas tiek aplēstas šādi:

$$C_y = \sum_{t=1}^{365} C_i^t = C_{base,y} = P_{fix,i,y} + \sum_{d=1}^{365} \sum_{t=1}^{24} W_i^{t,d} \cdot (P_{r\ mark}^{t,d} + P_{r\ add}^{t,d}) \quad (2.9)$$

kur  $C_{base,y}$  ir enerģijas patēriņa izmaksas pirms AER tehnoloģiju uzstādīšanas gadā  $y$  (bāzes gadījums), €;  $W_i^{t,d}$  ir  $i$ -tā RL enerģijas patēriņš dienas  $d$  stundā  $t$ , kWh.

Latvijas apstākļiem  $P_{fix,i,y}$  un  $P_{r\ add}^{t,d}$  var pārrakstīt šādā formā:

$$\begin{aligned} P_{fix,i,y} &= p_{con.distr,i,y} + p_{con.mpc,i,y} \\ P_{r\ add}^{t,d} &= p_{en.distr}^{t,d} + p_{en.mpc}^{t,d} \end{aligned} \quad (2.10)$$

kur  $p_{con.distr}$  ir uz jaudu balstīta pieslēguma maksa, ko  $i$ -tais RL gadā  $y$  maksā sadales sistēmas operatoram, €/kW(A);  $p_{en.distr}^{t,d}$  ir uz enerģiju balstīta sadales maksa dienas  $d$  stundā  $t$ , €/kWh;  $p_{con.mpc,i,y}$  ir obligātā iepirkuma komponente par  $i$ -tā RL pieslēgumu gadā  $y$ , €/kW(A);  $p_{en.mpc}$  ir obligātā iepirkuma komponente par elektroenerģiju, kas patērēta no tīkla dienas  $d$  stundā  $t$ , €/kWh.

Ikgadējās izmaksas RLm pēc AER tehnoloģiju uzstādīšanas ( $C_{REStech,y}$ ) fotoelektrisko tehnoloģiju gadījumā ir šādas:

$$C_{REStech,y} = P_{fix,i,y} + \sum_{d=1}^{365} \sum_{t=1}^{24} (W_i^{t,d} - W_{gen}^{t,d}) \cdot (P_{r\ mark}^{t,d} + P_{r\ add}^{t,d}) \quad (2.11)$$

kur  $W_{gen}^{t,d}$  ir ar fotoelektriskajām tehnoloģijām ģenerētā elektroenerģija dienas  $d$  stundā  $t$ , kWh.

Elektroauto vai BESS gadījumā:

$$\begin{aligned} C_{REStech,y} &= P_{fix,i,y} \\ &+ \sum_{d=1}^{365} \sum_{t=1}^{24} (W_i^{t,d} - W_{disch}^{t,d} + W_{ch}^{t,d}) \cdot (P_{r\ mark}^{t,d} + P_{r\ add}^{t,d}) \end{aligned} \quad (2.12)$$

kur  $W_{ch}^{t,d}$ ,  $W_{disch}^{t,d}$  ir attiecīgi uzlādes un izlādes enerģija dienas  $d$  stundā  $t$  (kWh).

### 2.3.4. Tehniski ekonomisko pamatojumu metodoloģija

Analīzei parasti tiek izmantoti tādi ekonomiskie kritēriji kā naudas plūsmas neto pašreizējā vērtība (NPV), iekšējā peļņas norma (IRR), normētās enerģijas izmaksas

(LCOE)<sup>94,95</sup> un atmaksāšanās periods ( $T_{PP}$ ). Diskontētais  $T_{PP}$  ir jēgpilns ekonomiskais kritērijs, lai salīdzinātu AER tehnoloģiju integrāciju rūpnieciskajā vai dzīvojamajā sektorā.  $T_{PP}$  nosaka laiku, kurā kumulatīvie ietaupījumi pārsniegs AER tehnoloģiju investīciju izmaksas. Jāievēro, ka atšķirībā no parastā atmaksāšanās perioda diskontētajā atmaksāšanās periodā ir ņemta vērā naudas laika vērtība<sup>96</sup>.  $T_{PP}$  formulējums dots <sup>97,98</sup>.

Neto pašreizējo vērtību var formulēt šādi:

$$NPV(T_{plan}) = -p_{inv} + \sum_{y=1}^{T_{plan}} \frac{C_{AC\_total,y} - C_{O\&M,y} - C_{proc,y}}{(1 + i_d)^y}, \quad (2.13)$$

kur  $T_{plan}$  ir AER tehnoloģiju plānošanas periods gados (piem.,  $T_{plan} = 25$ )<sup>99</sup>;  $p_{inv}$  ir sākotnējās investīcijas AER tehnoloģijām, €;  $i_d$  ir diskonta likme (peļņas norma, kādu būtu varēts nopelnīt ar noteiktām investīcijām finanšu tirgos ar tādu pašu risku), %;  $C_{O\&M,y}$  ir ekspluatācijas un apkopes izmaksas AER tehnoloģijai gadā  $y$ , €;  $C_{proc,y}$  ir procenti, kas jāmaksā bankai par saņemto kredītu gadā  $y$ , €.

LCOE ir ļoti svarīgs rādītājs, lai noteiktu, vai turpināt īstenot kādu projektu vai ne. LCOE veidojas no visu izmaksu salīdzināšanas, kādas rodas visā elektrostacijas darbmuža laikā (piem., fotoelektriskā stacija/paneli) stacijas būvei un ekspluatācijai, ar ģenerētās enerģijas daudzuma summu visa stacijas dzīves cikla laikā. Aprēķinu iespējams veikt vai nu saskaņā ar NPV metodi vai arī ar tā saukto gada maksas metodi. Piemērojot NPV metodi, investīciju izmaksas, kā arī ieņēmumu un izdevumu maksājumu plūsmas stacijas darbmuža laikā tiek aprēķinātas, veicot diskontēšanu attiecībā uz kopēju atsauces datumu. Šim nolūkam visu izmaksu pašreizējās vērtības tiek izdalītas ar elektroenerģijas ģenerācijas pašreizējo vērtību. Ģenerētās elektroenerģijas diskontēšana sākumā šķiet nesaprotama no fizikālā viedokļa, taču tā izriet no finansiāli matemātiskiem aprēķiniem. Pamatideja ir tā, ka ģenerētā enerģija netieši atbilst ieņēmumiem no šīs enerģijas pārdošanas. Tādējādi, jo tālāk nākotnē ir šie ieņēmumi, jo zemāka ar tiem saistītā

<sup>94</sup> Jäger-Waldau, A. PV Status Report 2017, EUR 28817 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-74071-8, [doi:10.2760/452611](https://doi.org/10.2760/452611), JRC108105

<sup>95</sup> Huld, T.; Jäger-Waldau, A.; Ossenbrink, H.; Szábo, S.; Dunlop, E.; Taylor, N. Cost Maps for Unsubsidised Photovoltaic Electricity. Pieejams: <https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Cost-Maps-for-Unsubsidised-Photovoltaic-Electricity.pdf>

<sup>96</sup> Short, W., Packey, D.J. & Holt, T., 1995. A Manual for the Economic Evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies, Colorado. Pieejams: <http://www.nrel.gov/docs/legosti/old/5173.pdf>

<sup>97</sup> Kessler, Will. (2017). Comparing energy payback and simple payback period for solar photovoltaic systems. E3S Web of Conferences. 22. 00080. Pieejams: [doi:10.1051/e3sconf/20172200080](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172200080)

<sup>98</sup> Fahnehjelm, Charlotte and Amting, Viktoria, Evaluation of cost competitiveness and payback period of grid-connected photovoltaic systems in Sri Lanka, KTH, Production Engineering, 2016

<sup>99</sup> Saules paneļu vidējais kalpošanas laiks. Pieejams: <https://freedomsolarpower.com/blog/average-lifespan-of-solar-panels>



pašreizējā vērtība. Kopējie gada izdevumi visā ekspluatācijas periodā sastāv no investīciju izdevumiem un ekspluatācijas izmaksām, kādas rodas iekārtu darbmuža laikā<sup>100</sup>.

Izmantojot LCOE formulējumu fotoelektrisko iekārtu, elektroauto vai bateriju enerģijas uzglabāšanas sistēmu gadījumā, optimizācijas uzdevumu var formulēt šādi:

$$LCOE(i_d, T_{plan}) = \frac{p_{inv} + \sum_{y=1}^{T_{plan}} \frac{C_{total,y}}{(1+i_d)^y}}{\sum_{y=1}^{T_{plan}} \frac{W_{gen,y}}{(1+i_d)^y}} \rightarrow \min, \quad (2.14)$$

kur gada kopējās izmaksas ( $C_{total,y}$ ) sastāv no fiksētajām un mainīgajām izmaksām par objekta ekspluatāciju, apkopi, apkalpošanu, remontiem un apdrošināšanas maksājumiem un tiek pārveidotas šādi:

$$C_{total,y} = C_{O\&M,y} + C_{proc,y} \quad (2.15)$$

LCOE bāzes gadījumā tiek aprēķinātas šādi:

$$LCOE(i_d, T_{plan}) = \frac{\sum_{y=1}^{T_{plan}} \frac{C_{base,y}}{(1+i_d)^y}}{\sum_{y=1}^{T_{plan}} \frac{W_y}{(1+i_d)^y}}, \quad (2.16)$$

Taču, analizējot ekonomiskos rādītājus, tika izmantots tāds ekonomiskais kritērijs kā patērētās enerģijas normētās izmaksas (LCOCE). Tas ir līdzīgs LCOE, taču ņem vērā gada izmaksas, kādas rodas RL pēc AER tehnoloģiju uzstādīšanas ( $C_{REStech,y}$ ), un gada kopējo RL patērēto elektroenerģijas daudzumu,  $W_y$ . Patērētās enerģijas normētās izmaksas tiek aprēķinātas šādi:

$$LCOCE(i_d, T_{plan}) = \frac{p_{inv} + \sum_{y=1}^{T_{plan}} \frac{C_{REStech,y} + C_{O\&M,y} + C_{proc,y}}{(1+i_d)^y}}{\sum_{y=1}^{T_{plan}} \frac{W_y}{(1+i_d)^y}}, \quad (2.17)$$

Patērētās enerģijas normētās izmaksas ir arī nozīmīgs veids, kā salīdzināt dažādus enerģiju ražojošu tehnoloģiju (piemēram, saules) scenārijus, kā arī salīdzināt bāzes un AER scenārijus.

Iekšējās peļņas normas vienādojums ņemts no <sup>101</sup>. Iekšējā peļņas norma ļauj izmērīt projekta relatīvo gada peļņu un tiek aplēsta šādi:

<sup>100</sup> C. Kost, s. Shammugam, v. Jülch, h.-t. Nguyen, t. Schlegl, "Levelized cost of electricity renewable energy technologies, Fraunhofer institute for solar energy systems ise, Report, March 2018.

<sup>101</sup> Guaita-Pradas, I.; Blasco-Ruiz, A. "Analyzing Profitability and Discount Rates for Solar PV Plants. A Spanish Case". *Sustainability*, vol.12, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12083157>

$$0 = -p_{inv} + \sum_{y=1}^{T_{plan}} \frac{C_{AC\_total,y} - C_{O\&M,y} - C_{proc,y}}{(1 + i_d)^y} \quad (2.18)$$

### 2.3.5. Optimizācijas procedūra

Pieņemsim, ka kāda mājsaimniecība vēlas sākt izmantot fotoelektriskās tehnoloģijas, elektroauto vai bateriju enerģijas uzglabāšanas sistēmu. Dabiskais veids, kā to sākt, ir izvērtēt paredzamā projekta ienesīgumu. Kļūst nepieciešams atrisināt ieguvumu maksimizācijas uzdevumu. Izmantojot NPV un LCOE un iestatot paredzamo AER tehnoloģiju plānošanas laiku, optimizācijas uzdevumus var formulēt šādā formā:

$$NPV(T_{plan}) \rightarrow \max, \quad (2.19)$$

$$LCOE(T_{plan}) \rightarrow \min. \quad (2.20)$$

Ir iespējams arī formulēt AER tehnoloģiju darbības optimizācijas uzdevumu kā novērsto izmaksu (AC) maksimizāciju:

$$C_{AC\_total}(T_{plan}) \rightarrow \max, \quad (2.21)$$

Novērstās izmaksas  $C_{AC\_total}$  ir spēcīgi atkarīgas no mainīgajiem  $W_{gen}$ ,  $W$ ,  $P_{r,mark}$ , kas būtu jāprognozē visam plānošanas (grafika veidošanas) periodam. Prognoze vienmēr ir saistīta ar zināmu nenoteiktību, tādēļ varam teikt, ka novērsto izmaksu vērtība ir nejaušs mainīgais. Līdz ar to ir nepieciešams aplūkot šī mainīgā paredzamo vērtību  $E \left[ \sum_{y=1}^{T_{plan}} AC(Y) \right]$  kā optimizācijas uzdevuma mērķa funkciju. Matemātiskās cerības izskaitļošanas grūtības var uzskatīt par galveno iemeslu scenāriju pieejas izmantošanai<sup>102</sup>. Šajā gadījumā varam izmantot sekojošo:

$$C_{AC\_total}(T_{plan}) = \frac{1}{S_n} \sum_k^{S_n} \sum_y^{T_{plan}} C_{AC\_total_{S_n,k}}(y) \rightarrow \max, \quad (2.22)$$

kur  $S_n$  ir scenāriju kopskaits,  $k$  ir scenārija indekss. Optimizācijas uzdevums (2.22) jārisina, ņemot vērā virkni ierobežojumu, kuri ierobežo lēmuma mainīgos.

Formulas (2.21) un (2.22) satur ne tikai lēmuma mainīgos, bet arī papildu slēptus mainīgos, tādus kā prognozēšanas procedūras modeļu parametrus, vadības politikas, tirdzniecības noteikumu, bateriju tehnoloģiju u.c. parametrus.

Ja fotoelektriskie paneļi vai vēja elektrostacijas darbojas bez enerģijas akumulācijas, optimizācijas procedūra nav aktuāla. Ģenerētais enerģijas apjoms tiek izmantots

<sup>102</sup> W. B. Powell and S. Miesel, "Tutorial on Stochastic Optimisation in Energy-Part II: An Energy Storage Illustration," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 31, no. 2, pp. 1468-1475, 2018

pašpatēriņam, pārdots vai izdots tīklā (NMS). Savukārt bateriju enerģijas uzglabāšanas sistēmas situāciju maina un noved pie nepieciešamības izmantot kādu no optimizācijas procedūrām. Procedūru piemēri doti mūsu iepriekšējās publikācijās<sup>73, 103,104,105</sup>.

### 2.3.6. NETO norēķinu sistēmas darbības princips un modelēšana

Latvijas mājsaimniecību ikmēneša elektroenerģijas izmaksas satur trīs sastāvdaļas:

- sadales sistēmas operatora pakalpojumu maksa;
- obligātā iepirkuma komponentes (OIK) fiksētā daļa (atbilstoši pieslēguma jaudai) un mainīgā daļa (atjaunīgie energoresursi, koģenerācija);
- maksa par elektroenerģiju.

Mājsaimniecībām, kuras elektroenerģiju ražo no atjaunīgajiem resursiem, tika atcelta OIK mainīgās daļas maksa, sākot ar 2020. gada 1. aprīli<sup>106</sup>.

NETO maksa ( $EL_{var\ neto}$ ) ir maksa par neto patēriņu, t.i., maksa par saņemtās ( $EL_{varsan}$ ) un tīklā nodotās ( $EL_{var\ nod}$ ) elektroenerģijas starpību, kuru var aprakstīt ar šādu formulu:

$$EL_{var\ neto} = EL_{varsan} - EL_{var\ nod}. \quad (2.23)$$

Neto maksa ir atkarīga no elektroenerģijas patēriņa, no saražotā un tīklā nodotā elektroenerģijas daudzuma un elektroenerģijas cenas elektrības biržā. Zemāk parādīts Latvijas NETO sistēmas darbības princips blokshēmas veidā (2.4. att.).

Maksa par elektroenerģiju ir atkarīga no elektroenerģijas patēriņa no tīkla un atkarīga no saražotā un tīklā nodotā elektroenerģijas daudzuma un elektroenerģijas cenas. Par neto patēriņu ik stundu maksā visi RL, ja  $EL_{var\ neto} \geq 0$ . Ja saskaņā ar patērētā un saražotā elektroenerģijas apjoma aprēķinu RL SSO tīklā ir nodevis vairāk elektroenerģijas ( $EL_{var\ neto} < 0$ ), nekā patērējis, attiecīgo elektroenerģijas apjomu ieskaita nākamajā elektroenerģijas norēķinu periodā tā gada ietvaros, kurš sākas 1. aprīlī un beidzas 31. martā.

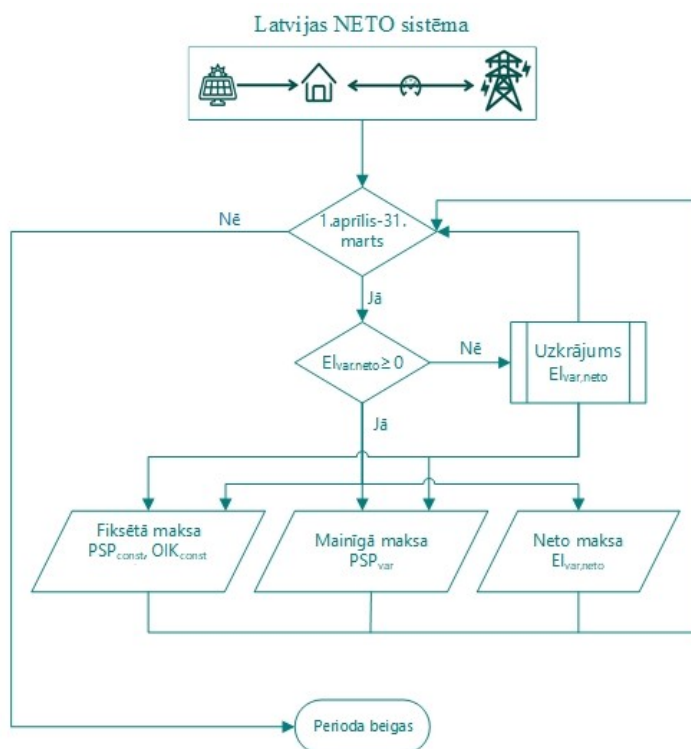
---

<sup>103</sup> Petričenko, Ļ., Varfolomejeva, R., Gavrilovs, A., Sauhats, A., Petričenko, R. Evaluation of Battery Energy Storage Systems in Distribution Grid. No: 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe 2018), Itālija, Palermo, 12.-15. jūnijs, 2018. Piscataway: IEEE, 2018, 897.-902.lpp. ISBN 978-1-5386-5187-2. e-ISBN 978-1-5386-5186-5. Pieejams: doi:10.1109/EEEIC.2018.8494451

<sup>104</sup> Petričenko, R., Petričenko, Ļ., Sauhats, A., Slivikas, A., Gudzius, S., Zima-Bočkarjova, M. Profitability Study of Floating PV and Storage Pumped Hydropower Plant. No: 2020 17th International Conference on the European Energy Market (EEM 2020), Zviedrija, Stokholma, 16.-18. septembris, 2020. Piscataway, NJ: IEEE, 2020, 135.-140.lpp. ISBN 978-1-7281-6920-0. e-ISBN 978-1-7281-6919-4. ISSN 2165-4077. e-ISSN 2165-4093. Pieejams: doi:10.1109/EEM49802.2020.9221983

<sup>105</sup> Petričenko, Ļ., Petričenko, R., Sauhats, A. The Choice of the Number of Charge/Discharge Cycles for a Battery Energy Storage System. No: 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering, Latvija, Rīga, 7.-9. oktobris, 2019. Piscataway: IEEE, 2019, 1.-6.lpp.

<sup>106</sup> Atviegloti nosacījumi neto sistēmas lietotājiem. Pieejams: <https://www.mk.gov.lv/lv/atviegloti-nosacijumi-neto-sistemas-lietotajiem>.



2.4. att. Latvijas NETO sistēmas principshēma

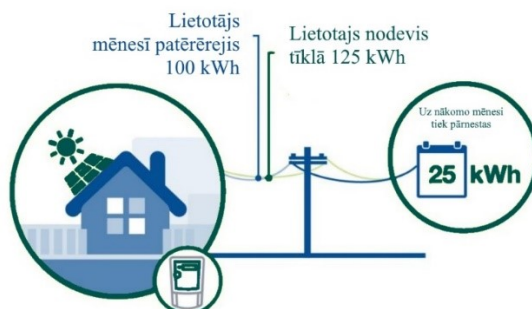
kur  $PSP_{const}$  – maksa par pieslēguma nodrošināšanu ( $p_{con,distr}$ );  $OIK_{const}$  – jaudas obligātā iepirkuma komponente (OIK) par pieslēgumu ( $p_{con,mpc}$ );  $PSP_{var}$  – maksa par elektroenerģijas sadalīšanu, ( $p_{en,distr}$ ).

Maksa par neto patēriņu tiek definēta kā  $\pm EL_{var,neto}$ . Ja RL ik stundu saražo mazāku elektroenerģijas apjomu, nekā patērē, tad neto izmaksas ir vienādas ar  $+EL_{var,neto}$ , un tās maksā RL:

$$C_{NETO} = PSP_{const} + OIK_{const} + PSP_{var} + EL_{var,neto}, \text{ (EUR/kWh)} \quad (2.24)$$

Ja ir otrādi, RL patērē mazāk, nekā saražojis, tad neto izmaksas ir  $-EL_{var,neto}$ , un tās tiek ieskaitītas nākamās stundas aprēķinā:

$$C_{NETO} = PSP_{const} + OIK_{const} + PSP_{var} - EL_{var,neto}, \text{ (EUR/kWh)} \quad (2.25)$$



2.5. att. Neto uzskaites sistēmas piemērs

Jāpiemin, ka, ja no tīkla nav paņemta elektroenerģija ( $E_{no\_tīkla}$ ) un tīklā nav atdota elektroenerģija ( $E_{uz\_tīklu}$ ), RLM vienmēr jāmaksā fiksētās izmaksas ( $PSP_{const}$  un  $OIK_{const}$ ).

## 2.4. Nodaļas secinājumi

Lai analizētu kādas RL tehnoloģijas īstenošanas iespējamību, nepieciešams sadalīt uzdevumu apakšuzdevumos. Pirmām kārtām nepieciešama vēsturisko datu savākšana un izmantošana. Otrkārt, jāveic ievadprocesu – fotoelektriskās ģenerācijas, elektroenerģijas cenas, gaisa temperatūras, RL enerģijas patēriņa – prognozēšana. Nākamajā solī tiek aplēstas novērstās izmaksas, ņemot vērā NETO mērījumu sistēmas noteikumus, tarifu politiku, kā arī citus faktorus, kas jāņem vērā konkrētam gadījumam. Visbeidzot, var novērtēt tehnoloģiju uzstādīšanas ekonomiskos kritērijus.

Novērstās izmaksas plānošanas periodā var izmantot ekonomisko kritēriju uzskatāmības palielināšanai.

Nepieciešamo informāciju par ieejas procesiem var savākt, izmantojot brīvi pieejamas vēsturisko mērījumu ierakstu datu bāzes.

Galalietotāju enerģijas cenu veido ne tikai elektrības tirgus cena, bet arī nodokļi un enerģijas pirkšanas/pārdošanas noteikumi, kas jāņem vērā, veicot ekonomiskos aprēķinus.

### 3. Ražotājlietotāju un tīklu darbības scenāriju modelēšana un rezultāti

Nodaļā aprakstīti RL un tīklu darbības modelēšanas scenāriji un sasniegtie rezultāti, tai skaitā neto sistēmas lietotāju izmaksas, atmaksāšanās ilgums dažādiem scenārijiem, tehnoloģijām un elektroenerģijas cenām, kā arī enerģijas zudumi un to ietekme uz sadales tīklu.

Iegūtie rezultāti pierāda, ka būt par atjaunīgo energoresursu tehnoloģiju īpašnieku ir izdevīgi dažādos apstākļos. Ieguvumi ir atkarīgi no vairākiem parametriem: AER tehnoloģiju jaudas un izvietojuma, AER tehnoloģiju tehniskajām iespējām, elektroenerģijas cenām, patēriņa laika grafika, enerģijas tarifu sistēmas struktūras u.c.

Šis pētījums koncentrējas uz konkrētajiem fotoelektrisko tehnoloģiju gadījumiem un to attīstību Latvijā.

Šīs analīzes rezultātus var izmantot lēmumu pieņēmēji, tādi kā valdības aģentūras, uzņēmumi, fotoelektrisko tehnoloģiju īpašnieki, un potenciālie investori viedās enerģijas attīstīšanai.

Viena no lielajām fotoelektriskās ģenerācijas priekšrocībām ir iespēja veidot ļoti dažāda mēroga projektus. Privātmāju tuvumā var veidot nelielas elektrostacijas. Iespējams, arī būvēt daudz jaudīgākas stacijas, veidojot enerģijas kopienas. Abos gadījumos, pateicoties vienkāršu pilsoņu aktivitātei, varas iestādes spēj novirzīt miljardiem eiro saules enerģijas izmantošanai. Rodas jautājums: kurš variants ir labāks?

Šajā apakšnodaļā tiks apskatīti dažādi piemēri:

- NETO mērīšanas shēmu ekonomiskā ietekme uz ražotājlietotājiem, kam ir uz jumta vai mājas tuvumā (tālāk, saisinājot rakstīsim uz "jumta") montētas fotoelektriskās tehnoloģijas. Šajā gadījumizpētē analizēts projektētu investīciju dzīvojamā sektora fotoelektriskajās sistēmās ienesīgums. Analīzes centrā ir novērtējums par to, vai saules enerģijas ģenerēšanas tehnoloģiju izmantošana enerģētiskā sistēmā palīdzēs panākt balansu starp enerģijas ģenerēšanas un atbalsta izmaksām efektīvākā veidā;
- RL ar uz jumta montētām fotoelektriskajām tehnoloģijām salīdzinājumā ar enerģijas kopienām no enerģijas zudumu viedokļa. Šīs analīzes galvenais mērķis ir novērtēt un salīdzināt enerģijas zudumus abiem augšminētajiem variantiem. Lai to sasniegtu, tiek izstrādāti vairāki detalizēti scenāriji par RL un vidēja mēroga enerģijas kopienu izveidi, ņemot vērā dažādus reālus slodzes profilus, izmantojot vēsturiskos datus par tipiskiem patērētājiem enerģijas sadales sistēmā, kā arī datus no ES Fotoelektrisko tehnoloģiju ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (angļu val. – *Photovoltaic geographical information system* (PVGIS)). Modelēšana tika izpildīta ar programmatūru *GridLAB-D*;
- RL, kuru rīcībā ir uz jumta montējamas fotoelektriskās tehnoloģijas, salīdzinājumā ar enerģijas kopienām no gūtā ekonomiskā labuma viedokļa. Šajā pētījumā izvirzīts uzdevums analizēt individuālu fotoelektrisko objektu

ienesīgumu salīdzinājumā ar enerģijas kopienām. Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem, tiek ieteikti veidi, kā RL samazināt enerģijas izmaksas un kā izvēlēties visreālākās attīstības iespējas nākotnes elektriskajam tīklam.

Šie piemēri var kalpot par fundamentālu fonu plānošanas lēmumiem, kuri paredzēti, lai pastiprinātu enerģijas sadales sistēmas ar individuālām fotoelektriskajām ģenerācijas iekārtām vai lai stimulētu saules enerģijas kopienas izveidi.

Piemēriem vērā tika ņemti šādi vispārīgie ierobežojošie nosacījumi:

- enerģijas pieprasījums: nepieciešama informācija attiecībā uz liela RL skaita enerģijas pieprasījuma profiliem. Mēs izmantojam 100 dažādu nejauši atlasītu patērētāju viedo skaitītāju datus viena gada periodā;
- NETO sistēmas norēķinu periods tiek saglabāts atbilstoši spēkā esošajiem normatīvajiem aktiem, t.i., no 1. aprīļa līdz 31. martam. Šis periods ir piemērots Ziemeļvalstu RL<sup>72</sup>, jo ziemas periodā RL ir iespēja maksimālā pakāpē izmantot tīklā nodoto elektroenerģiju. Šis periods paaugstina ekonomisko ienesīgumu RL;
- tiek saglabāts fiksēts maksājums par pieslēguma nodrošināšanu saskaņā ar spēkā esošajiem normatīvajiem aktiem<sup>107,108</sup>. Tiek ievēroti maksājumi par fiksētajām un mainīgajām komponentēm saskaņā ar spēkā esošajiem normatīvajiem aktiem;
- galalietotāju ikstundas slodzei tika izmantotas viedo skaitītāju uzskaitītās laukrindas viena gada apjomā;
- aprēķini tika veikti, ņemot vērā pievienotās vērtības nodokli (PVN);
- ņemot vērā AER kalpošanas ilgumu (25 gadi), pieņemtais iekārtu plānošanas periods ir 25 gadi<sup>99</sup>;
- elektroenerģijas tirgus cenas: tiek izmantotas *Nord Pool* tirgus cenas<sup>86</sup>;
- neto pašreizējā vērtība ir aprēķināta 2 variantiem: 1. variantā tiek pieņemts, ka tiek ņemts aizdevums, bet 2. variants aizdevumu neparedz, tā vietā paredzot RL iekrājumu izmantošanu;
- neto pašreizējā vērtība tiek aprēķināta, ņemot vērā RL ienākumus, kas tiek gūti no enerģijas, kas saražota ar fotoelektriskajām tehnoloģijām;
- šim pētījumam esam izvēlējušies 2 prognozēšanas metodes: Furjē transformāciju (elektroenerģijas cenu prognozei) un naivo prognozēšanas pieeju (ģenerācijai ar fotoelektriskajām tehnoloģijām un RL enerģijas patēriņam);
- netiek piemērotas nekādas subsīdijas. Pašlaik Latvijā nepastāv nekādi granti vai finansējuma stimuli ģenerācijai ar fotoelektriskajām tehnoloģijām.

---

<sup>107</sup> AS "Sadales tīkls" elektroenerģijas sadales diferencētie tarifi. Pieejams: [https://www.sadalestikls.lv/uploads/2018/01/ST\\_tarifi\\_ENG.pdf](https://www.sadalestikls.lv/uploads/2018/01/ST_tarifi_ENG.pdf)

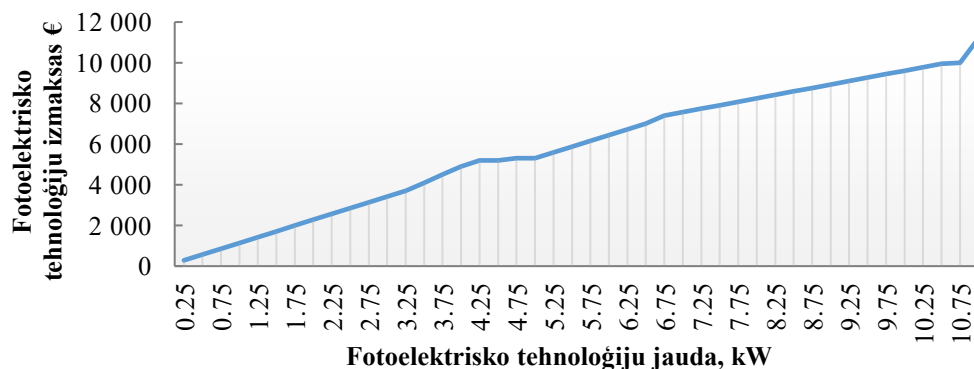
<sup>108</sup> Elektrības cenas sastāvdaļas. Pieejams: <http://www.eptirgotajs.lv/no-2018-gada-sagaidama-oik-samazinasanas/#/>

### 3.1.1. piemērs. Neto mērīšanas shēmu ekonomiskā ietekme uz ražotājlietotājiem, kam ir uz jumta montētas fotoelektriskās tehnoloģijas

Šai gadījumizpētei mēs identificējam 2 gadījumus:

1. bāzes gadījums, kad mājsaimniecībai nav NETO sistēmas;
2. gadījums, kad mājsaimniecībai ir NETO norēķinu sistēma.

Latvijas tirgū fotoelektriskās iekārtas piedāvā vairāki ražotāji. Balstoties uz to datiem, 3.1. attēls rāda fotoelektrisko tehnoloģiju kopējās uzstādīšanas izmaksas (neieskaitot PVN).



3.1. att. Fotoelektrisko tehnoloģiju izmaksu atkarība no to jaudas

#### 3.1.1. Pieņēmumi

Tālākiem modelēšanas aprēķiniem tiek izmantotas tirgotāja cenas, kas parādītas 3.1. attēlā. Veicot modelēšanu, tika ņemti vērā šādi konkrētie apstākļi:

- tiek pieņemts, ka mazumtirdzniecības cenas katru gadu pieaugs par 7,5 %<sup>109</sup> (no 2018. līdz 2030. gadam), pēc tam par 2 % (no 2030. līdz 2040. gadam) un samazināsies par 1 % (no 2040. līdz 2043. gadam), saskaņā ar enerģijas cenu scenāriju *EU Outlook 2050*, ko izdevusi organizācija *Energy Brainpool* (2017. gada jūnijā);
- pieņemam, ka patērētājiem, kas pieslēgti tīklam, patēriņš paliek nemainīgs arī nākotnes gadiem. Aizdevuma procentu likme tiek pieņemta atbilstoši Latvijas Bankas noteiktajām procentu likmēm, t.i., 2,6 % gadā<sup>110</sup>. Tiek pieņemts, ka diskonta likme ir 2,0 % gadā. Pieņemam, ka kredīšanas periods ir vienāds ar iekārtu darbmužu – 25 gadi;
- fotoelektrisko tehnoloģiju jauda un atbilstošais investīciju apjoms tika noteikti, pamatojoties uz datiem par Saules radiāciju Latvijā, lai RL ar savu individuālo patēriņu varētu maksimālā apmērā izmantot fotoelektrisko tehnoloģiju saražoto enerģiju galapatēriņam;

<sup>109</sup> Enerģijas cenu prognoze. Pieejams: <https://blog.energybrainpool.com/en/trends-in-the-development-of-electricity-prices-eu-energy-outlook-2050/>

<sup>110</sup> Bankas procentu likmes. Pieejams: <https://www.bank.lv/statistika/dati-statistika/procentu-likmju-statistikas-raditaji/galvenas-procentu-likmes>



enerģijas ražošana: potenciālo 100 RL ģenerācija tiek modelēta, izmantojot datus par jaunuzstādītu ģeneratoru par 2017. gadu. Šie dati tiek mainīti, mainot iekārtu jaudu katram no 100 RL tādā veidā, lai panāktu balansu starp gada enerģijas ražošanas un patēriņa rādītājiem.

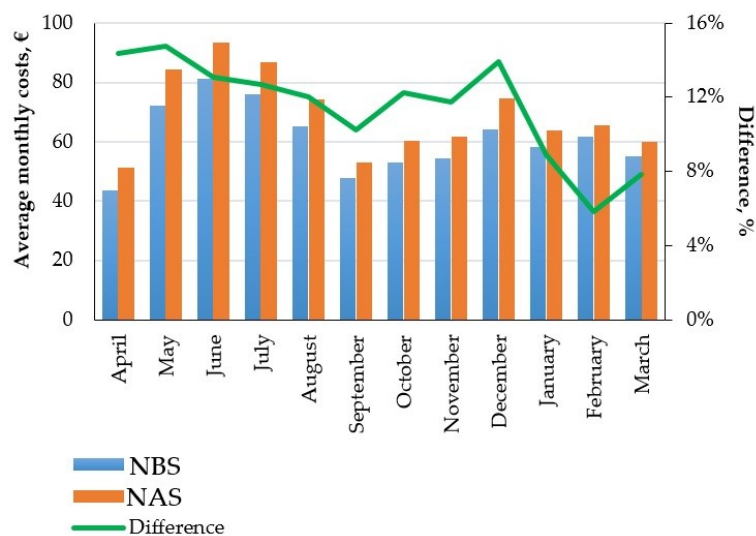
Galvenie tehniskie un ekonomiskie pieņēmumi apkopoti 3.1. tabulā.

3.1. tabula. Galvenie pieņēmumi

Parametra nosaukums, mērvienība	Vērtība
Fāžu skaits	3
Maksājums par tirgošanas pakalpojumu, €/kWh	0,00564
Fiksētā komponente, €/gadā	115,11
Mainīgā komponente, €/kWh	0,07104
Aizdevuma procentu likme, %	2,6
Diskonta likme, %	2,0

### 3.1.2. Rezultāti

Vispirms salīdzināsim NAS un NBS sistēmu (sk. 1.4.1. apakšnodaļu). 3.2. attēls rāda maksājumu izmaiņu rezultātus par mēnešiem.



3.2. att. Galalietotāja vidējais maksājums NETO norēķinu sistēmas (NBS) un NETO uzskaites sistēmas (NAS) gadījumā

NBS gadījumā galalietotāja kopējais vidējais maksājums ir 732,84 €, bet NAS gadījumā – 829,58 €. Tādējādi starpība ir 11 %. Jāsecina, ka NBS ir izdevīga kā patērētājam, tā energosistēmai. Turklāt NBS stimulē patērētājus pielāgoties svārstīgām tirgus cenām. Tādēļ šajā nodevumā mēs apspriežam tikai NBS.

3.2. tabulā un 3.3.–3.6. attēlā uzrādīti rezultāti, kuri rāda NPV, LCOE un atmaksāšanās periodu katram NBS gadījumam. Jāņem vērā, ka, ja tiek ņemts aizdevums, iekārtu atmaksāšanās periods ir ilgāks (11 gadi). Rezultātā aizdevuma ņemšanai ir ievērojama ietekme pirmām kārtām uz RL gūtajiem labumiem un fotoelektrisko tehnoloģiju atmaksāšanās periodu. Taču, ja cenas kļūst augstākas vai zemākas par tām, kas prognozētas, atmaksāšanās periods mainīsies atbilstoši cenu pieauguma/samazināšanās

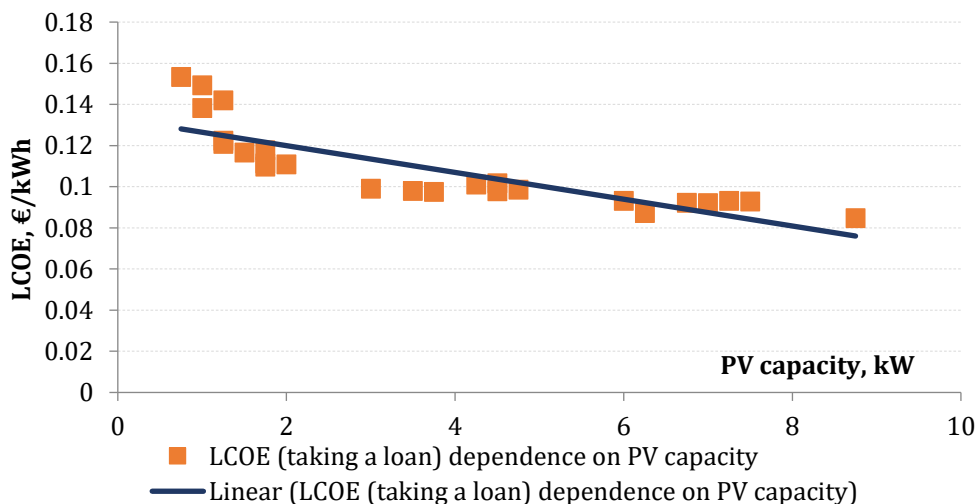
koeficientam. Kā varam redzēt, bāzes gadījumā kopējais vidējais elektroenerģijas rēķins patērētājam ir 37 420,72 € 25 gadu laikā. Otrajā gadījumā, kad tiek piemērota NBS, šī summa pieaug 2,3 reizes. Uz to norāda arī aprēķinātā LCOE vērtība, kura rāda, cik maksās 1 kilovatstunda elektroenerģijas visā uzstādīto iekārtu darbmuža laikā: 0,16 €/kWh bāzes gadījumam, 0,10 €/kWh NBS gadījumā bez aizdevuma vai 0,11 €/kWh, ņemot aizdevumu. Aprēķinot LCOE, nav ņemtas vērā potenciālās elektroenerģijas tarifu izmaiņas nākotnē, kas var ietekmēt LCOE kopējo vērtību. Katram scenārijam tiek aprēķināta neto pašreizējā vērtība, kurā tiek ņemtas vērā kā procentu likmes aizdevuma ņemšanas gadījumā, tā arī diskonta likme.

3.2. tabula. Sākotnējie finansiālā snieguma rezultāti

Scenārijs	Atbilstoši NETO sistēma	Aizdevums	Gada vidējo izmaksu summa, €	NPV, €	Atmaks. periods, gadi	LCOE, €/kWh	LCOE izmaiņas attiecībā pret bāzes gadījumu, %
Bāzes gadījums	-	-	37420,72	-	-	0,16	0,00%
NBS	Norēķinu	ir	16446,07	7468,60	11	0,11	-33,40%
	Norēķinu	nav		11852,97	8	0,10	-38,13%

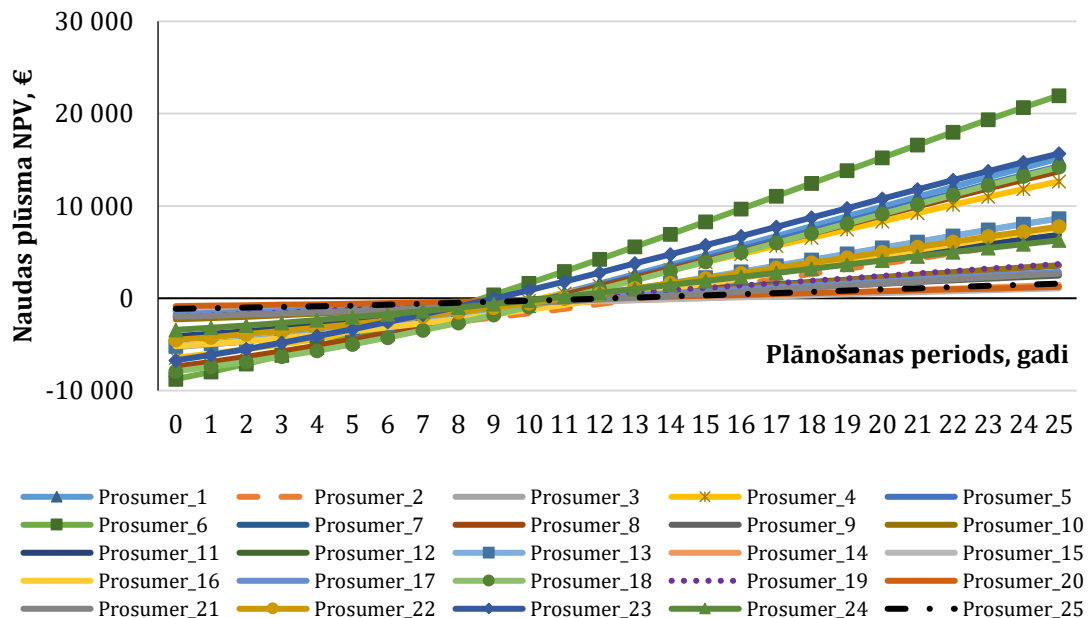
No 3.2. **Error! Reference source not found.** tabulas varam redzēt, ka NPV vērtība ir pozitīva, kas nozīmē, ka projekts 25 gadu laikā atmaksājas. Novērtējot rezultātus, redzam, ka visaugstākā NPV tiek novērota scenārijā bez aizdevuma ņemšanas – 11 852,97 €.

3.3. attēls rāda LCOE atkarību no fotoelektrisko tehnoloģiju uzstādītās jaudas.



3.3. att. LCOE atkarība no fotoelektrisko iekārtu jaudas (PV capacity)

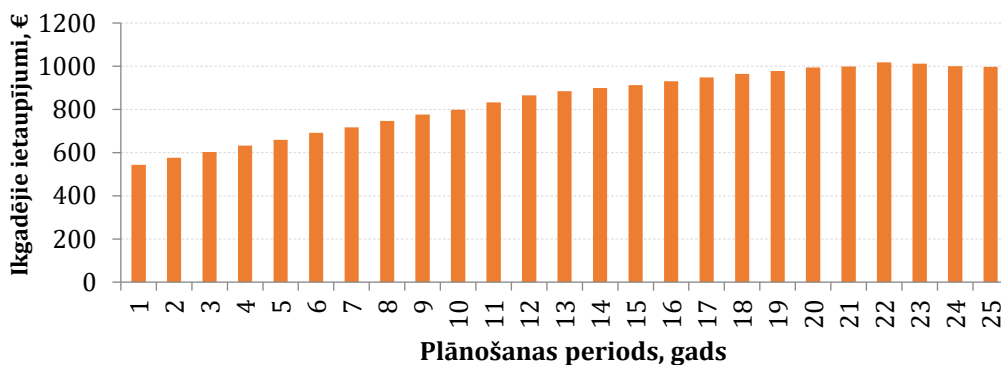
3.3. att. rāda, ka, fotoelektrisko iekārtu jaudai pieaugot, LCOE pakāpeniski samazinās. Balstoties uz pieņēmumiem un modelēšanas metodoloģiju, fotoelektrisko iekārtu investīciju atmaksāšanās periodi visiem RL ir dažādi, kā redzams 3.4. attēlā.



3.4. att. NPV fotoelektrisko iekārtu investīcijām 25 RL (ņemot aizdevumu)

Atzīmēsim, ka visos 25 variantos NPV 25 gadu periodā ir pozitīva. Acīmredzams, ka fotoelektrisko tehnoloģiju izmantošanas ienesīgums spēcīgi svārstās, kam pamatā ir vairāki iemesli. Piemēram, jo lielāku ģenerētās enerģijas daudzumu ražotājs izmanto pašpatēriņam, jo mazāks tā elektrības rēķins un jo lielāki tā ietaupījumi. Rezultātā fotoelektriskās iekārtas atmaksāsies ātrāk, un projekta kopējā NPV būs augstāka. Kā redzams 3.4. att., 6. variants atbilst vispelnošākajam RLm. Te atmaksāšanās periods ir 9 gadi, un kopējā NPV ir 21 965,57 €. Visvājākie rezultāti ir 15. RLm: atmaksāšanās periods ir 15 gadi, un NPV ir tikai 1 076,22 €.

Papildus tam tika aprēķināti ikgadējie ietaupījumi, kas parādīti 3.5. attēlā.

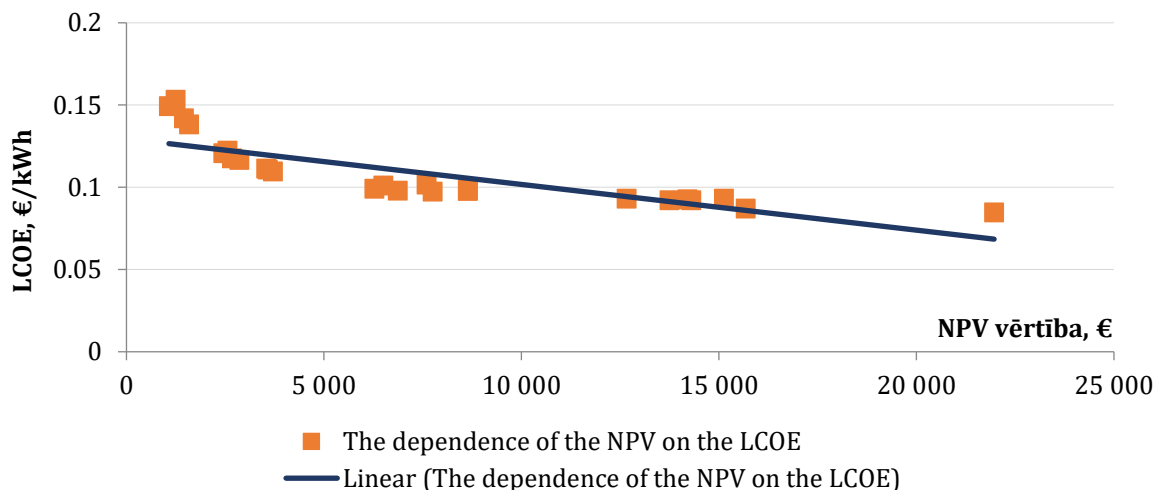


3.5.att. RL ikgadējie ietaupījumi plānošanas perioda laikā

Varam redzēt, ka pirmajos 12 gados ikgadējie ietaupījumi pieaug strauji, savukārt no 12. līdz 22. gadam to pieaugums ir mērens. Taču plānošanas perioda pēdējos 3 gados ikgadējie ietaupījumi nedaudz mazinās. Tas tādēļ, ka sagaidāms, ka no 2040. gada elektroenerģijas cenas visdrīzāk samazināsies, lai gan primāro enerģijas nesēju un CO<sub>2</sub> emisiju cenas augs.

Iemesls tam ir vēja un saules elektrostaciju augstais garantētais tariffs, kas pagarina periodus, kad elektroenerģijas cenas ir zemas un pat negatīvas.

3.6. grafikā attēlota korelācija starp LCOE un NPV.



3.6. att. Korelācija starp LCOE un NPV

Samazinājoties LCOE vērtībai fotoelektrisko tehnoloģiju uzstādīšana un neto sistēmas izmantošana ražotājlietotājiem kļūst izdevīgāka.

Augstākas mazumtirdzniecības cenas padara fotoelektrisko iekārtu uzstādīšanu ienesīgāku, jo pašpatēriņa ietaupījumu vērtība ir lielāka. Skaidri redzams, ka NBS sistēmas sniegums ir labāks nekā bāzes scenārijam.

### 3.1.3. Apspriedums un secinājumi

Pašreizējā NETO sistēmā RL var vidēji ietaupīt aptuveni 56 % salīdzinājumā ar mājsaimniecību patērētāju ikgadējam elektroenerģijas izmaksām. Izmantojot NETO norēķinu sistēmu, RL uzstādīto atjaunīgo enerģijas avotu iekārtu vidējais atmaksāšanās periods ir 11 gadi (ņemot aizdevumu) vai 8 gadi (neņemot aizdevumu). Taču atmaksāšanās periods ir stipri atkarīgs no prognozētajām cenām. Atmaksāšanās periods acīmredzami mainīsies atbilstoši cenu pieauguma/samazinājuma koeficientam. Ņemot vērā, ka elektroenerģijas uzskaitē notiek, balstoties uz tīklā nodotās un no tīkla saņemtās elektroenerģijas daudzumu, var teikt, ka NAS ir atdalīta no elektroenerģijas tirgus darbības un nestimulē RL pielāgoties svārstīgām tirgus cenām, kas samazinātu no tīkla pieprasīto elektroenerģijas daudzumu stundās ar augstu cenu. NAS nav pielāgota viedo tehnoloģiju lietošanai, t.i., netiek veicināts, lai RL uzstādītu enerģijas ģenerācijas/patēriņa regulēšanas ierīces un enerģijas akumulatorus vai izmantotu priekšrocības, kas varētu dot labumu kā RL, tā arī energosistēmai kopumā.

Neto norēķinu sistēmas (NBS) pielietošana nodrošina atmaksāšanās perioda samazināšanos (11 %) un stiprāk stimulē fotoelektrisko tehnoloģiju izmantošanu. Latvijas vidējā ražotājlietotāja ikgadējie ieguvumi (bez aizdevuma ņemšanas) pārsniedz 10 % no kapitāla investīcijām, kas ir vairāk nekā bankas depozīta procentu likme. Šādi ieguvumi var būt pievilcīgi lietotājiem, kuri ir spējīgi investēt. Aizdevuma ņemšanas gadījumā liela daļa ieguvumu tiek novirzīti aizdevuma atmaksai.

## **3.2. 2. piemērs. RL – uz jumta montētu fotoelektrisko iekārtu īpašnieki salīdzinājumā ar enerģijas kopienu no ekonomisko ieguvumu viedokļa**

### **3.2.1. Pieņēmumi par uzņēmējdarbības modeli**

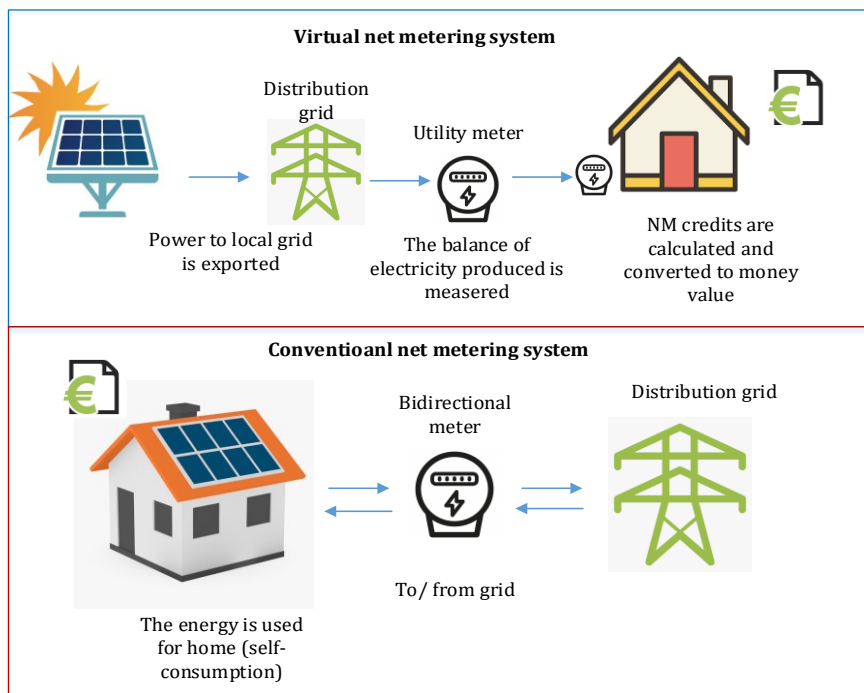
3.7. attēlā parādīti konvencionālās NMS un virtuālās NMS uzņēmējdarbības modeļi. Tradicionālais modelis koncentrējas uz elektroenerģijas ģenerāciju ar uz jumta montējamo fotoelektrisko iekārtu palīdzību. Dzīvojamā sektora RLs ar enerģiju apgādā fotoelektriskie paneļi un sadales tīkls. Šajā gadījumā NETO mērījumu sistēma (NAS) pieļauj, ka saules enerģija tiek izdota atpakaļ tīklā pēc principa „kompensācija 1:1”. Citiem vārdiem, katra kilovatstunda enerģijas, kas nodota tīklā, kompensēsies ar 1 kWh enerģijas, kas izmantota no tīkla. Naudas norēķini par neto patēriņu notiek atbilstoši Latvijas likumdošanas nosacījumiem, kas aprakstīti 2. nodaļā.

Runājot par kopienām, mēs ņemām par pamatu kādu projektu Lietuvā, kurš piedāvā saimniekiem iespēju iegādāties enerģiju, kas ražota ģeogrāfiski citur, iespējams attālumā no mājsaimniecības. Platforma piedāvā 1–10 kW ģenerācijas jaudas, kuras izdod ar saules resursiem ražoto elektroenerģiju tīklā, lai apmierinātu platformas lietotāju vajadzības. Fotoelektrisko sistēmu uzstāda un tās īpašnieks ir komunālo pakalpojumu sniedzējs „Sun Investment Group”<sup>111</sup>. Saules elektrostacija atrodas klajā laukā lauku apvidū. Enerģijas kopienas dalībniekiem tiek izmantota virtuālā NMS. Saules enerģijas kopienas dalībnieki katru mēnesi saņem procentu no atjaunīgās enerģijas (NETO mērījumu kredītpunktus), kas saražota ar viņiem piederošajiem paneļiem. Šo kredītpunktu vērtība ir tāda pati vai gandrīz tāda pati kā summa, kādu mājsaimniecības maksātu par elektroenerģiju savam komunālo pakalpojumu sniedzējam.

Izmantojot izveidotu „Microsoft Excel” vidē programmatūru, tika salīdzināti enerģijas kopienas un jumtā montēto fotoelektrisko iekārtu īpašnieku ekonomiskie ieguvumi.

---

<sup>111</sup> <https://www.pv-magazine.com/2020/03/26/consumer-platform-for-purchasing-remote-solar-in-lithuania/>



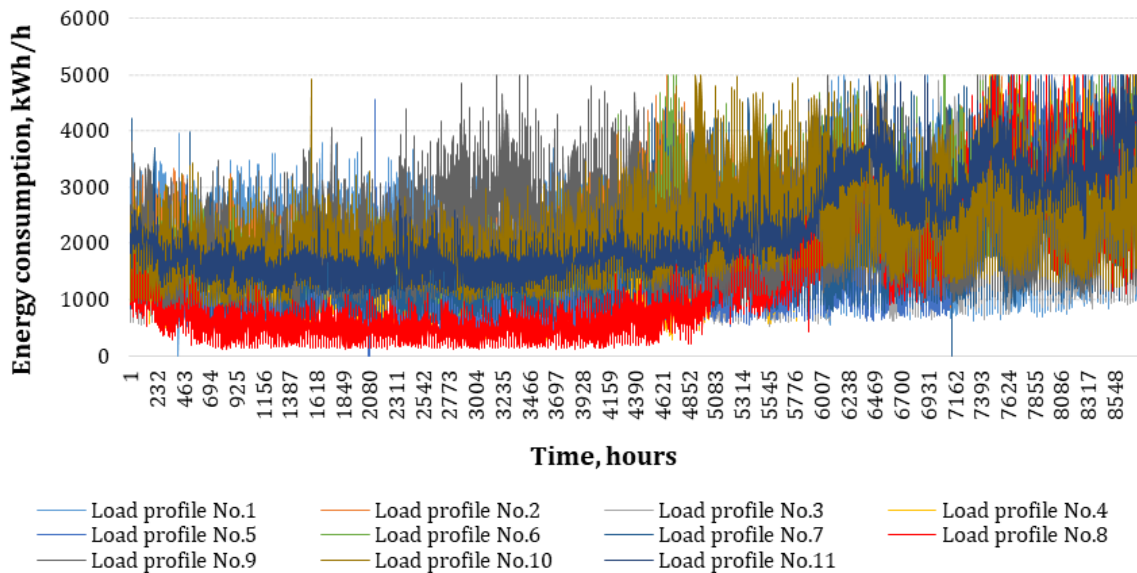
3.7. att. Virtuālā NMS salīdzinājumā ar konvencionālo NMS

### 3.2.2. Pieņēmumi par patērētāju/RL skaitu, slodzes profiliem un fotoelektriskās ģenerācijas jaudu

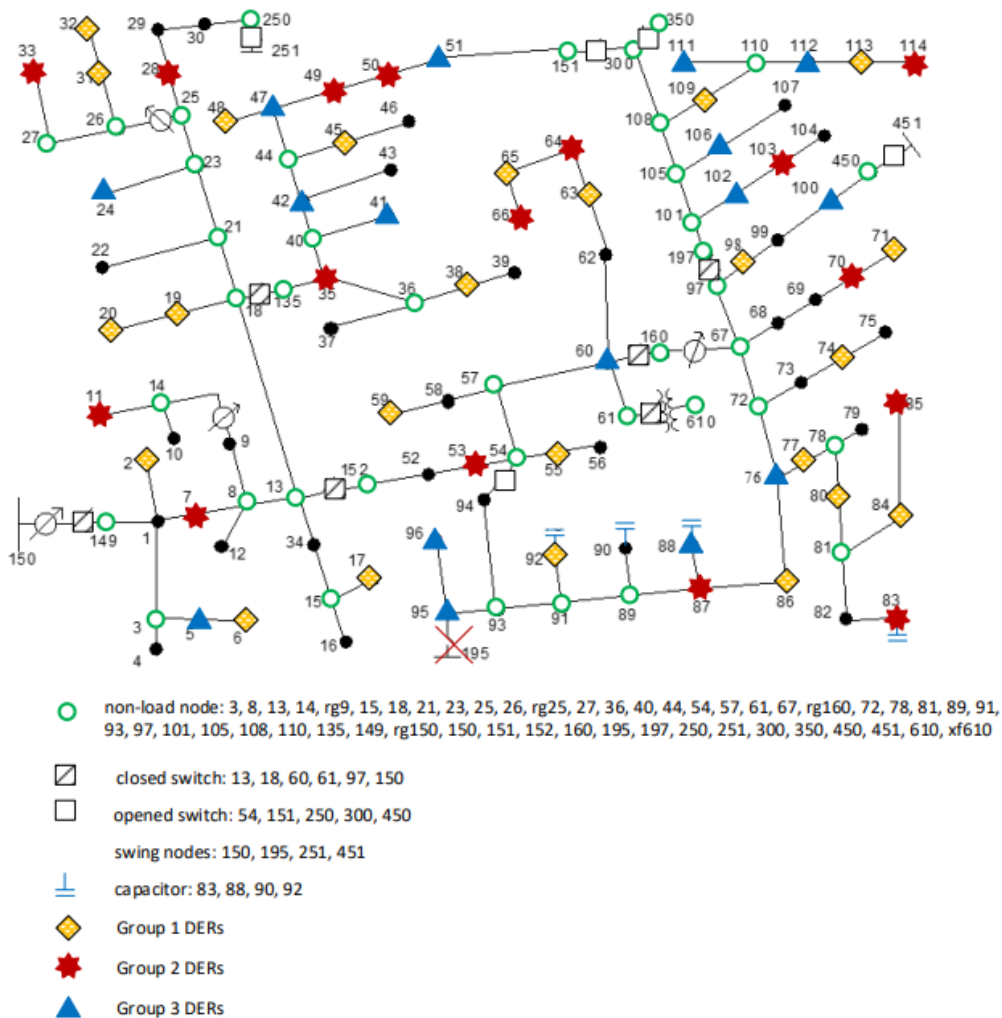
Galalietotāju ikstundas slodzei tiek izmantotas laikrindas, ko ievākusi automātiskā enerģijas mērījumu sistēma, aptverot visu gadu un dažādus Latvijas dzīvojamā sektora patērētājus: privātmājas, mājokļi. Kopumā tiek izvēlēti 11 dažādi gada slodzes profili (sk. 3.8. att.). Gada patēriņš ir diapazonā no 11 677 kWh līdz 19 652 kWh.

Abiem variantiem – RL, kas ir jumta fotoelektrisko iekārtu īpašnieki, un saules enerģijas kopienu RL – ienesīguma novērtējumam tiek izvēlēts modelis „IEEE 123 Node Test Feeder” (3.9. att.)<sup>112</sup>. Ienesīguma pētījumā noteiktas projekta stiprās un vājās puses, un tas palīdz lēmumu pieņēmējiem izvēlēties pareizo plānošanas ceļu, atkarībā no RL finansiālā stāvokļa. Šī modelī darbojas ar nominālo spriegumu 4,16/2,4 kV. Mēs pieņemam, ka no 123 mezgliem ir 95 fāzes slodzes mezgli ar kopējo uzstādīto jaudu 3 490 kW. Kopējais patērētāju skaits ir 698 (sk. 3.11. att.). 160. mezglā tiek izveidota enerģijas kopiena.

<sup>112</sup> <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66599-distribution-system-model-in-simscape-123-node-test-feeder>



3.8. att. 11 dažādu patērētāju enerģijas patēriņš



3.9. att. Modelis „IEEE 123 Node Test Feeder” ar RL procentuālo daļu no patērētājiem (30 %, 50 %, 70 % un 100 %)

Pieejamie 95 slodzes mezgli tika sadalīti 11 slodzes profilos. Ja vairākiem patērētājiem ir viens un tas pats slodzes profils, tie tiek apvienoti vienā slodzes mezglā. Pieņemtie nosacījumi slodžu sadalījumam pa mezgliem parādīti 3.3. tabulā.

3.3. tabula. Slodžu sadalījums pa mezgliem

Slodzes profila Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Slodzes mezgla Nr.	1,4,6,9,11,16,19,20,22	24,28,29,30,33,34,35,37,43	50,52,53,62,63,69,71,73,74	75,77,79,80,82,85,87,88,90,92	94,98,99,100,103,104,106,107,109,113	2,5,7,10,12,17,31,38,39,41,42,45,46,51,55	56,58,59,60,68,70,83,84,86,95,96,102,111,112,114	76(a)	48(a),48(b),48(c),49(b),65(c),76(b),76(c)	64,66	47(a),47(b),47(c),49(a),49(c),65(a),65(b)

Sakarā ar to, ka patērētāju aprēķinātais skaits ir liels, reālos apstākļos nav iespējams uzstādīt fotoelektriskos paneļus visiem vienā un tajā pašā laikā. Tāpēc, ņemot vērā izmantotās shēmas struktūru un mērogu, mēs aplūkojam 4 RL sadalījuma gadījumus:

1. 30 % patērētāju ir RL (dzeltenie rombi, 3.9. att.);
2. 50 % patērētāju ir RL (sarkanās zvaigznes, 3.9. att.);
3. 70 % patērētāju ir RL (zilie trīsstūri, 3.9. att.);
4. 100 % patērētāju ir RL.

Ražotāji ar fotoelektriskajām tehnoloģijām tika integrēti līdz ar pastāvīgi mainīgiem slodzes profiliem. Fotoelektriskās iekārtas tika sadalītas pa enerģijas sadales sistēmu izkaisītā veidā, tā ka tas atgādina reālās dzīves situācijas esošos tīklos, tajā pašā laikā cenšoties uzturēt sākotnējo slodžu attiecību katrai fāzei un starp fāzēm (3.10. att).



Node	Load	Ph-1'	Ph-1	Ph-2	Ph-2	Ph-3	Ph-4
	Model	kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
1	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
2	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
4	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
5	Y-I	0	0	0	0	20	10
6	Y-Z	0	0	0	0	40	20
7	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
9	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
10	Y-I	20	10	0	0	0	0
11	Y-Z	40	20	0	0	0	0
12	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
16	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
17	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
19	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
20	Y-I	40	20	0	0	0	0
22	Y-Z	0	0	40	20	0	0
24	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
28	Y-I	40	20	0	0	0	0
29	Y-Z	40	20	0	0	0	0
30	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
31	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
32	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
33	Y-I	40	20	0	0	0	0
34	Y-Z	0	0	0	0	40	20
35	D-PQ	40	20	0	0	0	0
37	Y-Z	40	20	0	0	0	0
38	Y-I	0	0	20	10	0	0
39	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
41	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
42	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
43	Y-Z	0	0	40	20	0	0
45	Y-I	20	10	0	0	0	0
46	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
47	Y-I	35	25	35	25	35	25
48	Y-Z	70	50	70	50	70	50
49	Y-PQ	35	25	70	50	35	20
50	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
51	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
52	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
53	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
55	Y-Z	20	10	0	0	0	0
56	Y-PQ	0	0	20	10	0	0

58	Y-I	0	0	20	10	0	0
59	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
60	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
62	Y-Z	0	0	0	0	40	20
63	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
64	Y-I	0	0	75	35	0	0
65	D-Z	35	25	35	25	70	50
66	Y-PQ	0	0	0	0	75	35
68	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
69	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
70	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
71	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
73	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
74	Y-Z	0	0	0	0	40	20
75	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
76	D-I	105	80	70	50	70	50
77	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
79	Y-Z	40	20	0	0	0	0
80	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
82	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
83	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
84	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
85	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
86	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
87	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
88	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
90	Y-I	0	0	40	20	0	0
92	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
94	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
95	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
96	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
98	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
99	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
100	Y-Z	0	0	0	0	40	20
102	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
103	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
104	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
106	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
107	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
109	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
111	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
112	Y-I	20	10	0	0	0	0
113	Y-Z	40	20	0	0	0	0
114	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
Total		1420	775	915	515	1155	635

3.10.att. Slodzes sadalījums starp mezgliem

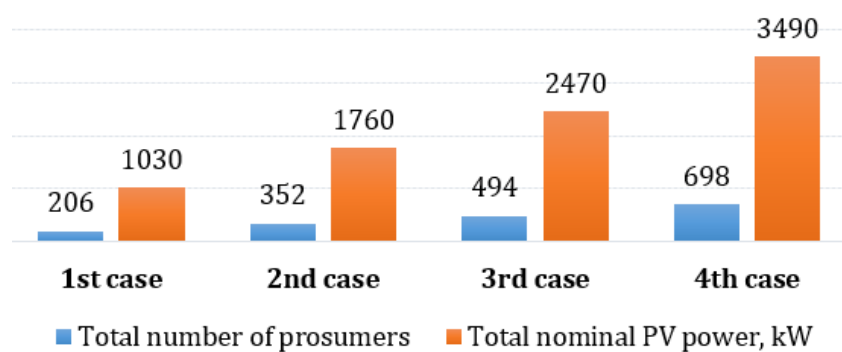
3.4. tabulā sniegta detalizēta informācija par RL procentu, fotoelektrisko paneļu jaudu, slodzes profilu izmantošanu, RL skaitu un izmantoto slodzes mezglu skaitu. Mēs esam pieņēmuši, ka uzstādītā fotoelektrisko paneļu jauda katram RLM ir 5 kW. Kopienas gadījumā katrs patērētājs nopērk kādu saules elektrostacijas daļu, kuras jauda arī ir 5 kW. Tiek apsvērtas vienādas iespējas, lai novērtētu un salīdzinātu abu apsvērto iespēju ekonomiskos parametrus.

3.4. tabula. 4 gadījumu parametri

Gadījuma Nr.	Izmantotā slodzes profila Nr.	Fotoelektrisko iekārtu jauda vienā slodzes mezglā, kW	Slodzes mezglu skaits vienam konkrētam slodzes profilam	Kopējā nominālā fotoelektr. iekārtu jauda, kW	RL skaits vienā viena konkrēta slodzes profila mezglā	Kopējais RL skaits visos viena konkrēta slodzes profila mezglos
30 % RL (1. gadīj.)	1	40	3	120	8	24
	2	40	0	0	8	0
	3	40	3	120	8	24
	4	40	3	120	8	24
	5	40	3	120	8	24
	6	20	7	140	4	28
	7	20	3	60	4	12

	8	105	0	0	21	0
	9	70	4	280	14	56
	10	75	0	0	15	0
	11	35	2	70	7	14
50 % RL (2. gadīj.)	1	40	4	160	8	32
	2	40	3	120	8	24
	3	40	5	200	8	40
	4	40	5	200	8	40
	5	40	4	160	8	32
	6	20	8	160	4	32
	7	20	6	120	4	24
	8	105	0	0	21	0
	9	70	5	350	14	70
	10	75	2	150	15	30
	11	35	4	140	7	28
70 % RL (3. gadīj.)	1	40	4	160	8	32
	2	40	4	160	8	32
	3	40	5	200	8	40
	4	40	6	240	8	48
	5	40	6	240	8	48
	6	20	12	240	4	48
	7	20	12	240	4	48
	8	105	1	105	21	21
	9	70	7	490	14	98
	10	75	2	150	15	30
	11	35	7	245	7	49
100 % RL (4. gadīj.)	1	40	9	360	8	72
	2	40	9	360	8	72
	3	40	9	360	8	72
	4	40	10	400	8	80
	5	40	10	400	8	80
	6	20	16	320	4	64
	7	20	15	300	4	60
	8	105	1	105	21	21
	9	70	7	490	14	98
	10	75	2	150	15	30
	11	35	7	245	7	49

Kopējais RL skaits un fotoelektrisko iekārtu jauda katrā gadījumā parādīti 3.11. attēlā.



3.11. att. Kopējā fotoelektrisko iekārtu jauda un RL kopskaits

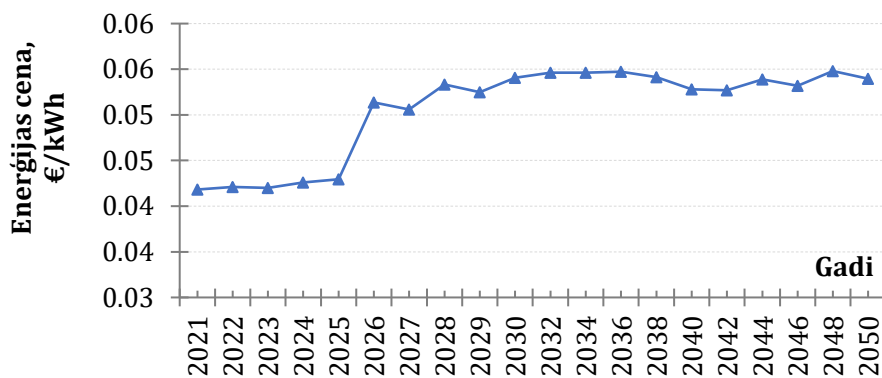
### 3.2.3. Pieņēmumi par cenu prognozēšanu

Pieņemam, ka ilgtermiņa tendences enerģijas cenās var aprakstīt ar izmaiņām gada vidējos parametros. Šis pieņēmums ļauj izmantot modeļus, kas ir piedāvāti gada vidējo tirgus cenu tendenču novērtēšanai.

Sākumā no *Nord Pool* datubāzes tiek ņemta ikstundas enerģijas cena 2019. gadam. 2020. un 2021. gads netiek ņemti par bāzes gadiem Covid pandēmijas ietekmes uz elektroenerģijas cenām dēļ.

Šajā pētījumā mēs izmantojam divus elektroenerģijas cenu prognozēšanas scenārijus:

1. Izmantojam ilgtermiņa prognozi, kas tika iegūta, izmantojot komerciālās modelēšanas sistēmas *Multi-Area Power Planning Model (EMPS modelis)* versiju<sup>113</sup>. Šis modelis ir pazīstams arī kā *Samkjøringsmodellen* vai *Power Market Analyzer*<sup>114</sup>. Izmantojot Furjē transformāciju, mēs novērtējam konstantās komponentes un aizstājam tās ar prognozēto vidējo elektroenerģijas cenu 2021.–2050. gada intervālam no rīka *SKM Market Predictor* (3.12. att.). Pētījumā izmantojam 2025. – 2050. gada prognozēšanas datus.



3.12. att. Latvijas ikgadējā enerģijas cena, izmantojot EMPS

2. Pieņemam, ka elektroenerģijas cenas ik gadu pieaugs par 3 % (no 2020. līdz 2050. gadam).

Pētījumā izmantojam 2025. – 2050. gada prognozēšanas datus.

### 3.2.4. Pieņēmumi par ģenerāciju fotoelektriskajās iekārtās

Lai aprēķinātu Saules radiāciju un enerģijas ražošanu fotoelektriskajās iekārtās, tika izmantots PVGIS tīmekļa interfeiss<sup>115</sup>. Attiecībā uz Rīgas centru tika izvērtēta pilna laikrinda ar ikstundas vērtībām gan par Saules radiāciju, gan par fotoelektrisko iekārtu sniegumu, pieņemot, ka fotoelektrisko moduļu slīpums (t.i., leņķis ar horizontālo plakni)

<sup>113</sup> <https://www.sintef.no/en/software/emps-multi-area-power-market-simulator/>

<sup>114</sup> SKM Market Predictor AS, Long-Term Power Outlook 2019 (February 2020 Update). [Ierobežotas pieejamības datubāze.] Iegādājama: <https://www.skmenenergy.com/reports/long-term-power-outlook>

<sup>115</sup> Fotoelementu ģeogrāfiskās informācijas sistēma (PVGIS). Pieejams: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

ir 41° fiksētam (Saulei nesekojošam) montāžas veidam, azimuts 1° un izmantota kristāliskā silīcija fotoelektriskā tehnoloģija. Tika ņemti dati par 2015. gadu, un tiek pieņemts, ka orientējošie sistēmas zudumi ir 14 % RL – jumta iekārtu īpašniekiem un 10 % saules enerģijas kopienām, saskaņā ar <sup>63</sup>.

Efektivitātes rādītāja (angļu val. – *performance ratio*) samazināšanās silīcija tehnoloģijai (c-Si, p-Si) ir 0,4 %-0,5 % gadā<sup>116</sup>. Šajā gadījumizpētē pieņemam rādītāju 0,50 % procenti gadā.

### 3.2.5. Citi pieņēmumi

Galvenie modelēšanas ievaddati apkopoti 3.5. tabulā.

3.5. tabula. Ievadparametri un pieņēmumi

Ievadparametrs	Vērtība (mērvienība)	Pieņēmumi un avots
Investīciju ieguldīšanas gads	2025	Pašu pieņēmums
Darbības uzsākšanas gads	2026	
Viena RL sistēmas izmērs	5 kW	Pašu pieņēmums, balstoties uz patērētāja maksimālo stundas enerģijas patēriņu
Efektivitātes rādītājs fotoelektriskajiem paneļiem	21 %	Vidējais. Pašu pieņēmumi, balstoties uz <sup>117</sup>
Efektivitātes rādītāja samazināšanās sākuma gads	2. gads (2027. gads)	
Darbmūžs	25 gadi	
Investīciju izmaksas fotoelektriskajiem jumta paneļiem	1 300 €/kW	Dati, kas balstīti uz tirgus datiem
Investīciju izmaksas fotoelektriskajai stacijai	900 €/kW	Balstīts uz Lietuvas virtuālās NMS piemēra <sup>118</sup>
Ekspluatācijas un apkopes izmaksas fotoelektriskajiem jumta paneļiem	1 % /gadā	Vidējais rādītājs, balstīts uz <sup>119</sup>
Ekspluatācijas un apkopes izmaksas fotoelektriskajai stacijai	19 €/kW/gadā	Balstīts uz Lietuvas virtuālās NMS piemēra <sup>118</sup>

<sup>116</sup> Dirk C. Jordan and Sarah R. Kurtz, *Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review*, Journal Article NREL/JA-5200-51664 June 2012

<sup>117</sup> <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>

<sup>118</sup> <https://saulesbendruomene.lt/>

<sup>119</sup> Lugo-Laguna, D.; Arcos-Vargas, A.; Nuñez-Hernandez, F. A European Assessment of the Solar Energy Cost: Key Factors and Optimal Technology. *Sustainability* 2021, 13, 3238. <https://doi.org/10.3390/su13063238>

1 dzīvojamā sektora patērētāja gada enerģijas patēriņš	11 677 – 19 652 kWh	
1 dzīvojamā sektora patērētāja maksimālais enerģijas patēriņš	5 000 kWh/h	
Dzīvojamā sektora patērētāja slodzes profilu skaits	11	
Diskonta likme	1,4 %	Pašu pieņēmums jutības analīzei
Procentu likme	3,0 %	Pašu pieņēmums jutības analīzei
PVN	21 %	Latvijas pievienotās vērtības nodoklis <sup>120</sup>
Ražošanas tarifs	3,0013 €/kW/gadā	Pieejamie dati no <sup>107</sup> . Sadales sistēmas pakalpojuma tarifu ražotājiem piemēro par starpību starp elektroenerģijas ražotājiem atļaujā elektrostacijas pieslēgšanai sistēmai norādīto jaudu un atļauto slodzi kW 6–20 kV līnijās un kopnēs vai IAA strāvas lielumu, kas pārrēķināts uz kW, 0,4 kV līnijās un kopnēs. Tiek aplūkoti RL – saules enerģijas kopienas
Sadales tarifs 1 dzīvojamā sektora patērētājam	0,04932 €/kWh	S1 Mājsaimniecības (vienfāzes pieslēgums ar ievadaizsardzības aparāta strāvas lielumu līdz 40 A ieskaitot). Pieslēguma spriegums un vieta: 0,4 kV līnija
Obligātā iepirkuma komponente	0,0113 €/kWh	Ar apstiprinātajiem grozījumiem NMS lietotāji ir atbrīvoti no maksājumiem par OIK mainīgo daļu — RL saražoto elektroenerģijas daudzumu, kuru tie nodod tīklā un saņem atpakaļ no tīkla gada laikā <sup>121</sup> .
Uz jaudu balstītā pieslēguma maksa sadales sistēmas operatoram 1 dzīvojamā sektora klientam	18,0 €/gadā	S1 Mājsaimniecības (vienfāzes pieslēgums ar ievadaizsardzības aparāta strāvas lielumu līdz 40 A ieskaitot). Pieslēguma spriegums un vieta: 0,4 kV līnija
Uz jaudu balstītā pieslēguma maksa 1 dzīvojamā sektora	10,51 €/gadā	Pieejamie dati no <sup>121</sup> . Lietotāju patēriņa grupa: Mājsaimniecību

<sup>120</sup> <https://www.vid.gov.lv/en/value-added-tax>

<sup>121</sup> Latvijas tarifi. Pieejams: <https://www.sprk.gov.lv/content/tarifi-1>

klientam (obligātā iepirkuma fiksētā komponente)		vienfāzes pieslēgums ar ievadaizsardzības aparāta strāvas lielumu līdz 40 A. Sprieguma pakāpe: 0,4 kV līnija
Sadales tarifs saules enerģijas kopienas RLM	0,0227 €/kWh	S6 tarifs (viena laika zona, visas atļautās slodzes). Pieslēguma spriegums un vieta: 6–20 kV līnija
Uz jaudu balstītā pieslēguma maksa saules enerģijas kopienas RLM (obligātā iepirkuma fiksētā komponente)	14,91 €/kW/gadā	Lietotāju patēriņa grupa: Visas atļautās slodzes. Sprieguma pakāpe: 6–20 kV līnija

### 3.2.6. Scenāriju modelēšana

Kopā veikta 24 scenāriju modelēšana. Visu scenāriju apkopojums parādīts 3.6. tabulā.

Katram scenārijam izmantoti 4 raksturojoši parametri:

- NAS sistēma. Tā ir aprakstīta 1.4.1. apakšnodaļā. Šajā pētījumā ir divi varianti: bāzes variants, kad elektroenerģijas patērētājs nav piesaistīts NETO sistēmai; otrais variants – elektroenerģijas patērētājs ir RL un ir NETO sistēmas dalībnieks. Tā ir gan tradicionālā NETO sistēma (jumta fotoelektrisko iekārtu RL), gan virtuālā NETO sistēma (saules enerģijas kopienu dalībniekiem);
- RL procentuālais daudzums apskatītajā sadales shēmā. Tika apskatīti četri varianti: 30 %, 50 %, 70 % un 100 %;
- elektroenerģijas cenu prognoze. Tika apskatīti 2 scenāriji (sk. 2.2. apakšnodaļu);
- RL tips. Tika apskatīti 2 varianti: RL – jumta fotoelektrisko iekārtu īpašnieki un saules enerģijas kopienu RL.

Par **bāzes scenārijiem** tiek pieņemti 1.–8. scenārijs, kad NETO sistēma netiek piemērota. 9., 10., 13., 14., 17., 18., 21. un 22. ir scenāriji, kas attiecas uz jumta fotoelektriskajām iekārtām. Savukārt pārējie ir uz kopienu balstīti scenāriji.

3.6. tabula. Scenāriju apkopojums

Scenārija Nr.	NMS	RL procentuālais daudzums sadales tīklā	Cenu prognoze		RL tips		Scenārija tips
			Cenu prognoze Nr. 1	Cenu prognoze Nr. 2	RL ar jumta fotoelektr. iekārtām	Saules enerģijas kopiena	
1	-	30	√	-	-	-	Bāzes scenāriji
2	-	30	-	√	-	-	
3	-	50	√	-	-	-	
4	-	50	-	√	-	-	
5	-	70	√	-	-	-	
6	-	70	-	√	-	-	
7	-	100	√	-	-	-	

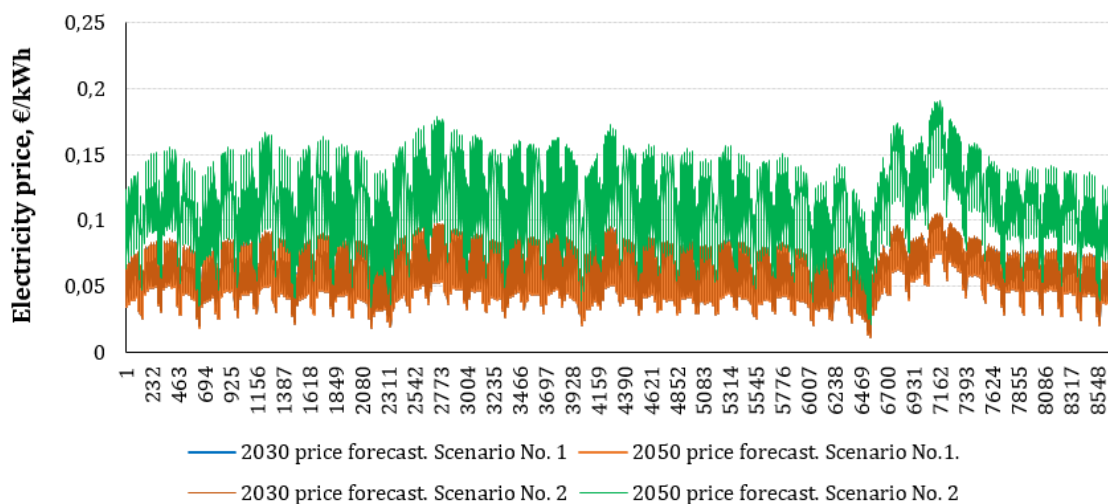
8	-	100	-	√	-	-	
9	√	30	√	-	√	-	Jumta fotoelektr.
10	√	30	-	√	√	-	
11	√	30	√	-	-	√	
12	√	30	-	√	-	√	Kopiena
13	√	50	√	-	√	-	Jumta fotoelektr.
14	√	50	-	√	√	-	
15	√	50	√	-	-	√	
16	√	50	-	√	-	√	Kopiena
17	√	70	√	-	√	-	Jumta fotoelektr.
18	√	70	-	√	√	-	
19	√	70	√	-	-	√	
20	√	70	-	√	-	√	Kopiena
21	√	100	√	-	√	-	Jumta fotoelektr.
22	√	100	-	√	√	-	
23	√	100	√	-	-	√	
24	√	100	-	√	-	√	Kopiena

### 3.2.7. Rezultāti

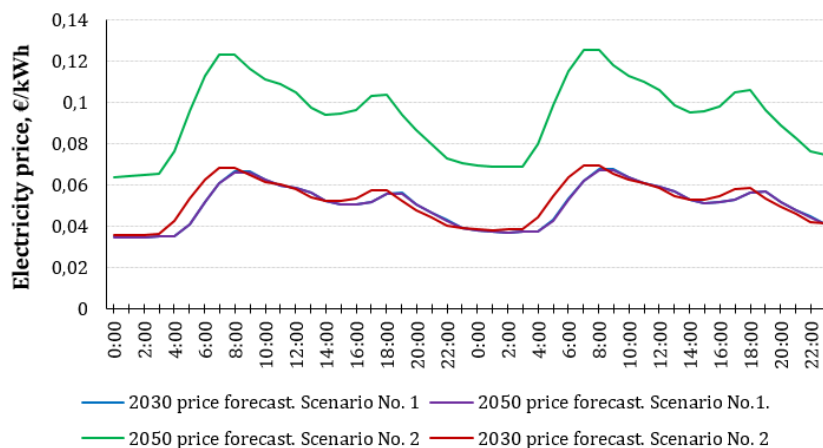
#### 3.2.7.1. Cenu prognozēšana

Detalizētāk apskatīsim elektroenerģijas cenu prognozes diviem laika posmiem – 2030. un 2050. gadam. 3.13. attēlā atspoguļota Latvijas elektroenerģijas cenas prognoze. Vidējā elektroenerģijas cena 2030. gadā 1. scenārijam ir 0,0604 €/kWh (par 11,2 % vairāk nekā 2025. gadā) un 2050. gadā ir 0,0603 €/kWh (par 11 % vairāk nekā 2025. gadā). Vidējās elektroenerģijas cenas 2. scenārijam ir 0,0621 €/kWh un 0,112 €/kWh, kas ir attiecīgi par 13,6 % un 52,24 % vairāk salīdzinājumā ar 2025. gadu.

Tā ka 3.13. attēlā ir grūti saskatāma elektroenerģijas cenas prognoze pēc 1. cenārija, tad 3.14. attēlā dots prognozes fragments (01.04.–02.04.), kurš pasvītro starpību starp cenu izaugsmes scenārijiem.



3.13. att. Ikstundas elektroenerģijas cenas prognoze 2030. un 2050. gadam



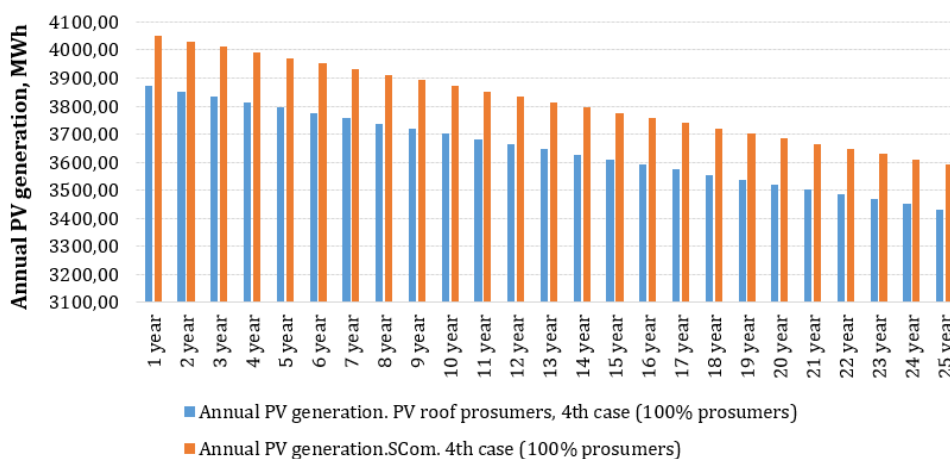
3.14. att. Ikstundas elektroenerģijas cenas prognoze 01.04.–02.04. 2030. gadam un 01.04.–02.04. 2050. gadam

No 3.14. attēla ir redzams, ka elektroenerģijas cenas pēc 1. scenārija gandrīz sakrīt, starpība ir 0,20 %. Tādu atšķirību var paskaidrot ar to, ka prognoze pēc rīka *SKM Market Predictor* tika veikta 2019. gadā pirms Covid-19 pandēmijas un nozīmīgs gada vidējo cenu kāpums netika prognozēts un iēplānots. Savukārt pēc 2. scenārija cenas atšķirība ir skaidri redzama (apm. 45 %).

Vērts atzīmēt, ka vidējā cena 2020. gadam saskaņā ar *Nord Pool* datiem bija 0,03405 €/kWh, bet 2021. gadā (01.01.2021–03.11.2021.) tā jau ir vienāda ar 0,0732 €/kWh, kas ir gandrīz 2 reizes vairāk. Saskaņā ar 2. prognozi līdzīga vidējā vērtība tiek sasniegta 2035.–2036. gadu periodā (0,0721 €/kWh, 0,0743 €/kWh).

### 3.2.7.2. Fotoelektriskā ģenerācija

Balstoties uz 2.3.1. apakšnodaļas pieņēmumiem un izmantotajiem datiem, tiek aplēsts ikgadējais fotoelektriskās ģenerācijas apjoms, izmantojot jumta paneļus un saules elektrostaciju (3.15. att.). Šajā attēlā tiek piemērots 4. gdaījums, kad RL procentuālais daudzums apskatītajā sadales shēmā ir vienāds ar 100 %.



3.15. att. Ikgadējais fotoelektriskās ģenerācijas apjoms

Analizējot fotoelektriskajā ģenerācijā saražotās elektroenerģijas prognozes, var apgalvot, ka plānošanas perioda beigās prognozējamais saražotās elektroenerģijas

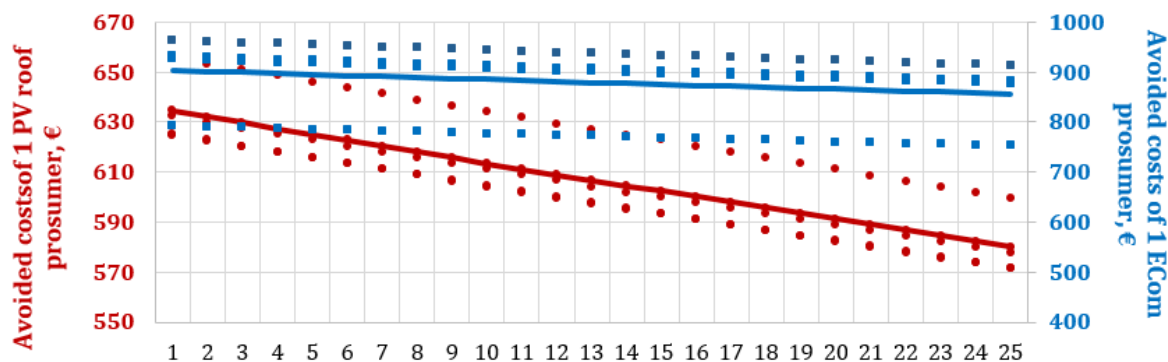


daudzums samazinās par 11,3 % sakarā ar saules elementu degradāciju. Līdz ar to mazinās arī pašpatēriņš. Atšķirība starp ģenerāciju ar jumta paneļiem un ģenerāciju saules elektrostacijās ir 4,4 %.

### 3.2.7.3. Fotoelektrisko iekārtu rentabilitātes novērtējuma elektroenerģijas tirgos rezultāti

Pārskatāmības labad kopējos grafikos atspoguļoti visu scenāriju rezultāti. Taču visos scenārijos iegūtie rezultāti ir arī apkopoti 3.7. tabulā.

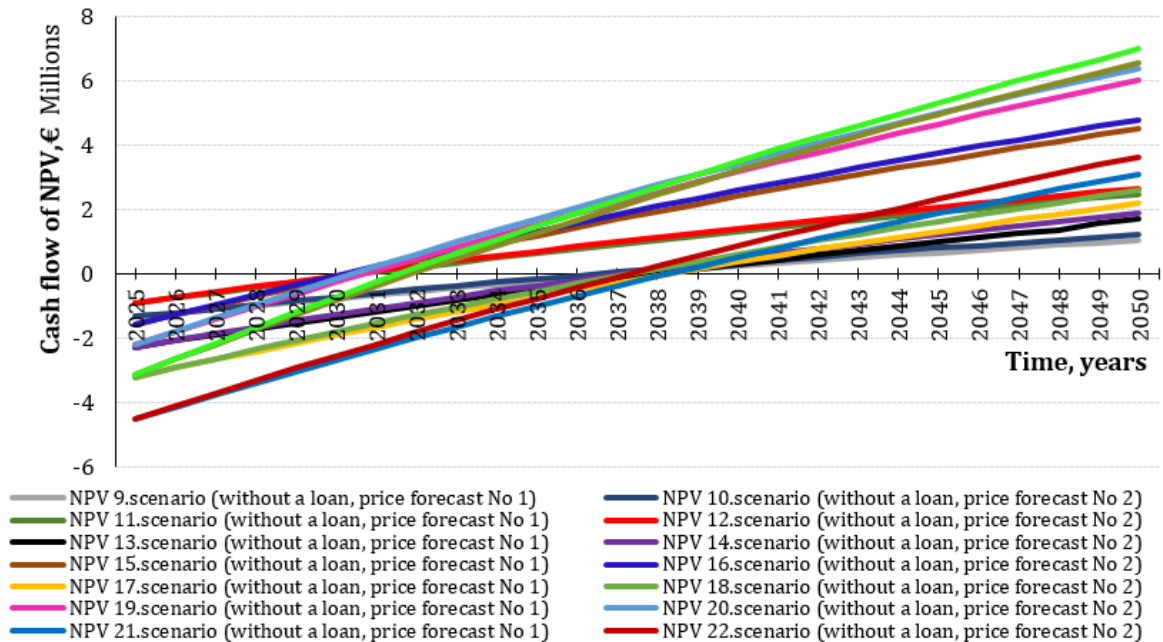
Rezultātā iegūtās novērstās izmaksas no fotoelektriskajām iekārtām pa gadiem ir dotas 3.16. attēlā abiem variantiem: jumta fotoelektrisko iekārtu īpašniekiem un enerģijas kopienu RL. Rezultāti uzrādīti 1 RL.



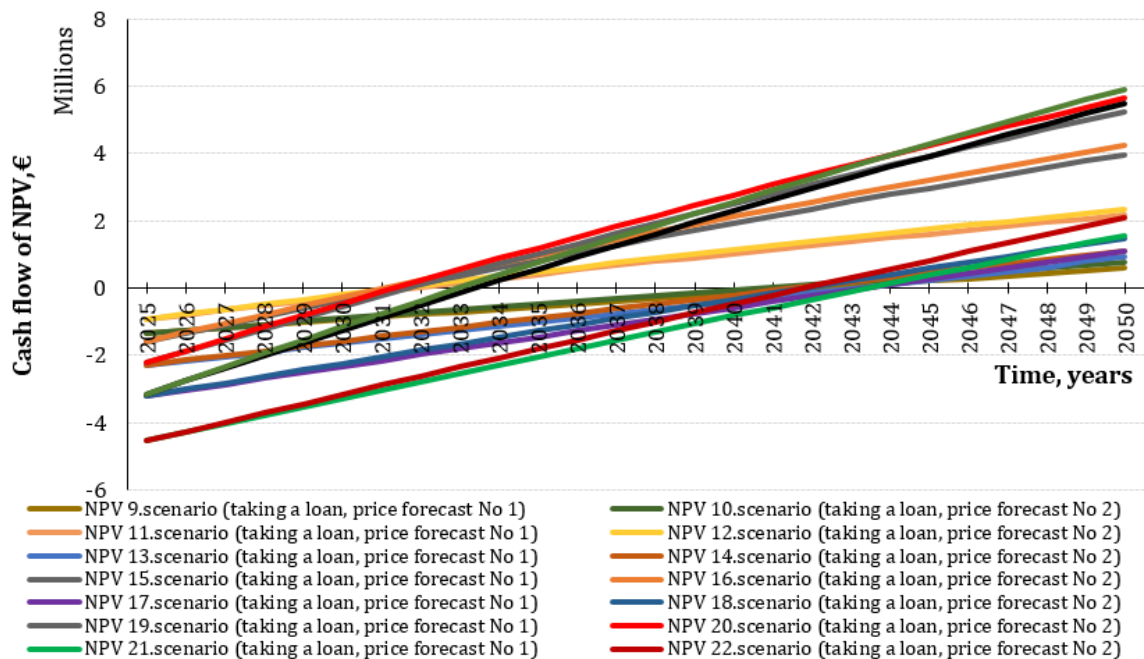
3.16. att. Novērstās izmaksas vienam RL

3.16. attēlā parādīts novērsto izmaksu diapazons 1 RL (sarkanie punkti), kā arī vidējās gada novērstās izmaksas (sarkanā līnija). Šīs vērtības parāda, kādā mērā NETO mērījumu sistēma ir izdevīga RL, cik daudz tas ietaupa gadā salīdzinājumā ar situāciju, kad fotoelektriskās iekārtas nebūtu uzstādītas. Ar zilajiem punktiem norādīts novērsto izmaksu diapazons kopienas dalībniekam. Zilā līnija parāda gada vidējās novērstās izmaksas. Kā var redzēt grafikā, abu gadījumu novērstās izmaksas ievērojami atšķiras, par 29,79 % – 32,27 %. Šāda atšķirība pamatojas uz ikgadējo fotoelektriskās ģenerācijas apjomu (3.15. att.).

Rezultātā iegūtās novērsto izmaksu naudas plūsmas NPV līknes parādītas 3.17. un 3.18. attēlā. Šajos attēlos novērojams, ka visiem variantiem jau no pirmā gada ienākumi pārsniedz uzturēšanas un ekspluatācijas izmaksas. Tomēr fotoelektrisko iekārtu kapitālieguldījumu atmaksāšanās periods mainās plašā diapazonā, bet nepārsniedz iekārtu darbmužu (25 gadi).



3.17. att. NPV izmaiņas laikā atkarībā no izvēlētā scenārija (bez kredīta ņemšanas)



3.18. att. NPV izmaiņas laikā atkarībā no izvēlētā scenārija (ar kredītu)

Fotoelektrisko iekārtu kapitālieguldījumu atmaksāšanās periods variēs no 6 līdz 19 gadiem. Visaugstākā NPV vērtība tiek sasniegta 24. scenārijā (enerģijas kopienas RL; 100 % RL sadalījums; kredīts nav ņemts, un tiek izmantots elektroenerģijas cenas 2. scenārijs) – 2050. gadā tā ir 6,98 miljoni €. Atmaksāšanās periods ir 7 gadi. Viszemākā NPV vērtība tiek sasniegta 9. scenārijā (RL – jumta fotoelektrisko iekārtu īpašnieks; 30% RL sadalījums; kredīts tiek paņemts un tiek izmantots elektroenerģijas cenas 1. scenārijs) – 2050. gadā tā ir 0,58 miljoni €. Atmaksāšanās periods ir 18 gadi.

Citu scenāriju NPV rezultāti, kā arī citu ekonomisko kritēriju aprēķinu rezultāti apkopoti 3.7. tabulā.

3.7. tabula. NPV, LCOCE, iekšējās peļņas normas un atmaksāšanās perioda analīzes rezultāti

RL procents, %	Scenārija Nr.	LCOCE, €/kWh	Iekšējā peļņas norma, %	NPV, €	Atmaks. periods, gadi
30	<b>1</b>	0,122	-	-	-
	<b>2</b>	0,128	-	-	-
	<b>9</b> (bez kredīta)	0,108	7,25 %	1040694,71	13
	<b>9</b> (ar kredītu)	0,114	4,72 %	585983,97	18
	<b>10</b> (bez kredīta)	0,112	8,03 %	1205364,21	12
	<b>10</b> (ar kredītu)	0,118	5,52 %	750653,47	16
	<b>11</b> (bez kredīta)	0,088	17,94 %	2481667,06	6
	<b>11</b> (ar kredītu)	0,093	15,46 %	2166867,32	7
	<b>12</b> (bez kredīta)	0,093	18,85 %	2640959,11	6
<b>12</b> (ar kredītu)	0,097	16,36 %	2326159,36	7	
50	<b>3</b>	0,123	-	-	-
	<b>4</b>	0,129	-	-	-
	<b>13</b> (bez kredīta)	0,110	6,92 %	1705018,01	14
	<b>13</b> (ar kredītu)	0,116	4,42 %	928036,54	19
	<b>14</b> (bez kredīta)	0,114	7,55 %	1885107,92	13
	<b>14</b> (ar kredītu)	0,121	5,02 %	1108126,45	17
	<b>15</b> (bez kredīta)	0,087	18,81 %	4503157,48	6
	<b>15</b> (ar kredītu)	0,092	16,32 %	3965247,23	7
	<b>16</b> (bez kredīta)	0,091	19,74 %	4783679,05	6
<b>16</b> (ar kredītu)	0,096	17,24 %	4245768,80	7	
70	<b>5</b>	0,1219	-	-	-
	<b>6</b>	0,1282	-	-	-
	<b>17</b> (bez kredīta)	0,109	6,65 %	2197492,59	14
	<b>17</b> (ar kredītu)	0,116	4,09 %	1107069,73	19
	<b>18</b> (bez kredīta)	0,113	7,41 %	2573232,39	13
	<b>18</b> (ar kredītu)	0,120	4,88 %	1482809,54	17
	<b>19</b> (bez kredīta)	0,087	18,07 %	6004002,90	6
	<b>19</b> (ar kredītu)	0,092	15,59 %	5249094,77	7
	<b>20</b> (bez kredīta)	0,091	18,99 %	6392886,94	6
<b>20</b> (ar kredītu)	0,096	16,50 %	5637978,81	7	
100	<b>7</b>	0,1221	-	-	-
	<b>8</b>	0,1283	-	-	-
	<b>21</b> (bez kredīta)	0,109	6,64 %	3102400,47	14
	<b>21</b> (ar kredītu)	0,116	4,09 %	1561681,53	19
	<b>22</b> (bez kredīta)	0,113	7,40 %	3632115,94	13
<b>22</b> (ar kredītu)	0,120	4,87 %	2091397,00	17	

	23 (bez kredīta)	0,095	14,80 %	6559553,13	7
	23 (ar kredītu)	0,099	12,34 %	5492901,55	9
	24 (bez kredīta)	0,100	15,53 %	6981904,39	7
	24 (ar kredītu)	0,104	13,07 %	5915252,82	8

Vispirms aplūkosim iekšējās peļņas normas vērtības. Starpība starp iekšējās peļņas normu un diskonta likmi (mūsu gadījumā 1,4 %) ataino investīciju aktivitāšu efektu (uzņēmējdarbības efektivitāte). Ja iekšējās peļņas norma ir 1,4 %, tad ienākumi tikai atmaksā investīcijas (investīciju ienesīgums ir 0), bet, kad iekšējās peļņas norma pazeminās zem 1,4 %, investīcijas kļūst nerentablas. No 3.7. tabulas var rezumēt, ka novērotajos scenārijos investīcijas atmaksājas. Iekšējās peļņas norma variē no 4,72% līdz 19,74%.

Iespējams novērtēt arī fotoelektrisko paneļu uzstādīšanas ekonomisko pievilcīgumu, izmantojot normētās konstantās enerģijas izmaksas (LCOCE): ja rādītāja LCOCE vērtība scenārijam ar jumta tehnoloģijām vai ar enerģijas kopienām ir zemāka nekā tā vērtība kādam no bāzes scenārijiem, tad investīcijas var būt rentablas.

Detalizēti izanalizēsim 4. gadījuma rezultātus, kad RL procentuālais sadalījums ir vienāds ar 100 % (7., 8., 21., 22., 23., 24. scenārijs). Izpētītajiem scenārijiem mums ir šādas LCOCE vērtības bāzes scenārijiem (7. un 8. scenārijs): 0,1221 €/kWh (tiek piemērots elektroenerģijas cenu prognozes 1. scenārijs) un 0,1283 €/kWh (tiek piemērots elektroenerģijas cenu prognozes 2. scenārijs). Pielietojot NAS RL – jumta iekārtu īpašniekiem un saules enerģijas kopienām RL, LCOCE nedaudz samazinās: jumta iekārtu īpašniekiem (21. un 22. scenārijam) LCOCE svārstās diapazonā 0,109 – 0,120 €/kWh, bet kopienām (23. un 24. scenārijs) – diapazonā 0,095 – 0,104 €/kWh. RL iegūtie LCOCE rezultāti apstiprina fotoelektrisko iekārtu uzstādīšanas efektivitāti.

Saules enerģijas kopienām priekšrocības var apstiprināt ar LCOCE salīdzinājumu: 23. scenārijam bez kredīta kopienām uzrāda LCOCE, kas ir par 14,7 % zemāks nekā individuālu RL LCOCE (0,109 €/kWh) (21. scenārijs bez kredīta ņemšanas). Ar kredītu šī starpība palielinās – 17,17 %. Līdzīga tendence novērojama, salīdzinot 22. un 24. scenāriju: kopienām uzrāda LCOCE, kas ir par 13 % zemāks nekā individuālo RL kopējais LCOCE, neņemot kredītu. Gadījumā, kad ir ņemts kredīts LCOCE starpība starp kopienām un individuālo RL LCOCE palielinās par 15,38 %.

Ja paraugāties uz atmaksāšanās periodu, kopumā varam teikt šādi: saules enerģijas kopienām RL atmaksāšanās periods svārstās no 7 līdz 9 gadiem, taču jumta iekārtu īpašniekiem šis rādītājs ir augstāks – 13 līdz 19 gadi atkarībā no kredīta rēķināšanas.

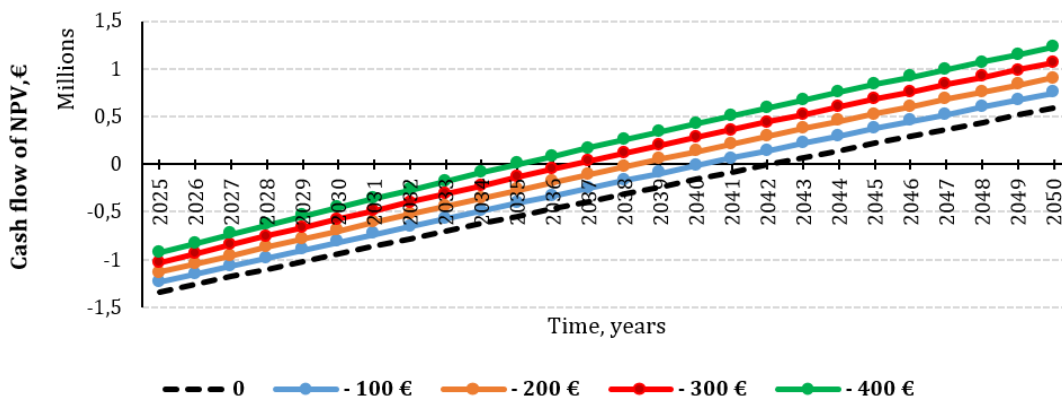
Šādiem daudzsolītiem rezultātiem būtu jāpamudina vienkāršie patērētāji kļūt par enerģijas kopienām dalībniekiem.

### 3.2.8. *Jūtības analīze*

Veicot jutības analīzi, tika paņemti divi scenāriji: 9. scenārijs (kad tiek ņemts kredīts) un 24. scenārijs (kad kredīts netiek ņemts). Šī jutības analīze balstīta uz iepriekš

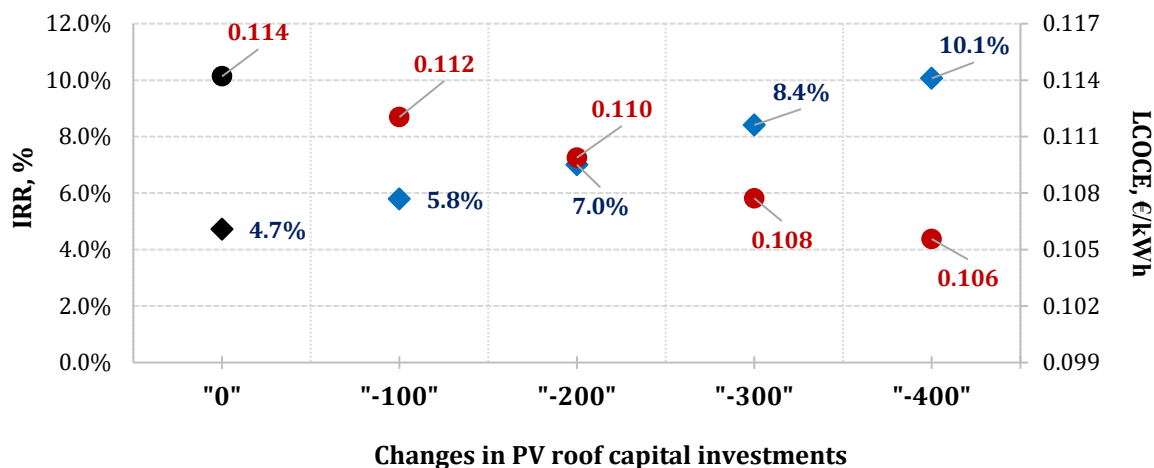
aprakstīto scenāriju raksturojošiem parametriem (3.6. tabula). Ievaddati apkopoti 3.5. tabulā.

Enerģētikas investīciju projektu izdevīguma aprēķini, protams, ir ļoti atkarīgi no iepriekš aprakstītajiem pieņēmumiem. 3.19. attēlā doti fotoelektrisko iekārtu NPV aprēķini, kas veikti, mainot sākotnējos kapitālieguldījumus. Pieņemts, ka jumta fotoelektrisko iekārtu kapitālieguldījumi variēs robežās 1 300 – 900 €/kW ar soli 100 €/kW. Mēs apskatījām tieši cenas samazinājuma variantu, jo sagaidāms, ka līdz 2050. gadam paneļu cenas ievērojami samazināsies salīdzinājumā ar šogadu<sup>122</sup>.



3.19. att. NPV jutība pret izmaiņām pieņēmumos par investīciju izmaksām (9. scenārijs)

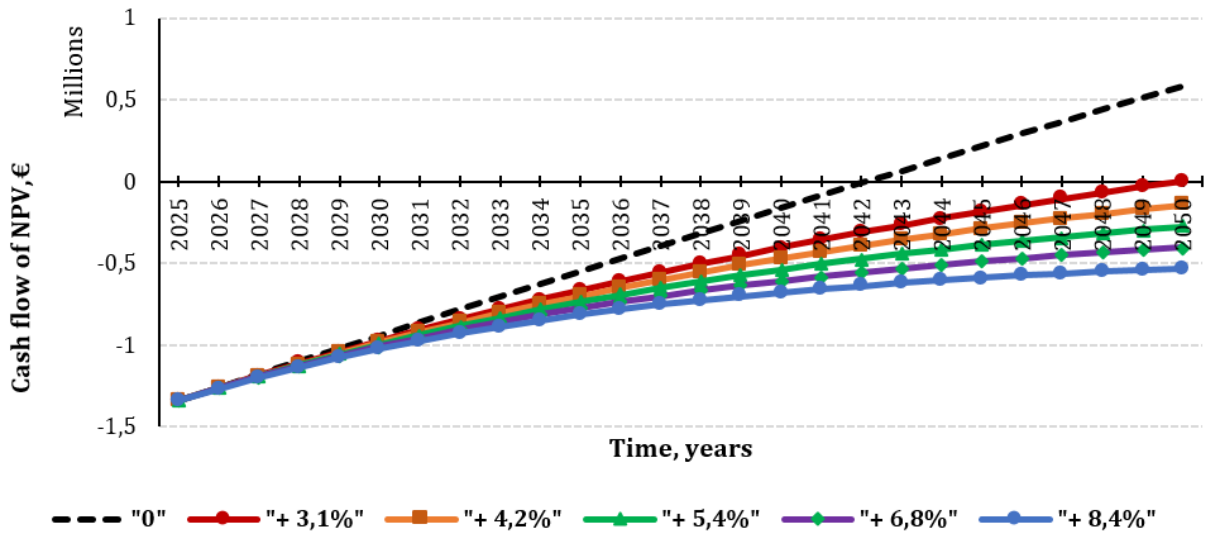
Kā varēja gaidīt, investīciju apjoms stipri ietekmē atmaksāšanās laiku. Taču uzskatāmāk ir vērtēt iekšējās peļņas normas un LCOCE aprēķina rezultātus (3.20. att.). Kā redzams ar melnu iekrāsotajos gadījumos, kas atbilst sākotnējiem pieņēmumiem, iekšējās peļņas normas un LCOCE vērtības atbilstoši 9. scenārijam būtu 4,7 % un 0,114 €/kWh. Iekšējās peļņas norma ir trīs reizes lielāka par pieņemto diskonta likmi (1,4 %), tādējādi norādot, ka **apskatītais scenārijs ir spējīgs sniegt gaidīto atdevi**. Variējot izmaksas, aprēķinātā iekšējā peļņas norma svārstās robežās 5,8...10,1 %, un LCOCE vērtība pazeminās un svārstās no 0,106 līdz 0,112 €/kWh.



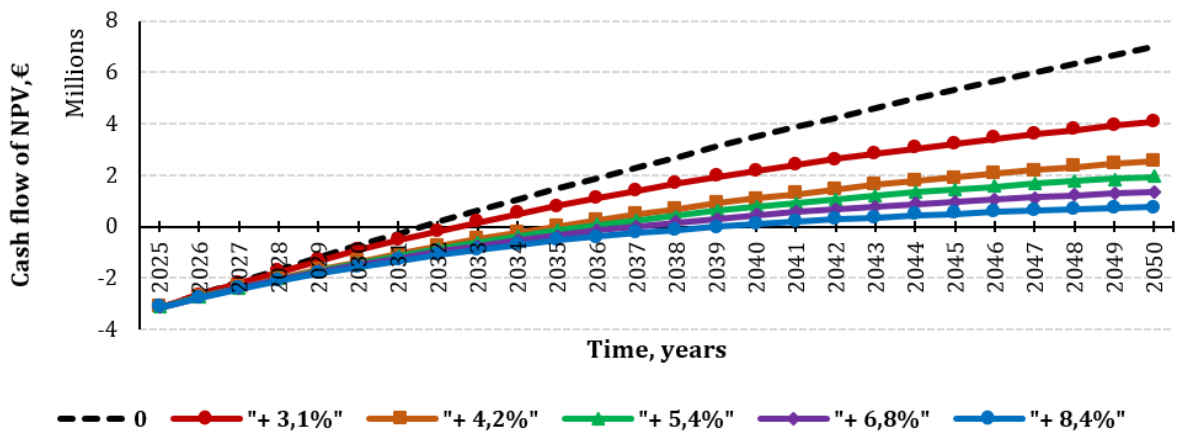
3.20. att. Iekšējās peļņas normas jutība pret izmaiņām kapitālizmaksu pieņēmumos (9. scenārijs)

<sup>122</sup> <https://rameznaam.com/2020/05/14/solars-future-is-insanely-cheap-2020/>

Ir būtiski izvērtēt arī izvēlētās diskonta likmes ietekmi uz NPV aprēķiniem. Šie jutības analīzes rezultāti apkopoti 3.21. un 3.22. attēlā gan 9. scenārijam, gan 24. scenārijam.



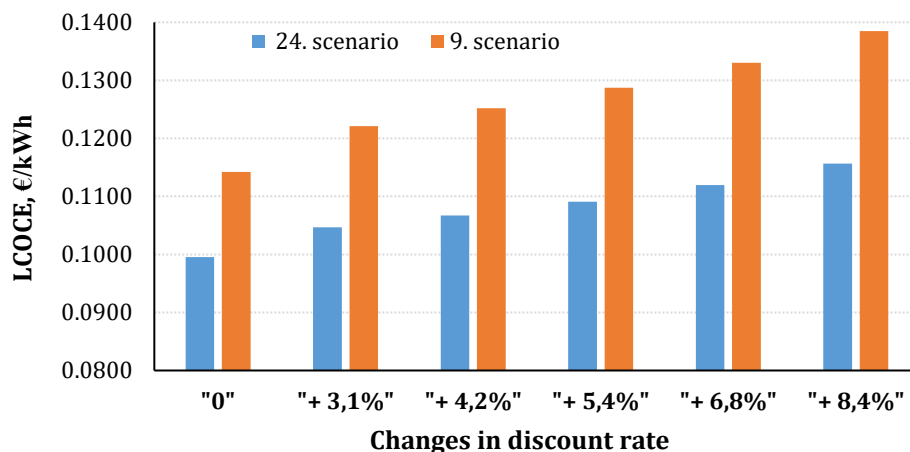
3.21. att. NPV jutība pret izmaiņām pieņēmumos par diskonta likmi (9. scenārijs)



3.22. att. NPV jutība pret izmaiņām pieņēmumos par diskonta likmi (24. scenārijs)

Ar melnu līniju parādīts gadījums, kas atbilst sākotnējiem pieņēmumiem, NPV vērtības attiecīgi 9. un 24. scenārijam būtu 0,58 miljoni € un 6,98 miljoni €. Diskonta likmes ietekme ir ievērojama, kas parāda to, cik nozīmīga ir tās korekta izvēle, aprēķinot naudas vērtības izmaiņas laikā. Attiecīgi, variējot šo likmi no 4,7 % līdz 10,1 %, aprēķinātā projekta NPV svārstījās no 2305,4 € līdz -529 999 € 9. scenārijā un no 4,70 miljoniem € līdz 0,76 miljoniem € 24. scenārijā. Tātad diskonta likmes izvēle var ietekmēt NPV rezultātus pat desmitkārtīgi.

Izmaiņas diskonta likmē arī ietekmē LCOCE parametru (3.23. att.).



3.23. att. LCOCE jutība pret izmaiņām pieņēmumos par diskonta likmi

Variējot diskonta likmi, aprēķinātais LCOCE svārstījās no 0,122 €/kWh līdz 0,1385 €/kWh 9. scenārijā un no 0,1047 €/kWh līdz 0,1156 €/kWh 24. scenārijā. Tātad diskonta likmes izvēle var ietekmēt LCOCE rezultātus apmēram pusotru reizi.

### 3.2.9. Secinājumi

Enerģijas kopienu temats ir kļuvis populārāks kā viena no iespējamām labvēlīgām darbībām, kas dod arī pievienoto vērtību klimata mērķu sasniegšanā. Enerģijas kopienu atbalsts ir kļuvis par nozīmīgu ES politikas sastāvdaļu.

Saules enerģijas kopienas ir kļuvušas par parastu praksi ES valstīs. Taču Latvija šajā jomā atpaliek. Latvijā pastāv tikai neto mērījumu shēma dzīvojamā sektora atjaunīgo enerģijas avotu izmantošanas atbalstam. Saules enerģijas kopienu izveide Latvijas apstākļos dod ikvienam iespēju piedalīties šādā kopienā neatkarīgi no patērētāja finansiālajiem ienākumiem.

Pašreizējie noteikumi attiecībā uz elektroenerģijas rēķiniem Latvijā, ņemot vērā NETO mērījumu sistēmu, veicina Latvijas iedzīvotāju piedalīšanos šajos projektos, jo, saskaņā ar iegūtajiem rezultātiem, saules enerģijas kopienas saules elektrostacijas atmaksāšanās periods ir no 7 līdz 9 gadiem, savukārt jumta iekārtu īpašniekiem šis periods ir aptuveni 2 reizes ilgāks. Saules enerģijas kopienu LCOCE ir par 13 %–17,17 % mazāks (atkarībā no kredīta pieejamības), salīdzinot ar individuālu RL kopējo LCOCE.

Ir svarīgi atbalstīt atjaunīgo energoresursu attīstību un tādējādi sasniegt Latvijas valdības izvirzītos mērķus. Apkopojot varam teikt, ka jautājums par enerģijas kopienu nākotni ir izšķiroši svarīgs Latvijai, jo var sagaidīt, ka tam būs iespaids uz tautsaimniecību kopumā un uz visām tās nozarēm.

### 3.3. 3. piemērs. RL ir vēja enerģijas kopienas dalībnieki. Ekonomisko ieguvumu salīdzinājums ar saules enerģijas kopienas ekonomisko kritēriju vērtībām

Vēja enerģētikā visizplatītākā problēma ir saistīta ar vēja ātrumu un virzienu. Vēja turbīnas atkarībā no tipa sāk darboties pie vēja ātruma 2,5-3 m/s un sasniedz maksimālo jaudu pie aptuveni 12-14 m/s. Atbilstoši veiktajam vēja efektivitātes pētījumam Latvijā

vispiemērotākais reģions mazjaudas vēja turbīnu uzstādīšanai Latvijā ir Ventspils. Par piemērotiem reģioniem uzskatāmi arī Vidzemes jūras piekraste, Vidzemes augstiene, Kurzeme un lielākā daļa Zemgales. Pārējā Latvijas teritorijā vēja efektivitāte ir zemāka, tādējādi samazinās saražojamās elektroenerģijas daudzums ar mazjaudas vēja turbīnām<sup>123</sup>. Rezultātā esošajā piemērā tiek apskatīti tikai scenāriji, kur RL ir enerģijas kopienas dalīdnieks.

Šī piemēra mērķis ir salīdzināt RL ekonomiskos ieguvumus no piedalīšanās saules enerģijas un vēja enerģijas kopienā.

### 3.3.1. Pieņēmumi

Pieņēmumi par uzņēmējdarbības modeli, pieņēmumi par patērētāju/RL skaitu, slodzes profiliem un elektroenerģijas cenas prognozēšanu ir aprakstīti 3.2.1, 3.2.2. un 3.2.3. apakšnodaļā. Ir apskatīti kopienas 4 jaudu gadījumi: 1,030 MW; 1,760 MW, 2,470 MW un 3,490 MW (sk. 3.11. att.).

Vēja ģenerācijas dati tiek ņemti no Augstsprieguma pārvades tīkla mājaslapas<sup>88</sup>. Aprēķinos tiek ņemti tipiskas vēja vertikālā tipa turbīnas, EWT DW61-1000, parametri<sup>124</sup>.

Citi pieņēmumi aprakstīti 3.5. tabulā. Papildu pieņēmumi apkopoti 3.8. tabulā.

3.8. tabula. Ievadparametri un pieņēmumi vēja turbīnai

Ievadparametrs	Vērtība (mērvienība)	Pieņēmumi un avots
Investīciju izmaksas lielgabarīta vēja turbīnām	1 200 €/kW	Dati, kas balstīti uz tirgus datiem
Sistēmas zudumi	15 %	Balstīts uz <sup>125</sup>
Ekspluatācijas un apkopes izmaksas lielgabarīta vēja turbīnām	40 €/kW/gadā	Vidējais rādītājs, balstīts uz <sup>122</sup>
Degradācijas rādītājs	1,6% gadā	Balstīts uz <sup>126</sup> .

Šajā gadījumā kopā veikta 16 scenāriju modelēšana: 1-8., 11., 12., 15., 16., 19., 20., 23. un 24. scenārijs (sk. 3.6. tab.).

<sup>123</sup> Bezrukovs, V., Zacepins, A., Bezrukovs, V., Komashilovs, V. "Investigations of wind shear distribution on the Baltic shore of Latvia". Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, Volume 53, Issue 3, 1 June 2016, pp. 3–10.

<sup>124</sup> [https://ewtdirectwind.com/#calculator\\_results](https://ewtdirectwind.com/#calculator_results)

<sup>125</sup>

[https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjd6d2hubP0AhWXCRAIHUfjDucQFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.nrel.gov%2Fdocs%2Ffy20osti%2F74598.pdf&usg=AOvVaw1KyHP0n\\_z-QZE7Iro3A9WC](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjd6d2hubP0AhWXCRAIHUfjDucQFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.nrel.gov%2Fdocs%2Ffy20osti%2F74598.pdf&usg=AOvVaw1KyHP0n_z-QZE7Iro3A9WC)

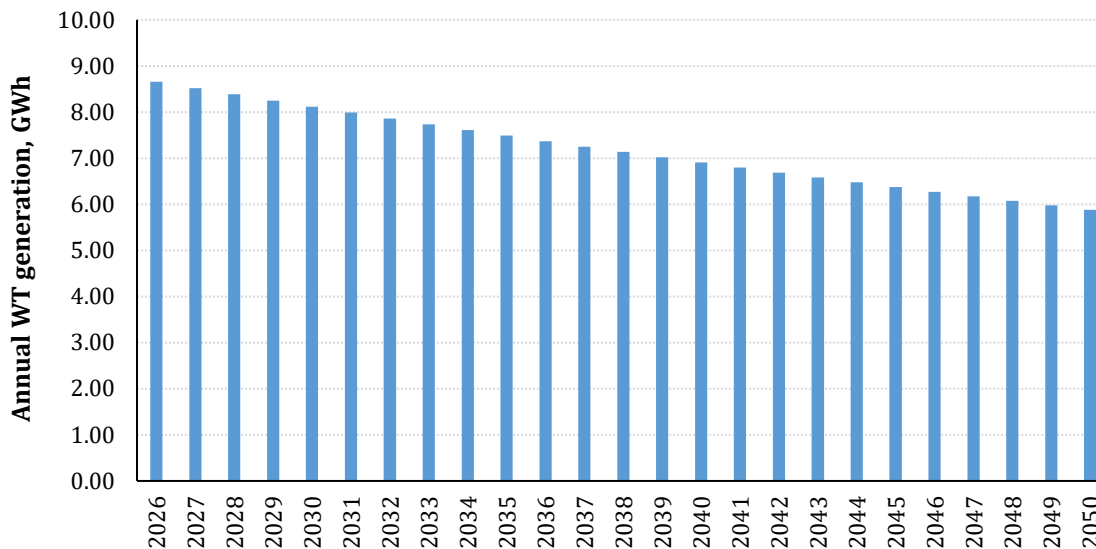
<sup>126</sup> Iain Staffell, Richard Green, How does wind farm performance decline with age?, Renewable Energy, Volume 66, 2014, Pages 775-786, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.10.041>.



### 3.3.2. Rezultāti

#### 3.3.2.1. Vēja ģenerācija

Balstoties uz pieņēmumiem un izmantotajiem datiem, tiek aplēsts ikgadējais vēja turbīnas ģenerācijas apjoms (3.24. att.). Šajā attēlā tiek piemērots 4. gadījums, kad RL procentuālais daudzums apskatītajā sadales shēmā ir vienāds ar 100 %.

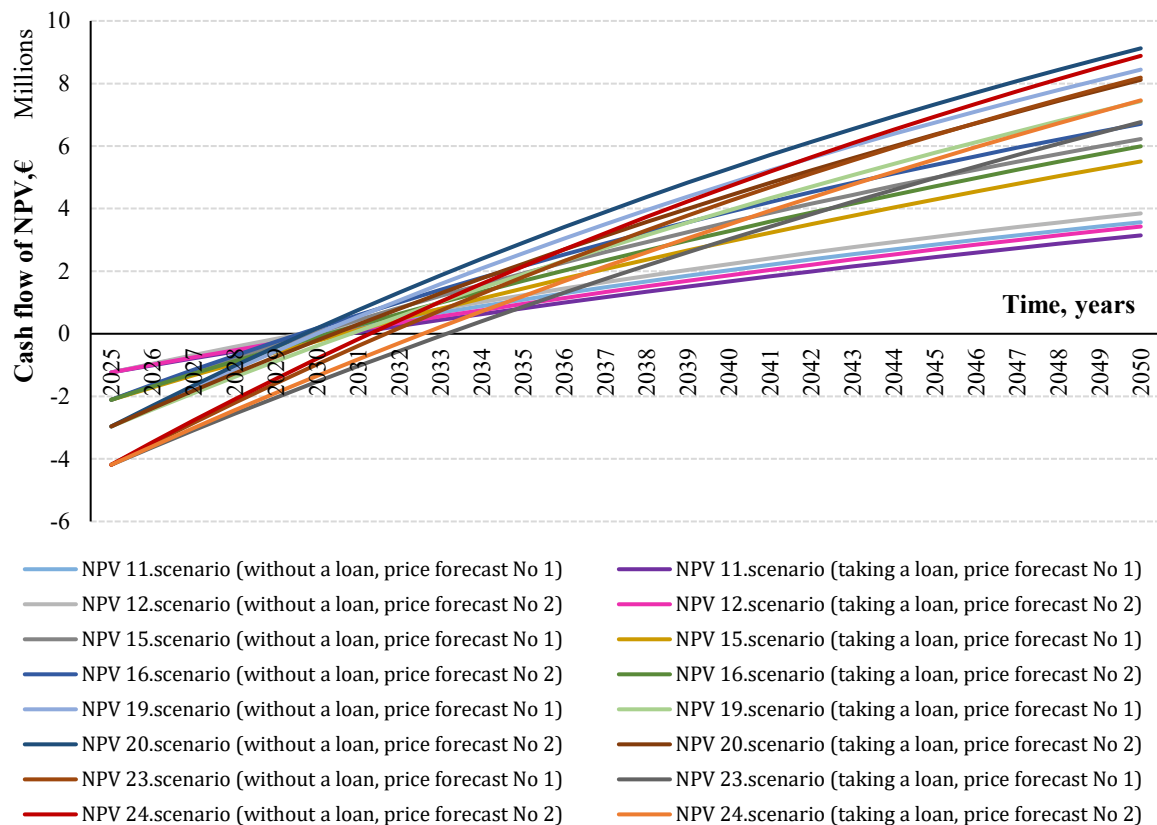


3.24. att.. Ikgadējais vēja enerģijas kopienas ģenerācijas apjoms

Analizējot ģenerācijā saražotās elektroenerģijas prognozes, var apgalvot, ka plānošanas perioda beigās prognozējamais saražotās elektroenerģijas daudzums samazinās par 47,27 % sakarā ar turbīnas elementu degradāciju. Līdz ar to mazinās arī pašpatēriņš. Salīdzinot ar ģenerāciju saules elektrostacijās (3.15. att.), novērojama liela atšķirība. Piemēram, 2026. gadā vēja elektrostacijā ģenerācija ir vienāda ar 8,6 GW, kamēr saules elektrostacijā tikai ap 4,1 GW. Lai gan vējš ir nestabils AER, tomēr vēja elektrostacijas var saražot elektroenerģiju gan dienā, gan pa nakti, kā arī nesaulainās dienās.

#### 3.3.2.2. Vēja stacijas rentabilitātes novērtējuma elektroenerģijas tirgos rezultāti

Rezultātā iegūtās novērsto izmaksu naudas plūsmas NPV līknes parādītas 3.25. attēlā. Šajā attēlā novērojams, ka visiem variantiem jau no pirmā gada ienākumi pārsniedz uzturēšanas un ekspluatācijas izmaksas. Vēja stacijas kapitālieguldījumu atmaksāšanās periods mainās šaurā diapazonā un nepārsniedz iekārtu darbmužu (25 gadi).



3.25. att. NPV izmaiņas laikā atkarībā no izvēlētā scenārija

Vēja stacijas kapitālieguldījumu atmaksāšanās periods variē no 5 līdz 9 gadiem. Visaugstākā NPV vērtība tiek sasniegta 20. scenārijā (enerģijas kopienas RL; 70 % RL sadalījums; kredīts nav ņemts, un tiek izmantots elektroenerģijas cenas 2. scenārijs) – 2050. gadā tā ir 9,12 miljoni € (saules stacijas gadījumā – 6,98 miljoni €). Atmaksāšanās periods ir 5 gadi. Viszemākā NPV vērtība tiek sasniegta 11. scenārijā (30 % RL sadalījums; kredīts tiek ņemts, un tiek izmantots elektroenerģijas cenas 1. scenārijs) – 2050. gadā tā ir 3,14 miljoni € (saules stacijas gadījumā 0,58 miljoni €). Atmaksāšanās periods ir 6 gadi.

Citu scenāriju NPV rezultāti, kā arī citu ekonomisko kritēriju aprēķinu rezultāti apkopoti 3.9. tabulā.

3.9. tabula. NPV, LCOCE, iekšējās peļņas normas un atmaksāšanās perioda analīzes rezultāti (vēja stacija)

RL procents, %	Scenārija Nr.	LCOCE, €/kWh	Iekšējā peļņas norma, %	NPV, €	Atmaks. periods, gadi
30	1	0,122	-	-	-
	2	0,128	-	-	-
	11 (bez kredīta)	0,074	20,28 %	3563372,737	5
	11 (ar kredītu)	0,079	17,67 %	3143639,740	6
	12 (bez kredīta)	0,076	21,61 %	3846408,319	5
	12 (ar kredītu)	0,082	18,99 %	3426675,322	6
50	3	0,123	-	-	-

	<b>4</b>	0,129	-	-	-
	<b>15 (bez kredīta)</b>	0,074	20,62 %	6224033,759	5
	<b>15 (ar kredītu)</b>	0,079	18,01 %	5506820,095	6
	<b>16 (bez kredīta)</b>	0,076	21,95 %	6708567,280	5
	<b>16 (ar kredītu)</b>	0,082	19,33 %	5991353,616	6
70	<b>5</b>	0,1219	-	-	-
	<b>6</b>	0,1282	-	-	-
	<b>19 (bez kredīta)</b>	0,073	20,09 %	8442520,406	5
	<b>19 (ar kredītu)</b>	0,079	17,49 %	7435976,230	6
	<b>20 (bez kredīta)</b>	0,076	21,43 %	9123006,905	5
	<b>20 (ar kredītu)</b>	0,081	18,81 %	8116462,729	6
100	<b>7</b>	0,1221	-	-	-
	<b>8</b>	0,1283	-	-	-
	<b>23 (bez kredīta)</b>	0,088	14,87 %	8188061,879	7
	<b>23 (ar kredītu)</b>	0,094	12,30 %	6765859,784	9
	<b>24 (bez kredīta)</b>	0,092	15,87 %	8882501,120	7
	<b>24 (ar kredītu)</b>	0,098	13,29 %	7460299,025	9

No 3.9. tabulas var rezumēt, ka novērotajos scenārijos investīcijas atmaksājas. Iekšējās peļņas norma variē no 13,29% līdz 21,61% (saules stacijas gadījumā no 12,34% līdz 19,74%).

Detalizēti izanalizēsim 4. gadījuma rezultātus, kad RL procentuālais sadalījums ir vienāds ar 100 % (23., 24. scenārijs). Izpētītajiem scenārijiem mums ir šādas LCOCE vērtības bāzes scenārijiem (7. un 8. scenārijs): 0,1221 €/kWh (tiek piemērots elektroenerģijas cenu prognozes 1. scenārijs) un 0,1283 €/kWh (tiek piemērots elektroenerģijas cenu prognozes 2. scenārijs). Vēja enerģijas kopienas RL LCOCE ir nedaudz mazāks nekā saules enerģijas kopienas RL: LCOCE svārstās diapazonā 0,088–0,098 €/kWh (saules stacijas gadījumā 0,095–0,104 €/kWh). Abos gadījumos RL iegūtie LCOCE rezultāti apstiprina AER iekārtu uzstādīšanas efektivitāti.

Ja paraugāmies uz atmaksāšanās periodu, kopumā varam teikt šādi: vēja enerģijas kopienas RL atmaksāšanās periods svārstās no 5 līdz 9 gadiem, taču saules enerģijas kopienas RL – 7 līdz 9 gadi atkarībā no kredīta rēķināšanas.

### 3.3.3. Secinājumi

Saskaņā ar iegūtajiem rezultātiem saules enerģijas kopienas saules elektrostacijas atmaksāšanās periods ir no 7 līdz 9 gadiem, savukārt vēja enerģijas kopienas vēja elektrostacijām šis periods ir no 5 līdz 9 gadiem. Vējas enerģijas kopienas LCOCE ir par 5,77 %–7,36 % mazāks (atkarībā no kredīta pieejamības), salīdzinot ar saules enerģijas kopienas LCOCE. Šādu atšķirību var paskaidrot ar staciju atšķirīgo ražošanas apjomu (vēja stacija saražo divas reizes vairāk elektroenerģijas) un ar staciju sākuma kapitālieguldījumiem.

### 3.4. 4. piemērs. RL – jumta fotoelektrisko iekārtu īpašnieki salīdzinājumā ar enerģijas kopienām no enerģijas zudumu viedokļa

Galalietotāju ikstundas slodzei tiek izmantotas laikrindas, ko savākusi automātiskā enerģijas uzskaites sistēma, ietverot visu gadu un dažādus tipiskos dzīvojamā sektora patērētājus. Jaudas plūsmu pētījumiem un izklidētās ģenerācijas, kā arī enerģijas kopienas ietekmes novērtēšanai uz jaudas un enerģijas zudumiem tiek izmantots modelis „IEEE 123 Node Test Feeder”. Tas darbojas pie 4,16/2,4 kV nominālā sprieguma. Šo shēmu raskuro gaisvadu un apakšzemes līnijas, nebalansēts slogojums ar konstantu strāvu, pilno pretestību un jaudu; 4 sprieguma regulatori, šuntējošo kondensatoru baterijas un vairākpozīciju slēdži <sup>127</sup>. Ir 85 patērētāji ar kopējo uzstādīto jaudu 3490 kW. Aplūkotās sistēmas vienlīnijas shēma redzama 3.10. attēlā.

Lai salīdzinātu jumta iekārtu īpašnieku un enerģijas kopienas darbību no jaudas un enerģijas zudumu viedokļa, tika izpētīti 17 gadījumi. To apraksts dots 3.8. tabulā (scenāriju skaits un apraksts nedaudz atšķiras no iepriekšējā piemēra, tomēr būtība nemainās). Jāievēro, ka fotoelektrisko iekārtu izplatības līmenis ir identisks 2.–4. gadījumam un 5.–8. gadījumam. Tas pats attiecas uz 9.–12. gadījumu un 13.–16. gadījumu. Fotoelektriskās iekārtas tika sadalītas pa enerģijas sadales sistēmu izkaisītā veidā, tā ka tas atgādina reālas situācijas pastāvošos tīklos, tajā pašā laikā cenšoties uzturēt sākotnējo slodžu attiecību katrai fāzei un starp fāzēm. 1. attēlā 1. grupa (dzeltenie rombi) atbilst 1. un 9. gadījumam, 2. grupa (sarkanās zvaigznes) – 2. un 10. gadījumam, bet 3. grupa (zilie trīsstūri) – 3. un 11. gadījumam. Visiem patērētājiem ir izklidētās ģenerācijas iekārtas 4. un 12. gadījumam. Attēlotās izklidētās ģenerācijas iekārtu grupas cita citu neizslēdz, piem., 3. gadījumā jumta fotoelektriskās iekārtas pastāv visos mezglos, kas atzīmēti ar rombiem, zvaigznēm un trīsstūriem, taču ne melnajos mezglos un ne mezglos bez slodzes. Tāpat kā iepriekšējā piemērā, 160. mezglā tika izveidota enerģijas kopiena.

3.10. tabula. Izpētīto gadījumu apraksts

Gadījuma Nr.	Apraksts
Bāzes gadījums	Tīklā fotoelektriskās iekārtas nav uzstādītas
1	30 % RL ir ar jumta fotoelektriskajām iekārtām; fotoelektrisko ģeneratoru uzstādītā jauda ir vienāda ar atbilstošo patērētāju nominālo jaudu
2	50 % RL ir ar jumta fotoelektriskajām iekārtām; fotoelektrisko ģeneratoru uzstādītā jauda ir vienāda ar atbilstošo patērētāju nominālo jaudu
3	70 % RL ir ar jumta fotoelektriskajām iekārtām; fotoelektrisko ģeneratoru uzstādītā jauda ir vienāda ar atbilstošo patērētāju nominālo jaudu
4	100 % RL ir ar jumta fotoelektriskajām iekārtām; fotoelektrisko ģeneratoru uzstādītā jauda ir vienāda ar atbilstošo patērētāju nominālo jaudu
5	Tiek īstenota saules enerģijas kopiena, un tās uzstādītā jauda ir vienāda ar 30 % no patērētāju kopējās nominālās jaudas

<sup>127</sup> W. H. Kersting, “Radial distribution test feeders,” Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf., 2001.

6	Tiek īstenota saules enerģijas kopiena, un tās uzstādītā jauda ir vienāda ar 50 % no patērētāju kopējās nominālās jaudas
7	Tiek īstenota saules enerģijas kopiena, un tās uzstādītā jauda ir vienāda ar 70 % no patērētāju kopējās nominālās jaudas
8	Tiek īstenota saules enerģijas kopiena, un tās uzstādītā jauda ir vienāda ar 100 % no patērētāju kopējās nominālās jaudas
9	30 % RL ir ar jumta fotoelektriskajām iekārtām; fotoelektrisko ģeneratoru uzstādītā jauda ir 150 % no atbilstošo patērētāju nominālās jaudas
10	50 % RL ir ar jumta fotoelektriskajām iekārtām; fotoelektrisko ģeneratoru uzstādītā jauda ir 150 % no atbilstošo patērētāju nominālās jaudas
11	70 % RL ir ar jumta fotoelektriskajām iekārtām; fotoelektrisko ģeneratoru uzstādītā jauda ir 150 % no atbilstošo patērētāju nominālās jaudas
12	100 % RL ir ar jumta fotoelektriskajām iekārtām; fotoelektrisko ģeneratoru uzstādītā jauda ir 150 % no atbilstošo patērētāju nominālās jaudas
13	Tiek īstenota saules enerģijas kopiena, un tās uzstādītā jauda ir vienāda ar 45 % no patērētāju kopējās nominālās jaudas
14	Tiek īstenota saules enerģijas kopiena, un tās uzstādītā jauda ir vienāda ar 75 % no patērētāju kopējās nominālās jaudas
15	Tiek īstenota saules enerģijas kopiena, un tās uzstādītā jauda ir vienāda ar 105 % no patērētāju kopējās nominālās jaudas
16	Tiek īstenota saules enerģijas kopiena, un tās uzstādītā jauda ir vienāda ar 150 % no patērētāju kopējās nominālās jaudas

Tiek nosacīti uzskatīts, ka 1.–8. gadījums koncentrējas uz fotoelektrisko paneļu ražotās enerģijas izmantošanu pašpatēriņam, bet 9.–16. gadījums koncentrējas uz enerģijas izmantošanu ģenerācijai un pārdošanai tīklā.

Augstākais fotoelektrisko iekārtu izplatības līmenis ir 150 % no patērētāju kopējās nominālās jaudas. Šīs augšējās robežas izvēle ir pamatota ar faktu, ka tālāka fotoelektrisko iekārtu daļas palielināšana ievērojami ietekmēs tīkla darbību un var izraisīt izmaiņas, kas nav savienojamas ar tā sākotnējo konfigurāciju.

Jaudas plūsmu aprēķini tika veikti ar programmatūru GridLAB-D ar metodēm NR<sup>128</sup> un BFS<sup>129</sup>, traktējot fotoelektriskās iekārtas kā negatīvu ģenerāciju. Abas metodes uzrādīja labu konvergenci, un to rezultāti ir gandrīz identiski.

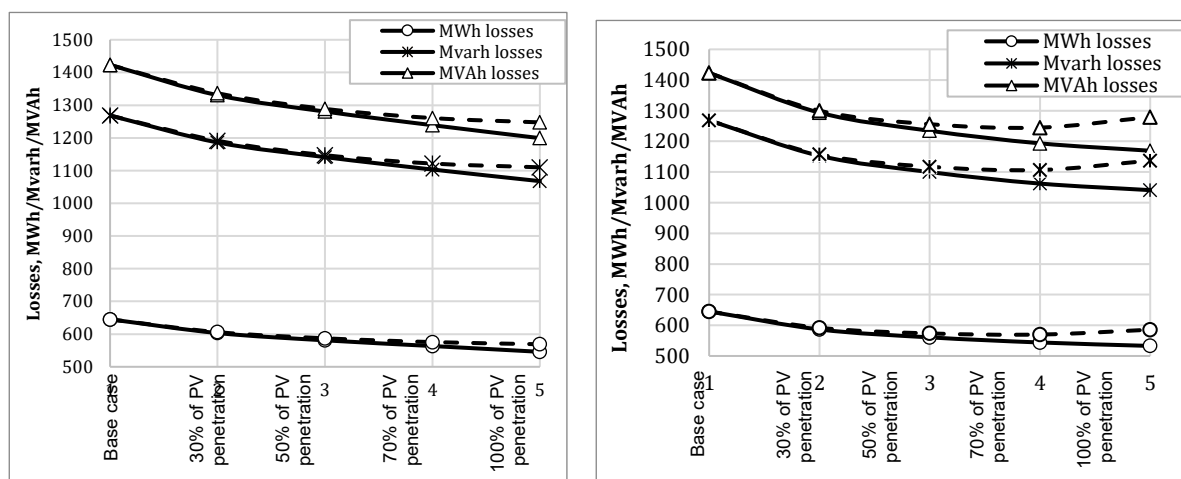
### 3.4.1. Rezultāti

Ikgadējo enerģijas zudumu aplēses rezultāti parādīti 3.11. tabulā. Enerģijas zudumi pašpatēriņam 1.–4. gadījumam (ar RL – jumta iekārtu īpašniekiem) un pašpatēriņam 5.–8. gadījumam (ar enerģijas kopienām) parādīti 3.26. a. attēlā. Kā redzams, pieaugot izkliedētās ģenerācijas izplatībai, enerģijas zudumi pastāvīgi samazinās. Tomēr šī tendence RL ir izteiktāka: pie 100 % fotoelektrisko iekārtu izplatības līmeņa RL ar individuālām fotoelektriskajām iekārtām spēj samazināt enerģijas zudumus par 0,85% salīdzinājumā ar bāzes gadījumu, kamēr enerģijas kopiena ar tādu pašu uzstādīto jaudu piedalās enerģijas zudumu samazināšanā tikai ar 0,65 %.

<sup>128</sup> <https://brilliant.org/wiki/newton-raphson-method/>

<sup>129</sup> Jabari F., Sohrabi F., Pourghasem P., Mohammadi-Ivatloo B. (2020) Backward-Forward Sweep Based Power Flow Algorithm in Distribution Systems. In: Pesaran Hajiabbas M., Mohammadi-Ivatloo B. (eds) Optimization of Power System Problems. Studies in Systems, Decision and Control, vol 262. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-34050-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-34050-6_14)

Enerģijas zudumi 9.–12. gadījumam (ar jumta iekārtu īpašniekiem) ar ģenerāciju maģistrālajam tīklam un 13.–16. gadījumam (ar enerģijas kopienām) parādīti 3.26. b. attēlā. RL tendence enerģijas zudumiem samazināties pie augošas fotoelektrisko iekārtu izplatības atkārtojas, līdzīgi gadījumiem, kas koncentrējas uz pašpatēriņu; rezultātā ir par 0,97 % mazāki aktīvās jaudas zudumi salīdzinājumā ar bāzes gadījumu. Taču 13.–16. gadījumam enerģijas zudumi samazinās tikai līdz 70 % fotoelektrisko iekārtu izplatības sliekšnim, bet tālāk tendence apvēršas, t.i., enerģijas zudumi sāk pieaugt. Tas ir izskaidrojams ar faktu, ka tad, kad fotoelektrisko iekārtu enerģijas ģenerācija ir pārsvarā pār patēriņu, sadales sistēmā rodas papildu zudumi sakarā ar enerģijas pārnesi uz maģistrālo tīklu. Būtu jābūt tā, ka mezglos ar RL šāda situācija atkārtojas, taču acīmredzot ir vajadzīgs augstāks fotoelektrisko iekārtu izplatības sliekšnis, lai varētu novērot enerģijas zudumu pieaugumu ar papildus uzstādītām izkliedētās ģenerācijas vienībām. Salīdzinājums starp enerģijas zudumiem bāzes gadījumiem ar stundas intervālu (zilais grafiks) un 4. gadījumu (oranžais grafiks) parādīts 3.27. attēlā. Kā redzams, bāzes gadījumā enerģijas zudumi ir lielāki nekā 4. gadījumā.



a.)

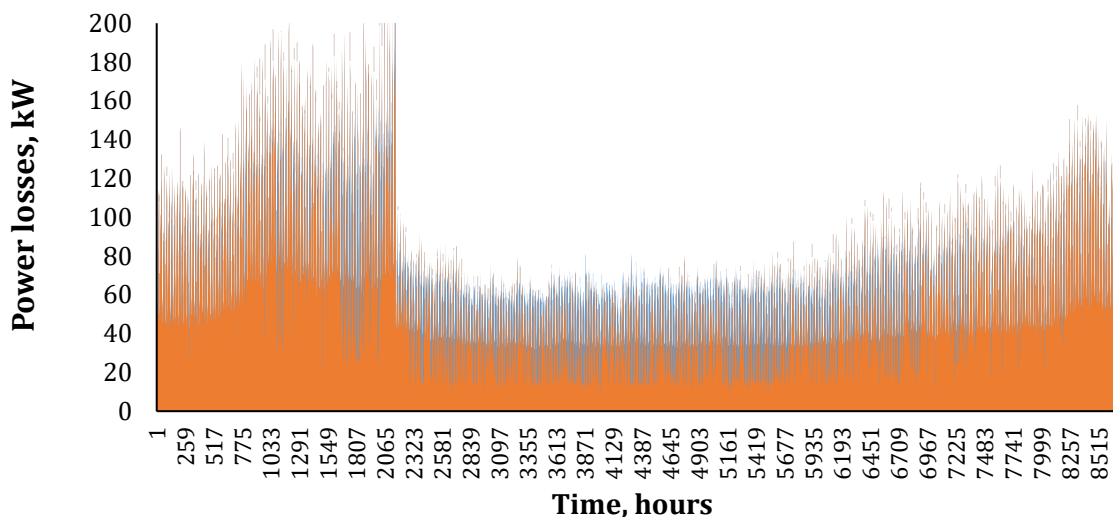
b.)

3.26. att. a) Enerģijas zudumi pašpatēriņam: 1.–4. gadījums ar RL – jumta iekārtu īpašniekiem (nepārtrauktās līnijas); 5.–8. gadījums ar enerģijas kopienām (pārtrauktās līnijas); b) Enerģijas zudumi, izdodot ģenerēto enerģiju tīklā: 9.–12. gadījums ar RL – jumta iekārtu īpašniekiem (nepārtrauktās līnijas); 13.–16. gadījums ar enerģijas kopienām (pārtrauktās līnijas)

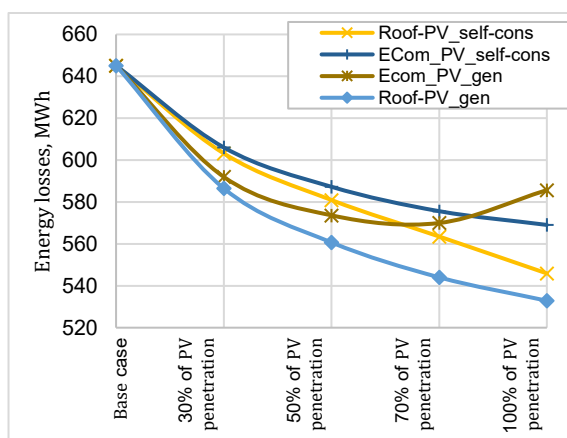
3.11. tabula. Enerģijas zudumu novērtējums

Gadīj.	MWh zudumi	Mvarh zudumi	MVAh zudumi	Izklied. ģenerāc. izdotā enerģija, MWh	Patēriņš, MWh	Izklied. ģenerāc., %	MWh zudumi, %
Bāzes gadīj.	645,14	1268,44	1423,07	0	11577,90	0,00	5,57
1	603,21	1186,05	1330,63	957,78	11577,90	8,27	5,21
2	580,94	1141,25	1280,60	1636,59	11577,90	14,14	5,02
3	563,53	1103,24	1238,83	2296,81	11577,90	19,84	4,87
4	545,90	1067,79	1199,24	3245,28	11577,90	28,03	4,72
5	606,07	1191,30	1336,60	957,78	11577,90	8,27	5,23
6	587,27	1147,16	1288,75	1636,59	11577,90	14,14	5,07
7	575,62	1121,50	1260,59	2296,81	11577,90	19,84	4,97
8	569,07	1110,04	1247,41	3245,28	11577,90	28,03	4,92

9	586,52	1152,97	1293,58	1436,67	11577,90	12,41	5,07
10	560,71	1099,90	1234,57	2420,01	11577,90	20,90	4,84
11	544,04	1062,20	1193,42	3410,34	11577,90	29,46	4,70
12	532,86	1040,83	1169,30	4833,06	11577,90	41,74	4,60
13	592,00	1157,35	1299,97	1436,67	11577,90	12,41	5,11
14	573,64	1117,30	1255,95	2454,89	11577,90	21,20	4,95
15	569,99	1106,60	1244,76	3445,21	11577,90	29,76	4,92
16	585,69	1136,95	1278,94	4867,93	11577,90	42,04	5,06



3.27. att. Enerģijas zudumi ar stundas intervālu bāzes gadījumam un 4. gadījumam



3.28. att.. Aktīvās enerģijas zudumu salīdzinājums dažādām gadījumu grupām

Aktīvās enerģijas zudumu salīdzinājums dažādām gadījumu grupām (jumta iekārtas ar pašpatēriņu, enerģijas kopienas ar pašpatēriņu, jumta iekārtas ar ģenerētās enerģijas izdošanu tīklā un enerģijas kopienas ar ģenerētās enerģijas izdošanu tīklā) parādīts 3.28. attēlā. No šiem grafikiem ir skaidrs, ka enerģijas zudumu samazinājums ir nelineārs un tā temps palēninās, pieaugot fotoelektrisko iekārtu izplatībai. 16. gadījumā enerģijas zudumi ir lielāki nekā 15. gadījumā, kas nozīmē, ka samērā milzīgais saules enerģijas kopienas izmērs var negatīvi ietekmēt enerģijas zudumus sadales sistēmā.

### 3.4.2. Secinājumi

Modelēšanas rezultāti rāda, ka gan RL – jumta iekārtu īpašnieki, gan saules enerģijas kopienas piedalās enerģijas zudumu samazināšanā. Lielākā atšķirība no enerģijas

zudumu viedokļa bija vērojama starp bāzes gadījumu un 12. gadījumu, kad sadales sistēmai bija 100 % RL ar jumta iekārtām un fotoelektrisko generatoru uzstādītā jauda bija 1,5 reizes lielāka nekā atbilstošo patērētāju nominālā jauda. Enerģijas zudumu starpība ir 0,97 %, kas atbilst 112,28 MWh ietaupījumam gadā jeb 253,77 MVAh ietaupījumam gadā.

Lielākajā daļā no gadījumiem enerģijas zudumi turpina samazināties, kad tiek iesaistītas papildu izkliedētās ģenerācijas vienības. Taču sadales tīkla „pārsātinātība” ar saules ģenerāciju var izraisīt pretēju efektu. Šāda situācija rodas, kad enerģijas kopienas uzstādītā jauda ir 1,5 reizes lielāka nekā patērētāju kopējā nominālā jauda: enerģijas zudumi 16. gadījumam ir 5,06 %, savukārt 15. gadījumam (kopienas uzstādītā jauda ir 1,05 reizes lielāka nekā patērētāju kopējā nominālā jauda) enerģijas zudumi ir tikai 4,92 %. Tendence uz enerģijas zudumu samazināšanos ir nelineāra, un tās sarūkošais temps palēninās, pieaugot fotoelektrisko iekārtu izplatībai.



## 4. Rekomendācijas

### 4.1. Eiropas enerģētikas regulatoru padomes rekomendācijas

Lai veicinātu RL attīstību un sasniegtu ES mērķus, jāņem vērā vairākas Eiropas Energoregulatoru padomes (EEP) rekomendācijas<sup>130</sup>:

- Pārvades sistēmas operatoram (PSO) un sadales sistēmas operatoram (SSO) jāapsver iespējamās RL atrašanās vietas, esošās uzstādītās un iespējamās jaudas, lai izvairītos no neefektīvas tīkla paplašināšanas un uzlabotu sistēmas pārvaldību.
- RL jāiegūst ne tikai priekšrocības, bet arī papildu pienākumus kā tirgotāji;
- Tīkla tarifiem būtu jāsedz visas ar tīkla lietošanu un uzturēšanu saistītās izmaksas, tādējādi izvairoties no tirgus izkropļojumiem un nevienlīdzīgas principu piemērošanas.
- Lietotājiem, kas nav iesaistīti NETO sistēmā, nevajadzētu būt nelabvēlīgākā situācijā, salīdzinot ar RL. Jābūt taisnīgai tīkla izmantošanas un nodokļu sadalei, piemēram, maksa par pieslēguma nodrošināšanu – visiem lietotājiem.
- Izmaksas un ieguvumi, kuru pamatā ir energoefektivitāte un AER, jāattiecina uz visiem lietotājiem.
- RL jāspēj piedalīties tirgus elastības veicināšanā, izmantojot visas pieejamās iespējas.
- RL jābūt elektroenerģijas uzskaites sistēmai, kas ļauj līdzvērtīgi ar citiem tirgus dalībniekiem piedalīties tirgus balansēšanā.

4.1. tabulā ir doti EEP ieteikumi, kas papildināti ar komentāriem par to izpildi Latvijā.

4.1. tabula. EEP rekomendācijas NETO sistēmas pilnveidei

1	Atbilstības kritēriji un ierobežojumi		Esošā situācija Latvijā un rekomendācijas nākotnei
1.1.	Tehnoloģijas	Visu veidu tehnoloģijas ir piemērojamas NETO sistēmai.	<b>Ir izpildīts</b>
1.2.	Rekomendācijas	RL līdz 500 kW ir atbrīvojami no maksas par balansēšanu.	<b>Ir izpildīts</b>
1.3.	Lietotāju veidi	Regulējumā nepieciešams definēt precīzus lietotāju veidus NETO sistēmas piemērošanai.	<b>Ir izpildīts<sup>131</sup>. Ir nepieciešama korigēšana (sk. šīs nodaļas 4.2. apakšnodaļas 1.punktu)</b>
1.4.	Jaudas ierobežojumi	Iepriekš jādefinē kopējais maksimālais jaudas	<b>Ir izpildīts.</b>

<sup>130</sup> CEER rekomendācijas NETO sistēmas izmantošanai <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/3f246c2a-d417-2a29-d8eb-765bd6579581>

<sup>131</sup> <https://www.em.gov.lv/lv/neto-sistema-elektroenerģijas-mikrogeneracijai>

		ierobežojums. Individuālais jaudas ierobežojums uzstādāms atkarībā no lietotāja patēriņa. Iespējams uzstādīt ierobežojumus sistēmas līmenī vai visiem RL vienādu jaudas ierobežojumu.	<b>Ir nepieciešama korigēšana (sk. šīs nodaļas 4.2. apaksnodaļas 1.punktu)</b>
1.5.	Saražotā elektroenerģija	RL saražotās elektroenerģijas apjomam jābūt mazākam par patērētās elektroenerģijas apjomu.	<b>Ir izpildīts</b>
1.6.	Mikroģeneratoru (MĢ) pieslēgums	RL jāsaņem SSO noteikumi MĢ pieslēgumam un jāatbilst SSO prasībām.	<b>Ir izpildīts<sup>132</sup></b>
1.7.	Vienfāžu pieslēgums	Var izmantot jaudas ierobežojumus, lai novērstu fāžu nesimetriju.	<b>Ir izpildīts</b>
1.8.	Elektroenerģijas uzskaitē	Elektroenerģijas skaitītājam atsevišķi jāuzskaita tīklā no nodotā un no tīkla saņemtā elektroenerģija. Atsevišķi rekomendējama kopējās saražotās elektroenerģijas uzskaitē, lai precīzāk vērtētu valsts attīstību AER tehnoloģiju izmantošanā.	<b>Ir izpildīts</b>
1.9.	Pieslēguma gaita	SSO un regulējošai iestādei jāizveido vienkārša, saprotama, pārredzama pieslēguma gaita, lai samazinātu RL, administrācijas izmaksas un pieslēguma ilgumu.	<b>Ir izpildīts<sup>133</sup></b>
<b>2.</b>	<b>NETO sistēmas nosacījumi</b>		
2.1.	Galvenais princips	Principam jābūt pēc iespējas vienkāršākam. Lietotājiem jābūt pieejamai nepieciešamajai informācijai,	<b>Nav izpildīts (sk. šīs nodaļas 4.2. apaksnodaļas 2.punktu)</b>

<sup>132</sup> MK noteikumi Nr. 883 „Noteikumi par atļaujām elektroenerģijas ražošanas jaudu palielināšanai vai jaunu ražošanas iekārtu ieviešanai”, Pieejams: <https://m.likumi.lv/doc.php?id=196123>

<sup>133</sup> Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas padomes 2018. gada 27. marta lēmums Nr. 1/7 „Sistēmas pieslēguma noteikumi elektroenerģijas ražotājiem”, Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/298067-sistemas-piesleguma-noteikumi-elektroenerģijas-sistemas-dalibniekiem>, skatīts 22.04.2018.

		lai aprēķinātu izdevīgumu NETO sistēmas ieviešanai.	
2.2.	Norēķinu nosacījumi	NETO norēķinu sistēma, norēķinoties naudas vienībās, izmantojot NETO norēķinu sistēmu.	<b>Nav izpildīts* (sk. šīs nodaļas 4.2. apaksnodaļas 3.punktu)</b>
2.3.	Norēķinu periods	Mēneša norēķina periods rēķina izrakstīšanai. Viens gads kā saražotās, bet nepatērētās elektroenerģijas kompensēšanas periods, pārpalikumu atceļot, ja tāds radies. RL var dot iespēju nodot saražoto, bet nepatērēto elektroenerģiju citiem lietotājiem, tādējādi novēršot RL finanšu risku.	<b>Daļēji izpildīts (sk. šīs nodaļas 4.2. apaksnodaļas 4.punktu)</b>
2.5.	Elektroenerģijas tirgotāja un operatora maiņa	Jābūt apstiprinātiem noteikumiem elektroenerģijas tirgotāja maiņas gadījumā.	<b>Ir izpildīts</b>
2.6.	Trešo personu īpašumtiesības	Jābūt nodrošinātai Trešo personu iekārtu īpašumtiesību iespēja, jo tas rada jaunus biznesa modeļus un veicina AER tehnoloģiju izmantošanu.	<b>Daļēji izpildīts (sk. šīs nodaļas 4.2. apaksnodaļas 5.punktu)</b>
2.7.	Nosacījumu piemērošana	Nosacījumu piemērošanai jābalstās uz tirgus pamatprincipiem, ievērojot izmaksas un ieguvumus.	<b>Ir izpildīts</b>
2.8.	Elektroenerģijas cena	Elektroenerģijas cena izmantojama par pamatu norēķinu veikšanai.	<b>Ir izpildīts</b>
2.9.	Izmaksu vienlīdzība	Visiem lietotājiem jāmaksā tīkla izmantošanas maksas pēc vienādiem principiem. Elektroenerģijas piegādes izmaksām jābūt pēc vienādiem principiem visiem lietotājiem.	<b>Ir izpildīts**</b>
2.10.	SSO papildu izmaksas	SSO papildu radušās iespējamās izmaksas attiecīgi jāsedz RL, piemēram, jāņem vērā zudumi tīklā.	<b>Ir izpildīts***</b>

2.11.	RL nosacījumi	Būtu jāievieš speciāli nosacījumi RL, kas piemērojami visiem vienas grupas lietotājiem. RL nepieciešams maksāt fiksēto maksu par pieslēguma nodrošināšanu.	<b>Ir izpildīts</b>
2.12.	Investīciju atmaksāšanās	RL ietaupījumiem ir jābūt vienādiem ar rēķina summas samazinājumu un ienākumiem no elektroenerģijas pārdošanas, kā papildu stimulu var piemērot investīciju atlaides vai paaugstinātu maksu par tīklā nodoto elektroenerģiju noteiktos laika periodos.	<b>Daļēji izpildīts (sk. šīs nodaļas 4.2. apaksnodaļas 6.punktu)</b>

\*EEP<sup>134</sup> rekomendē minimizēt NETO uzskaites sistēmas izmantošanu ES dalībvalstīs, lai uzlabotu sistēmas elastību un attīstītu pieprasījuma pārvaldību, stimulējot RL paaugstināt saražotās enerģijas tiešo patēriņu. NETO norēķinu sistēma, kas uzbūvēta uz tirgū balstītiem norēķiniem, veicina līdzsvarota šī tirgus sektora attīstību un samazina SSO papildu izdevumu risku atbilstoši EK rekomendācijām un lai ierobežotu RL ietekmi uz citiem lietotājiem un SSO.

\*\* Saskaņā ar apstiprinātajiem grozījumiem NETO sistēmas lietotāji tiek atbrīvoti no maksājumiem par elektroenerģijas OIK mainīgo daļu par pašu saražotās elektroenerģijas apjomu, ko neto sistēmas lietotāji gada ietvaros ir nodevuši tīklā un saņem no tīkla atpakaļ<sup>135</sup>.

\*\*\* Sadales tarifu aprēķināšanai sadales sistēmas operators sastāda elektroenerģijas bilanci saskaņā ar speciālo formulu, kurā tiek ievērotas sadales sistēmas elektroenerģijas zudumi<sup>136</sup>

## 4.2. Rekomendācijas lēmumu pieņemējiem

1. Elektroenerģijas tirgus likuma 30.<sup>1</sup> pantā<sup>137</sup> ir minēts, ka "*Objektam, kurā māsaimniecības lietotājs ražo elektroenerģiju patērešanai paša vajadzībām (galapatēriņam), izmantojot māsaimniecībā uzstādītas elektroenerģijas ražošanas iekārtas ar darba spriegumu, kas nepārsniedz 400 voltus, un kopējo darba strāvu, kas vienfāzes vai trīsfāžu pieslēgumā nepārsniedz 16 ampērus, ir tiesības norēķinos par tajā saražoto un patērēto elektroenerģiju izmantot elektroenerģijas neto norēķinu sistēmu*". Šāda strāva atbilst attiecīgi 3,68 kW jaudai vienfāzes elektrotīklā un 11,04 kW jaudai trīsfāžu elektrotīklā. **Ieteicams likumu papildināt, lai pieslēgšana būtu iespējama**

<sup>134</sup>CEER rekomendācijas NETO sistēmas izmantošanai. Pieejams: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/3f246c2a-d417-2a29-d8eb-765bd6579581>

<sup>135</sup> <https://www.mk.gov.lv/lv/jaunums/atviegloti-nosacijumi-neto-sistemas-lietotajiem>

<sup>136</sup> <https://likumi.lv/ta/id/241677-elektroenerģijas-sadales-sistemas-pakalpojumu-tarifu-aprekinasanas-metodika>

<sup>137</sup> <https://likumi.lv/ta/id/108834-elektroenerģijas-tirgus-likums>

**arī tādām juridiskām personām, kas darbojas kā energokopienas, Kopienu attīstībai nepieciešams palielināt atļauto ampēru vienības.**

2. Lai aprēķinātu NETO sistēmas izdevīgumu, lietotājiem jābūt pieejai pie nepieciešamas informācijas, **Ieteicams izveidot RL un NETO sistēmas izdevīguma kalkulatoru**, kur potenciālais RL var ievest savu gada elektroenerģijas patēriņu, mājas platību un rezultātā dabūt alternatīvus variantus par AER uzstādīto jaudu, un uzstādīšanas vietu, izmaksām, ieguvumiem un AER vispiemērotāko komplektu. **Saņemtajiem ieteikumiem jābalstās uz elektroenerģijas cenu prognozēm, tehnoloģiju parametriem un nepieciešamām investīcijām, norēķinu tarifiem un Latvijas laika apstākļiem.**
3. Latvijā izmantoto NETO uzskaites sistēmu (NAS) nepieciešams mainīt tādēļ, ka RL netiek stimulēti pielāgoties mainīgām tirgus cenām un sadales sistēmu vajadzībām. Pastāvošā sistēma nav pielāgota viedo tehnoloģiju izmantošanai, t.i., netiek veicināts, lai RL uzstādītu enerģijas ģenerācijas/patēriņa regulēšanas ierīces un enerģijas akumulatorus vai izmantotu priekšrocības, kas varētu dot labumu kā RLM, tā arī energosistēmai kopumā. Pēc pētījuma rezultātiem ir secināts, ka **NETO norēķinu sistēmas (NBS) pielietošana nodrošina atmaksāšanās perioda samazināšanos (11 %) un stimulē fotoelektrisko tehnoloģiju izmantošanu.**
4. Ieteicams pārskatīt Elektroenerģijas tirgus likumu un norēķinu noteikumus, lai nodrošinātu RL iespēju nodot saražoto, bet nepatērēto elektroenerģiju citiem dota sadales tīklā lietotājiem, tādējādi stimulējot saražotas elektroenerģijas lokālo izmantošanu bez atdeves PSO, jo, patērējot elektroenerģiju lokāli, sistēmas zudumi var būt samazināti. Norēķinu noteikumos ir jāņem vērā sadales tīkla intereses, paredzot maksu par enerģijas apmaiņu starp RL.
5. Būtu nepieciešams **veicināt trešo personu AER iekārtu izmantošanas iespējas mājražotniecībās un mazos uzņēmumos. Trešās personas**, izmantojot specializācijas un vairumtirdzniecības priekšrocības, var samazināt kapitālieguldījumus ražotājlietotājiem un piedāvāt izdevīgākus iekārtu ieviešanas nosacījumus.
6. Piemērojot NETO uzskaites sistēmu, RL-jiem iespējams ietaupīt ap 30% no kopējām elektroenerģijas izmaksām gadā. Turklāt atmaksāšanās periods variē no 12-19 gadiem, atkarībā no kredīta ņemšanas. **Nepieciešams izvērtēt atbalsta subsīdiju piemērošanas iespēju Latvijas NETO sistēmas lietotājiem AER iekārtu iegādes brīdī**, jo tas samazina iekārtu atmaksāšanās ilgumu un veicina jaunu RL rašanos. Subsīdējot RL, nepieciešams **paredzēt ierobežojumus**, lai neizsauktu pārāk strauju RL skaita pieaugumu. To iespējams sasniegt, piemēram, gadījumā, ja potenciālie subsīdiju ņemēji saņem atbalstu konkursa kārtībā ar priekšrocību tiem, kas pieprasa mazāku subsīdiju apjomu. Gada ietvaros piedāvātas subsīdijas arī var būt ierobežotas, izejot no valsts iespējām. Tādā gadījumā priekšrocība tiek dota pirmajiem pieteicējiem.
7. Ieteicams pārskatīt Elektroenerģijas tirgus likumu un norēķinu noteikumus, lai nodrošinātu RL iespēju uzkrāt enerģijas ietaupījumus arī pēc norēķinu gada beigšanas (pēc 31. marta). Lai ņemtu vērā sadales tīkla intereses, enerģijas pārpalikums varētu būt nopirkts par samazināto cenu. Šāda izmaiņa stimulētu RL enerģijas ekonomijai.

8. Ir jāņem vērā, ka strauja elektroenerģijas cenu pieauguma gadījumā AER iekārtu atmaksāšanās periods samazinās par 2-3 gadiem, kas stimulē elektroenerģijas patērētājus izmantot AER iekārtas un piesaistīties NETO sistēmai. Ja elektrības cenas būs tik augstas, ka tas ir novērotas 2021. gadā, tad potenciālie RL mēģinās iegūt atļauju uzstādīt MĢ vai nu ar nelielām subsīdijām vai pat bez tām. **Šajā situācijā ieteicams uzmanīt cenu pieauguma dinamiku un kontrolēt RL skaita pieaugumu.**
9. Lai **SSO varētu piedalīties enerģētikas kopienu** pilotprojektu un jaunu tirgus attīstības principu pārbaudē un īstenošanā, **nepieciešams regulējums, kurš reglamentē sistēmu operatoru dalību pilotprojektos.** Inovāciju izmantošanas nolūkos var būt noteiktas atkāpes no esošām normatīvo aktu prasībām.
10. Lai gan, uzlabojoties energoefektivitātei, no vienas puses, elektroenerģijas patēriņš samazinās, no otras puses, **elektrifikācija** (transportā, siltumapgādē u. c.) veicina patēriņa pieaugumu. Lai mazinātu potenciālos patēriņa «pīķus» un nepieļautu tīkla pārslodzi, elektrificētajās nozarēs nepieciešama **koordinēta** iekārtu un infrastruktūras (piem., elektroauto uzlādes staciju, sadales un pārvades tīkla) vadība.
11. Energosistēmas balansēšanai jāizmanto vai jāattīsta sadales tīklam pieslēgtie **elastīguma avoti**: akumulācija, vadāmas slodzes, pirmkārt apkūres un elektromobilu patēriņa elastība.
12. **Elektroenerģijas lietotāju resursi** (pieprasījuma reakcija) var sniegt nozīmīgu ieguldījumu **pārejā uz aizvien lielāku AER īpatsvaru** elektroenerģētikā. Tomēr tas ir tikai **viens no energosistēmas elastīguma palielināšanas veidiem**; uzmanība joprojām jāvelta arī enerģijas akumulācijas tehnoloģiju attīstībai (it īpaši enerģijas ilgtermiņa uzkrāšanai), ciešākai energosistēmu integrācijai, pārejai uz aktīvu sadales tīklu vadību (pārslodžu novēršanai) un citiem risinājumiem.