



**VPP**

Valsts pētījumu  
programma

Nr. VPP-EM-INFRA-2018/1-0005

24.11.2021.

VPP «Enerģētika» projekts «FutureProof»

# Projekts

## «Ilgtspējīga Latvijas energosistēmas attīstība un integrācija Eiropā (FutureProof)»

Projektu īsteno Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas institūts  
sadarbībā ar Ventspils Augstskolas Inženierzinātņu institūtu  
«Ventspils Starptautiskais radioastronomijas centrs»

Projektu vada profesors *Dr. habil. sc. ing.* **Antans Sauhats**

Prezentē vadošā pētniece *Ph. D.* **Zane Broka**

24.11.2022.

# Saturs

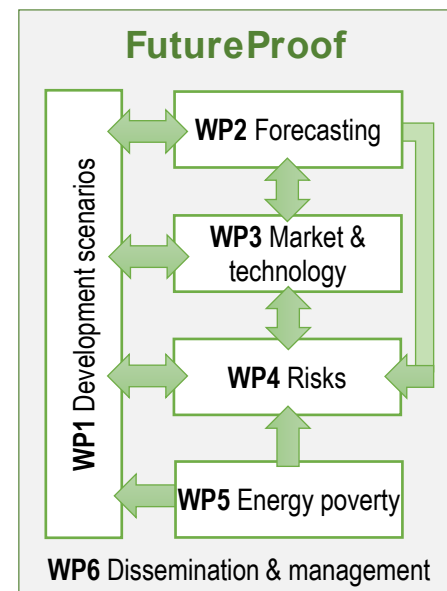
- Projekta mērķis, darba posmi
- Daži pētījumu piemēri un atziņas:
  - Enerģētiskās nabadzības analīze (WP5)
  - Energosistēmas attīstības modelēšana (WP1)
  - Elektroenerģijas tirgus modelēšana (WP3)
  - Ilgtermiņa riski (WP4)
- Kvantitatīvie rezultāti
- Promocijas darbi, publicētie raksti
- Ekspertu atziņas
- Nobeigums – projekta turpinātība

## Projekta mērķis

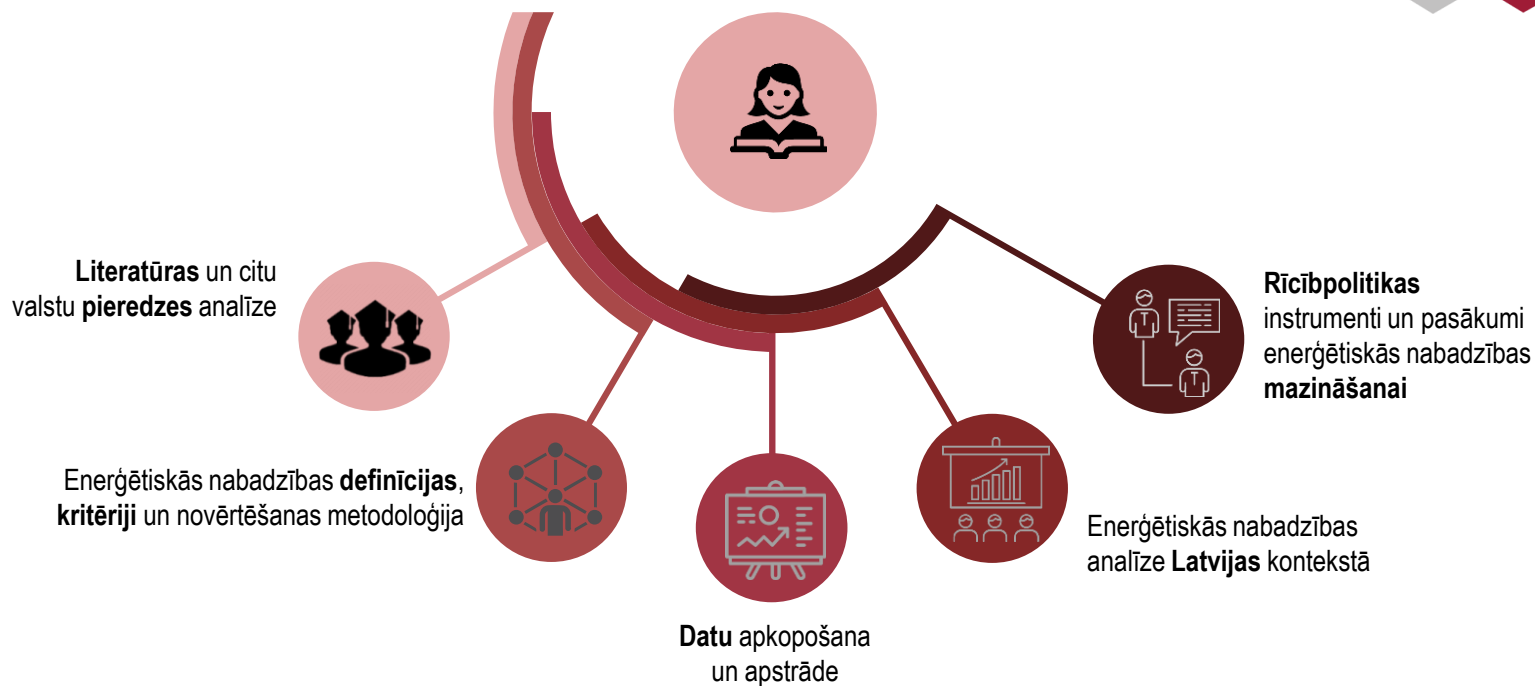
**Elektroenerģijas sistēmas** infrastruktūras, tirgus, risku un nākotnes attīstības scenāriju izpēte ar nolūku veicināt **Latvijas** elektroenerģijas nozares **ilgtspēju, konkurētspēju, atbilstību** sabiedrības interesēm un **integrāciju** Eiropā.

## Darba pakotnes

- WP1 Energosistēmas attīstības scenāriji: D1.1, D1.2, D1.3
- WP2 Prognozes: D2.1, D2.2
- WP3 Tirgus un tehnoloģiju analīze: D3.1, D3.2
- WP4 Ilgtermiņa risku novērtējums: D4.1
- WP5 Enerģētiskā nabadzība Latvijā: D5.1
- WP6 Projekta vadība, tā rezultātu publicitāte un izmantošana



# Enerģētiskās nabadzības analīze (WP5)



## Nodevums D5.1 «Enerģētiskās nabadzības analīze», 2019

Zinātniskais raksts: Žalostība, D., Kiseļovs, D. **A Review: The Energy Poverty Issue in the European Union and Latvia.** *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2021, Vol. 58, No. 3, 227.-248.lpp. ISSN 0868-8257. Pieejams: doi:10.2478/lpts-2021-0028

Atbilstoši EM norādēm un projekta sākumā precizētajam darbu grafikam, enerģētiskās nabadzības analīzes pakotne tika noslēgta kā pirmā 2019. gada rudenī, sagatavojot un iesniedzot **ziņojumu ar rekomendācijām politikas veidotājiem**. Pētījuma rezultātus izmantojusi Labklājības ministrija, izstrādājot rīcībpolitiku enerģētiskās nabadzības mazināšanai un ar to saistīto problēmjaudājumu risināšanā.

# Energosistēmas attīstības scenāriju modelēšana (WP1)

Attīstības mērķi: **ilgtspēja, efektivitāte, drošums**

- ES enerģētikas un klimata politika
- Baltijas jūras reģiona valstu nacionālā enerģētikas politika
- PSO attīstības plāni un dati

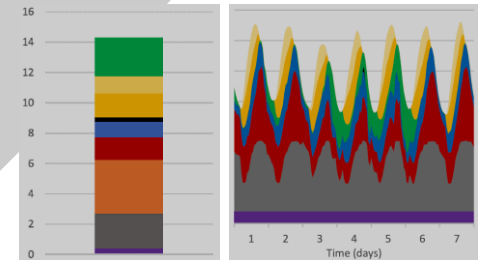
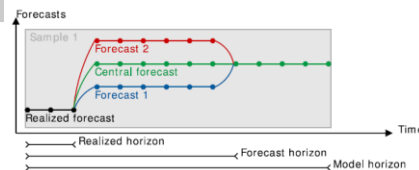
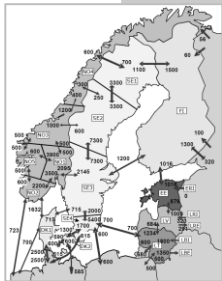
✓ D1.1

- Modelēšanas **metodikas** izstrāde
- **Pamatpieņēmumu** definēšana
- Modelējamo **scenāriju** definēšana
- Nepieciešamo **ieejas datu** ieguve

✓ D1.2

- Modelēšana; rezultātu analīze
- Pieņēmumu un scenāriju izmaiņas
- **Latvijas enerģosistēmas attīstības scenāriji 2050. g.**

✓ D1.3

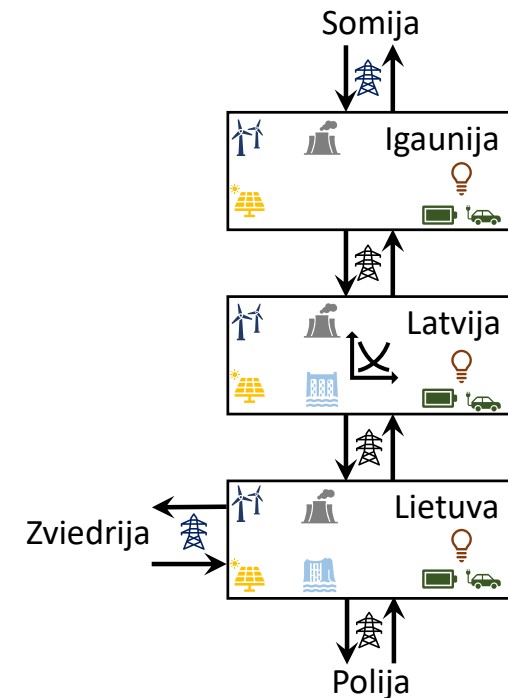
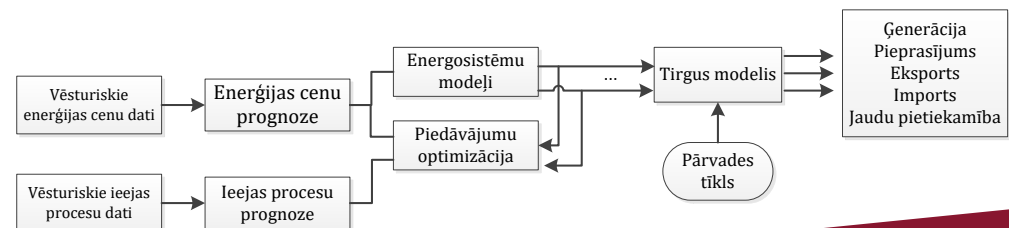


# Energosistēmas attīstības modelēšanas metodika (WP1)

(1) Vienotā reģiona energosistēmu modelī (REM) tiek kombinēta virkne modeļu no RTU Enerģētikas institūta modelēšanas rīku kompleksa, piemēram:

- **hidroelektrostaciju** optimizācijas modelis *OptiBidus-HES*
- **termoelektrostaciju** režīmu aprēķina modelis *OptiBidus-TEC*
- vispārināts **enerģijas akumulācijas** modelis, kas pielāgojams dažāda veida tehnoloģijām, kā arī konkrēti Kroņu hidroakumulācijas elektrostacijas modelis
- **elektroenerģijas tirgus** līdzsvara cenas aprēķina metodika
- **prognozēšanas** modeļi, piemēram, ūdens pietecei, siltumslodzei (ANN, regr.)
- optimizācija tiek īstenota **MATLAB**

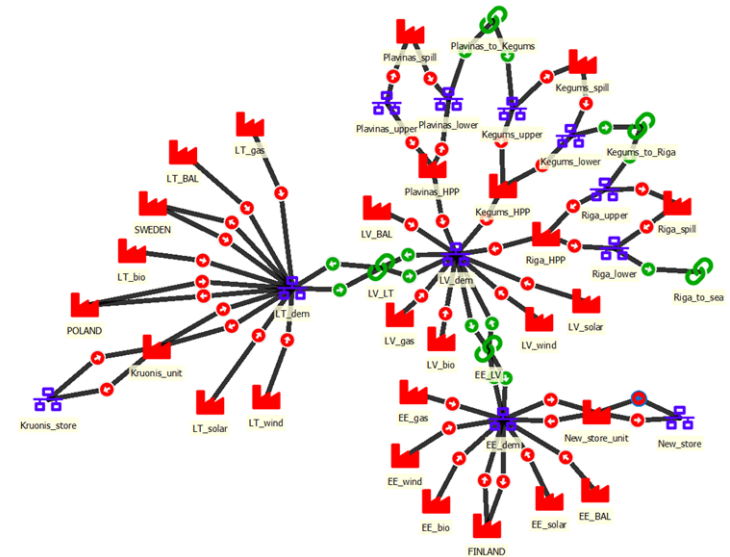
Pamatprincips: plānojot elektrostaciju darbības režīmu tirgus apstākļos, to operatori pieņem **nepilnīgā informācijā** balstītus lēmumus un to vadmotīvs ir **individuālās peļņas maksimizācija**.



# Energosistēmas attīstības modelēšanas metodika (WP1)

## (2) SpineOpt modelēšanas vide

- **atvērtā koda** (Open Source) energosistēmu modelēšanas vide un programmatūra **Julia** valodā
- scenāriju izveidi un modelēšanu atvieglo darbplūsmas vadības rīki **Spine Toolbox**
- izstrādājis VTT Technical Research Centre of Finland (Somija), University College Dublin (Īrija) U.C.
- dažādām vajadzībām **pielāgojams** energosistēmu modelēšanas ietvars
- ļauj veikt gan **īstermiņa** darba režīmu, gan **ilgtermiņa** investīciju plānošanas optimizāciju
- ļauj modelēt **integrētas energosistēmas**, aplūkojot dažādus enerģijas veidus un to mijiedarbību
- optimizācijai izmanto **jaukto veselo skaitļu programmēšanu**



Pamatprincips: elektrostaciju darbības režīmu optimizācijas mērķis ir **kopējā labuma maksimizācija**, turklāt tā tiek veikta **perfektas informācijas** apstākļos.

Tādējādi abas izmantotās modelēšanas pieejas atbilst citai galējībai, taču realitāte atrodas tām pa vidu.



# Energosistēmas attīstības modelēšanas rezultāti (WP1)

Rezultātu **salīdzinājums** abām izmantotajām modelēšanas pieejām, no kurām katra atbilst citai galējībai, taču realitāte visticamāk ir pa vidu.

- Aplūkoti **vairāki scenāriji** ar atšķirīgiem pieņēmumiem par elektrostaciju uzstādīto jaudu **Baltijā 2050. gadā**.
- Veikta izvēsta **rezultātu jutības analīze** bāzes scenārijam, papildu scenārijos variējot nozīmīgākos ietekmējošos kritērijus un pieņēmumus.

Kritērijs, TWh	Bāzes scenārijs ~2 GW SES, ~6 GW VES		Lieljaudas AER scenārijs ~4 GW SES, ~12 GW VES	
	REM (3. sc.)	SpineOpt	REM (4. sc.)	SpineOpt
Ierobežotā AER izstrāde (pārpalikums)	0,090	0	4,361	2,575
Rezerves stacijās izstrādātā elektroenerģija	1,670	0,010	0,726	0,003
Deficīts	0,177	0	0,060	0

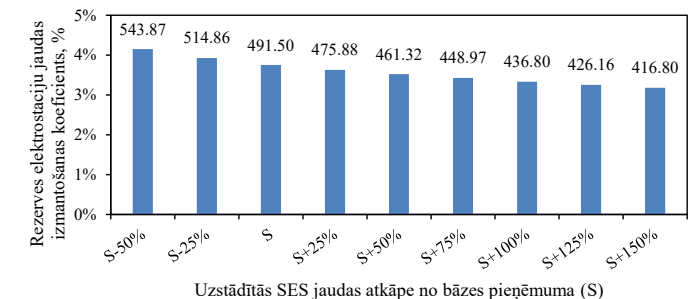
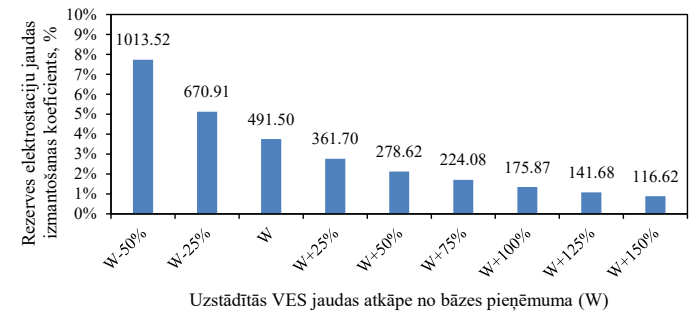
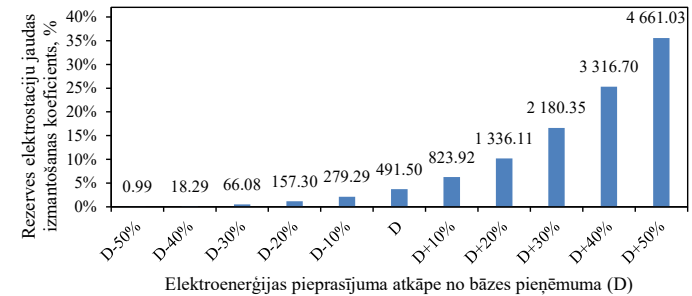
Papildu scenāriji, SpineOpt	Ierobežotā AER izstrāde, GWh	Rezerves staciju izstrāde, GWh
Bāzes scenārijs	0,000	10,469
Starpsavienojumu atteice	0,594	491,497
Izolēta darbība	887,035	9 441,950
Palielināts pieprasījums	0,000	802,193
Mazāk akumulācijas	0,248	25,838
Lielāka akumulācijas jauda	0,000	10,135
Lielāka akumulācijas ietilpība	0,000	3,825

← Perfekta starpsavienojumu darbība

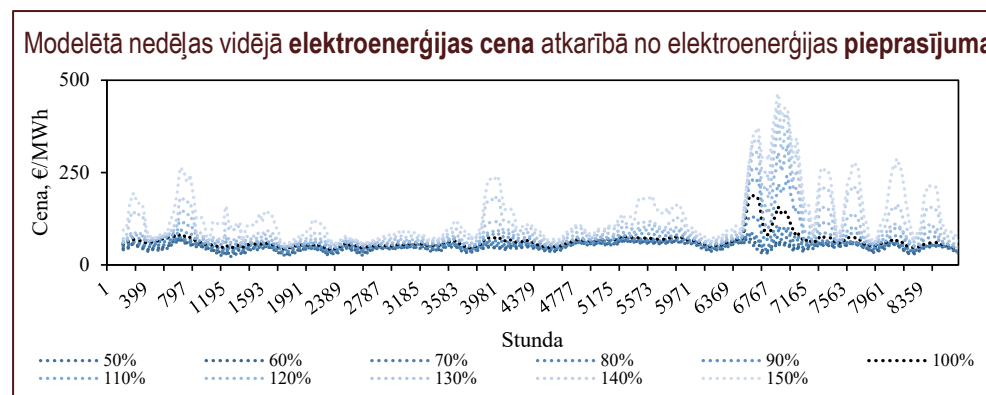
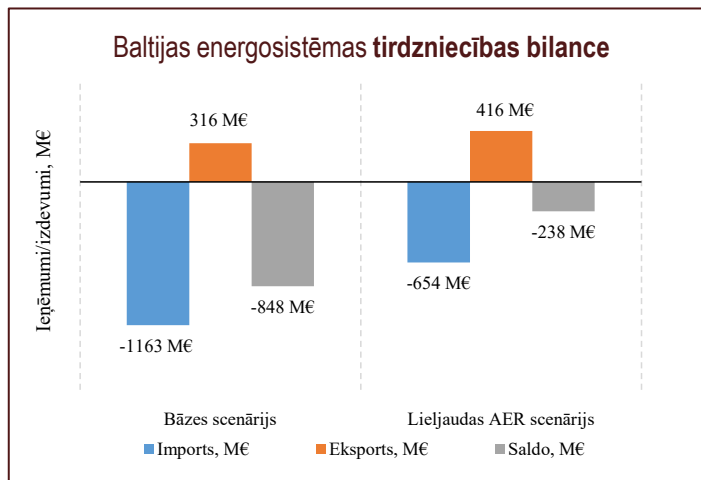
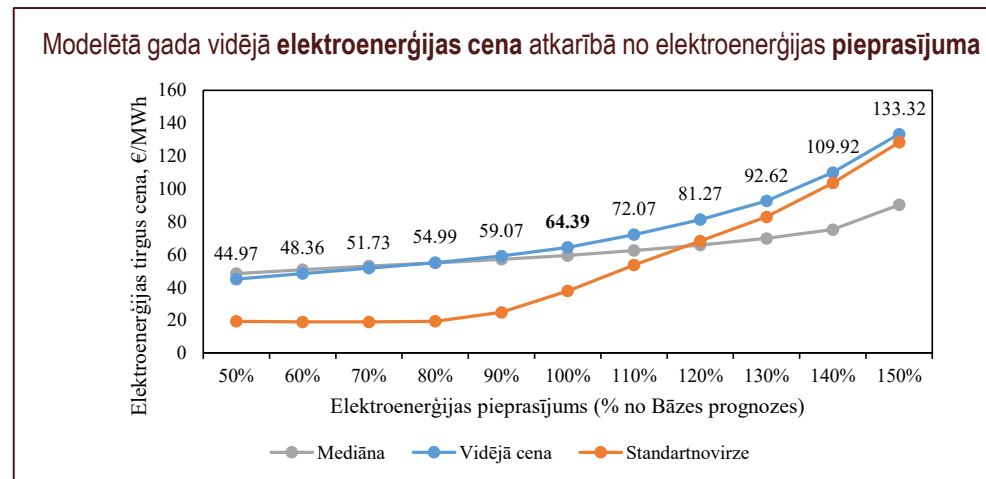
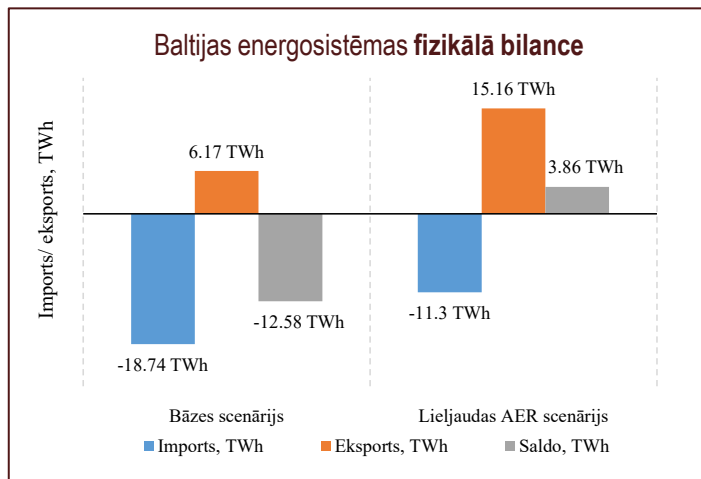
← Atteices un ierobežojumi atbilstoši vēsturiskajiem datiem

# Energosistēmas attīstības modelēšanas rezultāti (WP1)

- Sagaidāms **ievērojams VES un SES jaudu pieaugums**, kas motivē energosistēmas jaudu pietiekamības risku novērtēšanas modeļu attīstību. Ir lietderīgi Baltijas valstis vērtēt vienoti.
- Nepietiekamība var veidoties pirmām kārtām **starp savienojumu bojājumu gadījumos**, kas ir nozīmīgs elastīguma avots. Tādēļ, lai nodrošinātu Baltijas valstu sinhronizāciju ar kontinentālās Eiropas tīklu, jāstiprina enerģētiskā neatkarība, jāpalielina sistēmas elastīgums.
- Jaudu pietiekamība stacionārā režīmā nākotnē ir ļoti atkarīga no **enerģijas pieprasījuma**, kura strauja pieauguma gadījumā palielinās nepietiekamības riski. Tos var samazināt, savlaicīgi būvējot papildu ģenerācijas avotus, stiprinot starpsavienojumus, ieviešot **pieprasījuma reakciju** plašā mērogā.
- SES un VES darbības atkarība no laikapstākļiem rada nepieciešamību uzturēt atbilstošas **rezerves ģenerācijas jaudas**. Taču **vieda akumulācijas sistēmu vadība un precīza energosistēmas darbību ietekmējošo procesu prognozēšana** ļautu ievērojami **samazināt** no jaudu pietiekamības viedokļa **nepieciešamās rezerves**.
- Ja netiek ieviesti citi elastīguma avoti, tad kā papildu risinājums iespējama **neprioritāro lietotāju atslēgšana** ar atbilstošām finansiālām kompensācijām.
- Liela mēroga AER attīstība var izraisīt to **rentabilitātes samazināšanos**, jo parādās režīmi ar enerģijas pārpalikumu, kuru nevar realizēt pārvades ierobežojumu, zema pieprasījuma un nepietiekamu akumulācijas iespēju dēļ. Šādus riskus var mazināt, **efektīvi izmantojot esošās un attīstot jaunas enerģijas akumulācijas iespējas** Baltijas energosistēmā.



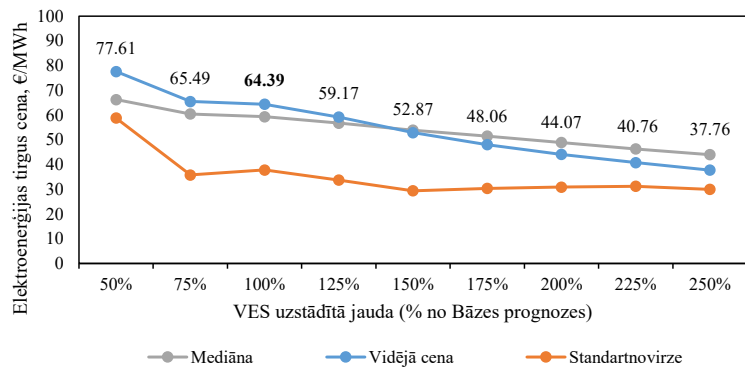
# Tirgus modelēšana un imitācijas 2050. gadam\* (WP3)



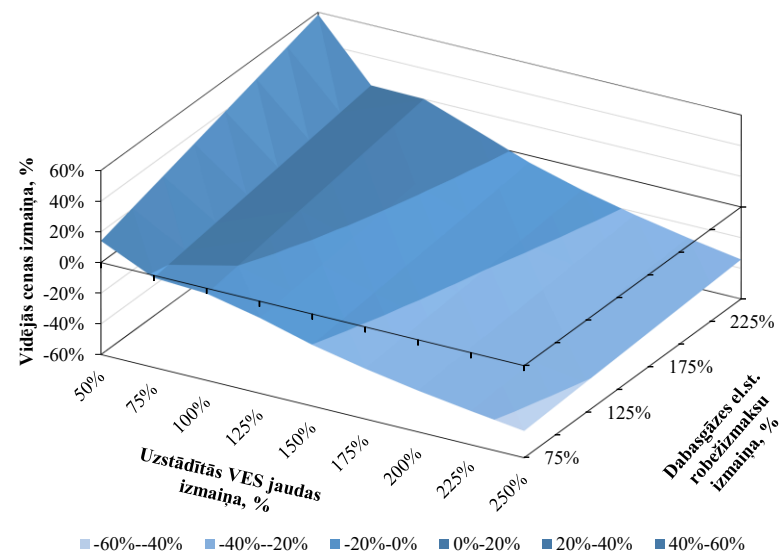
\* Tirgus imitācijas veiktas pirms dabasgāzes cenu krīzes (2021.g.), tāpēc bāzes pieņēmumi par rezerves staciju robežmaksām ir salīdzinoši ļoti konservatīvi.

# Tirgus modelēšana un imitācijas 2050. gadam\* (WP3)

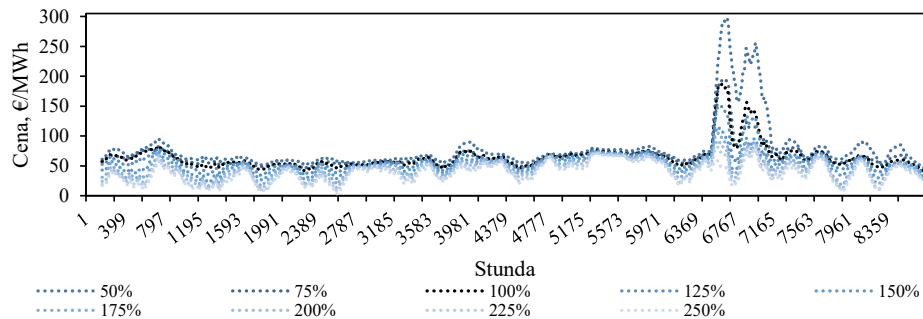
Modelētā gada vidējā elektroenerģijas cena atkarībā no VES jaudas



Modelētās elektroenerģijas cenas izmaiņas atkarībā no VES jaudas un rezerves elektrostaciju robežizmaksām



Modelētā nedēļas vidējā elektroenerģijas cena atkarībā no VES jaudas



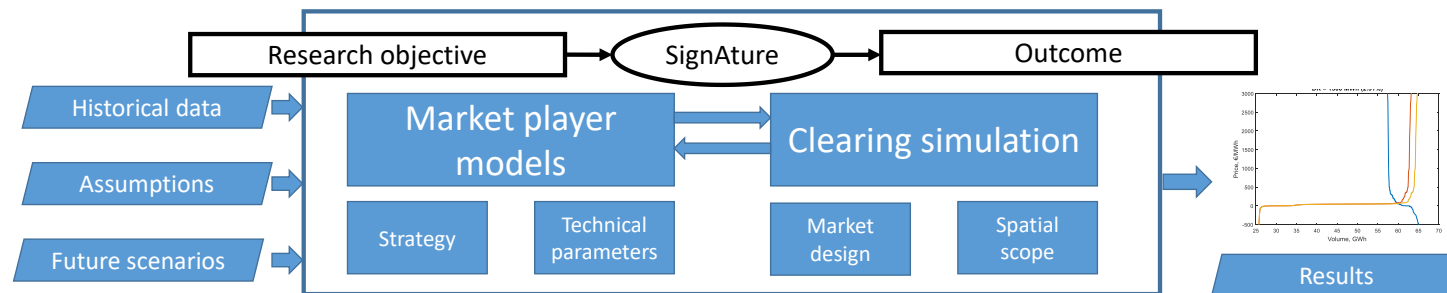
\* Tirgus imitācijas veiktas pirms dabasgāzes cenu krīzes (2021.g.), tāpēc bāzes pieņēmumi par rezerves staciju robežizmaksām ir salīdzinoši ļoti konservatīvi.

## Tirgus modelēšana un imitācijas (WP3)

- Nākotnē Baltijas enerģosistēmā aizvien lielāka kļūst starpsavienojumu nozīme. Pārrobežu **tirdzniecības jaudu ierobežojumi izraisīs straujus elektroenerģijas cenas lēcienus**, it īpaši tad, kad ir ierobežota AER pieejamība (VES u. c.).
- Taču starpsavienojumi elektroenerģijas tirgus **cenu Baltijā var arī paaugstināt**. Piemēram, kad lētāko AER izstrāde būtu pietiekama Baltijas elektroenerģijas pieprasījuma segšanai par zemu cenu, bet eksporta iespēju dēļ tiek aktivizētas arī dārgākas elektrostacijas vai izmantota akumulētā enerģija.
- Jaunu lieljaudas elektroenerģijas akumulācijas staciju izbūve dod samērā mazu tirgus cenas samazinājumu. Lielāka ietekme tām ir tieši uz **elektroenerģijas cenas svārstībām** – pilna cikla elektroenerģijas akumulācijas staciju iesaiste tirgū noved pie kopējo svārstību mazināšanās.
- Var lēst, ka lielāku papildu labumu varētu gūt ar **ilgtermiņa** (t. i., sezonālas) enerģijas akumulācijas izmantošanu; tā ir visracionālākā, ja tiek izmantota dažādu **energoapgādes sistēmu sinerģija**, piem., izmantojot no AER ražotas elektroenerģijas pārpalikumu siltumenerģijas ilgtermiņa akumulācijai.
- Pieprasījumam palielinoties, elektroenerģijas cenas kopumā šķietami aug vienmērīgi, taču **cenu pīķi kļūst aizvien augstāki**.
- Savukārt VES jaudas palielināšana, lai gan ļauj samazināt tirgus cenas, **pēc noteikta līmeņa sasniegšanas** vairs neatstāj ievērojamu efektu uz kopējām cenu svārstībām.
- Nākotnē būtu nepieciešamas ļoti lielas VES jaudas, lai gada griezumā sasniegtu elektroenerģijas **eksporta pārsvaru pār importu**.
- **Ilgstoši zemas** elektroenerģijas tirgus cenas var apdraudēt AER projektu **rentabilitāti**. Šo problēmu var risināt, tirgotājiem/lietotājiem slēdzot elektroenerģijas ilgtermiņa pārdošanas līgumus par attīstītājiem pieņemamu un pamatotu cenu; veicot **strukturālas** elektroenerģijas vairumtirdzniecības **tirgus izmaiņas**; **lietderīgi izmantojot** no nepastāvīgas dabas AER elektrostacijām saražoto elektroenerģiju ārpus elektroenerģijas sistēmas (siltumenerģijai, dažādos ķīmiskos un rūpniecības procesos u. c.). Lai gan šis ir **ilgtermiņa jautājums** un vismaz vidējā termiņā konkrētā problēma vēl visdrīzāk nebūs aktuāla, **gatavoties** pilnībā vai gandrīz dekarbonizētai Eiropas Savienības enerģētikai līdz 2050. gadam ir **nepieciešams jau savlaicīgi**.

## Tirgus modelēšanas virziena turpinājums...

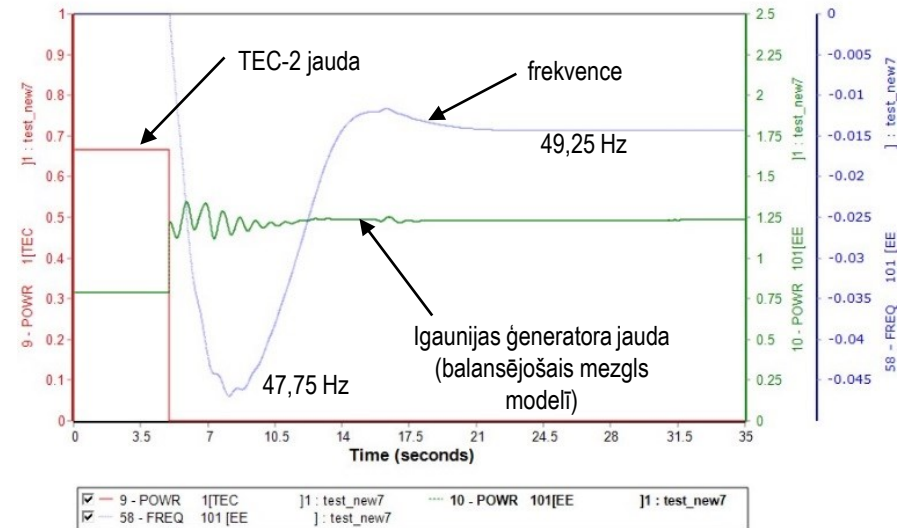
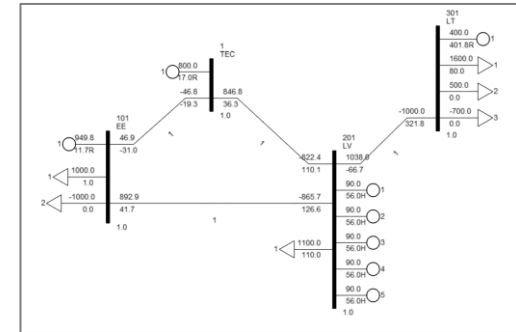
- Daudzfunkcionāls **modelēšanas rīks** mainīgajiem nākotnes elektroenerģijas tirgiem un to attīstībai (**SignAture**)
- Latvijas Zinātnes padomes **FLPP** projekts (2022–2024)
- Mērķis: izveidot daudzfunkcionālu **atvērtā koda modelēšanas rīku elektroenerģijas tirgus pētījumiem** un pielietot to gadījumizpētēm ar nolūku novērtēt un sniegt rekomendācijas Baltijas elektroenerģijas tirgus **nākotnes attīstībai**, veicinot enerģētikas pārkārtošanos un uzlabojot energoapgādes drošību.
- Pirmšķietami izvēlētie elektroenerģijas tirgus gadījumizpētes virzieni:
  - 1) AER ietekme uz elektroenerģijas vairumtirgu
  - 2) Nākotnes elastīguma tirgi
  - 3) Tirgus dalībnieku stratēģijas izvērtējums



# Ilgtermiņa risku novērtējums (WP4)

Gadījumizpētes piemērs: Rīgas TEC-2 atslēgums  
(piem., gāzes padeves pārtraukuma vai elektrotīkla traucējumu dēļ)

- Veikta **Baltijas enerģosistēmas** modelēšana programmā *Siemens PSSE v34*, lai novērtētu sistēmas stabilitāti **izolētā režīmā**
- Imitēta **Rīgas TEC-2** atslēgšanās,  $t = 5$  s
- Sistēmas frekvence nokrītas līdz **47,75 Hz**
- Citi sistēmai pieslēgtie ģeneratori tiecas palielināt izstrādes jaudu; pēc ~20 s frekvence stabilizējas uz **49,25 Hz**
- Atbilstoši ES normatīviem (SO GL) frekvencei jābūt vismaz **49,2 Hz / 49,8 Hz**
- Tādējādi imitētais frekvences iekritums ir **nepieņemami zems** un teorētiski varētu izraisīt **kaskādveida avāriju** (ģeneratoru, slodzes atslēgšanos) un rezultātā – daļēju vai pilnīgu Baltijas enerģosistēmas **sabrukumu**
- Praksē nostrādātu pretavārijas aizsardzības automātika, kas šajā gadījumā netika modelēta



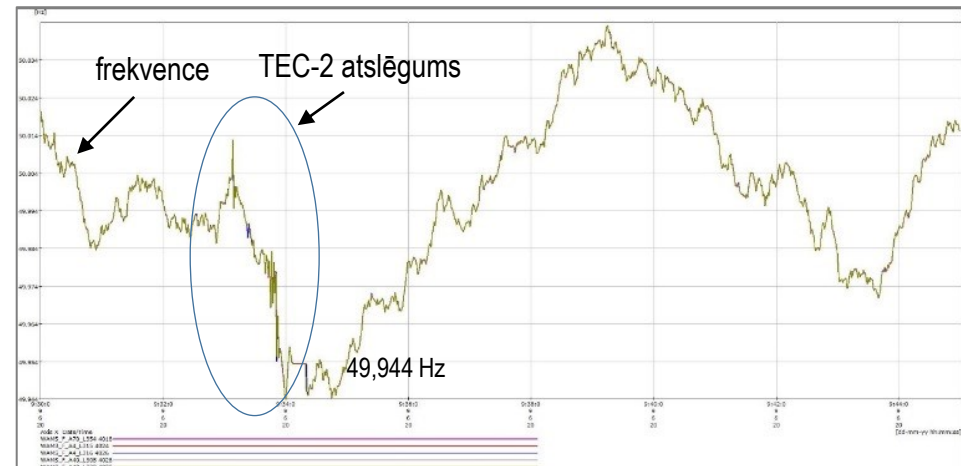
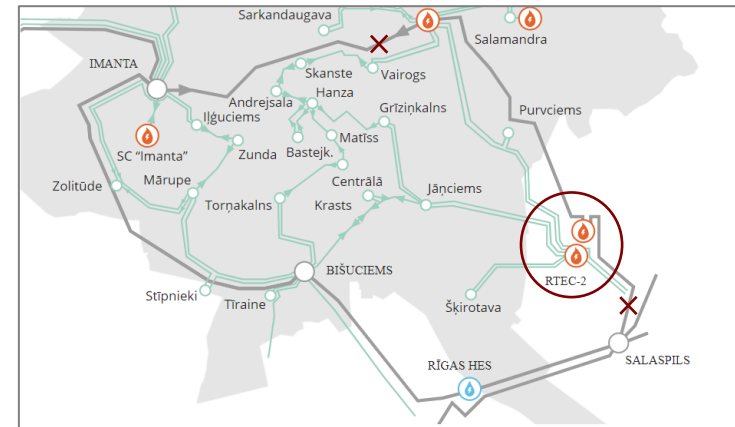
# Ilgtermiņa risku novērtējums (WP4)

## Reāls gadījums: Rīgas TEC-2 atslēgums 09.06.2020.

- Baltijas enerģosistēmas darbojas **sinhronajā BRELL lokā** kopā ar Krieviju, Baltkrieviju
- Primāro frekvences regulēšanu nodrošina Krievija
- Rīgas TEC-2 strādāja ar **pilnu jaudu** (800 MW)
- 330 kV kabeļa īssavienojuma dēļ notika TEC-2 atslēgšanās

Šāds atslēgums ir ļoti mazticams un raksturojams kā **N – 3** gadījums, jo tajā pašā laikā neplānoti bija atslēdzies līdzstrāvas kabelis SE–LT un notika plānoti 330 kV līnijas TEC-2–Salaspils remontdarbi

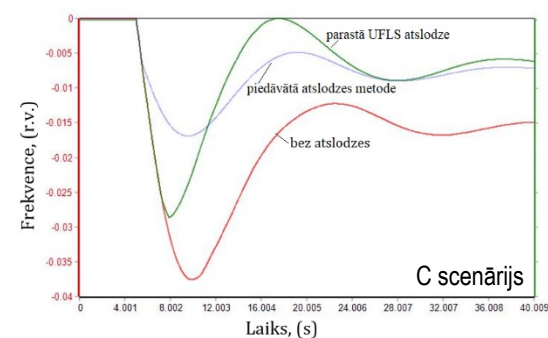
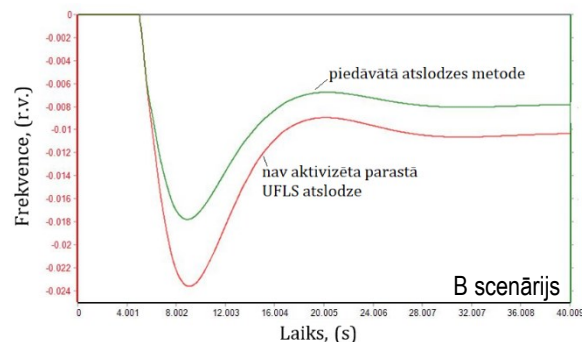
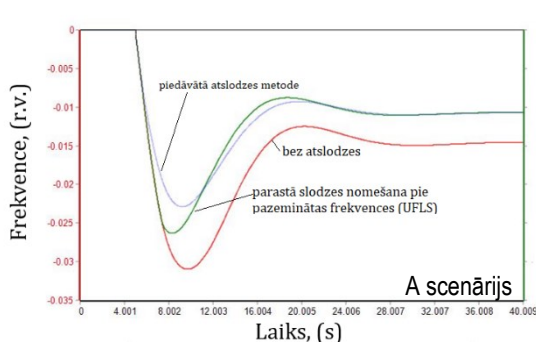
- Sistēmas frekvence nokritās vien līdz **49,94 Hz**
- Nostrādāja tīkla dalīšanas **automātika** un pārslodzes **aizsardzība**
- Bez sprieguma palika **27 apakšstacijas** (daļa Rīgas un apkārtnē, Saulkrasti, Sigulda u. c.)
- Energoapgāde atjaunota **100 min laikā**





# Ilgtermiņa risku novērtējums (WP4)

- Desinhronizācijas dēļ enerģosistēmas stabilitātes riski ilgtermiņā var pieaugt.
- To mazināšanai projektā izstrādāts un piedāvāts jauns enerģosistēmas atslodzes algoritms, kas balstīts uz uzstādāmo sinhrono kompensatoru (SK) izmantošanu.



## Nodevums D4.1 «Latvijas enerģosistēmas risku novērtējums un rekomendācijas to mazināšanai»

### Zinātniskie raksti:

- Sauhats, A., Utāns, A., Siliņēvičs, J., Junghāns, G., Guzs, D. Enhancing Power System Frequency with a Novel Load Shedding Method Including Monitoring of Synchronous Condensers' Power Injections. *Energies*, 2021, Vol. 14, No. 5, Article number 1490. ISSN 1996-1073. Pieejams: doi:10.3390/en14051490
- Guzs, D., Utāns, A., Sauhats, A., Junghāns, G., Siliņēvičs, J. Resilience of the Baltic Power System when Operating in Island Mode. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2022, Vol. 58, No. 3, 3175.-3183.lpp. ISSN 0093-9994. Pieejams: doi:10.1109/TIA.2022.3152714

Lai sasniegtu **augstāku TRL**, tostarp izstrādājot prototipu, noris darbs metodes turpmākai attīstībai, tostarp iesniegts pieteikums FLPP programmai.

## Projekta kvantitatīvie rezultāti

- **8 ziņojumi** Ekonomikas ministrijai (nodevumi pieejami arī publiski RTU vietnē)
- **19 uzstāšanās zinātniskās konferencēs** ar indeksētiem pilnteksta rakstiem
- **11 zinātniskie raksti** Open Access žurnālos (**+2 raksti** pēc projekta noslēguma)
- **3 populārzinātniskie raksti**
- **dalība 10 enerģētikas nozares konferencēs**, semināros vai diskusijās
  
- Projekta izpildē tieši iesaistīti **7 doktorantūras** un **2 maģistrantūras studenti**
- Saistībā ar projekta tematiku līdz tā noslēgumam **uzraudzīti un aizstāvēti**:
  - **4 doktora (+1 pēc projekta noslēguma)**;
  - **5 maģistra**;
  - **10 bakalaura darbi**
  
- **Attīstīta sadarbība** (kopēji zinātniskie raksti, Horizon projektu pieteikumi, līgumi par izpēti u.tml.) ar **virkni uzņēmumu un institūciju**, piemēram, AS «Augstsprieguma tīkls», AS «Latvenergo», ABB, AS «Gaso» u.c.

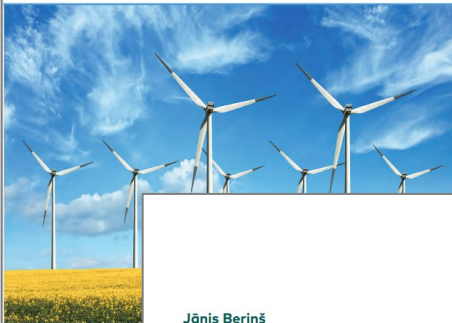
# Promocijas darbi



Deniss Bezrukovs

VĒJA ENERĢIJAS RESURSU PĒTĪJUMS UN  
VĒJA ENERĢIJAS PROJEKTU EKONOMISKĀS  
IESPĒJAMĪBAS NOVĒRTĒJUMS

Promocijas darba kopsavilkums



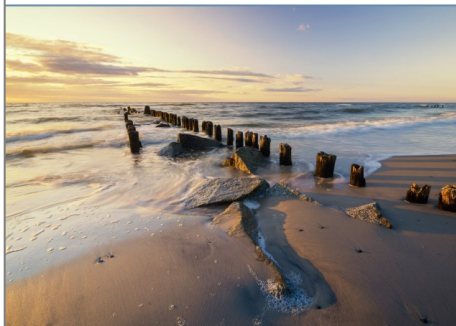
RTU Izdevniecība  
Rīga 2019



Jānis Beriņš

OKEĀNA UN JŪRAS VIĻŅU ENERĢĒTIKAS  
IESPĒJAS UN ATTĪSTĪBA

Promocijas darba kopsavilkums



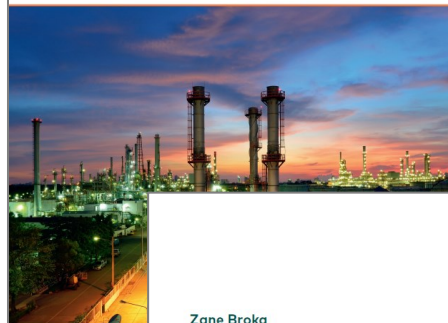
RTU Izdevniecība  
Rīga 2019



Romāns Oļekšijs

KOMBINĒTĀ CIKLA ENERGOBLOKU ELEKTRISKO  
IEKĀRTU MODERNIZĀCIJA DARBĪBAS  
PIELĀGŠANAI MŪSDIENU ELEKTROENERĢIJAS  
TIRGUS PRASĪBĀM

Promocijas darba kopsavilkums



RTU Izdevniecība  
Rīga 2020



Zane Broka

PATĒRIŅA ELASTĪBAS IZMANTOŠANA UN  
NOVĒRTĒJUMS ELEKTROENERĢIJAS TIRGOS

Promocijas darba kopsavilkums



RTU Izdevniecība  
Rīga 2020



Līga Kurevska

REGULĒJUMA IZVEIDE PIEPRASĪJUMREAKCIJAS  
PAKALPOJUMU INTEGRĀCIJAI BALTIJAS  
ELEKTROENERĢIJAS TIRGOS

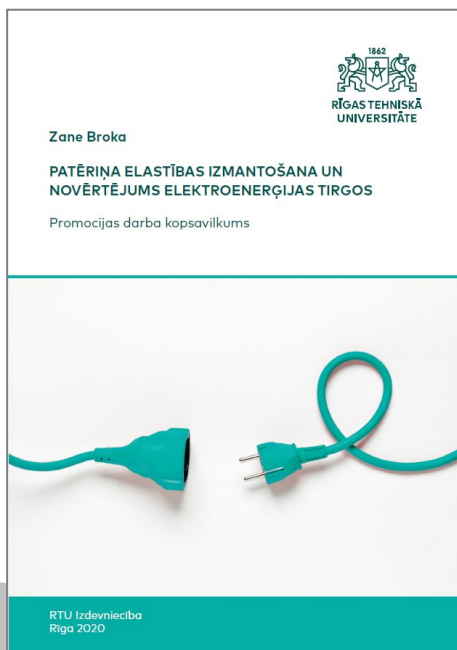
Promocijas darba kopsavilkums



RTU Izdevniecība  
Rīga 2022

**Zane Broka un Romāns Oļekšijs** 2020. gada decembrī par saviem promocijas darbu pētījumiem saņēma LZA un AS «Latvenergo» **gada balvu enerģētikā jaunajiem zinātniekiem.**

**Romāns Oļekšijs** guvis arī **starptautisku atzinību**, 2021. gada septembrī saņemot **VGB Inovācijas balvu** par īpašiem panākumiem pētījumos ar praktisku pielietojumu. VGB ir starptautiska pasaulē vadošā elektroenerģijas un siltumenerģijas ražotāju asociācija, un tā apbalvo izcilus jaunus zinātniekus par nozīmīgiem pētījumiem šajā nozarē.



## Projekta ietvaros publicētie raksti (1/2)

1. G. Junghāns, A. Silis, K. Mārciņa, K. Ertmanis, "Role of Balancing Markets in Dealing with Future Challenges of System Adequacy Caused by Energy Transmission," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2020, Vol. 57, No. 3, pp.48-56.
2. J. Beriņš, L. Petrichenko, "Economic Valuation of Wave Power Plant in the Baltic Sea Region at Pre-Flexibility Stage," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2019, Vol. 56, No. 6, pp.32-46.
3. L. Kurevska, T. Sile and A. S. Sauhats, "Developing an economically advantageous wind forecasting method for electricity market design with a 15-minute imbalance settlement period," *16th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Ljubljana, Slovenia, 2019, pp. 1-5.
4. L. Petrichenko, L. Zemite, M. Zima-Bočkarjova and A. Jasevics, "Shapley-Value-Based Distribution of the Costs of Solar Photovoltaic Plant Grid Connection," *16th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Ljubljana, Slovenia, 2019, pp. 1-5.
5. Silis, K. Ertmanis, L. Kurevska, G. Junghans and A. Sauhats, "Benefits of regional balancing areas," *16th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Ljubljana, Slovenia, 2019, pp. 1-5.
6. R. Oļekšijs and O. Linkevičs, "Possible solutions for ancillary service provision from combined heat and power plants in Latvia," *IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 2019, pp. 1-6.
7. L. Petrichenko, R. Petrichenko and A. Sauhats, "The Choice of the Number of Charge/Discharge Cycles for a Battery Energy Storage System," *IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 2019, pp. 1-6, .
8. M. Zima-Bočkarjova, A. Sauhats, L. Petrichenko and R. Petrichenko, "Shapley-Value-Based Charging and Discharging Scheduling for Electric Vehicles in a Parking Station," *IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 2019, pp. 1-6.
9. K. Baltputnis, Z. Broka and A. Sauhats, "Influence of Flexibility Modeling Parameters on Residential-Scale Demand Response Assessment," *IEEE PowerTech*, Milan, Italy, 2019, pp. 1-6.
10. K. Baltputnis, Z. Broka and A. Sauhats, "Analysis of the Potential Benefits from Participation in Explicit and Implicit Demand Response," *54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Bucharest, Romania, 2019, pp. 1-5.
11. D. Bezrukovs, V. Bezrukovs, VI. Bezrukovs, M. Konuhova, and S. Aniskevich, "The Comparison of the Efficiency of Small Wind Turbine Generators with Horizontal and Vertical Axis Under Low Wind Conditions," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 57, no. 5, pp. 61–72, 2020.
12. Petrichenko, L., Sauhats, A., Petrichenko, R., Borscevsks, O., Zima-Bočkarjova, M., "Billing System Impact on the Deployment of Electric Vehicles," *17th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Sweden, Stockholm, 2020. pp.1-5. doi.
13. Broka, Z., Baltputnis, K., "Handling of the Rebound Effect in Independent Aggregator Framework," *17th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Sweden, Stockholm, 2020, pp.1-5.
14. D. Guzs, A. Utans, A. Sauhats, G. Junghans and J. Silinevics, "Resilience of the Baltic power system when operating in island mode," *IEEE 61st International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 2020, pp. 1-6.
15. J. Teremranova and A. Sauhats, "Electrification and Decarbonization Potential Assessment of Latvian Dwellings," *IEEE 61st International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 2020, pp. 1-7.
16. R. Oļekšijs, A. Sauhats and B. Olekshii, "Generator cooperation in district heating market considering open electricity market," *IEEE 61st International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 2020, pp. 1-6.

## Projekta ietvaros publicētie raksti (2/2)

17. S. Guseva, O. Borsceviskis, N. Breners and S. Ribakovs, "Technical and Economic Feasibility of Using Dry Transformers to Feed Large Concentrated Loads of Urban Facilities," *IEEE 61st International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 2020, pp. 1-4.
18. A. Sauhats, A. Utans, J. Silinevics, G. Junghans, and D. Guzs, "Enhancing Power System Frequency with a Novel Load Shedding Method Including Monitoring of Synchronous Condensers' Power Injections," *Energies*, vol. 14, no. 5, p. 1490, 2021.
19. A. Sauhats, Z. Broka, and K. Baltputnis, "Energy Transition of the Baltic States: Problems and Solutions," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 58, no. 3, pp. 3–14, 2021.
20. L. Petrichenko, R. Petrichenko, A. Sauhats, K. Baltputnis, and Z. Broka, "Modelling the Future of the Baltic Energy Systems: A Green Scenario," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 58, no. 3, pp. 47–65, 2021.
21. R. Oleksijs, A. Sauhats, and B. Olekshii, "Power Plant Cooperation in District Heating Considering Open Electricity Market," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 58, no. 3, pp. 66–81, 2021.
22. D. Zalostiba and D. Kiselovs, "A Review: The Energy Poverty Issue in the European Union and Latvia," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 58, no. 3. Sciendo, pp. 227–248, 2021.
23. L. Petrichenko, J. Kozadajevs, R. Petrichenko, O. Ozgonenel, D. Boreiko, and A. Dolgicers, "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.
24. L. Kurevska, "Heat Pump Optimization Strategies for Participation in Price-Controlled Demand Response in the Latvian Electricity Market," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 58, no. 3, pp. 98–107, 2021.
25. S. Kiene and O. Linkevics, "Simplified Model for Evaluation of Hydropower Plant Conversion into Pumped Storage Hydropower Plant," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 58, no. 3, pp. 108–120, 2021.
26. V. Šakele and Z. Broka, "BBEMA: Dashboard for Baltic Balancing Energy Market Analysis," *e-Energy 2021 - Proceedings of the 2021 12th ACM International Conference on Future Energy Systems*, online, 2021, pp. 389–395.
27. J. Survilo, "Effective Use of Synchronous Machines to Suppress the Impact of a Sudden Power Imbalance in a System," *IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2021)*, Riga, Latvia, 2021, pp. 1-6.
28. J. Survilo, "Fuel Efficiency of a CHP Plant with Increased Flexibility," *IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2021)*, Riga, Latvia, 2021, pp. 1-6.
29. L. Petrichenko, A. Sauhats, and I. Diahovchenko, "An Economic Comparison of Planning Decisions Aimed at Stimulation of Photovoltaic Roof Prosumers vs. Energy Communities," *IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2021)*, Riga, Latvia, 2021, pp. 1-6.
30. R. Oleksijs, A. Sauhats, and B. Olekshii, "Cooperation in Energy Markets Considering CO2 Emission Costs," *IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2021)*, Riga, Latvia, 2021, pp. 1-6.
31. A. Utans, A. Sauhats, L. Zemīte, D. Guzs, "Improving Power System Frequency Response with a Novel Load Shedding Method," *60th ESRéDA Seminar: Advances in Modelling to Improve Network Resilience*, Grenoble, France, 2022, pp. 1-6.
32. D. Guzs, A. Utans, A. Sauhats, G. Junghans, J. Silinevics, "Resilience of the Baltic Power System when Operating in Island Mode," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 58, No. 3, pp.3175-3183, 2022.

## Starptautisko ekspertu atziņas

““ Overall, the team has demonstrated a strong research capacity and has achieved its goals of the highest scientific quality, demonstrating the ability to create new knowledge based on proposal innovation and progress, adopting an integrative approach that combines both solutions, as well as regulatory frameworks to minimize costs and maximize impact.

““ The project has achieved results that support the expected impacts in several scientific fields and the policy-making dimension.

““ The main results of the research are in line with the work plan, structured in six work packages. The steps and tasks are clearly defined and reported as being fulfilled, being appropriate and credible, according to the established goal.

““ FutureProof has also helped to improve the study environment and the development of a new professional master's degree program in intelligent power systems in Latvian and English.

## Projekta mērķis sasniegts

## FutureProof turpinājums... (1/2)

- Ventspils Augstskolas Inženierzinātņu Institūts “Ventspils Starptautiskais Radioastronomijas Centrs” (IZI VSRC) aktīvi turpina pētījumus par **vēja enerģijas izmantošanas efektivitātes palielināšanu** Latvijā, kas bija uzsākti VPP projekta “FutureProof” projekta ietvaros.
- Aktuālie pētījumu virzieni:
  - **Vēja enerģijas izmantošanas koncepcijas pilnveidošana «zaļā» ūdeņraža ražošanai** – enerģētikas klasteri, kurus varētu izveidot no ekonomiskajiem centriem attālinātās radīt pašvaldībās var būtiski uzlabot ekonomikas attīstību reģionos un izveidot jaunas darbavietas ar augstu pievienoto vērtību.
  - Vēja enerģijas resursa sadalījuma prognozēšana Latvijas teritorijā dažādos augstumos, izmantojot «**New European Wind Atlas**» tiešsaistes rīkus.





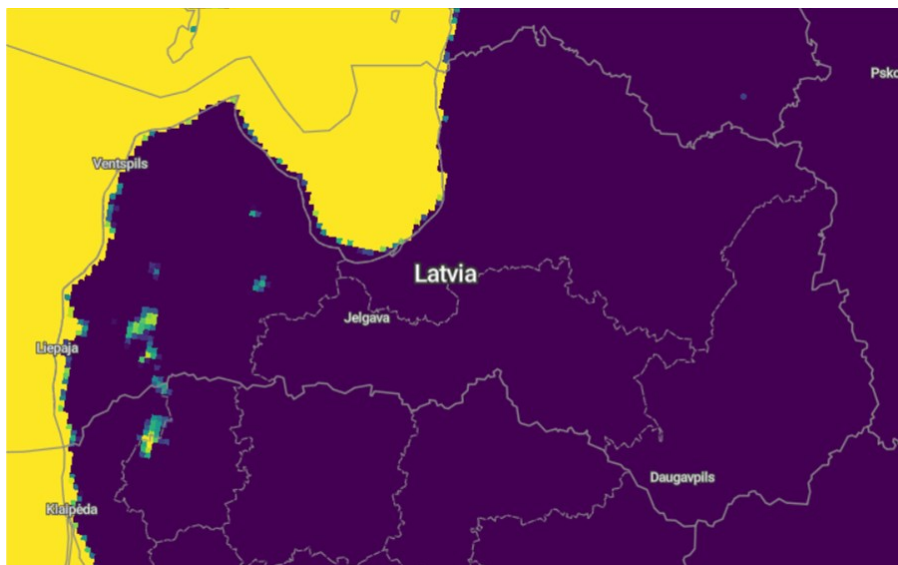
# Vēja enerģijas resursa sadalījuma prognozēšana Latvijas teritorijā 100 un 200 metru augstumā ar «New European Wind Atlas» tiešsaistes rīku

Ar dzeltenu krāsu atzīmēti apgabali, kuriem atbilst:

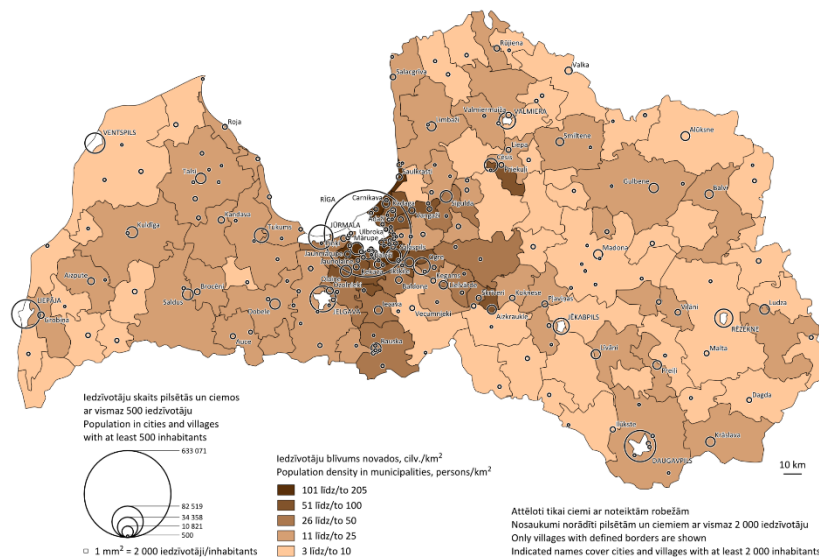
- augstums: **100 m**
- vidējais vēja enerģijas blīvums lielāks par: **460 W/m<sup>2</sup>**

Minētajos apgabalos pieejamie vēja resursi var nodrošināt efektīvu jaunas paaudzes vēja turbīnu darbību ar šādiem parametriem:

- maksimālais vēja turbīnas lāpstiņu diametrs: **100 m**
- sauszemes vēja turbīnas nominālā jauda: **1.5 MW**



Salīdzinājumam pievadīta karte ar Latvijas iedzīvotāju blīvuma sadalījumu novados (cilv./km<sup>2</sup>).



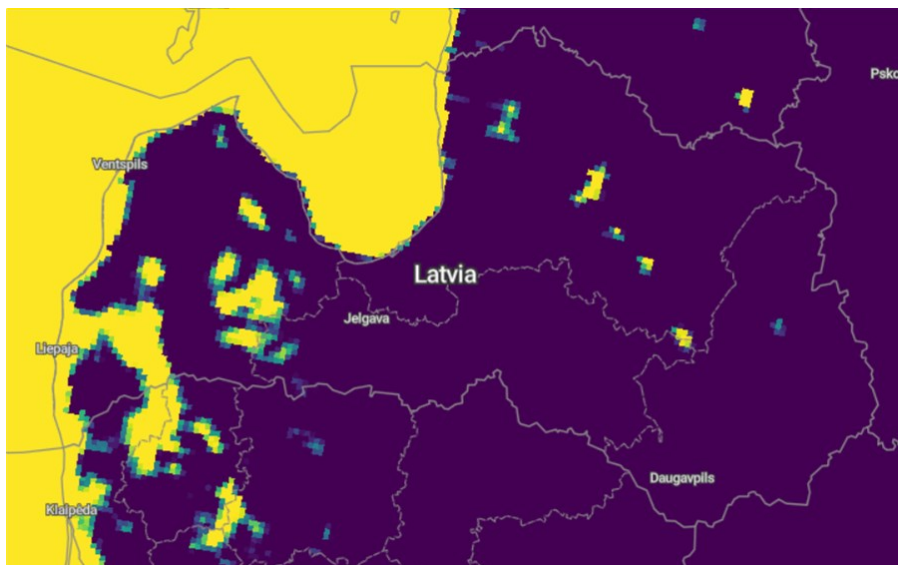
# Vēja enerģijas resursa sadalījuma prognozēšana Latvijas teritorijā 100 un 200 metru augstumā ar «New European Wind Atlas» tiešsaistes rīku

Ar dzeltenu krāsu atzīmēti apgabali, kuriem atbilst:

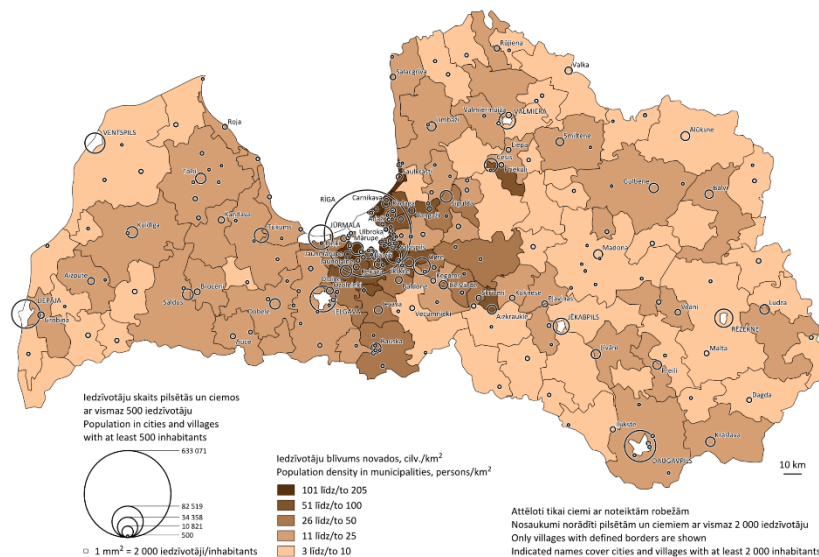
- augstums: **100 m**
- vidējais vēja enerģijas blīvums lielāks par: **420 W/m<sup>2</sup>**

Minētajos apgabalos pieejamie vēja resursi var nodrošināt efektīvu jaunas paaudzes vēja turbīnu darbību ar šādiem parametriem:

- maksimālais vēja turbīnas lāpstiņu diametrs: **100 m**
- sauszemes vēja turbīnas nominālā jauda: **1.35 MW**



Salīdzinājumam pievadīta karte ar Latvijas iedzīvotāju blīvuma sadalījumu novados (cilv./km<sup>2</sup>).



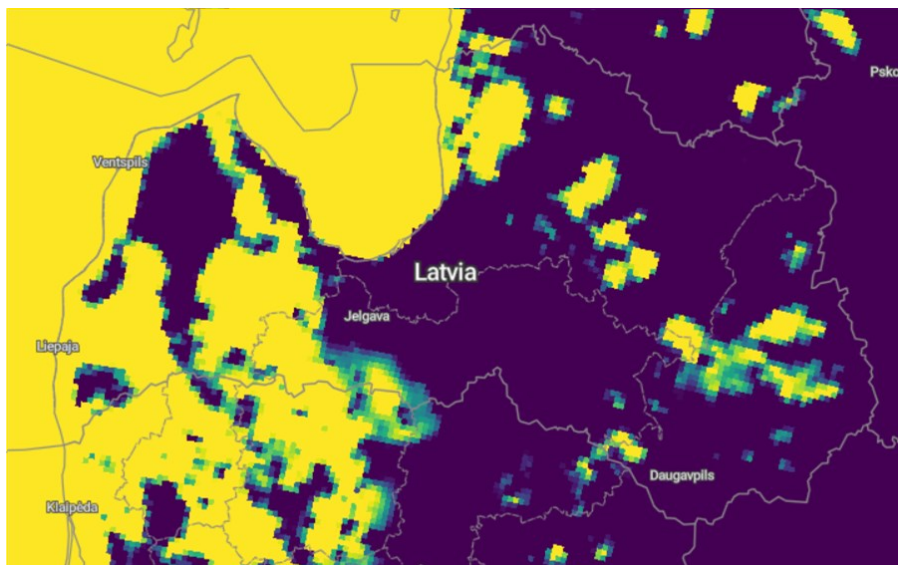
# Vēja enerģijas resursa sadalījuma prognozēšana Latvijas teritorijā 100 un 200 metru augstumā ar «New European Wind Atlas» tiešsaistes rīku

Ar dzeltenu krāsu atzīmēti apgabali, kuriem atbilst:

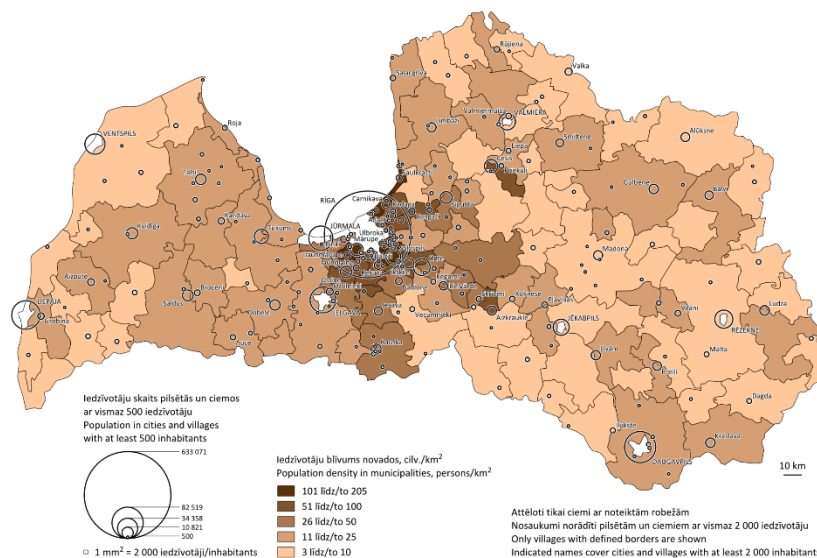
- augstums: **100 m**
- vidējais vēja enerģijas blīvums lielāks par: **360 W/m<sup>2</sup>**

Minētajos apgabalos pieejamie vēja resursi var nodrošināt efektīvu jaunas paaudzes vēja turbīnu darbību ar šādiem parametriem:

- maksimālais vēja turbīnas lāpstiņu diametrs: **100 m**
- sauszemes vēja turbīnas nominālā jauda: **1.19 MW**



Salīdzinājumam pievadīta karte ar Latvijas iedzīvotāju blīvuma sadalījumu novados (cilv./km<sup>2</sup>).



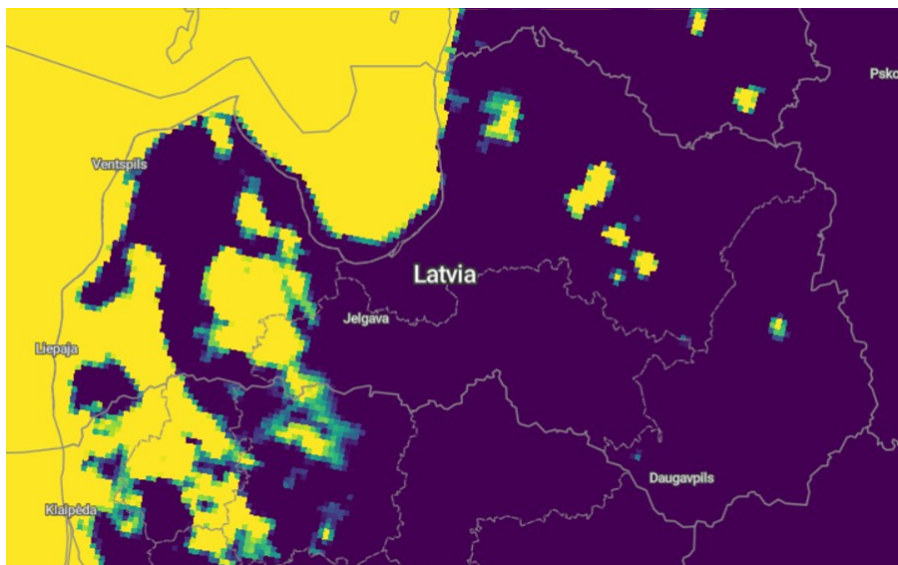
# Vēja enerģijas resursa sadalījuma prognozēšana Latvijas teritorijā 100 un 200 metru augstumā ar «New European Wind Atlas» tiešsaistes rīku

Ar dzeltenu krāsu atzīmēti apgabali, kuriem atbilst:

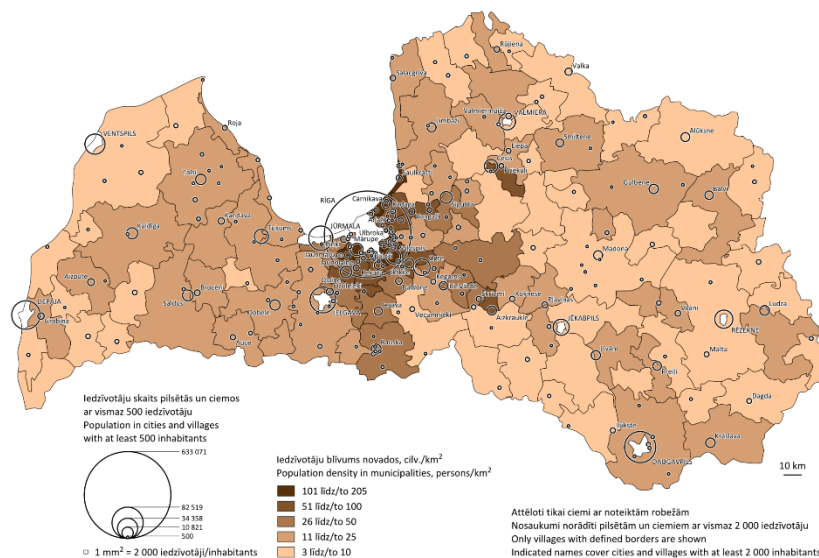
- augstums: **200 m**
- vidējais vēja enerģijas blīvums lielāks par: **640 W/m<sup>2</sup>**

Minētajos apgabalos pieejamie vēja resursi var nodrošināt efektīvu jaunas paaudzes vēja turbīnu darbību ar šādiem parametriem:

- maksimālais vēja turbīnas lāpstiņu diametrs: **200 m**
- sauszemes vēja turbīnas nominālā jauda: **7.8 MW**



Salīdzinājumam pievadīta karte ar Latvijas iedzīvotāju blīvuma sadalījumu novados (cilv./km<sup>2</sup>).



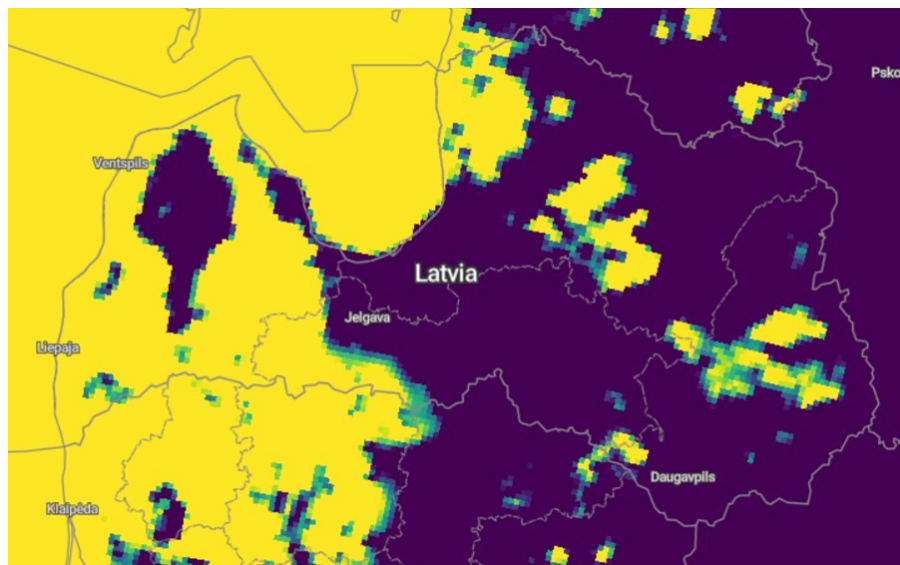
# Vēja enerģijas resursa sadalījuma prognozēšana Latvijas teritorijā 100 un 200 metru augstumā ar «New European Wind Atlas» tiešsaistes rīku

Ar dzeltenu krāsu atzīmēti apgabali, kuriem atbilst:

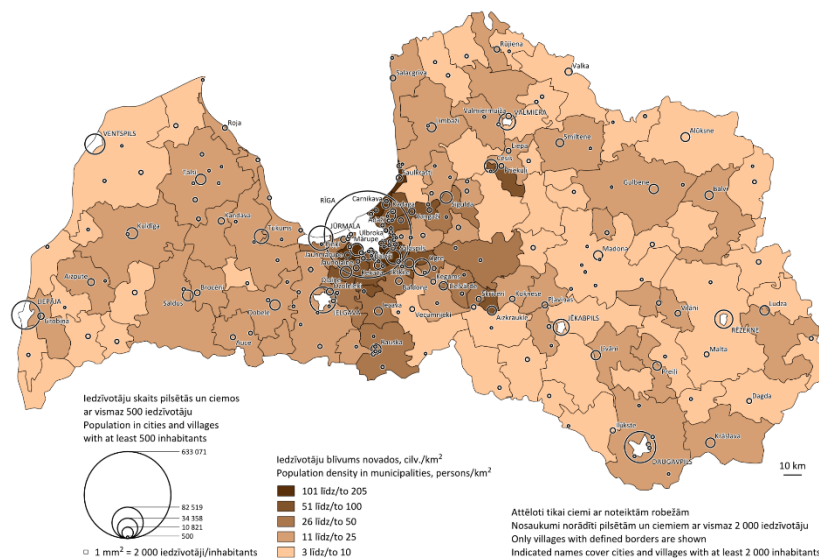
- augstums: **200 m**
- vidējais vēja enerģijas blīvums lielāks par: **600 W/m<sup>2</sup>**

Minētajos apgabalos pieejamie vēja resursi var nodrošināt efektīvu jaunas paaudzes vēja turbīnu darbību ar šādiem parametriem:

- maksimālais vēja turbīnas lāpstiņu diametrs: **200 m**
- sauszemes vēja turbīnas nominālā jauda: **7.54 MW**



Salīdzinājumam pievadīta karte ar Latvijas iedzīvotāju blīvuma sadalījumu novados (cilv./km<sup>2</sup>).



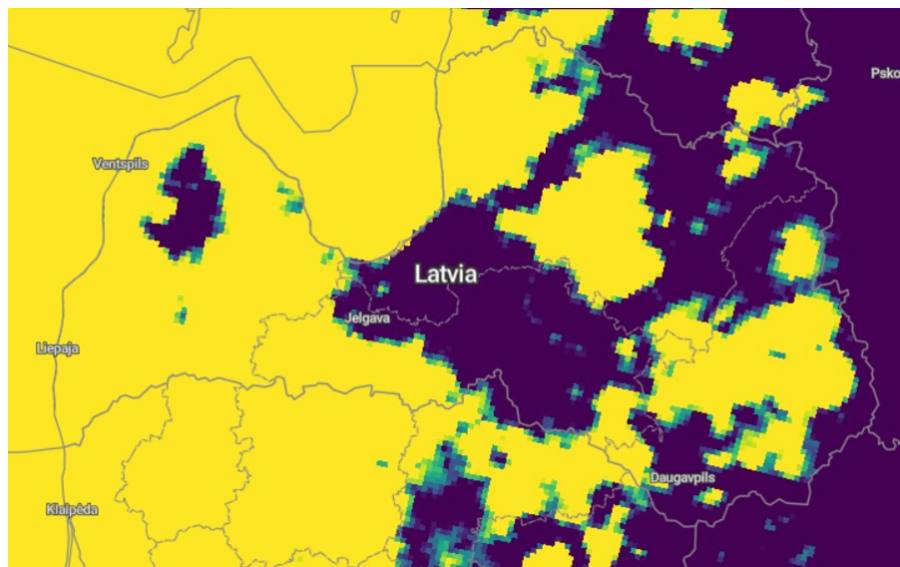
# Vēja enerģijas resursa sadalījuma prognozēšana Latvijas teritorijā 100 un 200 metru augstumā ar «New European Wind Atlas» tiešsaistes rīku

Ar dzeltenu krāsu atzīmēti apgabali, kuriem atbilst:

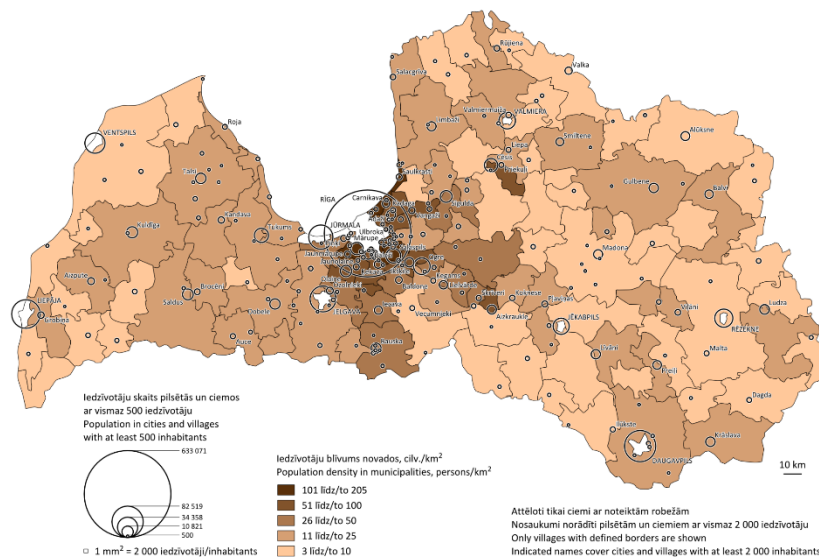
- augstums: **200 m**
- vidējais vēja enerģijas blīvums lielāks par: **560 W/m<sup>2</sup>**

Minētajos apgabalos pieejamie vēja resursi var nodrošināt efektīvu jaunas paaudzes vēja turbīnu darbību ar šādiem parametriem:

- maksimālais vēja turbīnas lāpstiņu diametrs: **200 m**
- sauszemes vēja turbīnas nominālā jauda: **7.0 MW**



Salīdzinājumam pievadīta karte ar Latvijas iedzīvotāju blīvuma sadalījumu novados (cilv./km<sup>2</sup>).



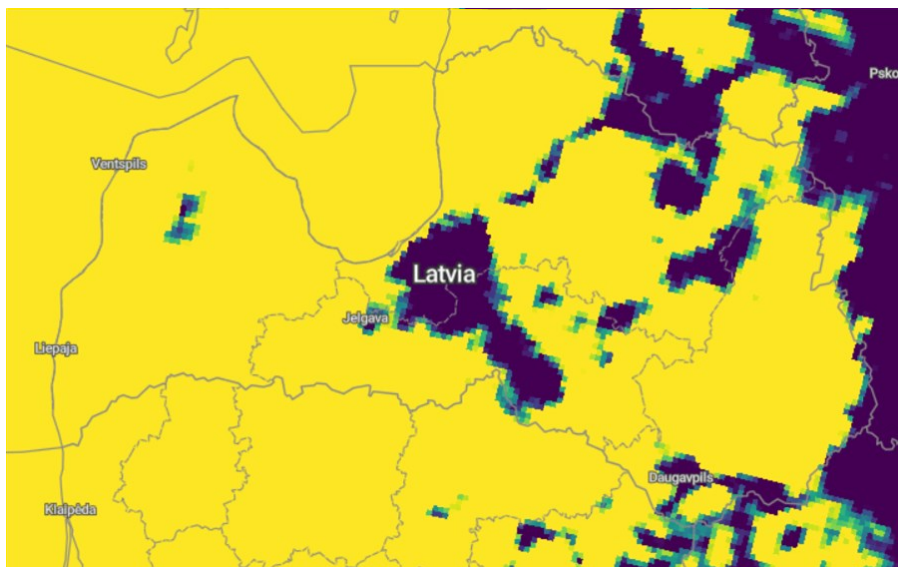
# Vēja enerģijas resursa sadalījuma prognozēšana Latvijas teritorijā 100 un 200 metru augstumā ar «New European Wind Atlas» tiešsaistes rīku

Ar dzeltenu krāsu atzīmēti apgabali, kuriem atbilst:

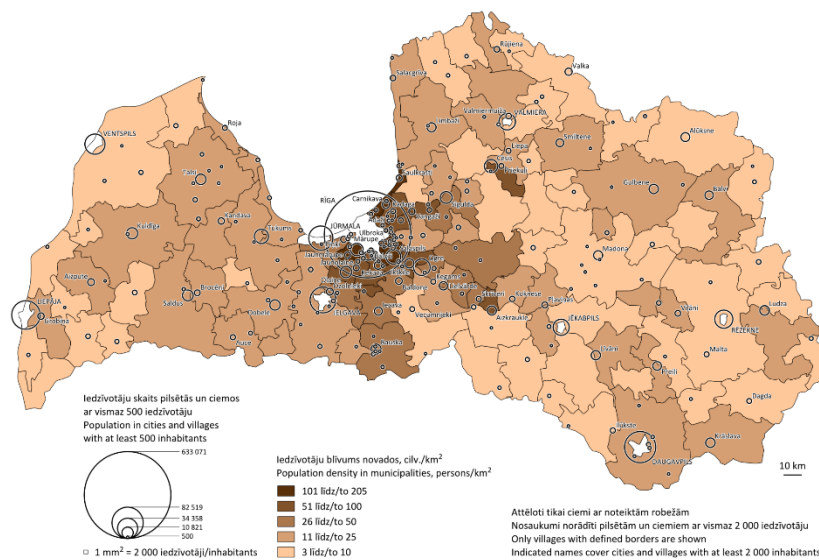
- augstums: **200 m**
- vidējais vēja enerģijas blīvums lielāks par: **520 W/m<sup>2</sup>**

Minētajos apgabalos pieejamie vēja resursi var nodrošināt efektīvu jaunas paaudzes vēja turbīnu darbību ar šādiem parametriem:

- maksimālais vēja turbīnas lāpstiņu diametrs: **200 m**
- sauszemes vēja turbīnas nominālā jauda: **6.5 MW**



Salīdzinājumam pievadīta karte ar Latvijas iedzīvotāju blīvuma sadalījumu novados (cilv./km<sup>2</sup>).



## FutureProof turpinājums... (2/2)

- Atbilstoši konkursa uzdevumiem, **FutureProof** ietvaros tika pētīts **liels klāsts dažādu ar enerģētikas attīstību saistītu jautājumu**.
- Vairāki FutureProof izpētes virzieni tiek turpināti un padziļināti jaunos RTU projektos, piemēram:
  - Elektroenerģijas **tirgus modelēšana** – FLPP projektā «**SignAture**»
  - **Energosistēmas attīstības jautājumi** dekarbonizācijas kontekstā – Nordic Energy Research projektā «**Amber: Ambiciozas enerģētikas politikas pieejas ietekme**»
  - Ar energosistēmas **balansēšanu** pēc desinhronizācijas saistīti jautājumi – līgumpētījumā ar AS «**Augstsprieguma tīkls**» par balansēšanas rezervju nodrošināšanā izmantojamas akumulatoru sistēmas vadības stratēģiju
- Citu virzienu turpmākai attīstībai iesniegti projektu pieteikumi gan Horizon Europe, gan arī Latvijas Zinātnes padomes FLPP konkursā\* u. c., piemēram:
  - jaunā energosistēmas atslodzes paņēmiena turpmākai izstrādei;
  - pieprasījuma reakcijas modelēšanas un novērtēšanas rīka attīstīšanai;
  - energokopienų problemātikai u. c.

\* Tomēr FLPP konkursos lielā pieteikumu skaita dēļ veiksmes faktors ir tikai ~8..10%.



**Paldies!**