

# LATVIJAS KLIMATA UN ENERĢĒTIKAS POLITIKAS MĒRĶI, RISINĀJUMI UN ANALĪZES METODES



**Einārs Cilinskis** ir Ekonomikas ministrijas vecākais eksperts, ekonomikas zinātnes maģistrs. Pētnieciskās intereses: klimata politika, politikas plānošana, modelēšana. Ilgstoša pieredze valsts pārvaldē, normatīvo aktu un politikas plānošanas dokumentu izstrādē, piedalījies iestāšanās sarunās ar Eiropas Savienību vides sektorā.



**Gaidis Klāvs** ir inženiertehnisko zinātņu doktors, vadošais pētnieks Fizikālās enerģētikas institūtā. Kopš 2000. gada vada Energosistēmu analīzes un optimizācijas laboratoriju. Galvenie zinātniskās darbības virzieni ir integrēta enerģētikas – vides sistēmas modelēšana, energoefektivitātes un atjaunojamo energoresursu politikas ietekmes novērtēšana, klimata ietekmes un gaisa piesārņojuma samazināšanas politikas izstrādāšana un ietekmes novērtēšana, siltumnīcefekta un gaisa piesārņojošo emisiju prognožu aprēķināšana, energoapgāde un enerģijas patēriņa prognozēšana.



**Jānis Reķis** ir enerģētikas eksperts, vairāk nekā 25 gadus darbojas enerģētikas jomā, ieguvis inženierzinātņu doktora zinātnisko grādu enerģētikas nozarē (2005). Fizikālās enerģētikas institūta pētnieks, vadījis enerģētikas nodaļu Latvijas Investīciju un attīstības aģentūrā un enerģētikas departamentu Būvniecības, enerģētikas un mājokļu valsts aģentūrā. Papildinājis un pilnveidojis pieredzi Latvijas un ārvalstu partneru sadarbības projektos galvenokārt enerģētikas un vides sistēmas modelēšanā. Kopš 1995. gada attīsta modeli MARKAL-LV, ko izmanto enerģētikas emisiju prognozēšanā, kā arī klimata pārmaiņas mazinošās politikas un pasākumu ietekmes izvērtēšanā. Vairākkārt piedalījies citu valstu nacionālo ziņojumu izvērtēšanā ANO Vispārējā konvencijā par klimata pārmaiņām. Piedalījās Valsts prezidenta Enerģētikas drošības komisijā.

**Raksturvārdi:** enerģētikas un klimata politika, siltumnīcefekta gāzes, klimata neitralitāte, modelēšana, Eiropas Savienība, investīciju analīze.

## Ievads

Klimata pārmaiņas uz Zemes ir notikušas pastāvīgi. Tās ir noteikuši dažādi faktori, jo

īpaši dažāda garuma dabiskie klimata cikli<sup>1</sup>. Tomēr klimata pārmaiņas, kas notiek pēdējo apmēram simts gadu laikā, nosaka cilvēka ietekme, galvenokārt emisijas, kas rodas, sadedzinot fosilo kurināmo<sup>2</sup>. Cilvēka radītās

<sup>1</sup> Climate Change Resource Center 2020.

<sup>2</sup> Adedeji et al. 2014.

klimate pārmaiņas rada bezprecedenta riskus civilizācijas nākotnes attīstībai, jo īpaši pastiprinot riskus cilvēka veselībai<sup>3</sup>. Mūsdienās ar starptautisko klimata politiku saprot darbības, kuru mērķis ir klimata pārmaiņu novēršana, samazinot siltumnīcefekta gāzu emisijas, lai ierobežotu globālās temperatūras pieaugumu būtiski zem 2 °C, salīdzinot ar pirmsindustriālo periodu, jeb lai pieaugums nebūtu lielāks par 1,5 °C, kā arī piemērošanos klimata pārmaiņām. Jo būtiskākas būs klimata pārmaiņas, jo vairāk resursu nāksies ieguldīt, lai tām piemērotos, tomēr piemērošanās būs nepieciešama jebkurā iespējamā nākotnes scenārijā, tāpēc būs vajadzīgas būtiskas investīcijas<sup>4</sup>.

Starptautisko klimata politiku līdz 2030. gadam pamatā nosaka Parīzes nolīgums<sup>5</sup>, kas pieņemts Apvienoto Nāciju Organizācijas (turpmāk – ANO) Vispārējās konvencijas par klimata pārmaiņām ietvaros. Parīzes nolīguma princips ir dalībvalstu vai to apvienību apņemšanās un pasākumi to izpildei siltumnīcefektu izraisošo gāzu (turpmāk – SEG) emisiju samazināšanai vai to emisiju pieauguma mazināšanai. CO<sub>2</sub> emisijas ir kumulatīvas, tās saglabājas atmosfērā ilgu laiku, tāpēc, lai sasniegtu Parīzes nolīguma mērķus, nepietiek emisijas tikai stabilizēt, tās ir jāsamazina ļoti būtiski. Parīzes vienošanās solījumu izpilde nenodrošina SEG emisiju samazināšanas trajektoriju, kas sasniegtu mazāk par 2 °C mērķi 2100. gadā, bet var pārsniegt 3 °C<sup>6</sup>, kas nozīmē papildu starptautisku vienošanos nepieciešamību.

ANO klimata konvencijas zinātniskās organizācijas – Starpvalstu klimata pārmaiņu paneļa – speciālajā ziņojumā par iespējam nepārsniegt<sup>7</sup> 1,5 °C globālās temperatūras pieaugumu secināts, ka globālā sasilšana ar lielu varbūtību sasniegs 1,5 °C starp 2030. un 2052. gadu, saglabājoties līdzšinējām attīstības tendencēm. 1,5 °C scenārijā CO<sub>2</sub> emisijas jāsamazina 2030. gadā vidēji par 45% no 2010. gada līmeņa (40–60% dažādos scenārijos), sasniedzot klimata neitralitāti – stāvokli,

kad kopējās cilvēka radītās emisijas ir nulle, – ap 2050. gadu. Izstrādātie globālie scenāriji papildu emisiju samazināšanai paredz emisiju piesaisti jeb negatīvās emisijas – procesus un pasākumus, kas samazina siltumnīcefekta gāzes atmosfērā. Klimata neitralitātes mērķa sasniegšanai negatīvās emisijas jāsāk piemērot daudz ātrāk par 2050. gadu, ņemot vērā, ka atsevišķos saimnieciskās darbības sektoros, jo īpaši lauksaimniecībā, sasniegt emisiju līmeni tuvu nullei nebūs iespējams, tāpēc tās būs jākompensē ar piesaistēm. Būtiski negatīvas sekas videi un palielināti riski cilvēkiem būs jau pie 1,5 °C scenārija, pie 2 °C globālās temperatūras pieauguma riski vēl pieaug. Tomēr lielākā daļa negatīvo emisiju risinājumu nav pietiekami izstrādāti, vai arī to pielietošana globālos apmēros ir pārāk dārga. Taču emisiju piesaiste, īstenojot apmežošanu un mežu atjaunošanu, ir iespējama un jau tiek īstenota praksē, tāpat arī citi klimata problēmas dabiskie risinājumi, piem., purvu atjaunošana<sup>8</sup>. Nozīmīgāko SEG emisiju daļu rada enerģētika (ieskaitot iekšzemes transportu). Ņemot vērā, ka citās jomās, jo īpaši lauksaimniecībā, samazināt emisijas ir vēl sarežģītāk, bet negatīvo emisiju iespējas ir neskaidras, enerģētikas jomā nepieciešams visstraujāk virzīties uz bezizmešu modeli.

Globālo scenāriju modelēšanā aizvien lielāka nozīme ir nākotnes attīstības vīzijai – proti, kā veidosies globālā valstu sadarbība, kā mainīsies sabiedrības nevienlīdzība un citi sociālekonomiskie aspekti. Sociālekonomiskie scenāriji kļūst par neaizvietojamu starptautisko klimata modeļu sastāvdaļu. Taču, ja modeļos iekļauj sociālekonomiskos parametrus, tad rezultāti vairs neuzrāda ceļu uz Parīzes mērķu sasniegšanu, bet gan iezīmē 3–5 °C trajektorijas<sup>9</sup>. Ekonomiskās sadarbības un attīstības organizācijas pētījumā secināts, ka klimata mērķus iespējams sasniegt, vienīgi integrējot tos ar ekonomiskās attīstības mērķiem, ņemot vērā sociālos faktorus, tādā veidā sasniedzot iekļaujošu izaugsmi<sup>10</sup>.

2020. gadā būtisku ietekmi uz ekonomiku, SEG emisijām, citiem vides faktoriem atstāja

<sup>3</sup> Butler 2018.

<sup>4</sup> Tol 2019, 117.

<sup>5</sup> UNFCCC 2015.

<sup>6</sup> United Nations Environment Programme 2019.

<sup>7</sup> IPCC 2017.

<sup>8</sup> Griscom et al. 2017.

<sup>9</sup> Yang et al. 2018.

<sup>10</sup> OECD 2017.

koronavīrusa epidēmija<sup>11</sup>. Daļa no epidēmijas laikā iegūtajiem paradumiem – attālinātas konferences, darbs no mājām – varētu kļūt par pastāvīgu praksi, kas ietekmēs arī SEG emisijas nākotnē. Izejai no ekonomiskās krīzes nepieciešama ekonomikas stimulācija, kas var būt investīcijas tieši klimata un enerģētikas risinājumos, tā sasniedzot gan ekonomikas atveseļošanās, gan klimata mērķus<sup>12</sup>.

Eiropas Savienības (turpmāk – ES) klimata politika sāka veidoties pagājušā gadsimta 80. gados un pakāpeniski pilnveidojās. 2003. gadā tika pieņemta ES emisiju tirdzniecības sistēmas (turpmāk – ETS) direktīva, un ETS sistēma sāka darboties 2005. gadā. No 2007. līdz 2010. gadam tika pieņemta jau kompleksāka klimata un enerģētikas direktīvu pakete, pārskatot ETS direktīvu, pieņemot atjaunojamo energoresursu direktīvu, kā arī nosakot nacionālos klimata mērķus ne-ETS sektorā. ETS sistēma ir pakāpeniski attīstījusies, un tā ir atbilstoša ES īstermiņa klimata mērķiem, taču tā nenodrošina daudz ambiciozāko 2050. gada mērķu sasniegšanu.

Eiropas Komisija (turpmāk – EK) 2016. gadā publicēja ES dokumentu kopu *Tīra enerģija visiem Eiropas iedzīvotājiem*, kuru vēlāk apstiprināja ES dalībvalstis, lai veicinātu ES konkurētspēju, pārejot uz tīru enerģiju un efektīvu enerģijas izmantošanu, kā arī sasniegtu klimata mērķus līdz 2030. gadam un samazinātu ES SEG emisijas. ES ietvaros izveidotā enerģētikas savienība aptver piecas dimensijas – enerģētisko drošību, enerģijas tirgu, energoefektivitāti, dekarbonizāciju, kā arī pētniecību, inovācijas un konkurētspēju. Enerģētikas savienības pārvaldības mehānisms balstās uz prasībām ES dalībvalstu Integrēto nacionālo enerģētikas un klimata plānu (turpmāk – NEKP) izveidei, kā arī uzraudzības un ziņošanas nosacījumiem. ES klimata politika kļūst aizvien komplicētāka, aptverot aizvien vairāk savstarpēji saistītas jomas un regulējumus, turklāt šo mērķu ieviešana ir savstarpēji papildinoša. ES nākotnes virzību uz klimata neitralitāti nosaka EK dokuments *Eiropas*

*zaļais kurss*, kas paredz veselu virkni tālāku detalizētu dokumentu dažādās jomās<sup>13</sup>.

Latvijas līdzšinējā klimata politika agrāk nav bijusi konsekventa un arī nopietna valstsiska prioritāte<sup>14</sup>. Tomēr pēdējo gadu laikā situācija sāk mainīties – ES politikas attīstība ir nodrošinājusi arī daudz konkrētākas Latvijas enerģētikas un klimata politikas izstrādi. Latvijas *Nacionālajā enerģētikas un klimata plānā 2030*<sup>15</sup> noteiktie vidēja termiņa mērķi ietver daudzus saistošus un indikatīvus rādītājus gan atjaunojamo energoresursu, gan energoefektivitātes, gan klimata jomā, bet valsts ilgtermiņa mērķi – klimata neitralitāti – nosaka Latvijas stratēģija klimatneitralitātes sasniegšanai līdz 2050. gadam<sup>16</sup>.

### Klimata un enerģētikas modelēšanas metodes

Lēmumu pieņemšanai klimata un enerģētikas politikas jomā bieži izmanto modelēšanas rezultātus, kā arī dažādas citas metodes, piem., daudzkritēriju analīzi, un augšupejošus sabiedrības līdzdalības procesus<sup>17</sup>. Literatūras apskatā par klimata pakalpojumu sniedzējiem ES valstīs<sup>18</sup> identificēta būtiska atšķirība starp Rietumeiropas valstīm un Austrumeiropas valstīm, kur šo klimata pakalpojumu sniedzēju ir ievērojami mazāk. Klimata pakalpojumus, kurus var veikt gan privātas, gan publiskas organizācijas, iedala šādi: datu iegūšana, apstrāde, modelēšana, datu apstrāde un analizēšana, publikāciju (vadlīniju, rokasgrāmatu u. tml.) izstrāde, apmācības.

Globālo procesu modelēšanā izmanto kompleksus modeļus, kas ietver ekonomisko un dabas procesu analīzi – integrētos novērtējuma modeļus<sup>19</sup>. Viena no integrēto modeļu kritikām pamatojas uz pārāk vienkāršotu ekonomisko sistēmu, kas tajos iebūvēta. Par integrēto modeļu izveidi Viljams Nordhauss saņēma 2018. gada Nobela prēmiju ekonomikā.

<sup>11</sup> Nicola et al. 2020.

<sup>12</sup> Hainaut et al. 2020.

<sup>13</sup> Eiropas Komisija 2019.

<sup>14</sup> Cilinskis, Blumberga 2017.

<sup>15</sup> NEKP 2020.

<sup>16</sup> Latvijas Republikas Ministru kabinets 2020.

<sup>17</sup> Doukas, Nikas 2020.

<sup>18</sup> Cortekar et al. 2020.

<sup>19</sup> Wang et al. 2017.

Ņemot vērā, ka ekonomiskās sistēmas modeļi ir atkarīgi no pieņēmumiem par pasaules attīstības virzieniem, pēdējā laika integrētajos novērtējumu modeļos ietver kopīgos ekonomiskās attīstības globālos scenārijus, kurus izmanto reģionālo enerģētikas sistēmu analīzei ar dažādiem modeļiem<sup>20</sup>. Pašlaik visi minētie scenāriji uzrāda virzību uz globālās temperatūras pieaugumu gadsimta beigās vairāk par 3 °C.

Modelējot klimata ekonomiskās sistēmas valsts līmenī, nav nepieciešams modelēt klimata ietekmes, jo konkrētās valsts, īpaši mazas valsts, politika tās ietekmē minimāli, taču enerģētikas, ekonomikas un emisiju kopsakarības ir nepieciešams modelēt detalizēti. Principi zaļās ekonomikas modelēšanai ir apskatīti<sup>21</sup>. Enerģētikas sistēmas modeļi ir ļoti daudzveidīgi<sup>22</sup>, bet tos var iedalīt simulācijas jeb imitācijas un optimizācijas modeļos ar atšķirīgām priekšrocībām un trūkumiem<sup>23</sup>. Optimizācijas modeļi atrod labāko alternatīvu (scenāriju) no visiem iespējamiem atrisinājumiem, ievērojot modelētāja sistēmai uzliktos ierobežojumus. Mainot kādu ierobežojumu, piem., kopējo atļauto emisiju daudzumu, vai palielinot vēja elektrostaciju obligāti uzstādāmo jaudu, rodas jautājums – kas notiek, kam modelis atrod visoptimālāko alternatīvu? Savukārt imitācijas modeļu gadījumā tiek apskatītas sistēmas procesa detaļas un posmi, ievērojot procesu īpašības, ierobežojumus, lai gūtu labāku izpratni par sistēmas darbību. Rezumējot – imitācijas modelis palīdz atrast labākās alternatīvas no imitēto scenāriju kopas, bet optimizācijas modelis imitē sistēmu, kad tā ir pilnībā optimizēta un atrod labāko alternatīvu. Abas pieejas nodrošina modelētājus un lēmumu pieņēmējus ar informāciju, kas notiek, ja konkrētā politika tiek ieviesta specifiskā laika posmā ar specifiskiem nosacījumiem. Simulācijas modeļi ietver aģentu modeļus<sup>24</sup> un sistēmdinamikas (SD) modeļus<sup>25</sup>. SD modeļu priekšrocība ir atgriezenisko saišu ņemšana

vērā, iespēja modelī iekļaut subjektīvos elementus<sup>26</sup>, ko sarežģītāk ņemt vērā ekonomiskā līdzsvara modeļos. Simulācijas modeļos ir grūtāk apskatīt visu enerģētikas sistēmu kopumā, balstoties uz enerģētikas bilanci, bet šādu pieeju prasa ES ziņošanas formāti. Vienā valstī bieži izmanto dažādas modelēšanas sistēmas, kas ļauj gan detalizētāk analizēt konkrētus procesus, gan arī salīdzināt rezultātus, piem., Lielbritānijā 2008.–2016. gadam izmantotas 22 modelēšanas pieejas<sup>27</sup>.

ES ekonomikas klimata modelēšanas rīku kopums apskatīts<sup>28</sup>, bet ES ilgtermiņa klimata enerģētikas mērķu sasniegšanas metodoloģija ar modelēšanas metodi izvērtēta<sup>29</sup>, analizējot modeļu “melnās kastes” iespējamu atvēršanu sabiedrībai. Enerģētikas sistēmas modeļos pieaugoša nozīme ir elektrības, siltuma un transporta sistēmas integrācijai ar lielāku elektrības lomu gan apkurē, gan transportā, kā arī lielāku elektroenerģijas plūsmu mainību, pieaugot atjaunojamo energoresursu jaudai<sup>30</sup>. Pastāv liels apjoms dažādu modelēšanas rīku enerģētikas politikas un dažādu atbalsta mehānismu analīzei, kuru pielietojuma izvēle atkarīga no analīzes mērķa un datu pieejamības, enerģētikas sistēmas modelēšanas tipi var tikt klasificēti pēc dažādiem kritērijiem<sup>31</sup>. Literatūras apskata<sup>32</sup> autori analizējuši 75 dažādus enerģētikas modeļus, kas piemēroti sistēmām ar lielu mainīgas elektriskās jaudas īpatsvaru. Vēlams, lai modeļi nebūtu t. s. melnās kastes, kur nevar izsekot modelī notiekošam procesam, proti, lai to rezultāti būtu pārbaudāmi visos līmeņos, sākot ar izmantotajiem datiem, veiktajiem pieņēmumiem, rezultātu analīzi<sup>33</sup>. Optimālā gadījumā izmanto atvērtā koda modeļus ar visu datu publisku pieejamību.

Klimata un enerģētikas jomā samērā plaši piemēro vispārējā līdzsvara modeļus<sup>34</sup>. Termins “vispārējais līdzsvars” nozīmē, ka

<sup>26</sup> Bolwig et al. 2019.

<sup>27</sup> Hall et al. 2016.

<sup>28</sup> Capros et al. 2014.

<sup>29</sup> Pleßmann, Blechinger 2017.

<sup>30</sup> Sharma, Balachandra 2019.

<sup>31</sup> Laha, Chakraborty 2017.

<sup>32</sup> Ringkjøb et al. 2018.

<sup>33</sup> Pfenninger et al. 2018.

<sup>34</sup> Babatunde et al. 2017.

<sup>20</sup> Chen et al. 2017.

<sup>21</sup> UNEP 2014.

<sup>22</sup> Subramanian et al. 2018.

<sup>23</sup> Lund et al. 2017.

<sup>24</sup> Lamperti et al. 2020.

<sup>25</sup> Papachristos 2019.

modelī apskata tautsaimniecības sistēmu kopumā – piem., kā CO<sub>2</sub> nodokļu politika ietekmē ne tikai enerģētikas jomu, bet visas tautsaimniecības nozares. Vienlaikus visu tautsaimniecību kopumā nevar modelēt tik detalizēti kā atsevišķu nozari. Tāpēc turpmāk apskatīti daži no plašāk izmantotajiem modelēšanas rīkiem enerģētikas sistēmā, galvenokārt apskatot metodes, kas lietotas arī Latvijā.

TIMES modelis un tā iepriekšējā versija MARKAL, kurus izstrādājusi Starptautiskā Enerģētikas aģentūra, ļauj aprēķināt enerģētikas sistēmas konfigurāciju ar zemākām izmaksām, ņemot vērā noteiktos ierobežojumus – emisiju samazinājumu, atjaunojamo energoresursu īpatsvaru, ļaujot noskaidrot, vai plānotais mērķis ir sasniedzams, ja ir, ar kādām izmaksām. TIMES/MARKAL tiek klasificēti kā daļēja līdzsvara augšupejoši optimizācijas modeļi<sup>35</sup>. TIMES modelis izmantots plaši un dažādās valstīs, piem., analizējot Francijas biodeģvijas nozari<sup>36</sup>, Šveices enerģētikas sistēmu<sup>37</sup>, tai skaitā scenārijus vietējās biomasas plašākai izmantošanai enerģētikas sistēmā. Ar Lielbritānijas TIMES modeli analizētas māj-saimniecību apkures tehnoloģijas<sup>38</sup>. Viens no modernākajiem TIMES modeļiem izstrādāts Dānijā<sup>39</sup>, pieejama plaša informācija par tajā izmantotajām pieejām un datu formātiem.

*EnergyPlan* ir enerģētikas sistēmas modelis, kas ļauj analizēt sistēmu stundas greizumā un ir izmantots lielā skaitā dažādu publikāciju, jo īpaši viedo enerģijas sistēmu analīzei<sup>40</sup>, ņemot vērā virzību uz 100% atjaunojamo energoresursu enerģijas sistēmām.

Modeļu datu savstarpēja savienošana vairāku modeļu sistēmā ir būtiska problēma. Biežāk izmanto netiešo savienošanu, kad savienoti ir ievaddati un rezultāti, parasti vairākās iterācijās. Citā darbā<sup>41</sup> analizētas metodes un indikatori, kā savienot augšupejošu enerģijas sistēmas modeli ar lejupejošu vispārējā līdzsvara modeli. Zviedrijas modelēšanas

sistēma – nacionālā TIMES modeļa savienošana – apskatīta ar vispārējā līdzsvara modeli<sup>42</sup>.

## Modelēšanas metožu pielietojums Latvijā

*EnergyPlan* modelis Latvijā izmantots vairākos Rīgas Tehniskās universitātes pētījumos, analizējot ilgtermiņa pāreju uz pilnībā vietējos energoresursos bāzētu enerģētikas sistēmu<sup>43</sup> un ilgtspējīgas transporta sistēmas analīzi<sup>44</sup>.

MARKAL modelis izmantots Fizikālās enerģētikas institūta pētījumos<sup>45</sup>. MARKAL modelis izmantots arī šajā darbā apskatītajās enerģētikas sistēmas attīstības prognozēs.

Ziemeļvalstu Ministru padomes finansētā Baltijas enerģētikas sistēmas ilgtermiņa attīstības pētījumā<sup>46</sup> (BENTE projekts) izmantoti modelēšanas rīki TIMES un *Balmore*<sup>47</sup>.

SD modelēšana Latvijā ir lietota vairākās publikācijās, piem., RTU zinātnieki ir izstrādājuši ne-ETS enerģētiskās sistēmas SD modeli<sup>48</sup>, kas izmantots dažādu ekonomisko metožu analīzei pārejai uz atjaunojamiem energoresursiem<sup>49</sup>, kā arī pārejai uz modernām siltuma sistēmām<sup>50</sup>.

## Latvijas enerģētikas un klimata politikas vidējā termiņa mērķi līdz 2030. gadam

Latvijas enerģētikas sektora attīstības scenāriju veidošanai un analīzei tika izmantots MARKAL modelis, ko enerģētikas un vides sistēmas pētījumos plaši lieto visā pasaulē. MARKAL-Latvija (Fizikālās enerģētikas institūts)<sup>51</sup> ir optimizācijas modelis, kurā attēlota Latvijas enerģētikas nozares attīstība 50 gadu laika posmā nacionālā līmenī. Iegūtie

<sup>35</sup> Herbst et al. 2012.

<sup>36</sup> Hugues et al. 2016.

<sup>37</sup> Panos, Kannan 2016.

<sup>38</sup> Keppo et al. 2018.

<sup>39</sup> Balyk et al. 2019.

<sup>40</sup> Lund et al. 2017.

<sup>41</sup> Andersen et al. 2019.

<sup>42</sup> Krook-Riekkola et al. 2017.

<sup>43</sup> Porubova, Bazbauers 2010.

<sup>44</sup> Bazbauers, Cimдина 2011.

<sup>45</sup> Klavs, Reķis 2016; Klavs et al. 2015.

<sup>46</sup> Lindroos et al. 2018.

<sup>47</sup> Wiese et al. 2018.

<sup>48</sup> Blumberga et al. 2015.

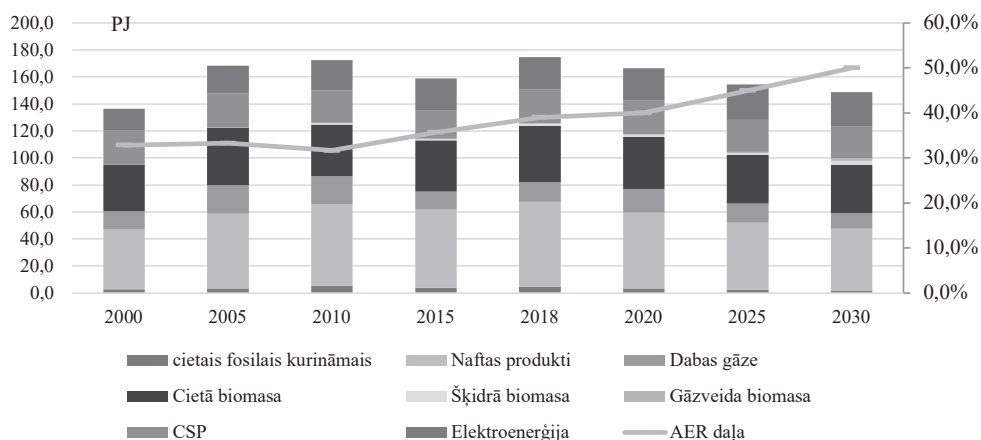
<sup>49</sup> Ziemele et al. 2017.

<sup>50</sup> Ziemele et al. 2016.

<sup>51</sup> Klavs, Reķis 2016.



1. attēls. MARKAL-Latvija modelis



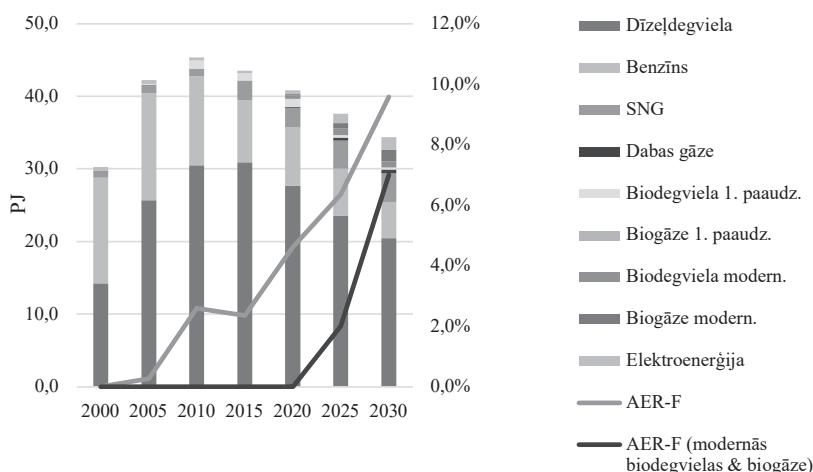
2. attēls. NEKP mērķa scenārija enerģijas gala patēriņš (PJ) un AER īpatsvars gala patēriņā (%) līdz 2018. gadam un prognoze līdz 2030. gadam sadalījumā pa enerģijas avotiem

rezultāti ir atkarīgi no ieejas parametriem un izmantotā modeļa algoritma modifikācijas. Modelī MARKAL-Latvija matemātiski ir aprakstīta visa Latvijas enerģijas sistēma – sākot ar enerģijas pieprasījumu (lietderīgās enerģijas patēriņi jeb enerģijas pakalpojumi), tad aprakstīti enerģijas gala patēriņa un pārveidošanas sektora posmi, un beidzot ar primārās enerģijas piegādi (vietējo resursu ieguve, imports un eksports) (1. attēls).

MARKAL modelēšanas enerģētikas-ekonomikas-vides mijiedarbības analīzei tika

aprēķināti divi scenāriji – bāzes scenārijs, kāda ir ietekme uz enerģētikas un klimata mērķiem gadījumā, ja tiek īstenoti tikai šobrīd esošie pasākumi, kā arī mērķa scenārijs, lai izmaksu un uzdevumu viedokļa efektīvā veidā sasniegtu visus atjaunīgo energoresursu, energoefektivitātes un emisiju samazinājuma mērķus, kuri detalizētāk uzskaitīti NEKP 1. un 13.–18. tabulā<sup>52</sup>. 2. attēlā attēloti NEKP rezultāti atjaunīgās enerģijas un energoefektivitātes

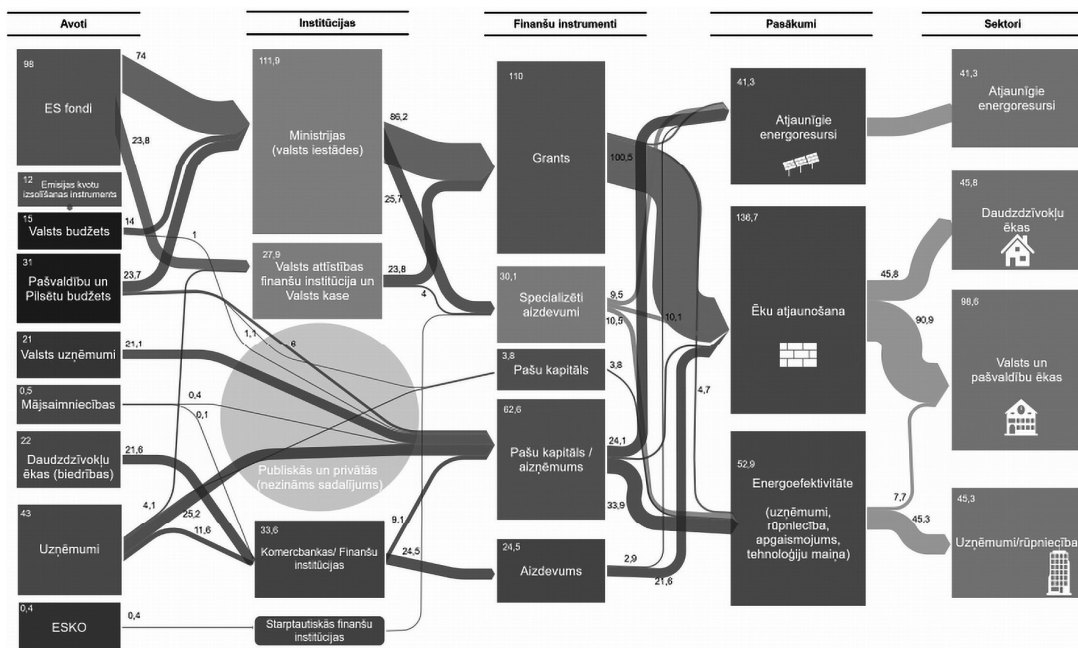
<sup>52</sup> NEKP 2020.



3. attēls. NEKP mērķa scenārija enerģijas gala patēriņš transporta sektorā (PJ), AER īpatsvars gala patēriņā (%), moderno biodegvielu īpatsvars gala patēriņā (%) līdz 2018. gadam un prognoze līdz 2030. gadam sadalījumā pa enerģijas avotiem

Tabula. Nozīmīgākie pasākumi NEKP mērķa scenārijā un to ietekme uz NEKP sasniedzamajiem mērķiem

Plānotais pasākums	Radītājs	Radītāja vērtība	SEG emisiju ietaupījums, kt CO <sub>2</sub> ekv.	Ietekme uz ne-ETS mērķa izpildi, %	Plānotais ieguldījums energoefektivitātes obligātā mērķa sasniegšanai, %	Plānotais ieguldījums indikatīvā devuma (primārās enerģijas mērķa) sasniegšanai, %
Energoefektivitātes paaugstināšana dzīvojamās ēkās	milj. m <sup>2</sup>	4,06	51,4	1,5	9,1	16
Energoefektivitātes paaugstināšana valsts un pašvaldības ēkās	milj. m <sup>2</sup>	0,8	12,8	0,5	2	3,5
Enerģijas efektivitātes pasākumi rūpniecībā	PJ	4,8	82,5	3,5	35	30
Elektrotransportlīdzekļu skaita palielināšana	skaitis	18 000	295	24,0	13,6	34
Dzelzeļa elektrifikācija	km	314	103	8,4	9,3	12
AER (vējš un saule) izmantošana elektroenerģijas ražošanā	MW	Vējš 965 Saule 20	197	3,6		
AER izmantošana centralizētajā siltumapgādē			148	2,6		
AER izmantošana rūpniecībā			89	3,6		
Moderno biodegvielu un biogāzes izmantošana autotransportā	PJ	2,7	197,1	15,9		



4. attēls. Investīcijas energoefektivitātes un atjaunīgo energoresursu projektos Latvijā 2018. gadā

jomā, bet 3. attēlā atjaunīgās enerģijas transporta sektorā. Kā redzams 2. attēlā, neskatoties uz prognozēto tautsaimniecības attīstību līdz 2030. gadam visos sektoros, pateicoties plānotai enerģijas efektivitātes politikai, enerģijas galapatēriņš līdz 2030. gadam pat samazinās.

No 3. attēla redzams, ka vislielākā ietekme uz transporta mērķa sasniegšanu ir bagātinātai biogāzei jeb biometānam un elektromobilitātes pieaugumam. Taču tas ir 2018. gada redzējums par tehnoloģiju attīstību, tāpēc nepieciešams modeli pastāvīgi pilnveidot un rezultātu precizitāti uzlabot. NEKP pieejami detalizētāki MARKAL modeļa rezultāti gan bāzes, gan mērķa scenārijiem. NEKP ieviešanai nepieciešamas būtiskas investīcijas (tabula).

Analizējot 2018. gada investīciju plūsmu atjaunīgās enerģijas un energoefektivitātes projektos, ziņojuma<sup>53</sup> autori secina, ka tā būtiski atpaliek no investīciju plūsmas, kas nepieciešama NEKP 2030 mērķu sasniegšanā (4. attēls). Autori izmanto vairākas valstis – Francijā, Vācijā, Polijā – aprobētu metodoloģiju<sup>54</sup>. Ziņojumā nav apskatīts transporta

sektors un lauksaimniecība, kuru analīze varētu norādīt uz vēl plašāku investīciju resursu trūkumu. Reizēm nav tik vienkārši nošķirt, vai un cik lielā mērā investīcija ir uzskatāma par atjaunīgo energoresursu vai energoefektivitātes investīciju, jo tai ir vairāki mērķi, taču ir skaidrs, ka nepieciešams būtiski palielināt gan publisko, gan privāto investīciju apjomu, kas nebūt nav vienkāršs uzdevums.

### Latvijas mērķis – klimata neitralitāte 2050. gadā

Pagaidām nav daudz pētījumu un scenāriju, kas modelētu Latvijas klimata neitralitāti. Enerģētikas sektorā bezemisiju sistēmu jau 2010. gadā apskata Rīgas Tehniskās universitātes zinātnieki<sup>55</sup>.

Marks Z. Jakobsons<sup>56</sup> izstrādājis pētījumu, kurā modelējis pilnīgu pāreju uz atjaunojamiem energoresursiem (neizmantojot biomasu enerģētikas vajadzībām) 139 valstu enerģētikas sistēmās. Latvijas gadījumā pētījums paredz, ka enerģijas patēriņš samazināsies par 40%,

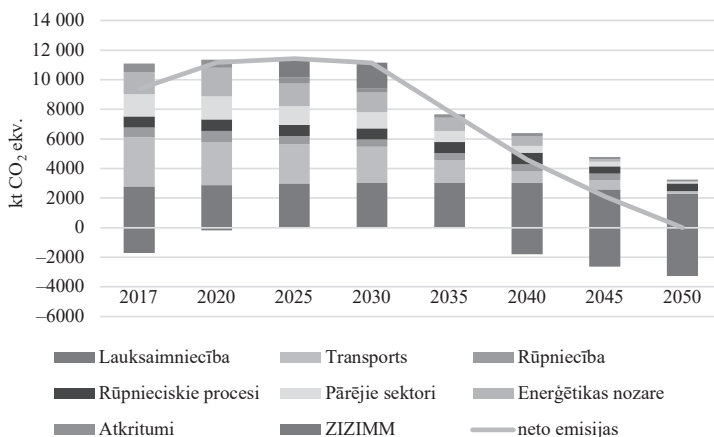
<sup>53</sup> Kamenders et al. 2019.

<sup>54</sup> Hainaut, Cochran 2018.

<sup>55</sup> Porubova, Bazbauers 2010.

<sup>56</sup> Jacobson et al. 2018.





5. attēls. Kopējo SEG emisiju (kt CO<sub>2</sub> ekv.) modelētā trajektorija līdz 2050. gadam klimatneitralitātes sasniegšanai Latvijā. Zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) jomas emisiju piesaiste 2050. gadā kompensē palikušās emisijas citos sektoros, jo īpaši lauksaimniecības emisijas

enerģiju ražos 35,9% sauszemes vēja stacijas, 29,9% jūras vēja stacijas, 14% hidroelektrostacijas, 9% lielās saules elektrostacijas, 7% iedzīvotājiem piederošas saules enerģijas iekārtas, 4,2% publiskās un komerciālās ēkās uzstādītas saules enerģijas iekārtas. Autors arī aprēķinājis, ka elektroenerģijas izmaksas šādā sistēmā būs lētākas, nekā izmantojot pašreizējos enerģētikas resursus, papildus radīsies ievērojams daudzums darba vietu. M. Z. Jakobsona pētījumā gan nekas nav teikts par elektroenerģijas akumulācijas iekārtām, lai šāda enerģētikas sistēma spētu izlīdzināt mainīgās saules un vēja elektroenerģijas slodzes.

Ar MARKAL-Latvija modeli izstrādātajam klimatneitralitātes scenārijam (5. attēls) optimālā noteiktā trajektorija paredz pakāpenisku emisiju samazināšanu visā laika posmā no 2020. gada līdz 2050. gadam. Pēc 2030. gada vidējais SEG emisiju samazināšanas temps mazliet pat pieaug. Kā redzams 5. attēlā, tad pēc 2040. gada ir jāsteno vērā ņemami pasākumi, lai nodrošinātu klimatneitralitātes scenārija sasniegšanas optimālu trajektoriju. Šie pasākumi ir saistīti ar būtiskām enerģētikas infrastruktūras izmaiņām. SEG emisijas enerģētikas sektorā ir samazinātas gandrīz līdz nullei, un tās ir par 98% mazākas nekā 1990. gadā. Šādu SEG emisiju samazināšanas augsto rezultātu nosaka tas, ka tiek

pieņemts, ka pārējos sektoros (rūpnieciskie procesi, lauksaimniecība un atkritumu apsaimniekošana) SEG emisiju samazināšanas potenciāls līdz 2050. gadam ir pilnībā izmantots.

Lai potenciālās trajektorijas klimatneitralitātes sasniegšanai varētu pārveidot reālā politikā, kas ņem vērā visus valsts politiskos mērķus, līdzsvarotu vides mērķus ar ekonomisko attīstību un sociālās politikas mērķiem, nepieciešams būtiski pilnveidot analītiskos rīkus un ieguldīt lielākus resursus izpētē.

## Diskusija un secinājumi

Lai politikas veidotāji spētu analizēt alternatīvus risinājumus un pieņemt optimālus lēmumus, Latvijas nākotnes modelēšanas sistēmai nepieciešams gan vidējā termiņā līdz 2030. gadam, gan ilgtermiņā nodrošināt šādas funkcijas: 1) īstenot pastāvīgu un nepārtrauktu sistēmas pilnveidošanu, nodrošināt datu atbilstību NEKP un citiem ES ziņošanas formātiem; 2) nodrošināt analītiskos datus ilgtermiņa klimata un enerģētikas politikas mērķu un pasākumu novērtēšanai, ar ko saņiegt attiecīgos mērķus; 3) nodrošināt valsts enerģētikas politikas mērķu un to īstenošanas pasākumu priekšlikumu plānotās un faktiskās ietekmes novērtējumu, tai skaitā novērtējot ietekmi uz budžetu, tautsaimniecību nozaru

skatījumā, ietekmi uz vidi un enerģijas patēriņiem; 4) nodrošināt valsts enerģētikas politikas īstenošanas rezultātu monitoringa sistēmas izstrādi atbilstoši Latvijas un ES nosacījumiem; 5) nodrošināt datus un analītisko informāciju teritoriālā griezumā, kas ļautu pašvaldībām noteikt un īstenot savus enerģētikas un klimata mērķus. Ļoti būtisks nosacījums ir, lai modelēšanas sistēma ir pastāvīga un pēc iespējas brīvpieejas sistēma visos līmeņos. Vēlams, lai ar modelēšanas jautājumiem pastāvīgi nodarbotos vairākas zinātniskas institūcijas, kas ļautu salīdzināt pieejas un rezultātus, bet atbilstoša analīzes kapacitāte jānodrošina arī publiskās pārvaldes institūcijās. Ņemot vērā globāli pieejamo modelēšanas rīku dažādību, ja iespējams un citas metodes nav acīmredzami labākas, priekšroka jādod metodēm un rīkiem, kas jau iepriekš izmantoti Latvijas pētījumos. Modelēšanas un zinātniskās analīzes sistēmai būtu jāparedz:

- 1) TIMES-LV modelis, kas izstrādāts, balstoties uz iepriekš gūto pieredzi, un atbilst starptautiskiem standartiem (spēj nodrošināt informāciju starptautiskai ziņošanai, politiku izstrādēm utt.). Pats modelis nav brīvi pieejams, tomēr tā demonstrācijas versiju var iegūt bez maksas, kas profesionālam interesentam nodrošina iespēju pārbaudīt un arī modificēt rezultātus, ja ievades un izvades dati ir pieejami;
- 2) vispārējā līdzsvara modelis, kas ļauj analizēt klimata enerģētikas politikas ietekmi uz tautsaimniecību un sociālo politiku, jo īpaši uz nabadzību, tai skaitā enerģētisko nabadzību un nevienlīdzību. Modelis pēc analogijas ar citu valstu, piem., Dānijas un Zviedrijas, pieredzi ir netieši savienots ar TIMES modeli;

- 3) pastāvīgas investīciju plūsmas, vajadzību un avotu, kā arī tās nākotnes projekciju analīze visos tautsaimniecības sektoros;
- 4) citu modelēšanas rīku, piem., *EnergyPlan*, SD un aģentu modeļu izmantošana, lai detalizētāk analizētu specifiskus procesus. Rezultātu, kas iegūti ar optimizācijas un simulācijas modeļiem, salīdzinošā analīze;
- 5) vienkāršoti tiešsaistes rīki, kas ļauj sabiedrībai analizēt procesus, līdzīgi kā tas globālā mērogā ir iespējams ar interaktīvo klimata modeli *En-Roads*<sup>57</sup>;
- 6) jaunu metožu izvērtēšana un iespējama ieviešana – ietverot modelēšanas sistēmā lielo datu analīzi<sup>58</sup>, mākslīgo intelektu<sup>59</sup> un mašīnu dziļo mācīšanos<sup>60</sup>, kur pētījumu koordināciju varētu īstenot NEKP plānotā analītiskā enerģētikas un klimata ekspertu darba grupa, kā arī atvērta un starpsektorāla ilgtspējīgas mobilitātes apakšpadome, kura īstenotu sadarbību ar sabiedriskām organizācijām.

Modelētājiem un analītiķiem jāņem vērā enerģētikas–klimata sistēmas daudzlīmeņu un kompleksais raksturs, nepieciešamība analizēt gan augšupejošus, gan lejupejošus procesus, kā arī cilvēka uztveres ietekme uz prioritātēm un rīcību, kas ne vienmēr būs racionāla.

Raksta pamatā ir uzstāšanās akadēmiskās vienības *Austrums* rīkotā atklātā sabiedriskā diskusijā *Vai Latvija var novērst klimata pārmaiņas?* 2019. gada 17. oktobrī LU Akadēmiskajā bibliotēkā.

<sup>57</sup> Climate Interactive 2020.

<sup>58</sup> Bataille et al. 2019.

<sup>59</sup> Wei et al. 2019.

<sup>60</sup> Son, Kim 2020.

## VĒRES

- Adedeji, O. et al. (2014) Global Climate Change. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2, 114–122.
- Andersen, K. S. et al. (2019) Bridging the gap using energy services: Demonstrating a novel framework for soft linking top-down and bottom-up models. *Energy*, 169, 277–293.
- Babatunde, K. A.; Begum, R. A.; Said F. F. (2017) Application of computable general equilibrium (CGE) to climate change mitigation policy: A systematic review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 78, 61–71.
- Balyk, O. et al. (2019) TIMES-DK: Technology-rich multi-sectoral optimisation model of the Danish energy system. *Energy Strategy Reviews*, 23, 13–22.

- Bataille, F. G. N. et al. (2019) Prospects for energy economy modelling with big data: Hype, eliminating blind spots, or revolutionising the state of the art? *Applied Energy*, 239, 991–1002.
- Bazbauers, G.; Cimdina, G. (2011) The Role of the Latvian District Heating System in the Development of Sustainable Energy Supply. *Environmental and Climate Technologies*, 7, 27–31.
- Blumberga, A. et al. (2015) Achieving sustainability in non-ETS sectors using system dynamics modelling practice. *Chemical Engineering Transactions*, 45, 871–876.
- Bolwig, S. et al. (2019) Review of modelling energy transitions pathways with application to energy system flexibility. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 101, 440–452.
- Butler, C. D. (2018) Climate change, health and existential risks to civilization: A comprehensive review (1989–2013). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 2266.
- Capros, P. et al. (2014) Description of models and scenarios used to assess European decarbonisation pathways. *Energy Strategy Reviews*, 2, 3–4, 220–230.
- Chen, W. et al. (2017) Shared social-economic pathways (SSPs) modeling: Application of global multi-region energy system model. *Energy Procedia*, 142, 2467–2472.
- Cilinskis, E.; Blumberga, D. (2017) Latvijas klimata politika un valsts attīstības plānošanas sistēma. *Akadēmiskā Dzīve*, 53, 139–148.
- Climate Change Resource Center (2020) Natural Climate Cycles. Pieejams: <https://www.fs.usda.gov/ccrc/climate-basics/climate-primer/natural-climate-cycles> (17.08.2020.).
- Climate Interactive (2020) *En-ROADS Guide Documentation*. Pieejams: <https://docs.climateinteractive.org/projects/en-roads/en/latest/> (17.08.2020.).
- Cortekar, J.; Themessl, M.; Lamich K. (2020) Systematic analysis of EU-based climate service providers. *Climate Services*, 17, 100125.
- Doukas, H. A.; Nikas, A. (2020) Decision support models in climate policy. *European Journal of Operational Research*, 280, 1, 1–24.
- Eiropas Komisija (2019) *Eiropas zaļais kurss*. Pieejams: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640> (17.08.2020.).
- Griscom, B. W. et al. (2017) Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114, 44, 11645–11650.
- Hainaut, H.; Cochran, I. (2018) The Landscape of domestic climate investment and finance flows: Methodological lessons from five years of application in France. *International Economics*, 155, 69–83.
- Hainaut, H.; Ledez, M.; Parrier, Q.; Leguet, B.; Geoffron, P. (2020) *Investing in Climate can Help France Drive its Economic Recovery*. Paris : I4CE. Pieejams: <https://www.i4ce.org/wp-core/wp-content/uploads/2020/04/I4CE-Investing-in-climate-economic-recovery.pdf> (17.08.2020.).
- Hall, L. M. H.; Buckley, A. R. (2016) A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorisation. *Applied Energy*, 169, 607–628.
- Herbst, A.; Toro, F.; Reitze, F.; Jochem, E. (2012) Introduction to Energy Systems Modelling. *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 148 (2), 111–135.
- Hugues, P.; Assoumou, E.; Maizi, N. (2016) Assessing GHG mitigation and associated cost of French biofuel sector: Insights from a TIMES model. *Energy*, 113, 288–300.
- IPCC (2017) *IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C*. Pieejams: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (17.08.2020.).
- Jacobson, M. Z. et al. (2018) Matching demand with supply at low cost in 139 countries among 20 world regions with 100% intermittent wind, water, and sunlight (WWS) for all purposes. *Renewable Energy*, 123, 236–248.
- Kamenders, A.; Rochas, C.; Novikova, A. (2019) *Investīcijas energoefektivitātes un atjaunīgo energoresursu projektos Latvijā*. Rīga : Rīga Technical University. Pieejams: <https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2020/03/Kamenders-et-al.-2019.-Energy-and-Climate-Investment-Map-for-Latvia-2018.-Full-Report.-Latvian.pdf> (17.08.2020.).
- Keppo, P. H.; Li, I.; Strachan, N. (2018) Incorporating homeowners' preferences of heating technologies in the UK TIMES model. *Energy*, 148, 716–727.
- Klavs, G.; Kudrenickis, I.; Reķis, J. (2015) Development of Latvia Greenhouse Gas reduction Policy: Modelling and analyses. *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 921–932.
- Klavs, G.; Reķis, J. (2016) Introduction of Energy and Climate Mitigation Policy Issues in Energy – Environment Model of Latvia. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 53, 6, 12–20.
- Krook-Riekkola, A.; Berg, C.; Ahlgren, E. O.; Patrik, S. (2017) Challenges in top-down and bottom-up soft-linking : Lessons from linking a Swedish energy system model with a CGE model. *Energy*, 141, 803–817.
- Laha, P.; Chakraborty, B. (2017) Energy model – A tool for preventing energy dysfunction. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 73, 95–114.

- Lamperti, F. et al. (2020) Climate change and green transitions in an agent-based integrated assessment model. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119806.
- Latvijas Republikas Ministru kabinets (2020) *Latvijas stratēģija klimatneitralitātes sasniegšanai līdz 2050. gadam*. Pieejams: <http://tap.mk.gov.lv/mk/tap/?pid=40462398> (17.08.2020.).
- Lindroos, T. J.; Lehtilä, A.; Koljonen, T.; Kofoed-Wiuff, A. (2018) *Baltic Energy Technology Scenarios 2018*. Pieejams: <https://www.nordicenergy.org/publications/baltic-energy-technology-scenarios-2018/> (17.08.2020.).
- Lund, H. et al. (2017) Simulation versus optimisation: Theoretical positions in energy system modelling. *Energies*, 10, 7, 1–17.
- Lund, H.; Østergaard, P. A.; Connolly, D.; Mathiesen, B. V. (2017) Smart energy and smart energy systems. *Energy*, 137, 556–565.
- NEKP (2020) *Par Latvijas Nacionālo enerģētikas un klimata plānu 2021.–2030. gadam*. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/312423-par-latvijas-nacionalo-energetikas-un-klimata-planu-2021-2030-gadam> (17.08.2020.).
- Nicola, M. et al. (2020) *The Socio-Economic Implications of the Coronavirus and COVID-19 Pandemic: A Review*. IIS Publishing Group.
- OECD (2017) *Investing in Climate, Investing in Growth*. Paris : OECD Publishing.
- Panos, E.; Kannan, R. (2016) The role of domestic biomass in electricity, heat and grid balancing markets in Switzerland. *Energy*, 112, 1120–1138.
- Papachristos, G. (2019) System dynamics modelling and simulation for sociotechnical transitions research. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 31, 248–261.
- Pfenninger, S. et al. (2018) Opening the black box of energy modelling: Strategies and lessons learned. *Energy Strategy Reviews*, 19, 63–71.
- Pleißmann, G.; Blechinger, P. (2017) How to meet EU GHG emission reduction targets?: A model based decarbonization pathway for Europe's electricity supply system until 2050. *Energy Strategy Reviews*, 15, 19–32.
- Porubova, J.; Bazbauers, G. (2010) Analysis of Long-Term Plan for Energy Supply System for Latvia that is 100% Based on the Use of Local Energy Resources. *Environtal and Climate Technologies*, 4, 1, 82–90.
- Ringkjøb, H.-K.; Haugan, P. M.; Solbrekke, I. M. (2018) A review of modelling tools for energy and electricity systems with large shares of variable renewables. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 96, 440–459.
- Sharma, T., Balachandra, P. (2019) Model based approach for planning dynamic integration of renewable energy in a transitioning electricity system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 105, 642–659.
- Son, H.; Kim, C. (2020) A Deep Learning Approach to Forecasting Monthly Demand for Residential-Sector Electricity. *Sustainability*, 12, 8, 3103.
- Subramanian, A. S. R.; Gundersen, T.; Adams, T. A. (2018) Modeling and simulation of energy systems: A review. *Processes*, 6, 238.
- Tol, R. S. J. (2019) *Climate Economics: Economic Analysis of Climate, Climate Change and Climate Policy*. Edward Elgar.
- UNEP (2014) *Using Models for Green Economy Policymaking*. Pieejams: [https://www.un-page.org/files/public/content-page/unep\\_models\\_ge\\_for\\_web.pdf](https://www.un-page.org/files/public/content-page/unep_models_ge_for_web.pdf) (17.08.2020.).
- UNFCCC (2015) *Paris Agreement*. Pieejams: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (17.08.2020.).
- United Nations Environment Programme (2019) *Emissions gap report 2019*. Pieejams: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR2019.pdf> (17.08.2020.).
- Wang, Z.; Wu, J.; Liu, C.; Gu, G. (2017) *Integrated Assessment Models of Climate Change Economics*. Springer.
- Wei, N.; Li, C.; Peng, X.; Zeng, F.; Lu, X. (2019) Conventional models and artificial intelligence-based models for energy consumption forecasting: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 181, 106187.
- Wiese, F. et al. (2018) Balmorel open source energy system model. *Energy Strategy Reviews*, 20, 26–34.
- Yang, P. et al. (2018) Social cost of carbon under shared socioeconomic pathways. *Global Environmental Change*, 53, 225–232.
- Ziemele, J. et al. (2016) System dynamics model analysis of pathway to 4th generation district heating in Latvia. *Energy*, 110, 85–94.
- Ziemele, J. et al. (2017) Impact of economical mechanisms on CO<sub>2</sub> emissions from non-ETS district heating in Latvia using system dynamic approach. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 9, 111–121.