

Nepieciešamās investīcijas Latvijas enerģētikas un klimata mērķu 2030 izpildei

AUTORI:

Agris Kamenders

Claudio Rochas

Ingmar Juergens

David Rusnok

Supported by:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety



European
Climate Initiative
EUKI

based on a decision of the German Bundestag

Ziņojuma kopsavilkums

Šis ziņojums tapis projekta CIC2030 ietvaros (*Climate investment capacity 2030*). Tajā apkopota informācija par nepieciešamo investīciju apjomu, lai sasniegtu NEKP2030 noteiktos enerģētikas un klimata mērķus. Šis ziņojums turpina darbu, kas iesākts, veidojot pārskatu par 2018. gada investīcijām energoefektivitātes un AER projektos Latvijā (Kamenders A., Rochas C., Novikova. A., “Investīcijas energoefektivitātes un atjaunīgo energoresursu projektos Latvijā 2018. gadā”, Rīgas Tehniskā universitāte (RTU), novembris 2019.)¹

Šis ziņojums sniedz ieskatu modelēšanas un investīciju vērtēšanas metodēs. Tajā apkopota arī informācija par līdz šim veiktajiem pētījumiem Latvijā un sniegts pārskats par nepieciešamajām investīcijām 2030. gada enerģētikas un klimata mērķu izpildei.

Par CIC2030 projektu īsumā

Saskaņā ar Eiropas Parlamenta un Padomes regulu par Enerģētikas savienības pārvaldību katrai no dalībvalstīm jā sagatavo Nacionālais enerģētikas un klimata plāns 2021.–2030. gadam, kurā tiek izvirzīti jauni enerģētikas un klimata mērķi. Lai sasniegtu izvirzītos enerģētikas un klimata mērķus, nepieciešama mērķtiecīga politik

a un investīcijas jaunos enerģētikas un klimata projektos.

CIC2030 projekta laikā, sadarbojoties zinātniekiem no Rīgas Tehniskās universitātes, Čehijas Tehniskās universitātes Prāgā (*Czech Technical University in Prague*) un no Klimata aizsardzības, enerģētikas un mobilitātes institūta Vācijā (*Institute for Climate Protection, Energy and Mobility*), iesaistot politikas veidotājus, tika pētīts jautājums par finansējuma pietiekamību enerģētikas un klimata mērķu sasniegšanai. Projekta CIC2030 pētījumu mērķis ir noteikt nepieciešamo investīciju apjomu, iespējamus finansējuma avotus un finanšu instrumentus enerģētikas un klimata mērķu sasniegšanai līdz 2030. gadam. Šis ir otrais projekta CIC2030 laikā tapušais pētījums, kura mērķis bija noteikt nepieciešamo investīciju daudzumu enerģētikas un klimata mērķu 2030 izpildei.

Atruna

Šis CIC2030 projekts ir daļa no Eiropas Klimata iniciatīvas (EUKI – www.euki.de). EUKI ir Vācijas Federālās vides, dabas aizsardzības un kodoldrošības ministrijas projektu finansēšanas instruments. EUKI galvenais mērķis ir veicināt sadarbību ES klimata jomā un samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas. Šajā ziņojumā minētie atzinumi ir tikai autoru viedoklis, un tie neatspoguļo Vācijas Federālās vides, dabas aizsardzības un kodoldrošības ministrijas viedokli.

Vairāk informācijas par ziņojumu

Dr. sc. ing., **Agris Kamenders**

Rīgas Tehniskā universitāte

Āzenes iela 12/1, Rīga, LV-1048

e-pasts: agris.kamenders@rtu.lv

Citējot ziņojumu un tā rezultātus, izmantot atsauci: Kamenders A., Rochas C., Juergens I., Rusnok D., “Nepieciešamās investīcijas Latvijas enerģētikas un klimata mērķu 2030 izpildei”, Rīgas Tehniskā universitāte (RTU), februāris 2020.

¹ https://videszinatne.rtu.lv/wp-content/uploads/2019/12/Klimata_investiciju_karte_Latvia_2019_LV_pub_compressed.pdf

Pateicība

Mēs gribam izteikt pateicību mūsu kolēģiem un sadarbības partneriem CIC2030 vadītājai Aleksandrai Novikovai un projekta partneriem *Michaela Valentova*, *Ingmar Juergens* un *David Rusnok* par metodoloģisko atbalstu un zināšanām, sniedzot vērtīgus ierosinājumus un ieteikumus šī ziņojuma tapšanas laikā.

Tāpat gribam izteikt lielu paldies RTU kolēģei profesorei Andrai Blumbergai par palīdzību šī ziņojuma tapšanā, strādājot pie Latvijas enerģētikas un klimata politikas vērtēšanas, modelējot iespējamās enerģētikas politikas attīstības scenārijus un atbilstošo investīciju daudzumu.

Saīsinājumi

Akronīmi	
NEKP	Enerģētikas un klimata plāns 2021.–2030. gadam
CIC2030	Projekts " <i>Climate Investment Capacity 2030</i> "
ES	Eiropas Savienība
AER	Atjaunīgie energoresursi
EE	Energoefektivitāte
ETS	Emisiju tirdzniecības sektors
ZIZIMM	Zemes izmantošana, zemes izmantošanas maiņa un mežsaimniecība
SEG	Siltumnīcefekta gāzes
FM	Finanšu ministrija
EM	Ekonomikas ministrija
VARAM	Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija
ZM	Zemkopības ministrija
CFLA	Centrālā līgumu un finanšu aģentūra
ALTUM	Valsts attīstības finanšu institūcija ALTUM
LAD	Lauku atbalsta dienests
LVIF	SIA "Vides investīciju fonds"
EIB	Eiropas Investīciju banka
ERAB	Eiropas Rekonstrukcijas un attīstības banka
LABEEF	Latvijas – Baltijas Energoefektivitātes fonds
CSP	Centrālā statistikas pārvalde

Saturs

Summary	6
Kopsavilkums	9
1. Ievads	12
1.1. Pētījuma mērķi	12
2. Analīzes struktūra	14
2.1. Investīciju novērtējums klimata un enerģētikas mērķu sasniegšanai	16
3. Nepieciešamo investīciju novērtēšanas modeļi	19
3.1. Makroekonomiskie modeļi	20
3.2. Energoapgādes sistēmu un tirgus modeļi	21
3.3. Augšupvērstie tehnoloģiju modeļi	24
3.4. Integrētas novērtēšanas un modelēšanas metodes	28
4. Galvenie secinājumi, kas gūti, pārskatot pētījumus par klimata un enerģētikas investīciju vajadzībām Latvijā	30
4.1. Diskusija par Latvijā izmantotajiem modeļiem	30
4.2. Kā analizēt ēku energoefektivitātes (un atjaunojamās enerģijas) investīciju vajadzības	32
4.3. Investīcijas atjaunīgo energoresursu projektos	38
5. Diskusija un secinājumi	43
6. Atsauces	45
7. Pielikums. Enerģētikā izmantotie modeļi	50

Summary

The fulfilment of Latvia's energy and climate policy targets is also a question of sufficiently investments in sustainable energy and climate projects. In order to achieve the targets of the energy and climate plan 2021–2030 (NECP), it is necessary to ensure a sufficient amount of investment in renewable energy and buildings, greening the industry, R&D, new technologies, developing sustainable mobility solutions and farming practices.

This report deals with the question “How to assess the amount of investment needed to meet the energy and climate targets?”. This report continues the work on climate investment mapping of energy efficiency (EE) and renewable energy resources (RES) projects in Latvia. Assessments of the necessary investments are essential to take long-term investment-related decisions in the public and private sectors.

After the introduction, Chapter 2 gives an insight into the analytical framework of the study and looks at the existing methods for evaluating investments in energy and climate projects. The third chapter deals with modelling tools and modelling approaches that are used to analyse the amount of investment needed to achieve energy and climate objectives, the factors that influence their results, constraints and assumptions that influence results. In Chapter 4, we then turn to Latvia's energy and climate objectives and look at the studies that have been carried out so far. In the fifth chapter, we will look in depth at two important sectors for the energy efficiency of buildings and renewable energy sources.

In order to make it possible to use the results of modelling, which, in our case, is an investment assessment for energy and climate objectives, it is important to understand used models themselves, the necessary input data needed and assumptions affecting the results. Few studies have been carried out in Latvia to address the amount of investments needed to meet the 2030 targets, the models used, the output data, the assumptions made and their impact on the results are discussed during this report.

According to assessment of NECP, energy efficiency, renewable energy and other climate projects will need to invest around 8.2 billion EUR by 2030. Some studies say it requires 5.5 billion EUR over the next ten years, depending on the scenario. As additional sources of funding could be the real estate tax, depending on energy consumption, the energy tax. These differences are mainly related to the measures included in the scenarios, the input data used, the assumptions made and the methods used. It is also very important in what way the interaction between measures are considered. For example, the A. Blumberga study highlights that if one of the measures mentioned in the scenarios is not implemented or partially implemented, it significantly reduces the possibility that the target will be achieved. It is also important to separate additional investments from investments that would be made regardless of the targets, such as the maintenance of energy infrastructure, the construction of new interconnections, etc. Some studies have been looking for all total investments, including investments that would be made independently of climate and energy targets, while other studies only looked at additional investments needed. In Latvian NECP 2030 all total investments needed are considered.

The input data and assumptions used in the calculation models, for examples assumptions about energy and technology costs, macroeconomic factors, energy consumption and population change forecasts used in the models, can have a very significant impact on final results. Also, relevant assumptions related to the costs of CO₂ emissions related to environmental impacts and the application of these costs to certain energy sources are important.

It is also important to understand what is included in each of the scenarios examined and which is adopted as a base case (business as usual or reference scenario). It is also necessary to consider or deal with all the total costs of the project or the eligible costs, which may be directly attributed to the achievement of the energy and climate objectives.

The design of the models themselves and their level of detail are also essential. For example, most macroeconomic models often lack the necessary level of detail to analyse individual sectors or individual policy measures as they generalise certain market laws and do not pay enough attention to the energy system itself, its players and their behaviour. These, for example, macroeconomic models, often form the energy

balance according to the most cost-effective scenario, based on the most cost-effective solution in each calculation step, without taking into account the asymmetry of information on the market and delays related to the behaviour of market participants, the availability of financing, the capacity of construction and other factors, that have a significant impact on the ability to implement certain measures, to invest and achieve certain results. For example, even if the use of solar or wind energy becomes the most cost-effective solution for electricity generation, the increase in capacity could not be as fast as predicted by macroeconomic models, as different barriers lack of investment, lack of knowledge and technologies, population resistance, etc. could be in place.

On the other hand, cost-replacement curves, which are often used to find cost-optimal solutions and are simple and widely used instruments, do not necessarily consider other measures that are not directly linked to changes in certain energy supply technologies or changes in their efficiency. In Latvia, for example, the agricultural sector accounts for about 4 % of GDP, but it is responsible for 23.6 % of total greenhouse gas emissions in 2016.

In view of the results obtained, it can be concluded that in 2018 at least EUR 190 million were invested in energy efficiency measures for buildings and businesses, while the investment of EUR 41 million (including EUR 21,1 million invested in Daugava HES) have been invested in RES and all in total 231 million EUR of invested.

According to the targets of the National Energy and Climate Plan, in energy efficiency and renewable measures needs to be invested around 445 million EUR annually over the next 10 years, which is twice as much as it was invested in 2018.

EU funds have played a key role in the financing of climate projects, which has mainly been used in the form of grants when investing in public and municipal building renovation projects. Private investment in 2018 has been relatively small part of total investments, representing 29 % of total investment, while investment by EU funds accounted to 42 %, co-financing by public and local governments of 29 %, including ETS trading revenue.

When looking at the technologies and projects invested, it can be concluded that the main investment in the comprehensive renovation of buildings and the large majority of projects is related to the renovation of public and municipal buildings (42 % of total investments), while in the RES sector they have been bio-energy and DH projects. There are very few projects involving energy generation from other renewable energy sources, energy storage or other innovative solutions. Energy efficiency projects are mainly related to building renovation, achieving minimum energy performance requirements, and very few are focused on achieving nearly zero energy level building standard or integrating RES technologies into buildings.

In order to be able to meet Latvia's climate and energy objectives, it is necessary to double the amount of investment in energy efficiency and renewable energy projects. Since almost all EU funds for energy and climate projects are used in the form of grants, investment in energy and climate projects is characterised by uneven nature and uncertainty. This could be avoided by creating other sustainable financial instruments dedicated to the development and financing of climate projects. The involvement of private investment is critical to meeting the 2030 targets.

Until now, there have been few studies in Latvia that have analysed the impact of energy and climate policy on energy and climate objectives, individual sectors of the economy, Latvia's energy supply balance and costs in general. According to the information provided, investment of EUR 8 192,228 million will be needed over the next 10 years.

Estimates of investment needs depend on assumptions made during the modelling process. Some of them are more important than others, some are more controversial, and some may not be obvious given the complex modelling system that is required for calculations. Examples include price assumptions on fuel, technology, model borders, macroeconomic forecasts on economic growth and population.

It is important to understand modelled target scenarios, particularly those that are and are not included in the baseline scenario (i.e. core operations or cases that can be referred to), since investment needs, in addition to the reference case, are usually identified as additional costs. When comparing the different investment needs indicators, modelled policy scenarios should be assessed, but consideration should also be

given to different deadlines (e.g. 2030 relative to 2050), year reference, indicators (e.g. incremental costs compared to full costs, which are particularly important for energy efficiency investments in the building sector) and sectorial scopes (e.g. investments in the renewable energy sector or in all sectors, including heating).

Kopsavilkums

Latvijas enerģētikas un klimata politikas mērķu izpilde lielā mērā ir arī jautājums par pietiekami lielām, patstāvīgām un efektīvām investīcijām ilgtspējīgas enerģētikas un klimata projektos. Lai sasniegtu izvirzītos enerģētikas un klimata plāna 2021.–2030. gadam (NEKP) mērķus, ir jānodrošina pārskatāms un pietiekami liels investīciju apjoms, atjaunojot ēkas, modernizējot ražošanas iekārtas, palielinot atjaunīgo energoresursu (AER) izmantošanu, un pietiekamas investīcijas zinātnē, attīstot jaunas tehnoloģijas, ilgtspējīgus pārvietošanās risinājumus un lauksaimniecības saimniekošanas prakses.

Šajā ziņojumā ir aplūkots jautājums: “Kā novērtēt nepieciešamo investīciju daudzumu enerģētikas un klimata mērķu izpildei?” Šis ziņojums turpina darbu, kas iesākts, strādājot pie klimata investīciju kartēšanas energoefektivitātes (EE) un AER projektiem Latvijā ziņojumā “Investīcijas energoefektivitātes un atjaunīgo energoresursu projektos Latvijā 2018. gadā, Rīgas Tehniskā universitāte (RTU), decembris 2019.” Nepieciešamo investīciju novērtējums ir būtisks, lai pieņemtu ar ilgtermiņa ieguldījumiem saistītus lēmumus gan valsts, gan privātajā sektorā.

Pēc ievada otrajā nodaļā dots ieskats pētījuma analītiskajā ietvarā un apskatītas šobrīd pastāvošās metodes investīciju vērtēšanai enerģētikas un klimata projektos. Trešajā nodaļā ir apskatīti modelēšanas rīki un pieejas, ko izmanto, lai analizētu nepieciešamo investīciju daudzumu enerģētikas un klimata mērķu sasniegšanai, to rezultātus ietekmējošie faktori, ierobežojumi un pieņēmumi. Pēc tam ceturtajā nodaļā aplūkoti Latvijas enerģētikas un klimata mērķi un līdz šim veiktie pētījumi. Piektajā nodaļā padziļināti analizēti divi būtiski sektori: ēku energoefektivitāte (5.1. sadaļa) un atjaunīgie energoresursi (5.2. sadaļa).

Lai būtu iespējams izmantot modelēšanā iegūtos rezultātus, kas šajā gadījumā ir investīciju novērtējums enerģētikas un klimata mērķu sasniegšanai, ļoti būtiski ir izprast pašu modeļu uzbūvi, nepieciešamos izejas datus un pieņēmumus, kas ietekmē rezultātus. Latvijā ir veikts maz pētījumu, kuros apskatīti jautājumi par nepieciešamo investīciju daudzumu NEKP 2030. gada mērķu izpildei, izmantotajiem modeļiem, izejas datiem, veiktajiem pieņēmumiem un to ietekmi uz rezultātiem.

Atbilstoši NEKP veiktajam novērtējumam līdz 2030. gadam energoefektivitātes, AER un citos klimata projektos būs jāinvestē ap 8,2 miljardiem EUR. Atsevišķos pētījumos atkarībā no iespējamā attīstības scenārija turpmākos desmit gados būs nepieciešami 5,5 miljardi EUR. Kā papildu finansējuma avoti tiek apskatīti nekustamā īpašuma nodoklis atkarībā no enerģijas patēriņa, enerģijas patēriņa nodoklis vai papildu maksa pie enerģijas resursiem [A. Blumberga]. Šīs atšķirības novērtējumos galvenokārt saistītas ar scenārijos iekļautajiem pasākumiem, izmantotajiem izejas datiem, veiktajiem pieņēmumiem un izmantotajām metodēm. Tāpat ir ļoti būtiski, kādā veidā tiek ņemta vērā pasākumu savstarpējā mijiedarbība. Tā, piemēram, A. Blumbergas pētījumā uzsvērts, ka, ja kāds no scenārijos minētajiem pasākumiem netiek ieviests vai tiek ieviests daļēji, tas būtiski samazina iespēju, ka mērķis tiks sasniegts. Svarīgi arī nodalīt papildus nepieciešamās investīcijas no investīcijām, kuras tiktu veiktas neatkarīgi no uzstādītajiem mērķiem, piemēram, enerģētikas infrastruktūras uzturēšanai, jaunu kabeļu izbūvei u. c. Atsevišķi pētījumi uzskaita visas kopējās investīcijas, tai skaitā investīcijas, kuras tiktu veiktas neatkarīgi no klimata un enerģētikas mērķiem, savukārt citos pētījumos apskatītas tikai papildus nepieciešamās investīcijas. NEKP 2030 ietvaros apskatītas visas kopējās plānotās investīcijas.

Kā piemērus aprēķina modeļos izmantotajiem izejas datiem un pieņēmumiem var minēt pieņēmumus par energoresursu un tehnoloģiju cenu izmaiņu prognozēm, modeļos izmantotajām makroekonomikas, enerģijas patēriņa un iedzīvotāju skaita izmaiņu prognozēm, kas var ļoti būtiski ietekmēt galarezultātus. Tāpat būtiski ir pieņēmumi, kas saistīti ar CO₂ emisiju izmaksām vai izmaksām, kas saistītas ar ietekmi uz vidi, un šo izmaksu piemērošanu noteiktiem energoresursiem.

Svarīgi ir arī saprast, kas tiek iekļauts katrā no apskatītajiem scenārijiem un kas tiek pieņemts par bāzes scenāriju (*business as usual or reference scenario*). Tāpat ir jāņem vērā, vai tiek apskatītas visas kopējās

projekta izmaksas vai tika attiecināmās izmaksas jeb izmaksas, ko tiešā veidā var attiecināt uz enerģētikas un klimata mērķu sasniegšanu.

Tā, piemēram, atsevišķos pētījumos ēku atjaunošanas gadījumā tiek izdalītas tikai tās investīcijas, kuras tieši var attiecināt uz enerģijas patēriņa samazinājumu, tādējādi dodot iespēju labāk novērtēt izmaksu daudzumu, kas tiešā veidā ļauj sasniegt energoefektivitātes mērķus. Turpretī citos pētījumos tiek lietotas visas kopējās projekta investīcijas, kas savukārt ir noderīgi finansētājiem un projektu attīstītājiem, lai saprastu, ar kādām investīcijām kopumā ir jārēķinās, īstenojot projektus.

Būtiska arī ir pašu modeļu uzbūve un detalizācijas pakāpe. Tā, piemēram, pārsvarā visiem makroekonomikas modeļiem bieži trūkst nepieciešamās detalizācijas pakāpes, kas ļautu analizēt atsevišķus sektorus vai atsevišķus politikas pasākumus, jo tie vispārina noteiktus tirgus likumus un nepievērš pietiekami lielu uzmanību pašai enerģētikas sistēmai, tās dalībniekiem un to uzvedībai. Makroekonomiskie modeļi bieži vien veido energobilanci pēc izmaksu ziņā visefektīvākā scenārija, katrā aprēķina solī par pamatu pieņemot izmaksu ziņā visefektīvāko risinājumu un neņemot vērā tirgū pastāvošo informācijas asimetriju un kavējumus, kas saistīti ar tirgus dalībnieku uzvedību, finansējuma pieejamību, būvniecības jaudu kapacitāti un citiem faktoriem, kas ļoti būtiski ietekmē iespējas īstenot noteiktus pasākumus, veikt investīcijas un panākt noteiktus rezultātus. Tā, piemēram, pat gadījumā, kad saules vai vēja enerģijas izmantošana kļūst izmaksu ziņā visefektīvākais risinājums elektroenerģijas ražošanai, uzstādītās jaudas pieaugums var nebūt pietiekami straujš, kā to prognozētu makroekonomiskie modeļi, jo pastāv dažādi šķēršļi (investīciju nepietiekamība, zināšanu un tehnoloģiju trūkums, iedzīvotāju pretestība u. c.).

Savukārt tehnoloģiju izmaksu aizstāšanas līknes, ko bieži izmanto, meklējot optimālus izmaksu risinājumus, ir vienkārši un plaši lietojami instrumenti, tomēr tie ne vienmēr ņem vērā citus pasākumus, kas tiešā veidā nav saistīti ar noteiktu energoapgādes tehnoloģiju nomaiņu vai to efektivitātes izmaiņām. Piemēram, Latvijā lauksaimniecības sektors veido apmēram 4 % no IKP, taču tas ir atbildīgs par 23,6 % no kopējām SEG emisijām 2016. gadā.

Ņemot vērā iegūtos rezultātus, iespējams secināt, ka 2018. gadā ēku un uzņēmumu energoefektivitātes pasākumos investēti vismaz 190 miljoni EUR, savukārt AER investēts 41 miljons EUR (tostarp 21,1 miljons EUR investēts Daugavas HES), kopā veidojot 231 miljonu EUR lielas investīcijas.

Atbilstoši Nacionālā enerģētikas un klimata plāna mērķiem energoefektivitātes un AER pasākumos būtu jāinvestē ap 445 miljoniem EUR katru gadu turpmāko 10 gadu laikā, kas ir divas reizes vairāk, nekā investēts 2018. gadā.

Līdz šim ES fondu atbalstam ir visnozīmīgākā loma klimata projektu finansēšanā. Šis atbalsts galvenokārt izmantots grantu veidā, investējot valsts un pašvaldību ēku atjaunošanas projektos. Ņemot vērā lielo grantu īpatsvaru, privāto investīciju apjoms 2018. gadā bijis salīdzinoši neliels, veidojot 29 % no visām kopējām investīcijām, savukārt ES fondu investīcijas veidoja 42 %, valsts un pašvaldību līdzfinansējums 29 %, tai skaitā kvotu tirdzniecības ieņēmumi.

Aplūkojot tehnoloģijas un projektus, kādos investēts, var secināt, ka galvenokārt investēts ēku visaptverošā renovācijā un lielais vairums projektu saistīti ar valsts un pašvaldību ēku atjaunošanu (42 % no visām kopējām investīcijām), savukārt AER sektorā tie ir bijuši bioenerģijas un siltumtrašu nomaiņas projekti. Ļoti maz ir projektu, kas ietver enerģijas ražošanu no AER, enerģijas uzkrāšanu vai citus inovatīvus risinājumus. Energoefektivitātes projekti galvenokārt saistīti ar ēku renovāciju, sasniedzot minimālās energoefektivitātes prasības, un ļoti maz ir tādu projektu, kas būtu vērsti uz gandrīz nulles enerģijas ēkas līmeņa sasniegšanu vai AER tehnoloģiju integrēšanu ēkās.

Lai būtu iespējams sasniegt Latvijas klimata un enerģētikas mērķus, ir jādubulto investīcijas energoefektivitātes un AER projektos. Tā kā gandrīz visi ES fondu līdzekļi enerģijas un klimata projektiem tiek izmantoti grantu veidā, tad investīcijām enerģijas un klimata projektos raksturīga nevienmērība un

nenoteiktība. To būtu iespējams novērst, veidojot patstāvīgus finanšu instrumentus, kas paredzēti klimata projektu attīstībai un finansēšanai. Privāto investīciju iesaiste ir kritiska NEKP 2030 mērķu izpildei.

1. Ievads

1.1. Pētījuma mērķi

Ziņojums aptver pārskatu par esošajām pieejām un modelēšanas rīkiem, kurus iespējams izmantot, vērtējot nepieciešamo investīciju daudzumu enerģijas un klimata mērķu sasniegšanai. Ziņojuma izstrādes laikā apkopota informācija par citās ES valstīs populārākajām modelēšanas programmām un Latvijā līdz šim veiktajiem pētījumiem.

Šī ziņojuma galvenais jautājums ir: “Kā noteikt nepieciešamo investīciju daudzumu NEKP 2030 mērķu izpildei?” Lai sasniegtu “Tīra enerģija visiem Eiropas iedzīvotājiem” mērķus, līdz 2030.gadam ES ir jāpiesaista aptuveni 11,2 triljonu EUR lielas investīcijas². Tā rezultātā Investīciju plānā Eiropai ir pausts aicinājums racionāli izmantot finanšu resursus, novēršot šķēršļus investīcijām un nodrošinot to pieejamību un tehnisko palīdzību jauniem projektiem. Lai sasniegtu šo mērķi, Eiropas dalībvalstis ir sagatavojušas savus enerģētikas un klimata plānus 2030. gada mērķu izpildei.

Līdz šim Latvijā veikts maz pētījumu, kuru ietvaros analizēta enerģētikas un klimata politikas ietekme uz enerģijas un klimata mērķiem, atsevišķiem tautsaimniecības sektoriem, Latvijas energoapgādes bilanci un izmaksām kopumā. Atbilstoši NEKP ietvertajai informācijai turpmākajos 10 gados būs jāinvestē 8 192,228 miljoni EUR.

NEKP 2030 un arī citos pētījumos Latvijā analīzei izmantota enerģētikas modelēšanas programma MARKAL. Galvenās modeļa paradigmas ir ideāls tirgus (*competitive partial equilibrium*). MARKAL ir matemātiskais modelis, kas dod iespēju aprakstīt enerģijas tirgu un atbilstoši uzdotajiem parametriem (pieņēmumiem par enerģijas un tehnoloģiju izmaksām, iespējām importēt/eksportēt, enerģijas pieprasījuma izmaiņām u. c.) sabalansē enerģijas pieprasījumu un piedāvājumu. Kombinējot enerģijas pieprasījumu ar piedāvājumu, ņemot vērā ierobežojošos faktorus, tai skaitā noteiktos mērķus (piemēram, AER daļu enerģijas galapatēriņā), tiek meklēta kombinācija ar vizemākajām kopējām izmaksām. Apskatot Latvijas energoapgādes sistēmu, izmantoti arī *EnergyPlan*³ un sistēmdinamikas modeļi⁴, kas ļauj daudz veiksmīgāk ņemt vērā sistēmas atgriezeniskās saites, noteiktus tirgus signālu kavējumus laikā un tirgus dalībnieku uzvedību kopumā vai atsevišķās nozarēs.

Investīciju novērtējums ir atkarīgs no pieņēmumiem, kas tiek veikti modelēšanas laikā. Daži no tiem ir svarīgāki par citiem, daži ir pretrunīgāki, un daži var nebūt acīmredzami, ņemot vērā aprēķiniem nepieciešamo sarežģīto modelēšanas sistēmu. Kā piemērus var minēt pieņēmumus par kurināmo un tehnoloģiju cenu, modeļa robežām, makroekonomikas prognozēm par ekonomikas izaugsmi un iedzīvotāju skaitu.

Ir svarīgi saprast modelēto mērķu scenārijus, īpaši to, kas ir un kas nav iekļauts pamatscenārijā (t. i., pamatdarbības), jo investīcijas papildus atsaucēs gadījumam parasti tiek noteiktas kā papildu izmaksas. Salīdzinot dažādu investīciju novērtējumu rezultātus, jānovērtē modelētie politikas scenāriji, taču jāņem vērā arī atšķirīgie termini (piemēram, 2030. gads attiecībā pret 2050. gadu), gads, uz kuru atsaucas,

² EU High-Level Expert Group on Sustainable Finance, 2018.

³ L. Udrene, G. Bazbauers, Role of Vehicle-to-grid Systems for Electric Load Shifting and Integration of Intermittent Sources in Latvian Power System, *Energy Procedia*, Volume 72, 2015, Pages 156–162, ISSN 1876-6102.

J. Porubova, G. Bazbauers Analysis of Long-Term Plan for Energy Supply System for Latvia that is 100 % Based on the Use of Local Energy Resources January 2010, *Environmental and Climate Technologies* 4(1):82–90.

⁴ A. Gravelins, G. Bazbauers, A. Blumberga, D. Blumberga, S. Bolwig, A. Klitkou, P. D. Lund, Modelling energy production flexibility: system dynamics approach, *Energy Procedia*, Volume 147, 2018, Pages 503–509, ISSN 1876-6102.

rādītāji (piemēram, attiecināmās izmaksas salīdzinājumā ar kopējām izmaksām, kas ir īpaši svarīgi energoefektivitātes projektos) un nozaru tvērumi (piemēram, ieguldījumi tikai AER tehnoloģijās vai visā, kas saistīts ar elektroapgādes sistēmu, apakšstaciju, pārvades līniju utt.).

Nozaru un apakšnozaru kontekstā svarīgi ir pievērst īpašu uzmanību modelēšanas sistēmai. Piemēram, makroekonomiskajam modelim, iespējams, trūkst vajadzīgās precizitātes nozaru līmenī, jo tajos lielākoties nav ņemta vērā enerģijas tirgu dalībnieku uzvedība. Īpaša uzmanība ir jāpievērš pašas energosistēmas raksturojumam, lai nodrošinātu atbilstošu enerģijas pieprasījumu un piedāvājumu noteiktā laika periodā.

Tehnoloģiju izmaksu aizstāšanas līknes ir precīzi un vienkārši lietojami instrumenti, kas lietotājiem ļauj noteikt vislētākās iespējas, lai sasniegtu mērķus klimata un enerģētikas jomā. Tomēr, izmantojot izmaksu aizstāšanas līknes, ne vienmēr iespējams novērtēt CO₂ emisiju samazināšanas potenciālu. Parasti modelēšanas rīki ļauj aprakstīt enerģētikas sistēmu, un tajos ir grūti iekļaut citas nozares, kuru SEG emisijas tiešā veidā nav saistītas ar kurināmā izmantošanu. No vienas puses, SEG emisijas rodas no dažādām saimnieciskajām darbībām, kuras ne vienmēr tiek uzskaitītas, bet, no otras puses, ir emisijas, kuras rodas, piemēram, lauksaimniecībā, kas tiek uzskaitītas, bet tās netiek iekļautas, piemēram, kopējā enerģijas galapatēriņā un līdz ar to netiek iekļautas modelī. Valstīs, kurās šīs ekonomiskās darbības rada lielu daļu no SEG emisijām (piemēram, Latvijas lauksaimniecība sniedz apmēram 4 % no IKP, taču tā bija atbildīga par 23,6 % no kopējām SEG emisijām 2016. gadā)⁵, investīciju novērtējumam būtu jābūt visaptverošam, tomēr parasti šīs nozares aplūko atsevišķi.

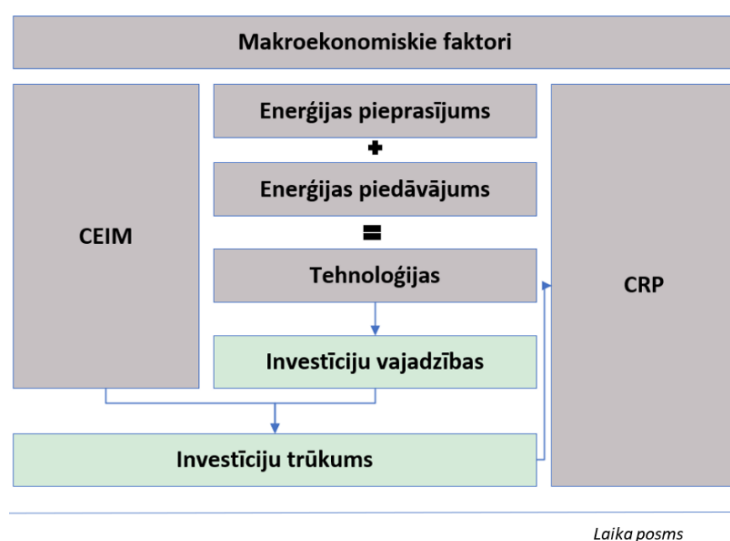
1. Rezultāti un pamata pieņēmumi

Tādi pieņēmumi kā kurināmā un tehnoloģiju izmaksas, procentu likmes, uzstādīto jaudu izmantošanas iespējas, iedzīvotāju skaita izmaiņas un makroekonomiskās prognozes lielā mērā ietekmē investīciju novērtējumu rezultātus. Šādi pieņēmumi var palielināt vai samazināt noteiktās investīcijas un rezultātus par noteiktu tehnoloģiju ieviešanu. Papildus tam arī regulatīviem un politiskiem pieņēmumiem ir būtiska nozīme jaunu tehnoloģiju ieviešanā. Protams, ir grūti ņemt vērā tādas lietas kā iedzīvotāju attieksme pret AER izmantošanu, jaunu tehnoloģiju attīstība, klimata izmaiņu radītās sekas, ārējo faktoru ietekme uz ekonomikas attīstību kopumā, taču tie var būtiski ietekmēt rezultātus. Atsevišķos gadījumos šie mainīgie faktori tiek ņemti vērā, veidojot iespējamās attīstības scenārijus ar definētu nenoteiktību un piedāvājot elastīgu attīstības stratēģiju, kas ļauj pielāgoties jauniem tirgus un politikas apstākļiem. Tas ir īpaši svarīgi, domājot par ilgtermiņa, piemēram, 2050. gada, mērķiem.

⁵ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/latvia_draftnecp_en.pdf

2. Analīzes struktūra

Nepieciešamo investīciju daudzumu nosaka plānotie klimata un enerģētikas politikas pasākumi, ekonomikas attīstība kopumā, iedzīvotāju skaita izmaiņas, enerģijas patēriņa pieprasījums, tirgus dalībnieku uzvedība un tehnoloģiju attīstība. Lai aplēstu nepieciešamās investīcijas, ir jānovērtē esošo investīciju daudzums, jāraksturo enerģijas patēriņa izmaiņas nākotnē, ko ietekmē tautsaimniecības struktūra un ko iespējams raksturot ar makroekonomikas faktoru prognozēm, un iespējas nodrošināt nepieciešamo enerģijas daudzumu, kas ietver gan esošo sistēmu novērtējumu, gan arī jaunu tehnoloģiju izmantošanas iespējas (skatīt 1. attēlu).



1. attēls. Svarīgākie analīzes soļi investīciju vajadzību novērtēšanai.

Lielā mērā enerģijas pieprasījumu nosaka aprēķina modeļos izmantotās makroekonomikas prognozes, tāpēc būtiski ir pievērst uzmanību, kādi rādītāji un kādas prognozes tiek izmantotas noteiktu scenāriju analīzei. Visbiežāk izmantotie makroekonomiskie faktori, no kuriem ļoti bieži atkarīgi arī modelēšanas rezultāti, apkopoti turpmāk.

Būtiskākie makroekonomiskie faktori

- **Iedzīvotāju skaits.** Iedzīvotāju skaita izmaiņas ir būtiskas, lai novērtētu gan preču un pakalpojumu pieprasījumu ekonomikā (netiešais enerģijas pieprasījums), gan to cilvēku skaitu, kas patērēs enerģiju (tiešais enerģijas pieprasījums) konkrētā laika periodā. Lai izstrādātu ekonomikas prognozes, visplašāk izmanto ANO Ekonomikas un sociālo lietu departamenta publicētās pasaules iedzīvotāju prognozes (ANO 2017).
- **IKP kā ekonomiskās aktivitātes rādītājs.** Iekšzemes kopprodukta (IKP) rādītāji ir svarīgi enerģijas pieprasījuma un patēriņa prognozēšanai, ja vien ekonomikas izaugsme un enerģijas pieprasījums ir savstarpēji saistīti. IKP prognozes sniedz Latvijas Banka un Pasaules Banka. Tāpat pieejamas ir Eiropas Savienības un Eiropas Komisijas veiktās ceturkšņa ekonomikas prognozes⁶.

⁶ https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-performance-and-forecasts/economic-forecasts_en.

- **Inovācijas un produktivitāte.** Produktivitāte ir viens no ekonomisko efektivitāti noteicošajiem faktoriem. Ar produktivitāti parasti saprot saražoto preču daudzumu attiecībā pret patērētajiem resursiem. Attīstītās ekonomikās produktivitātes uzlabojumiem gan ir tendence raksturot ne tik daudz kvantitatīvo pieaugumu attiecībā pret patērētajiem resursiem, bet gan produkcijas vai sniegto pakalpojumu kvalitātes uzlabojumus.
- **Inovācijas un tehnoloģiju attīstības mācību līknes.** Tehnoloģijas un šo tehnoloģiju attīstība nosaka konkrēto nozaru vajadzības pēc enerģijas. Turklāt tās var ietekmēt arī attiecīgo tautsaimniecības nozaru produktivitāti. Zemu oglekļa emisiju tehnoloģijas var samazināt enerģijas ražošanas oglekļa emisiju daudzumu, un energoefektīvas tehnoloģijas var samazināt enerģijas pieprasījumu. Pieaugot šo tehnoloģiju izmantošanai tirgū un samazinoties šo tehnoloģiju izmaksām, samazinās arī kopējo investīciju daudzums. Tomēr jaunu tehnoloģiju izmantošanas un difūzijas ātrums tirgū ir grūti prognozējams, tomēr tas ir ļoti būtisks faktors, lai noteiktu nepieciešamo investīciju daudzumu klimata un enerģijas projektos. Informāciju par tehnoloģiju difūziju tirgū un izmaksu prognozēm var vai nu ņemt kā eksogēnos jeb ārējos faktorus no citiem pētījumiem/modeliem, vai arī noteikt endogēni, veicot papildu izpēti (sīkāka informācija atrodamā 3. nodaļā).
- **Klimata un enerģētikas politika.** Klimata un enerģētikas politika nosaka kontekstu, kurā tiek īstenoti noteikti pasākumi (AER vai EE projekti). Noteiktu atbalsta instrumentu izmantošana vai gluži pretēji to trūkums var veicināt noteiktu projektu attīstību, samazināt laiku, kas nepieciešams, lai noteiktas tehnoloģijas vai noteikta saimniekošanas prakses tiktu ieviestas tirgū. Atbilstošs regulējums var paātrināt vai kavēt konkrētu tehnoloģiju ieviešanu tirgū. Parasti ļoti būtiski ir jautājumi, kas saistīti ar būvatļauju saņemšanu, iespējām pieslēgties tīklam un nodot enerģiju citiem patērētājiem.
- **Dabas resursi.** Noteiktu resursu (biomasa, ogles, dabasgāze) pieejamība ir viens no svarīgākajiem faktoriem, kas nosaka enerģijas cenas, tāpat arī citu resursu un izejvielu cenas, lai ražotu jaunas tehnoloģijas (piemēram, litijs enerģijas akumulēšanas baterijām). Līdzīgi zemes vai jūras pieejamība, lai izmantotu atjaunojamus energoresursus (piemēram, vēja parkos), vai laikapstākļi (piemēram, saule, izmantojot saules paneļus) ir galvenais faktors, lai noteiktu konkrētu tehnoloģiju iespējamo ieviešanu un enerģijas daudzumu, ko iespējams saražot noteiktā vietā un laikā. Ņemot vērā AER atkarību no laikapstākļiem, būtiska ir ne tikai to pieejamība vispār, bet gan noteiktu resursu pieejamība noteiktā laika periodā un diennakts griezumā.

Iepriekš apskatītos faktorus un to izmaiņas parasti izmanto kā ievaddatus, modelējot valsts energoapgādes sistēmu. Makroekonomiskie modeļi ir tie, kas ļauj prognozēt galvenos ekonomiskos faktorus, un tie ļauj modelēt, kā dažādi tirgi savstarpēji mijiedarbojas un ietekmē konkrētās valsts ekonomiku. Šādi modeļi palīdz definēt svarīgus robežnosacījumus nozares līmeņa pētījumiem un citiem enerģētikas modeļiem, kas izmanto šos rezultātus kā eksogēnus faktorus (t. i., faktorus un datus, ko izmanto nozaru modelim, bet kas netiek veidoti šajā pašā modelī). Atsevišķu nozaru modeļi bieži vien dod iespējas analizēt nozares sīkāk, nekā to būtu iespējams darīt, izmantojot tikai makroekonomiskos modeļus. Ar energoapgādes modeļu palīdzību parasti tiek sastādīta valsts energobilance, sabalansējot un analizējot enerģijas pieprasījumu ar piedāvājumu.

Enerģijas pieprasījums

Enerģijas pieprasījums ir tieši saistīts ar patērētāju uzvedību un ekonomisko aktivitāti, preču un pakalpojumu ražošanu (preču importu un ekspertu), tehnoloģijām, tehnoloģiju efektivitāti, kas pieejamas to ražošanai, un ar ražošanas izmaksām, tostarp elektroenerģijas un kurināmā cenām.

Enerģijas piegāde

Energoapgādes sistēmas modelēšanai var izmantot enerģijas patēriņa slodžu līknes vai ik stundas enerģijas patēriņa pieprasījuma datus, kas iegūti, balstoties uz vēsturisko enerģijas patēriņu vai enerģijas

patēriņa aprēķina modeļiem. Parasti šie modeļi ļauj novērtēt nepieciešamo elektroenerģijas un siltumenerģijas daudzumu noteiktā laika brīdī un atkarībā no aprakstītās energoapgādes sistēmas (uzstādītā jauda, pieejamie resursi) un uzdotajiem sistēmas nosacījumiem (energoresursu cena) izvēlas noteiktu jaudu enerģijas ražošanai. Enerģijas piegādes moduļi nosaka fosilā kurināmā (dabaszāzes, naftas, ogļu u. tml.) un AER avotu īpatsvaru enerģijas struktūrā, to izmaksas un oglekļa emisiju daudzumu. Modelī var iekļaut arī tirdzniecību, t. i., to aplūko endogēni. Tas ļauj ņemt vērā primārās enerģijas un elektroenerģijas eksportu un importu un novērtēt oglekļa emisiju tirdzniecības ietekmi. Šajā gadījumā piegādes puses tehnoloģijas ir svarīgs faktors, kas ietekmē kopējās enerģijas ražošanas izmaksas (tostarp primāro enerģijas avotu izmaksas, ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksas un SEG emisiju kvotu izmaksas).⁷

Tehnoloģijas

Izmantotās tehnoloģijas nosaka enerģijas ražošanas un patēriņa efektivitāti, kā arī SEG emisiju daudzumu. Zemu oglekļa emisiju un energoefektīvu tehnoloģiju ieviešanas izmaksas, ciktāl tas nepieciešams, lai nodrošinātu atbilstību klimata vai energoefektivitātes mērķiem, laika gaitā atšķiras atkarībā no tehnoloģiju difūziju līknes.⁸ Tehnoloģiju izmaksu prognozes ir patiešām izšķirošas, novērtējot noteiktu tehnoloģiju izmantošanu un nepieciešamo investīciju lielumu.

Kopsavilkums

Ekonomikas prognozes, saskaņām ar kurām tiek aprēķināti nepieciešamie ieguldījumi, un attiecīgie pieņēmumi, un mainīgie faktori (iedzīvotāju skaita un IKP izmaiņas, inovācijas, tehnoloģiju un kurināmā izmaksas) parasti tiek ņemti kā ārēji faktori, kas balstīti kopējās makroekonomiskās prognozēs. Šie faktori lielā mērā nosaka iegūtos rezultātus. Tomēr bez šiem faktoriem, par kuriem prognozes parasti ir pieejamas, ir vairāki citi faktori, kas ļoti būtiski var ietekmēt rezultātus, tomēr tie ļoti bieži netiek aplūkoti, jo par tiem nav pieejama pietiekoši detalizēta informācija un to izmaiņas nākotnē. Tādi faktori kā jaunu revolucionāru tehnoloģiju parādīšanās, klimata pārmaiņas un ar tām saistītās izmaiņas enerģijas pieprasījumā, karš, slimības vai citi katastrofāli notikumi parasti netiek ņemti vērā un pienācīgi novērtēti, lai arī tie ļoti būtiski var mainīt rezultātus. Tā kā, piemēram, arvien precīzāk var prognozēt klimata pārmaiņu izraisītas sekas (īsākas apkures sezonas, vairāki karstuma viļņi u. c.), tad būtu jāsaņem novērtēt šos faktorus un ņemt vērā, analizējot ekonomikas attīstību.

2.1. Investīciju novērtējums klimata un enerģētikas mērķu sasniegšanai

Klimata un enerģētikas 2030. gada mērķus nevajadzētu uzskatīt tikai par robežnosacījumiem vai mērķa vērtībām noteiktā ekonomikas modeļa ietvaros. Atkarībā no izmantotās modelēšanas pieejas dažādi klimata mērķi, jaunu tehnoloģiju difūzija var ietekmēt un ietekmē arī iepriekš minētos galvenos makroekonomiskos faktorus (cenas, IKP, enerģijas pieprasījumu). Piemēram, elektroenerģijas, cenu izmaiņas var ietekmēt energoietilpīgu produktu ražošanas izmaksas, tā ietekmējot pieprasījumu pēc enerģijas kopumā. Tāpat noteiktu atjaunojamo tehnoloģiju izmaksu samazināšanās var veicināt šādu tehnoloģiju plašāku izmantošanu.

Klimata un enerģētikas mērķi ne vienmēr ir sociāli optimāls rezultāts, bet parasti tos nosaka politisku diskusiju rezultātā, un tie atspoguļo noteiktas enerģētikas un klimata politikas mērķus. Nepieciešamais investīciju daudzums ir atkarīgs no klimata un enerģētikas mērķiem, kuri nosaka uzstādāmo AER tehnoloģiju daudzumu, īstenojamo energoefektivitātes projektu skaitu, investīcijas transporta un lauksaimniecības sektorā. Kopumā neatkarīgi no dažādo nozaru specifiskajiem mērķiem un plānotajiem

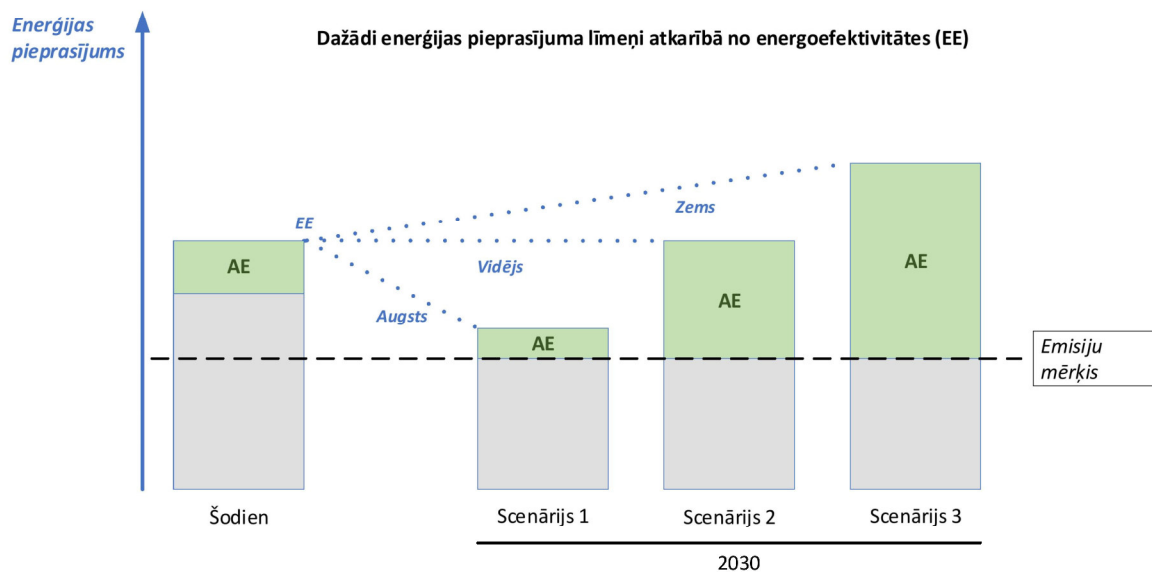
⁷ Enerģētikas tirgu var uzskatīt par regulētu tirgu, tāpēc bez kurināmā, tehnoloģiju, darbaspēka un uzturēšanas izmaksām dažādos tirgos piemērotie nodokļi var būtiski ietekmēt enerģijas ražošanas izmaksas.

⁸ JRC (2012). Technology Learning Curves for Energy Policy Support. JRC Scientific and Policy Reports ([link](#)).

pasākumiem SEG emisiju samazināšanas mērķu sasniegšanai laika posmā līdz 2030. gadam ir jādarbojas šādos virzienos:

- 1) energoefektivitāte, nosakot kā enerģijas ražošanas produktivitāti (piedāvājuma puse), tā arī enerģijas galapatērētāja energoefektivitāti (pieprasījuma puse);
- 2) enerģijas ražošanas (piedāvājuma puse) dekarbonizācija.

Tādējādi, lai sasniegtu 2030. gada mērķus, nepieciešamo energoefektivitātes un atjaunojamās enerģijas apjomu, ir iespējami dažādi attīstības scenāriji, kur AER uzstādīto jaudu apjomi ir atkarīgi no sasniegtā energoefektivitātes līmeņa un enerģijas patēriņa pieprasījuma visās nozarēs. Veicot investīciju novērtējumu, parasti aplūko vairākus scenārijus: zemu emisiju scenāriju (1. scenārijs), kurā panākts augsts energoefektivitātes līmenis, vidējas efektivitātes scenāriju (2. scenārijs) un zemas efektivitātes scenāriju (3. scenārijs). Tomēr jāņem vērā, ka tālākā perspektīvā jebkura nepieciešamā enerģijas vienība būtu saražojama, izmantojot AER. Veicot ilgtermiņa prognozes, piemēram, līdz 2050. gadam, svarīgi ir pieņēmumi ne tikai par tehnoloģiju un kurināmā cenu izmaiņām, bet arī par tehnoloģiju attīstību kopumā, piemēram, cik viegli iespējams ieviest CO₂ uztveršanas un noglabāšanas iespējas vai ūdeņraža tehnoloģijas, kas var palīdzēt dekarbonizēt energointensīvo ražošanu un enerģijas ražošanas sektoru.



2. attēls. Grafiski attēlota energoefektivitātes un dekarbonizācijas pasākumu kopējā nozīme, lai panāktu enerģijas galapatēriņa emisiju samazinājumu.

Dažādi scenāriji ar atšķirīgiem pasākumiem, uzstādītajām tehnoloģijām un atšķirīgu enerģijas patēriņu var nodrošināt vienādu emisiju apjomu, vienlaikus izmantoto pasākumu un tehnoloģiju dažādība noved pie atšķirīgām izmaksām. Tāpēc, vērtējot izmaksas noteiktu mērķu sasniegšanai, svarīgi ir saprast, kādi tieši pasākumi un kādas tehnoloģijas paredzēts izmantot. Diemžēl ļoti bieži tiek uzrādīti tikai kopējie scenāriju rādītāji un ir grūtības izsekot, kādas tehnoloģijas un kādus pasākumus paredzēts izmantot, un kādi ir pieņēmumi, kas izmantoti, nosakot izmaksas.

3. Nepieciešamo investīciju novērtēšanas modeļi

Lai novērtētu nepieciešamo investīciju apjomu klimata un enerģētikas mērķu sasniegšanai, var izmantot dažādus modeļus. Modeļa izvēle ir atkarīga no tā lietojuma mērķa un analīzes tvēruma, t. i., makroekonomiskie faktori, enerģijas pieprasījuma vai piedāvājuma faktori vai iespējas investēt jaunās tehnoloģijās, salīdzinot ar ierastajām (*business-as-usual*), tātad analizējot atsevišķus sektorus. 1. tabulā ir apkopoti dažādi modeļi, izmantotie pieņēmumi un analītiskais ietvars, kas raksturo dažādus modeļus un to uzbūvi. Šis nav pilnīgs visu izmantoto modeļu pārskats, bet šī pārskata mērķis ir demonstrēt atšķirīgās pieejas un izmantoto modeļu dažādību.

1. tabula. Investīciju novērtēšanas modeļu pārskats

Pārskats				Modeļa specifiskās izvades funkcijas
	Sociālekonomiskie faktori	Enerģijas tirgus	Tehnoloģijas un inovāciju vajadzības	
OECD (2017)	Yoda modelis + Oksfordas globālais ekonomikas modelis	Oksfordas globālais ekonomikas modelis	Eksogēns	Ekonomiskā izaugsme, potenciālā izlaide. Iespējama nozares līmeņa analīze.
IEA (2017)	Eksogēns	Pasaules enerģētikas modelis (WEM)	REmap	Saražotais enerģija daudzums un kurināmais, investīciju daudzums un izmaksas, oglekļa dioksīda (CO ₂) un citas ar enerģiju saistītās SEG emisijas un galalietotāju izmaksas.
IRENA (2015)	Eksogēns	Eksogēns	REmap	Tehnoloģiju pašreizējās izmaksas un piedāvājuma aizstāšanas izmaksu līknes.
DENA (2018)	Eksogēns	DIMENSION +	Eksogēns	SEG emisijas pa sektoriem.
BCG (2018)	VIEW Prognos modelis	Prognos dažādie modeļi	Augšupvērstās (Bottom-up) aizstāšanas izmaksu līkne	Investīcijas nozaru līmenī un zemu oglekļa emisiju tehnoloģijas.
Fraunhofer-ISE (2015)	Eksogēns	REMod-D	Eksogēns	Apraksta sistēmu kopumā, tai skaitā izmaksas.
Prognos et al. (2018)	ISI makromodelis	Eksogēns	Izmaksu un ieguvumu aprēķins (UBA)	Tiek analizētas iespējamās ietekmes (tiešā ekonomiskā ietekme un ietekme uz vidi, nepieciešamie ieguldījumi); sekundārā ietekme (piemēram, nodarbinātība).
Eiropas Komisija (2017)	Visa ekonomika ir modelēta endogēni			Nepieciešamo investīciju novērtējums un sīks ekonomiskās ietekmes novērtējums.

3.1. Makroekonomiskie modeļi

Šajā nodaļā apskatīti makroekonomiskie modeļi, kas izmantoti OECD (2017) pētījumā "Ieguldījumi klimatā, ieguldījumi izaugsme" (*Investing in Climate, Investing in Growth*). Abi modeļi izmanto atšķirīgas pieejas un dažādas datu rindas.

3.1.1. Yoda modelis

Yoda modelis ir OECD iekšējais makroekonomiskais modelis atsevišķām G20 valstīm. Tas ietver katrai valstij raksturīgās ekonomikas struktūru un saites ar ārējiem tirgiem. Lielākās ekonomiski attīstītās valstis, lielākās jaunās tirgus ekonomikas valstis un pārējā pasaule ir saistītas ar tirdzniecības saiknēm (t. i., starp valstīm notiekošā tirdzniecība un no tās izrietošās cenas). Modelis ir atkarīgs no pašreizējā ekonomikas stāvokļa (noteikts uzņēmējdarbības cikls). Ekonomiskās izaugsmes vienādojums ir atkarīgs no potenciālās izaugsmes, reālajām procentu likmēm un fiskālās politikas, prognozētās ražošanas apjomiem IKP, cenām un tirdzniecības prognozēm.

Lai noteiktu nepieciešamās investīcijas klimata pārmaiņu jomā, šis modelis apskata inovācijas, kas nepieciešamas pētniecībā un attīstībā, lai sasniegtu 2 °C scenāriju (kam nepieciešams 55 % SEG emisiju samazinājums). Tas atbilst ap 0,1 % IKP izmaksām un sasniedz ap 66 % SEG emisiju samazinājumu.

Šajā modelī netiek ņemta vērā klimata pārmaiņu potenciālā ietekme, kas īpaši ir būtiska ilgākam laika posmam. Protams, šādu ietekmi ir grūti novērtēt, jo klimata pārmaiņu radītā ietekme ir neviendabīgi sadalīta pa reģioniem un ekonomiskajām nozarēm (skatīt, piemēram, IPCC 2018)⁹. Turklāt modelī nav iekļauti arī tādi faktori kā politikas lēmumi, sabiedrības atbalsts un institucionālie faktori, kam ir svarīga nozīme reālajā ekonomikā. Tas gan ir raksturīgs visiem makroekonomikas modeļiem, jo šos elementus ir grūti iestrādāt un aptvert šādā analīzes līmenī.

3.1.2. Oksfordas globālais ekonomikas modelis

Oksfordas globālo ekonomikas modeli plaši izmanto makroekonomiskai modelēšanai (piemēram, OECD, SVF, Pasaules Bankas pētījumos), īpašu uzmanību pievēršot tirdzniecības un finanšu savstarpējai saiknei. Modelis dod iespēju prognozēt ražošanas (IKP) līmeni, ko nosaka pieprasījuma faktori īstermiņā un piedāvājuma faktori ilgtermiņā. 2030. gada scenārijā ilgtermiņa (potenciālo) produkcijas izlaidi nosaka standarta¹⁰ ražošanas funkcija, izmantojot kapitāla plūsmas, procentu likmes, tehnoloģisku attīstību, darbaspēku, tirdzniecības apjomus, valūtas maiņas kursus un izejvielu cenas kā ievadītos datus. OECD (2017. gadā) pārskatīja modeli, lai iekļautu un skaidri izdalītu publiskā kapitāla ietekmi. Modelis ļauj veikt nozares līmeņa analīzi, jo tas ir sadalīts divpadsmit nozarēs. Tās ietver arī enerģētikas nozari, kuru iespējams apskatīt arī sīkāk, nodrošinot līdzsvaru starp enerģijas cenām, piedāvājumu un pieprasījumu.

⁹ <https://www.ipcc.ch/sr15/>

¹⁰ Cobb-Douglas.

3.1.3. Galvenie secinājumi par makroekonomiskajiem modeļiem

Kā paskaidrots iepriekš, makroekonomiskos modeļus var izmantot, lai prognozētu valsts ekonomisko attīstību un aprēķinātu dažus makroekonomiskos rādītājus (piemēram, dažādus iedzīvotāju skaita pieauguma rādītājus, darbaspēka piedāvājumu, ražošanas jaudas u.c.). Tajos aprakstīti sociālekonomiskie faktori, kas nosaka kādas valsts, tās nozaru un apakšnozaru saimniecisko darbību. Bieži vien šādu modeļu spējas apskatīt konkrēto nozari vai sektoru gan ir limitētas. Analogijai varētu lietot salīdzinājumu par detalizāciju kartes izveidē. Piemēram, veidojot pasaules karti, būs iespējams ņemt vērā tikai galvenās upes, pilsētas vai kalnu grēdas, un šāda detalizācija pakāpe būs pietiekama, jo kartes mērķis ir attēlot pasauli kopumā. Bet, zīmējot, piemēram, Latvijas karti, jau varētu iekļaut detalizētāku informāciju, un tā kalpos arī citiem mērķiem. Līdzīgi ir arī ar izmantotajiem modeļiem. Piemēram, lai sīkāk izklāstītu savu nozaru sadalījumu un paplašinātu savu sektoru skaitu no 12 līdz 13, ir ne tikai jāpievieno viens elements, bet arī šīs vienas papildu nozares mijiedarbība ar pārējām 12 nozarēm visās valstīs, kas iekļautas modelī. Tātad "tikai vēl viens sektors" kļūst par $1 \cdot 12 \cdot 50$ (vai līdzīgi) papildu lietām/vienādojumiem/saitēm, kas var nevajadzīgi sarežģīt modeli, padarīt to grūti saprotamu un radīt papildu kļūdas. Savukārt vienas nozares ietvaros to izdarīt daudz vieglāk, bet, protams, izveidotais modelis būs spējīgs apskatīt tikai vienu nozari. Precizitātes pakāpe, ar kādu makroekonomikas modelis var novērtēt klimata un enerģētikas pārejas investīciju vajadzības, ir ierobežota. Makroekonomikas modeļi "neievēro" enerģijas tirgiem specifiskus funkcionējošus mehānismus un ar tiem saistītus rezultātus. Īpaša uzmanība ir jāpievērš enerģijas tirgiem, lai modelētu elektroenerģijas un siltuma pieprasījuma un piedāvājuma mijiedarbību tādā veidā, kas ir piemērots, lai noteiktu, kur un cik lieli ieguldījumi ir vajadzīgi pārejai uz zemu oglekļa emisiju.

3.2. Energoapgādes sistēmu un tirgus modeļi

Enerģijas sistēmu modeļi nosaka elektroenerģijas patēriņu un ražošanas apjomu, kvalitāti un cenu noteiktā laikā. Pieprasījuma un piedāvājuma dinamika, kas nosaka apmainītās enerģijas daudzumu, ir modelim endogēns faktors. Toties patēriņa un ražošanas tehnoloģijas, kas nosaka elektroenerģijas efektivitāti un oglekļa saturu tirgū, ir modelim eksogēns faktors, bet vienlaikus izšķirošs, lai noteiktu apmainītās elektroenerģijas kvalitāti (t. i., saražotās enerģijas oglekļa saturu). Enerģijas daudzums un cena (tostarp saistīto SEG emisiju kvotu cena) tiek prognozēta noteiktā laika periodā un ņemot vērā īpašus ierobežojumus. Tas ļauj energosistēmu modeļu lietotājiem noteikt nepieciešamo investīciju apjomu, lai sasniegtu mērķus enerģētikas un klimata jomā, kā arī konkrētās jomas, kurās šīs investīcijas ir nepieciešamas. Tie ļauj arī ņemt vērā elektroenerģijas pieprasījumu, pieprasījuma puses izmaiņas un novērtēt starpnozaru saiknes un sektoru sasaisti. Toties enerģijas tirgus modeļi koncentrējas uz enerģijas piegādi, novērtējot lēmumus par ražošanu, uzskatot, ka pieprasījuma puses parametri ir eksogēni. Enerģijas tirgus modeļi ir ļoti būtiski, pieņemot lēmumus par investīcijām. Pateicoties lielajam informācijas apjomam šādos modeļos, tie var sniegt detalizētus elektroenerģijas un saistīto pakalpojumu cenas aprēķinus. Kopā ar investīciju modeļiem enerģijas tirgus modeļi ļauj noteikt jaudas sadalījumu, kas valstij ir nepieciešams, un no tā izrietošos lēmumus par investīcijām vai ekspluatācijas pārtraukšanu.

3.2.1. Pasaules enerģētikas modelis

Pasaules enerģijas modelis ir interaktīvs enerģijas piegādes un pieprasījuma modelis, ko katru gadu pārskata un uzlabo Starptautiskā Enerģētikas aģentūra (IEA). Tas novērtē elektroenerģijas patēriņu un cenas, kas saista enerģijas galapieprasījumu un ražošanu. Galvenais rezultāts ir investīciju apjoms, kas ir nepieciešams, lai apmierinātu prognozēto pieprasījumu, bet galvenie ārējie pieņēmumi ir ekonomikas izaugsme, demogrāfija un tehnoloģiju attīstība.

Pieprasījuma modelis

Vispirms sociālekonomiskie mainīgie lielumi tiek novērtēti ekonometriski katrai nozarei, pamatojoties uz vēsturiskajām vērtībām (piemēram, noteiktu preču ražošanas apjomiem vai mājsaimniecības

lieluma). Tie veicina katras nozares saimniecisko darbību (piemēram, iekārtu izmantošana rūpniecībā vai iekārtu piederība mājokļos) un tādējādi ietekmē enerģijas pakalpojumu pieprasījumu katrā nozarē. Modelī ir iekļauts plašs tehnoloģiju klāsts, lai efektīvi un ar viszemākajām izmaksām nodrošinātu visus energopakalpojumus (piemēram, ražošanas jaudu rūpniecībā vai saldēšanas jaudu mājokļos). Noteikto primārās enerģijas pieprasījumu izmanto kā ievades datus moduļiem.

Piedāvājuma modeļi

Piegādes moduļi nosaka fosilā kurināmā ražošanas apjomu, ko stimulē noteiktā cenu trajektorijā. Moduļos ņem vērā dažādu ražošanas tehnoloģiju iespēju izmaksas un attiecīgos jaudas ierobežojumus. Kamēr konkrētā cena nav pietiekama, lai segtu globālo pieprasījumu, enerģijas pieprasījumu un cenu pārrēķina un atkārtoti iekļauj piegādes moduļos. Beigās modelis nosaka līdzsvara cenu, ko rada enerģijas pieprasījuma un piedāvājuma līdzsvars. Fosilā kurināmā cenas atšķirsies atkarībā no modelī aplūkotajiem izmaksu un jaudas pieņēmumiem. Tādējādi cenu veidi un investīciju vajadzības dažādos scenārijos atšķiras.

3.2.2. DIMENSIJA+ (“DIMENSION+”)

Modelis *Dimensija+* ļauj veikt Eiropas enerģijas tirgus simulācijas. Modelis ļauj samazināt enerģijas izmaksas īstermiņā un ilgtermiņā visās Eiropas enerģijas tirgus nozarēs, izmantojot detalizētu telpisko un laika dimensiju. Modelī tiek ņemtas vērā elektroenerģijas, gāzes un siltumtīklu izmaksas, kā arī nozares paplašināšanās izmaksas, ļaujot detalizēti izpētīt iespējamo energosistēmas attīstību līdz 2030. gadam vai pēc tam un ar to saistītās investīciju vajadzības.

Modelis pieder *Ewi*¹¹, un tas ir izmantots, piemēram, DENA (2018) pētījumā, lai optimizētu investīcijas Vācijas spēkstaciju parkam.

3.2.3. RemoD-D

RemoD-D (Atjaunojamās enerģijas modelis – Vācija) ir simulācijas un optimizācijas modelis, kas spēj izveidot transformācijas ceļus. Modeļa pamatfunkcijas pamatā ir uz izmaksām balstīta Vācijas energosistēmas strukturāla optimizācija, kurā CO₂ emisijas nepārsniedz mērķa vērtību. Modelis darbojas stundas līmenī un garantē, ka vienmēr tiek ievērots sistēmas enerģijas līdzsvars. Modelim kā ievades dati nepieciešami laikapstākļu dati un tehnoloģiju un ekonomiskie parametri. Papildus kapitālinvestīciju izdevumiem un CO₂ emisijām tas sniedz enerģijas pieprasījuma, enerģijas un siltuma ražošanas apjoma ikstundas rezultātus.

Modelis ir izmantots, piemēram, *Fraunhofer-ise* (2015) rakstā “Kādas būs enerģijas pārveides izmaksas? – Vācijas energosistēmas pārveides ceļi līdz 2050. gadam” (“*What will the Energy Transformation Cost? – Pathways for Transforming the German Energy System by 2050*” by *Fraunhofer-ISE* (2015)).

3.2.4. EnergyPlan

EnergyPLAN bieži izmanto, izstrādājot dažādas stratēģijas un enerģētikas plānus, piemēram, izstrādājot Eiropas Savienības siltumenerģijas attīstības vadlīnijas (*Heat Roadmap Europe*) un Dānijas Inženieru asociācijas sagatavoto Enerģētikas stratēģiju Dānijai (*Denmark 2030*), lai paaugstinātu energoapgādes drošību, samazinātu CO₂ emisijas un veicinātu rūpniecības attīstību.

EnergyPLAN deterministiskais modelis ir pretstatā stohastiskajam modelim vai „*Monte Carlo*” metodes modeļiem. *EnergyPLAN*, pamatojoties uz lietotāja noteiktiem izejas datiem, spēj aprakstīt un

¹¹ Modeļa brošūra atrodama šeit: <https://www.ewi.research-scenarios.de/en/models/dimension/>.

nepieciešamības gadījumā optimizēt konkrēto energosistēmas darbību. Ar vienādiem izejas datiem tas vienmēr noved pie tādiem pašiem rezultātiem.

Ar modeļa palīdzību ir iespējams veidot valsts un reģionālās energoplānošanas stratēģijas, kas balstās uz tehnisko un ekonomisko analīzi par dažādu energosistēmu ieviešanas sekām. Modelis aptver visu valsts vai reģiona energosistēmu, ieskaitot siltumapgādi un, ja nepieciešams, elektroapgādi, kā arī transporta un rūpniecības nozares.

Vispārīgie izejas dati ir siltumenerģijas patēriņa pieprasījums, atjaunojamo energoresursu īpatsvars, energoapgādes uzņēmumu un siltumapgādes sistēmu uzstādītās jaudas, jaunu tehnoloģiju uzstādīšanas un uzturēšanas izmaksas, energoapgādes sistēmu izmaksas, energoresursu izmaksas, tehnoloģiju tehniskie parametri (iekārtu darba efektivitāte, siltuma zudumi trasēs), pieejamo resursu raksturojums un siltuma slodzes grafiks.

3.2.5. TIMES

TIMES¹² (integrētās MARKAL-EFOM sistēmas) modelis tika izstrādāts kā daļa no IEA-ETSAP (energotehnoloģiju sistēmu analīzes programma), lai analizētu ilgtermiņa enerģētikas attīstības scenārijus un veiktu padziļinātu enerģijas un vides analīzi. TIMES modelis apvieno divas dažādas, bet savstarpēji papildinošas sistemātiskas pieejas enerģijas modelēšanai: tehniskās inženierijas pieeju un ekonomisko pieeju. TIMES modelis izmanto lineāro programmēšanu un var veikt optimizācijas uzdevumus, meklējot vislētāko energoapgādes scenāriju atbilstoši vairākiem lietotāju ierobežojumiem vidējā un ilgā laika periodā. TIMES modeli izmanto, salīdzinot dažādus konkurējošus scenārijus. Šie modeļi var aprakstīt vissvarīgākos energoapgādes sistēmas posmus, sākot no enerģijas ražošanas un pārvaldes līdz enerģijas patērēšanai. Enerģijas piegādes jomā tas ietver kurināmā ieguvu, primāro un sekundāro ražošanu, kā arī eksogēno importu un eksportu. Enerģijas piegādes puses "aģenti" ir ražotāji. Ar dažādu energonesēju starpniecību enerģija tiek piegādāta dažādiem sektoriem (dzīvojamajam, komerciālajam, lauksaimniecības, transporta un rūpniecības sektoram) to enerģijas vajadzību segšanai. Enerģijas pieprasījuma puses "aģenti" ir patērētāji. TIMES modeļu pamatā ir saites starp ražotājiem un patērētājiem.

Galvenie TIMES modeļu rezultāti ir energosistēmu konfigurācijas, kas atbilst enerģijas galapatēriņa prasībām pēc viszemākajām izmaksām, vienlaikus ievērojot arī dažādus ierobežojumus (piemēram, emisiju samazinājumu par 80 %, elektroenerģijas no AER izmantošanu par 40 %). Pirmajā gadījumā modelis atrisina jautājumu: vai mērķis ir sasniedzams? Ja ir iespējams izveidot šādu energosistēmu, tad iespējams noteikt, par kādu cenu. Modeļa rezultāti ir enerģijas plūsmas, enerģijas patēriņa preču cenas, SEG emisijas, tehnoloģiju jauda, enerģijas izmaksas un robežemisiju samazināšanas izmaksas.

3.2.6. Diskusija

Energosistēmu modeļus, piemēram, Pasaules enerģētikas modeli, var adaptēt, lai noteiktu klimata un enerģijas pārejas ceļus attiecīgo valstu mērķu sasniegšanai. Tie ļauj noteikt enerģijas apjomu, kvalitāti un cenu, ko rada pieprasījuma un piedāvājuma mijiedarbība dažādos scenārijos. Pasaules enerģētikas modelis ietver plašu tehnoloģiju klāstu, kas ļauj dažādi apmierināt enerģijas pieprasījumu un pārbaudīt struktūras, politikas vai tehnoloģiju atšķirības dažādos scenārijos.

Enerģijas tirgus modeļus, piemēram, Dimensija+, var adaptēt, lai detalizēti izpētītu enerģijas sistēmas iespējamo attīstību. Izmantojot detalizētu telpisko un laika sadalījumu, ir iespējams samazināt enerģijas izmaksas īstermiņā un ilgtermiņā un optimizēt investīciju apjomu un nosūtīšanu.¹³

¹² <https://iea-etsap.org/index.php/etsap-tools/model-generators/times>.

¹³ Lai gan lēmumi par ieguldījumiem ir saistīti ar ilgtermiņa enerģijas piegādes plānošanu, lēmumi par nosūtīšanu ir lēmumi, kas saistīti ar īstermiņa enerģijas plūsmu pārvaldību visā tīklā. Enerģijas plūsmas ir jāregulē tā, lai enerģijas piedāvājums un pieprasījums vienmēr būtu līdzsvarots. Lēmumi par nosūtīšanu ir būtiski, lai garantētu sniegtā pakalpojuma drošību un nepārtrauktību.

Būtisks investīciju vajadzību novērtēšanas elements ir tehnoloģiju izmaksas. Iepriekš aprakstīto modeļu tehnoloģiju izmaksas parasti raksturo mācību kursi (iegūti no literatūras, bet galvenokārt empīriski atvasināti) un tehnoloģiju izplatība tirgū. Mācību kursi ir eksogēns faktors, toties tehnoloģiju izplatība tirgū tiek endogēni noteikta atbilstoši enerģijas pieprasījumam un dekarbonizācijas politikas vērienīguma pakāpei. Savukārt izmantoto tehnoloģiju īpatsvars tiek noteikts dažādās modeļa daļās, pamatojoties uz to specifiskajām izmaksām, kas ietver investīciju izmaksas, ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksas, degvielas izmaksas un dažos gadījumos arī izmaksas par CO₂ emisijām.

Neraugoties uz mēģinājumu uzskaitīt svarīgas tehnoloģiju iezīmes, ir jāatzīmē, ka šo tehnoloģiju rentabilitāti nākotnē ar enerģijas tirgus modeļiem vien prognozēt nevarēs. Tas ir vairāku iemeslu dēļ:

- šādos modeļos noteiktās fosilā kurināmā cenu trajektorijas ir vienmērīgas, tās neatspoguļo svārstīgos un cikliskos modeļus, kuriem parasti seko cenas reālajā pasaulē¹⁴;
- modeļos ietvertā informācija nav iedalīta tehnoloģiju līmenī pietiekamā apjomā, lai noteiktu dažādas tehnoloģiju iespējas.

Kopumā, ņemot vērā endogēni noteiktus sociālekonomiskos faktoros un savstarpēji identificētas tehnoloģiju iespējas, enerģijas modeļi ļauj novērtēt un izvēlēties vislētākās un visefektīvākās tehnoloģijas, kas apmierina kādas valsts vai reģiona tautsaimniecības nozaru vajadzības.

Iepriekšējā sadaļa raksturoja, kā tiek noteikti makroekonomiskie scenāriji, savukārt šajā sadaļā bija aplūkotas enerģētikas sistēmas un tirgus modeļu darbība, bet nākamajā sadaļā tiks pievērsta uzmanība sīkāka sadalījuma līmenim, proti, pašreizējās un mainīgās enerģētikas sistēmas pārveidošanas izmaksām (pamatscenārijs), paplašinot zemas oglekļa emisijas tehnoloģijas enerģijas ražošanai un izmantošanai pa nozarēm.

3.3. Augšupvērstie tehnoloģiju modeļi

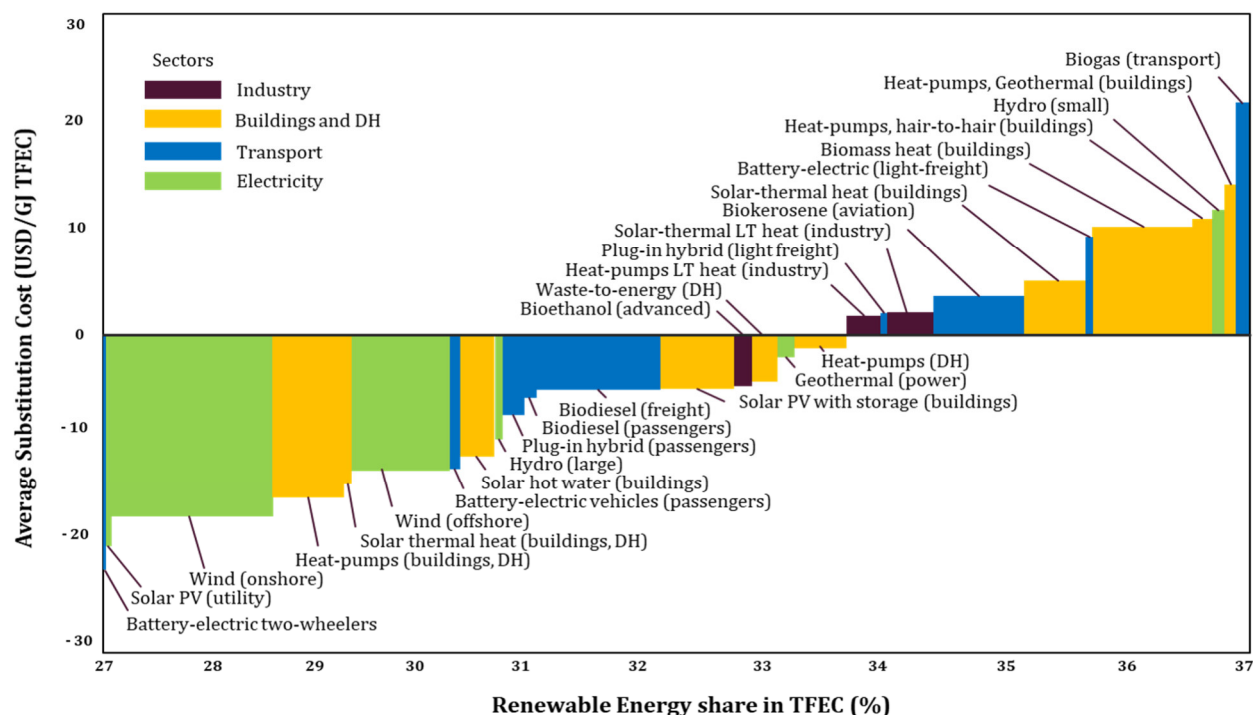
Līdz šim aprakstītajos modeļos tiek izmantoti iepriekš definēti tehnoloģiju variantu komplekti, kas tiek vērtēti atbilstoši pieprasījuma vajadzībām un piedāvājuma jaudai. Šīs tehnoloģiskās iespējas tiek noteiktas, novērtējot tehnoloģijas un izvēloties tās, izmantojot tehnoloģiju aizvietošanas izmaksu analīzi (t. i., aizstājot esošās, mazāk efektīvās un oglekļa ziņā intensīvākās tehnoloģijas ar mazoglekļa iespējām). Šie ir augšupvērstie pētījumi, ko parasti veic, izmantojot nozaru pētījumus un tehnoloģiju līmeņa novērtējumus. Pēc tam savāktos datus apkopo, lai izprastu katras tehnoloģijas iespējamo lomu enerģētikas un klimata pārmaiņu mērķu sasniegšanā. Rezultāts parasti ir tehnoloģiju aizstāšanas izmaksu līkne, kas parāda izmaksu atšķirību, nomainot tradicionālās enerģijas tehnoloģijas ar zemas oglekļa emisijas (AER) alternatīvām.

3.3.1. *REmap* modelis

REmap (Atjaunojamās enerģijas karte), ko izveidoja IRENA (2014), ir tehnoloģijas aizstāšanas modeļa piemērs. Tas ļauj novērtēt dažādu tehnoloģiju aizstāšanas izmaksas, kuras varētu izmantot 2030. gadā, aizstājot tradicionāli izmantotās tehnoloģijas ar atjaunojamajām, ņemot vērā, ka ir jāsarāžs tāds pats enerģijas daudzums¹⁵. Tehnoloģiju izmaksu un piedāvājuma līkne, ko IRENA (2015) aprēķinājusi Vācijai, ir parādīta 3. attēlā.

¹⁴ Preču cenām ir raksturīga trajektorija ar lielāku vai mazāku mainīgu biežumu. Tie ir pakļauti cikliem, ilgtermiņa tendencēm un īstermiņa svārstībām (*Erdem* un *Ünalmsis*, 2016).

¹⁵ Atsauces gadījums atspoguļo plānotās politikas un paredzamās tirgus norises konkrētās valsts (Vācijas) enerģētikas nozarē no 2014. gada. RE risinājumi (*REmap* scenārijs) atspoguļo izmaiņas, par kurām Vācijā panākta vienošanās 2015. gada vidū, un tie paredz papildu atjaunojamās enerģijas izmantošanu, lai sasniegtu 2030. gada dekarbonizācijas mērķus.



3. attēls. REmap izmaksu piedāvājuma līkne Vācijai. Avots: IRENA (2015).

X ass parāda atjaunojamās enerģijas īpatsvaru kopējā enerģijas galapatēriņā (KEGP). Paredzams, ka 2030. gadā tas palielināsies līdz 30 % (saskaņā ar atsauces gadījumu scenāriju) un pārsniegs 37 % (saskaņā ar REmap scenāriju), palielinot atjaunojamo tehnoloģiju izmantošanu galapatēriņa nozarēs.

Šādiem modeļiem enerģijas pieprasījums (KEGP) parasti ir eksogēns faktors un šajā gadījumā atvasināts no IEA Pasaules enerģētikas modeļa. Papildu pieņēmumi ietver emisiju mērķus, klimata un enerģētikas politiku, enerģijas importa/eksporta rādītājus un tehnoloģijas 2030. gadā. Šie pieņēmumi ir būtiski, lai izstrādātu scenārijus, pēc kuriem var aprēķināt investīciju nepieciešamību, lai sasniegtu klimata un enerģētikas (2030) mērķus.

Vidējās zemu oglekļa emisiju/AER tehnoloģiju aizstāšanas izmaksas ir parādītas uz diagrammas y ass. Tās atspoguļo vienotas izmaksas par papildu tīrās enerģijas jaudu, kas ir nepieciešama, lai sasniegtu REmap scenārijā paredzēto AER izmantošanas līmeni.

Katrs diagrammā attēlotais bloks parāda konkrētas tehnoloģijas, enerģijas izmantošanas nozares investīcijas atjaunojamās enerģijas mērķī. Diagrammas augstums norāda tehnoloģijas aizvietošanas izmaksas, bet stabiņu platums norāda uz katras tehnoloģijas spēju nodrošināt (un aizstāt) noteiktu daļu no kopējās atjaunojamo energoresursu izstrādes daļas. Modeļa galvenie rādītāji ir šādi:

- **kapitāla izmaksu prognozes**, kas samazinās ar noteiktiem mācību tempiem (kas atvasināti galvenokārt no empīriskās literatūras), kas ir šīs tehnoloģijas uzstādītās jaudas vai tirgus izplatības funkcija (t. i., vienkāršiem vārdiem sakot – jo vairāk tehnoloģiju ir uzstādīts, jo vairāk ir iemācījušies visi iesaistītie dalībnieki un jo lētākas tās kļūst);
- **ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksu prognozes**, kas identificētas empīriski, piemēram, no pieejamajām valstu AER projektu datubāzēm;
- **tehnoloģiskie rādītāji un jaudas ierobežojumi**, t. i., tehnoloģiju pārveidošanas efektivitāte un modeļa izmantošanai atļautās maksimālās jaudas (piemēram, sauszemes vēja enerģijas jaudu varētu ierobežot pieejamā zemes platība, kas ir piemērota vēja enerģijas parku izveidei).

Tehnoloģijas izmaksas var aprēķināt kā šo investīciju summu, tām pieskaitot tehnoloģiju izmantotā kurināmā vai elektroenerģijas izmaksas. Atjaunojamās enerģijas tehnoloģiju aizstāšanas izmaksas ir definētas, salīdzinot kopējās izmaksas, kas ir nepieciešamas, lai radītu vienu enerģijas vienību, ar

konkrētās tehnoloģijas izmaksām, kas ir vajadzīgas, lai radītu to pašu enerģijas vienību, izmantojot tehnoloģijas kas izmanto fosilo kurināmo.

Tehnoloģiju avietošanas izmaksu analizē iespējams iekļaut arī citus izmaksu rādītājus, piemēram, enerģijas nodokļus, fosilā kurināmā subsīdijas, oglekļa emisiju kvotu izmaksas vai monetāros stimulus zemas oglekļa emisijas tehnoloģijām un energoefektīvām tehnoloģijām, kā arī dažādas kapitāla izmaksas. IRENA (2015) ir pieņēmuši vietējām kapitāla izmaksām (piemēram, 6 % Vācijai) valsts pētījumiem un standarta diskonta likmei (10 %) pārrobežu salīdzinājumiem.

3.3.2. Augšupvērstais izmaksu atvasinājums (AIA)

Tāpat kā *REmap* modelis, augšupvērstā izmaksu atvasināšana, ko piemēro *Prognos* (2018), ir piemērs enerģijas tirgus un ekonomikas modeļu apvienošanai ar tehnoloģiju aizvietošanas modeli. Ir izstrādāti trīs scenāriji: 1) pamatscenārijs (*Business as usual*); 2) scenārijs, kas samazina emisiju apjomu par 80 % līdz 2050. gadam (atsauces gads – 1990. gads); 3) scenārijs, kas samazina emisiju apjomu par 95 % līdz 2050. gadam (atsauces gads – 1990. gads). Otrajā un trešajā scenārijā ir iekļauti divi atšķirīgi pasaules ietvari – viens “globālu ambīciju trūkums” (tikai dažas Eiropas valstis ar vērienīgiem klimata pasākumiem) un otrs “globāla klimata aizsardzība” (augstas ambīcijas visā pasaulē).

Pētījums tika izstrādāts 2017. gadā, un tajā piedalījās gandrīz 70 uzņēmumu un apvienību, kā arī valde ar pasaulē atzītiem ekonomistiem, kas piedalījās vairāk nekā 40 semināros. Lai noteiktu ekonomikas dinamiku, tika izmantots *PROGNOS VIEW* modelis, kurā ņemtas vērā 42 valstis un 90 % pasaules ekonomisko aktivitāšu. Enerģijas tirgus ir modelēts katrai nozarei (rūpniecībai, transportam, mājsaimniecībām), izmantojot augšupvērsto pieeju. Modelēšanas procesā par prioritāti tika izvirzīti SEG samazināšanas pasākumi un ņemtas vērā ietekmi uz ekoonomiku, tādējādi apvienojot dažādas tehnoloģijas, lai noteiktu ekonomiski visizdevīgāko ceļu, lai sasniegtu Vācijas mērķus klimata jomā 2050. gadam.

Tiek ņemtas vērā tikai tās tehnoloģijas, kuras varētu izmantot jau tuvākajā nākotnē. Ļoti jaunas, kaut arī nākotnē, iespējams, nozari kardināli mainošas tehnoloģijas netika ņemtas vērā (piemēram, tehnoloģijas ūdeņraža ekonomijai). Ņemot vērā pieņēmumus, ka Vācija pakāpeniski pārtrauks izmantot kodoltehnoloģijas un ka liela iedzīvotāju daļa nesaņems oglekļa uztveršanas un uzglabāšanas (CCS) tehnoloģijas, dažas tehnoloģijas tika noteiktas eksogēni.

Pieņemtās metodoloģijas galvenais rezultāts ir aizstāšanas izmaksas, aizstājot oglekļa dioksīda emisiju ziņā intensīvas tehnoloģijas ar zema oglekļa tehnoloģijām. Lai aprēķinātu energoefektivitātes pasākumu izmaksas, kas saistītas ar tehnoloģiju aizstāšanu, investīciju izmaksas tiek noteiktas salīdzinājumā ar mazāk efektīvu tehnoloģiju un tad kompensētas ar saistīto enerģijas ietaupījumu.

Analizē konstatētie rezultātu diapazoni ir atkarīgi no tādiem ārējiem mainīgajiem lielumiem kā enerģijas cenas, nodokļi, oglekļa emisijas kvotu cenas un ražošanas pieaugums (IKP). Šo mainīgo lielumu izmaiņas ietekmē rezultātus, tādējādi radot arī dažādas investīciju vajadzību prognozes.

Svarīgi eksogēni mainīgie lielumi, kas nosaka rezultātus (kopējās investīciju vajadzības), ir: (1) iedzīvotāju skaita pieaugums; (2) enerģijas cenas; (3) Eiropas emisiju kvotu cena.

Attiecībā uz izmaksām pētījumā ir nošķirtas uzņēmējdarbības izmaksas un valsts izmaksas. Valdībai, neieskaitot nodokļus un subsīdijas, diskonta likmes ir zemākas (2 % pret 8 % no uzņēmējdarbības viedokļa) un enerģijas cenas ir augstākas (13 ct/kWh pret 3 ct/kWh energoietilpīgiem uzņēmumiem). Tādējādi, tā kā uzņēmējdarbības perspektīva bieži nesakrīt ar valdības/valsts perspektīvu, jo uzņēmumiem ir augstākas kapitāla izmaksas un tiem var būt zemākas enerģijas izmaksas, daudzu zemu oglekļa emisiju tehnoloģiju negatīvās izmaksas faktiski var būt pozitīvas tiem uzņēmumiem, kuriem ir augstas kapitāla izmaksas un/vai kuri gūst labumu no priekšrocībām, kas saistītas ar patērētās enerģijas cenu.

3.3.3. Izmaksu un ieguvumu analīze

Prognos et al. (2018) izmanto izmaksu un ieguvumu analīzi, lai novērtētu (valsts) izmaksas saistībā ar vides politiku, piemēram, ar politikām, kuru mērķis ir samazināt CO₂ emisijas, troksni un gaisa piesārņojumu, kā arī likumiem, kas uzliek par pienākumu Vācijas automašīnu īpašniekiem izmantot ziemas riepas gada 1. un 4. ceturksnī. Analīzes pamatā ir UBAS (*Porsch et al.*, 2015) izstrādātais *Excel* rīks.

Izmantojot šo aprēķina rīku, politikas veidotāji var kvalitatīvi un kvantitatīvi novērtēt vides politikas pasākumu ietekmi uz ekonomiku un vidi. Šo pieeju var izmantot, lai pastiprinātu politiskos argumentus vides politikas jomā.

Pieeja attiecas uz divām izmaksu un ieguvumu jomām:

- (1) vides kaitējuma kvantitatīvā noteikšana, kas samazinās, īstenojot vides politiku, piemēram, CO₂ emisiju samazināšana, ieviešot CO₂ nodokli;
- (2) ietekme uz ekonomiku kopumā, piemēram, ietekme uz nodarbinātību, uz izaugsmi (izmantojot izlaides tabulas), kā arī sekundārā ietekme, piemēram, valsts veselības aprūpes izdevumu samazināšanās (jo mazāk negadījumu, mazāks gaisa piesārņojums utt.).

Cenas konkrētu vides pasākumu ekonomisko izmaksu un ieguvumu aprēķināšanai nosaka, pamatojoties uz (ārējiem) pētījumiem un ieteikumiem. 2015. gadā, lai aprēķinātu ekonomiskos ieguvumus no politikas, kuras mērķis ir samazināt CO₂ emisijas, rīkam tika izmantotas šādas vides izmaksu vērtības: CO₂ – 80 EUR/t, CH₄ – 2000 EUR/t, N₂O – 23,840 EUR/t.

Tā kā šajā pieejā politikas pasākumi tiek pārvērsti valdības ekonomiskajās izmaksās un labumos (izmantojot vienu un to pašu vienību, šajā gadījumā – EUR), ir iespējams apkopot izmaksas un ieguvumus un salīdzināt neto vērtības ar līmeņatzīmēm. Piemēram, pētījumā izmantots iepriekš minētais ziemas riepu likums un secināts, ka neto ekonomiskā ietekme ir dominējoša. No vienas puses, likumos ir noteiktas papildu vides izmaksas, jo ir palielināta degvielas izmantošana un papildu gaisa piesārņojums (15,4 miljoni EUR). No otras puses, likums rada pozitīvu ekonomisku ietekmi, piemēram, papildu pievienoto vērtību minerāleļļu rūpniecībai, papildu nodarbinātību (un tādējādi sociālās apdrošināšanas iemaksas) un mazākas izmaksas veselībai, jo jaunas riepas izraisa mazāk autoavāriju (kopumā 238 miljoni EUR).

Kopumā izmaksu un ieguvumu pieeju var izmantot kā standarta instrumentu daudzus gadus, lai aprēķinātu ekonomiskās vērtības, piemēram, vides pakalpojumiem. Lai gan daži apgalvo, ka vides vērtības nevajadzētu izteikt naudas izteiksmē, šī metode palīdz novērtēt un salīdzināt jaunās politikas iniciatīvas, tādējādi palīdzot strukturēt ekonomiskās diskusijas un lēmumus. Tomēr nevajadzētu aizmirst metodes ierobežojumus, piemēram, pieņemto cenu augsto jutīgumu attiecībā uz precēm, kurām parasti nav pieejamas tirgus cenas, un robežas attiecībā uz citām apsveramām sekundārām sekām.

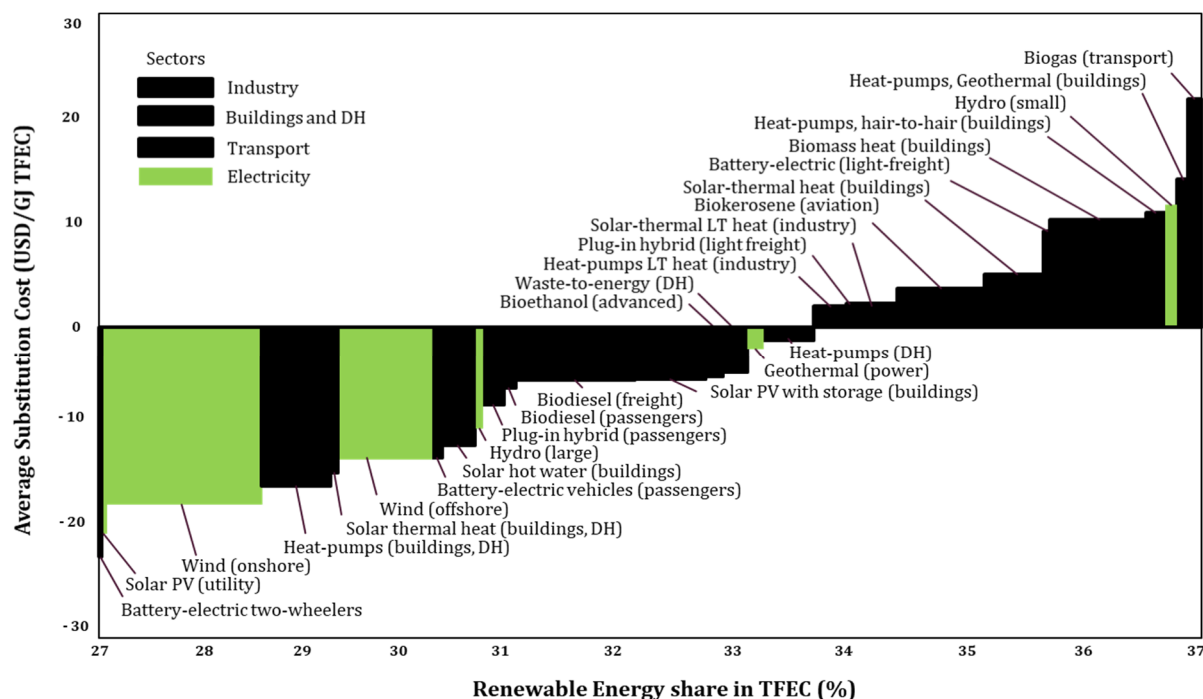
3.3.4. Diskusija

Tehnoloģiju aizvietošanas izmaksu līknes ir detalizēta un vienkārši lietojama metode, kas ļauj lietotājiem noteikt vismazākās izmaksas, lai sasniegtu mērķus klimata un enerģētikas jomā. Izmaksu rādītāji, jaudas un pieņēmumi par iespējam tehnoloģijas ieviest būtiski ietekmē investīciju vajadzību prognozes klimata un enerģētikas pārmaiņām. Šādi pieņēmumi var palielināt vai samazināt prognozēto investīciju nepieciešamību un attiecīgo tehnoloģiju ieviešanu.

Tehnoloģiju aizvietošanas izmaksu līknēm ir ierobežotas iespējas novērtēt un salīdzināt tehnoloģijas attiecībā uz SEG emisiju samazināšanas apjomiem. No vienas puses, SEG emisijas rodas no dažādām saimnieciskajām darbībām, no otras puses, ir SEG emisijas, kas rodas no darbībām (piemēram, lauksaimniecības), kuras nav saistītas ar enerģiju un kuras tādējādi neatspoguļojas tādās mērvienībās kā enerģijas galapatēriņš. SEG emisiju samazināšanas potenciāls šajās nozarēs, kuras bieži vien nav iekļautas literatūrā par nepieciešamo investīciju novērtējumu, var būt nozīmīgs.

Vēja enerģijas un elektroenerģijas nozares piemērs

Apskatot sauszemes vēja enerģijas ražošanu, ir iespējams noteikt elementus, kas veicinās investīciju vajadzību novērtējumu un ietekmēs sauszemes vēja tehnoloģiju ieviešanu.



4. attēls. REmap izmaksu piedāvājuma līkne Vācijai – enerģētikas sektors. Avots: IRENA (2015).

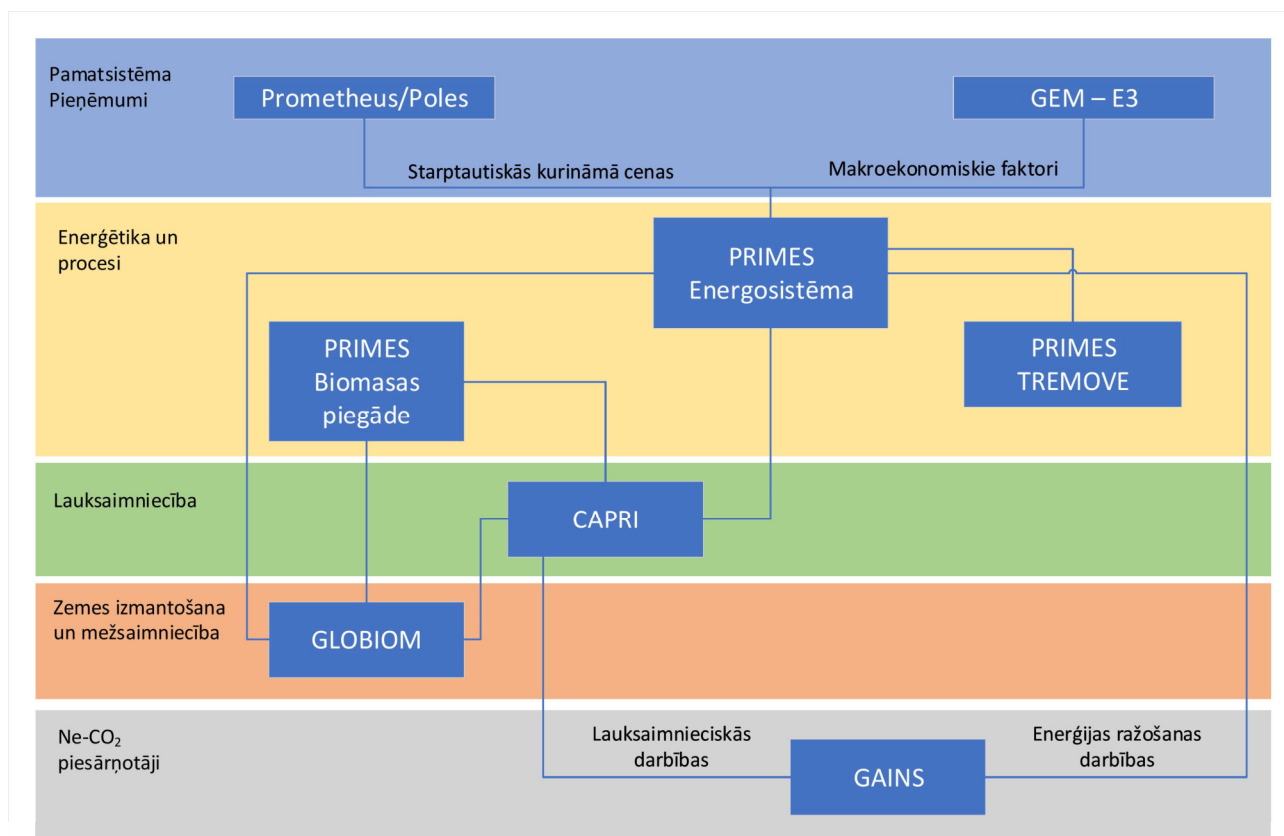
Piemēram Vācijas gadījumā saskaņā ar REmap scenāriju paredzams, ka uzstādītās jūras vēja stacijas jaudas kopējā vērtība 2030. gadā būs 72,3 GW un 160 TWh. Tas atspoguļo sauszemes vēja staciju uzstādes ātrumu (2,5 GW gadā), pateicoties pārstrādātajam Atjaunojamās enerģijas likumam (*Erneudamare-Energien-Gesetz*). Šai izvēlei ir liela ietekme uz aizstāšanas izmaksu līknes formu, pieņemot, ka lielāka sauszemes vēja staciju uzstādīšanas ātruma rezultātā būtu lielākas kopējās uzstādītās jaudas. Savukārt investīciju izmaksu aplēses būtu zemākas, ja tās būtu proporcionālas relatīvajām apguves tendencēm (tehnoloģiju apguves rādītāji ir izmaksu ietaupījumi, kas gūti proporcionāli ieviešanas līmenim). Tādējādi samazinātos kopējās investīcijas par sauszemes vēja enerģijas tehnoloģijām. Līdzīgi apsvērumi attiecas uz citiem modeļi iekļautajiem faktoriem, kā arī uz citām uz līknes izvietotajām tehnoloģijām, un tas nozīmē, ka investīciju vajadzību prognozes ir tiešā veidā atkarīgas no prognožu jutīguma pret modeļa pieņēmumiem.

Paralēli šiem apsvērumiem jāatzīmē, ka jūras vēja staciju enerģijas aizstāšanas izmaksas ir negatīvas, proti, ir lētāk ražot vienu enerģijas vienību sauszemes vēja enerģijas stacijā, nekā izmantojot tradicionālās elektrostacijas. Tomēr tas nenozīmē, ka iespējamās izmaksas, ieguldot jūras vēja enerģijas stacijā, arī ir negatīvas. Tādu pašu kapitāla apjomu var ieguldīt neierobežotā skaitā projektu, kuriem var būt augstākas iekšējās atdeves līkmes. Turklāt, ņemot vērā ieguldītāju veidu (piemēram, pašvaldības vai tērauda uzņēmumi), iespējamās izmaksas, kas saistītas ar ieguldījumiem jaunās zemu oglekļa emisiju tehnoloģijās, atšķiras, savukārt atšķirības un nenoteiktība par politikas regulējuma turpmāko attīstību (jo īpaši tajās politikas jomās, kas tieši saistītas ar atjaunojamās enerģijas atbalstu) var būtiski ietekmēt finansēšanas izmaksas.

3.4. Integrētas novērtēšanas un modelēšanas metodes

Iepriekšējie pētījumi neaplūko visus ar klimatu saistītos jautājumus. Tie neaptver lauksaimniecību, mežsaimniecību, zivsaimniecību un citas nozares, kurās arī izmanto kurināmo un elektroenerģiju, attiecīgi emitējot SEG emisijas. Viena no līdz šim visaptverošākajām analītiskajām sistēmām, kas endogēni modelē

lielu ekonomikas daļu, ir tā, kuru pieņēmusi Eiropas Komisija (2017), lai sagatavotu tās ietekmes novērtējumus. EK modelēšanas sistēma ir redzama 5. attēlā.



5. attēls. Eiropas Komisijas modelēšanas sistēma. Avots: EK (2017. gads).

Sistēma apvieno un savstarpēji saista desmit dažādus ekonomiskos modeļus. Eiropas enerģosistēmu modelē, izmantojot PRIMES¹⁶ modeli, kas sniedz prognozes par enerģijas pieprasījumu, piedāvājumu, cenām, ar nākotni saistītajām investīcijām, kā arī ar to saistītajām SEG emisijām. Šo modeļus var piemērot vai nu valsts līmenī, attiecinot uz atsevišķām Eiropas valstīm, vai arī attiecībā uz Eiropas enerģētikas nozari kopumā. PRIMES ir uzvedības mikroekonomiskais modelis, kas ietver inženierijas un enerģētikas sistēmas aspektus. Tas ir izstrādāts, lai nodrošinātu ilgtermiņa enerģijas sistēmu prognozes un sistēmu pārstrukturēšanu. Tādējādi tas ar cenu palīdzību līdzsvaro pieprasījumu un piedāvājumu un nosaka gan ar pieprasījumu, gan ar piedāvājumu saistītus lēmumus. Lai aprēķinātu augšupvērsto energoefektivitātes un atjaunojamo energoresursu potenciālu, PRIMES izmanto tādas datu bāzes kā DLR, GREN-X un vairākas citas. Turklāt SEG, kas nav CO₂, samazināšanas izmaksu līknes tiek ņemtas no GAINS, un enerģijas prognozes tiek novirzītas uz GAINS, lai novērtētu ietekmi uz atmosfēras piesārņojumu.

Turklāt PRIMES no GEM-E3 iegūst prognozes par nozaru, valsts un IKP saimnieciskajām darbībām. Enerģijas prognozes tiek nosūtītas arī no PRIMES uz GEM-E3. Tas ļauj veikt slēgta cikla makroekonomiskās ietekmes novērtējuma pētījumus. PRIMES ir saistīts arī ar globālajiem enerģijas modeļiem – PROMETHEUS jeb POLES –, kas sniedz prognozes par fosilā kurināmā cenām pasaulē, savukārt, lai novērtētu zemes izmantošanas un ZIZIM ietekmi, biomasas piegādes prognozes tiek nosūtītas CAPRI un GLOBIOM. Neraugoties uz modeļu precizitāti un sasaisti ar citiem modeļiem, pamata pieņēmumiem joprojām ir izšķiroša nozīme.

¹⁶ https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/analysis/models/docs/primes_model_2013-2014_en.pdf

4. Galvenie secinājumi, kas gūti, pārskatot pētījumus par klimata un enerģētikas investīciju vajadzībām Latvijā

4.1. Diskusija par Latvijā izmantotajiem modeļiem

Kopumā Latvijā veikts maz pētījumu par klimata un enerģētikas politikas ietekmi uz noteiktiem sektoriem un nepieciešamajām investīcijām. Līdz šim Latvijā veiktajos pētījumos un ziņojumos bieži izmantots optimizācijas modelis MARKAL (TIMES modeļa priekštecis), *EnergyPlan*, sistēmdinamikas modeļi (SD modeļi) un TIMES. Vērtējot enerģētikas politikas ietekmi uz tautsaimniecību, ir atsevišķi mēģinājumi izmantot arī ekonomikas vispārējā līdzsvara modeļus.

NEKP 2030 mērķi un arī attiecīgās investīcijas tika analizētas, izmantojot MARKAL modeli (*MARKAL-Latvia*, ar kuru strādā Fizikālās enerģētikas institūts). Galvenās modeļa paradigmas ir ideāls tirgus (*competitive partial equilibrium*). MARKAL ir matemātiskais modelis, kas dod iespēju aprakstīt enerģijas tirgu un atbilstoši uzdotajiem parametriem (pieņēmumiem par enerģijas un tehnoloģiju izmaksām, iespējām importēt/eksportēt, enerģijas pieprasījuma izmaiņām u. c.) sabalansē enerģijas pieprasījumu un piedāvājumu. Kombinējot enerģijas pieprasījumu ar piedāvājumu, ņemot vērā ierobežojošos faktorus, tai skaitā noteiktos mērķus (piemēram, AER daļa enerģijas galapatēriņā), tiek meklēta kombinācija ar vizuālākajām kopējām izmaksām. Atbilstoši NEKP ietvaros veiktajai analīzei kopējās investīcijas veido ap 8,2 miljardiem EUR turpmākajos 10 gados.

Minētā summa pa NEKP noteiktajiem rīcības virzieniem sadalīta šādi¹⁷:

- horizontālie pasākumi – 418,22 miljoni EUR;
- ēku energoefektivitātes uzlabošana – 1 730,04 miljoni EUR;
- energoefektivitātes uzlabošana un AER tehnoloģiju izmantošanas veicināšana siltumapgādē un aukstumapgādē, un rūpniecībā – 1663,43 miljoni EUR;
- neemisiju tehnoloģiju izmantošanas veicināšana elektroenerģijās ražošanā – 1057,05 miljoni EUR;
- ekonomiski pamatotas enerģijas pašražošanas un pašpatēriņa veicināšana – 2,03 miljoni EUR;
- energoefektivitātes uzlabošana, alternatīvo degvielu un AER tehnoloģiju izmantošanas veicināšana transportā – 988,77 miljoni EUR;
- enerģētiskā drošība, enerģētiskās atkarības mazināšana, pilnīga enerģijas tirgu integrācija un infrastruktūras modernizācija – 830,06 miljoni EUR;
- atkritumu un notekūdeņu apsaimniekošanas efektivitātes uzlabošana un SEG emisiju samazināšana – 595 miljoni EUR;
- resursu efektīva izmantošana un SEG emisiju samazināšana lauksaimniecībā – 718,15 miljoni EUR;
- ilgtspējīga resursu izmantošana un SEG emisiju samazināšana, un CO₂ piesaistes palielināšana zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības sektorā – 187,84 miljoni EUR;
- fluorēto SEG (F-gāzu) izmantojuma samazināšanas veicināšana – 43 tūkstoši EUR;

¹⁷ NEKP 2030 (7. nodaļa – Plāna finansiālā ietekme).

- nodokļu sistēmas “zaļināšana” un draudzīguma energoefektivitātei un AER tehnoloģijām uzlabošana – 25 tūkstoši EUR;
- sabiedrības informēšana, izglītošana un izpratnes veicināšana – 1,57 miljoni EUR.

Kā atzīmēts NEKP, tad, pamatojoties uz modelēšanas rezultātiem, tika noteikts, ka mērķa scenārija īstenošanai nepieciešamās papildu izmaksas, salīdzinot ar bāzes scenāriju, ir 190 miljoni EUR. Kā papildu izmaksas mērķa scenārijā noteikti 0,35 % no IKP¹⁸ Modelī aprēķinātās nepieciešamās investīcijas energoefektivitātes mērķu sasniegšanai uz 2030. gadu ir apmēram 4 miljardi EUR 2010. gada salīdzināmajās cenās. NEKP ir arī atzīmēts, ka, ņemot vērā kopējos ieguvumus, kas radušies no enerģijas patēriņa samazinājuma, tieši un netieši radītajām darba vietām, kopējā ietekme uz IKP būs pozitīva.

NEKP paredz, ka kopējās investīcijas veido gan ES struktūrfondu, gan valsts vai pašvaldību budžeta, gan finansējuma no emisijas kvotu izsolišanas, gan privātā finansējuma apjoms. Lai arī kopējais nepieciešamais finansējums ir noteikts, šobrīd nav zināms, kādā veidā šīs investīcijas varētu nodrošināt. Jāņem vērā, ka šobrīd vēl nav zināms arī ES kohēzijas politikas atbalsts. Lai arī šobrīd ir skaidrs, ka, lai sasniegtu mērķus, būtu ievērojami jāpalielina investīcijas, NEKP šobrīd nav informācijas par to, kādā veidā plānots piesaistīt privātās investīcijas.

Apskatot Latvijas energoapgādes sistēmu, izmantoti arī *EnergyPlan*¹⁹ un sistēmdinamikas modeļi²⁰, kas sniedz plašākas iespējas ņemt vērā noteiktus rīcības kavējumus laikā un tirgus dalībnieku uzvedību kopumā vai atsevišķās nozarēs. A. Blumbergas vadībā veiktajā pētījumā, vērtējot kumulatīvā enerģijas ietaupījuma, AER daļas un transporta AER daļu mērķus līdz 2030. gadam, kopējais nepieciešamais finansējums enerģijas galapatēriņa samazināšanai laika posmā no 2021. gada līdz 2030. gadam ir aptuveni 5,5 miljardi EUR, ņemot vērā, ka visi piedāvātie pasākumi tiek ieviesti kopā un viens otru papildinās.

Ir publicēti arī vairāki *ex-ante* ziņojumi, kuros apskatīta finanšu pietiekamība noteiktos sektoros, iekļaujot piemēram, energoefektivitāti dzīvojamo vai rūpniecības ēku sektorā. Lai arī šie pētījumi sniedz nepieciešamo investīciju novērtējumu, tie nav izstrādāti, lai saskaņotu iegūtos rezultātus ar NEKP 2030. gada mērķiem. Šie ziņojumi apskata nozares vajadzības kopumā un atbilstību 2020. gada energoefektivitātes mērķiem, piemēram, daudzdzīvokļu māju energoefektivitātes paaugstināšanai 2015. gadā²¹ nepieciešamais finansējums tika minēts ap 5,4 miljardiem EUR. Jāatzīmē, ka šobrīd jaunākās Ekonomikas ministrijas sagatavotās aplēses liecina, ka, lai pilnībā dekarbonizētu dzīvojamo fondu, līdz 2050. gadam būtu nepieciešams ap 19 miljardiem EUR²². Ziņojumā, kurā apskatīti energoservisa pakalpojumi dzīvojamo, publisko un ražošanas ēku sektorā, kā nepieciešamais investīciju daudzums šāda veida projektiem Latvijā minēti vismaz 8,49 miljardi EUR²³. *Ex-ante* ziņojumā par apstrādes rūpniecību minēts, ka uz apstrādes rūpniecību attiecināmā energoefektivitātes 2020. gada mērķa daļas sasniegšanai būtu nepieciešamas 40,5 miljonu EUR lielas²⁴ investīcijas. Pagaidām līdzīga veida novērtējumi nav veikti par 2030. gada mērķiem.

Ņemot vērā ziņojuma “Investīcijas energoefektivitātes un atjaunīgo energoresursu projektos Latvijā 2018. gadā, Rīgas Tehniskā universitāte (RTU), decembris 2019”²⁵ rezultātus, iespējams secināt, ka 2018. gadā ēku un uzņēmumu energoefektivitātes pasākumos investēti vismaz 190 miljoni EUR, savukārt AER investēti 41 miljons EUR (tostarp 21,1 miljons EUR investēti Daugavas HES), kopā veidojot 231 miljonu EUR lielas

¹⁸ NEKP 2030.

¹⁹ L. Udrene, G. Bazbauers, Role of Vehicle-to-grid Systems for Electric Load Shifting and Integration of Intermittent Sources in Latvian Power System, Energy Procedia, Volume 72, 2015, Pages 156–162, ISSN 1876-6102.

J. Porubova, G. Bazbauers, Analysis of Long-Term Plan for Energy Supply System for Latvia that is 100 % Based on the Use of Local Energy Resources January 2010, Environmental and Climate Technologies 4(1):82–90.

²⁰ A. Gravelsins, G. Bazbauers, A. Blumberga, D. Blumberga, S. Bolwig, A. Klitkou, P. D. Lund, Modelling energy production flexibility: system dynamics approach, Energy Procedia, Volume 147, 2018, Pages 503–509, ISSN 1876-6102.

²¹ Tirgus nepilnību izvērtējuma daudzdzīvokļu māju energoefektivitātes paaugstināšanas finanšu pieejamības jomā progresa ziņojums (2015).

²² <https://lvportals.lv/dienaskartiba/313987-aicina-pieskirt-maksimalo-valsts-atbalstu-energoefektivu-majoklu-iegadei-2020>.

²³ Energoservisa pakalpojumu uzņēmumu finanšu pieejamības *ex ante* izvērtējums (2017).

²⁴ Apstrādes rūpniecības nozares energoefektivitātes paaugstināšanas finanšu pieejamības *ex ante* izvērtējums (2016).

²⁵ https://videszinatne.rtu.lv/wp-content/uploads/2019/12/Klimata_investiciju_karte_Latvia_2019_LV_pub_compressed.pdf.

investīcijas. Salīdzinot ar investīcijām ēku atjaunošanas projektos, tad atjaunīgo energoresursu projektos investēts piecas reizes mazāk, turklāt puse no visām investīcijām AER saistīta ar "Latvenergo" veiktajām investīcijām.

Atbilstoši NEKP mērķiem energoefektivitātē un atjaunojamo energoresursu tehnoloģijās būtu jāinvestē ap 445 miljoniem EUR katru gadu turpmāko 10 gadu laikā, kas ir divas reizes vairāk, nekā investēts 2018. gadā.

Līdz šim ES fondu atbalstam ir visnozīmīgākā loma klimata projektu finansēšanā. Šis fonds galvenokārt izmantots grantu veidā, investējot valsts un pašvaldību ēku atjaunošanas projektos. Ņemot vērā lielo grantu īpatsvaru, privāto investīciju apjoms 2018. gadā bijis salīdzinoši neliels, veidojot 29 % no visām kopējām investīcijām, savukārt ES fondu investīcijas veidoja 42 %, valsts un pašvaldību līdzfinansējums 29 %, tai skaitā kvotu tirdzniecības ieņēmumi.

Aplūkojot tehnoloģijas un projektus, kādos investēts, var secināt, ka galvenokārt investēts ēku visaptverošā renovācijā un lielais vairums projektu saistīti ar valsts un pašvaldību ēku atjaunošanu (42 % no visām kopējām investīcijām), savukārt AER sektorā tie ir bijuši bioenerģijas un siltumtrašu nomainīšanas projekti. Ļoti maz ir projektu, kas ietveru enerģija ražošanu no citiem AER, enerģijas uzkrāšanu vai citus inovatīvus risinājumus. Energoefektivitātes projekti galvenokārt saistīti ar ēku renovāciju, sasniedzot minimālās energoefektivitātes prasības, un ļoti maz ir tādu projektu, kas būtu vērsti uz gandrīz nulles enerģijas ēkas līmeņa sasniegšanu vai AER tehnoloģiju integrēšanu ēkās.

Lai būtu iespējams sasniegt Latvijas klimata un enerģētikas mērķus, investīciju daudzums energoefektivitātes un atjaunojamo energoresursu projektos ir jādubulto.

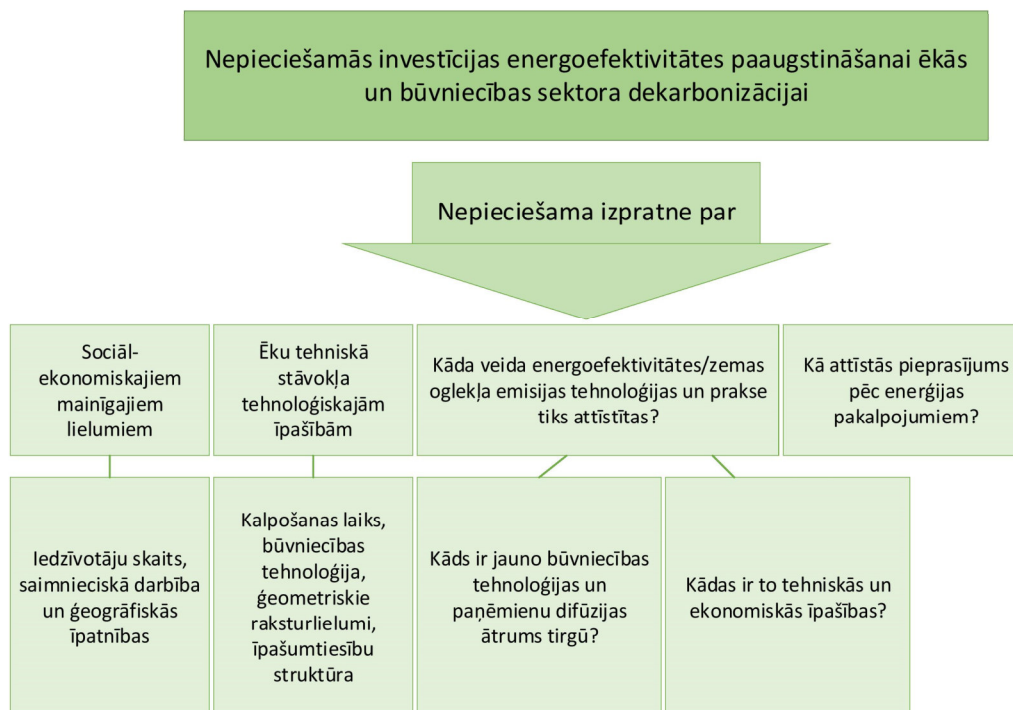
Tā kā gandrīz visi ES fondu līdzekļi enerģijas un klimata projektiem tiek izmantoti grantu veidā, tad investīcijām enerģijas un klimata projektos piemīt nevienmērīgs raksturs un nenoteiktība. To būtu iespējams novērst, veidojot patstāvīgus finanšu instrumentus, kas paredzēti klimata projektu attīstībai un finansēšanai. Privāto investīciju iesaiste ir kritiska NEKP 2030 mērķu izpildei.

Investīciju vajadzību novērtējumi ir būtiski ilgtermiņa lēmumu pieņemšanai gan valsts, gan privātajā sektorā. No politikas viedokļa tas ir īpaši būtiski, ja tirgus nepilnības un sabiedriskie labumi prasa politikas intervenci, lai panāktu sociāli optimālu investīciju līmeni un orientāciju, un ir nepieciešama atbilstoša aktīvu un uzņēmējdarbības modeļu pārveidošana, lai sasniegtu valsts vai nozaru līmenī noteiktos mērķus. Investīciju vajadzību novērtēšanas modeļi sniedz ieskatu, kas var būt noderīgs, lai motivētu, novērtētu un leģitimizētu attiecīgos lēmumus.

Tajā pašā laikā investīciju vajadzību novērtēšanas modeļiem bieži vien trūkst jutības analīzes, kas skaidrotu kā vieni vai otri pieņēmumi izmaina rezultātus. Tāpat būtu jāuzlabo scenāriju apraksti, kas ļautu izsekot konkrētajiem pieņēmumiem par plānotajām tehnoloģijām un energoefektivitātes pasākumiem.

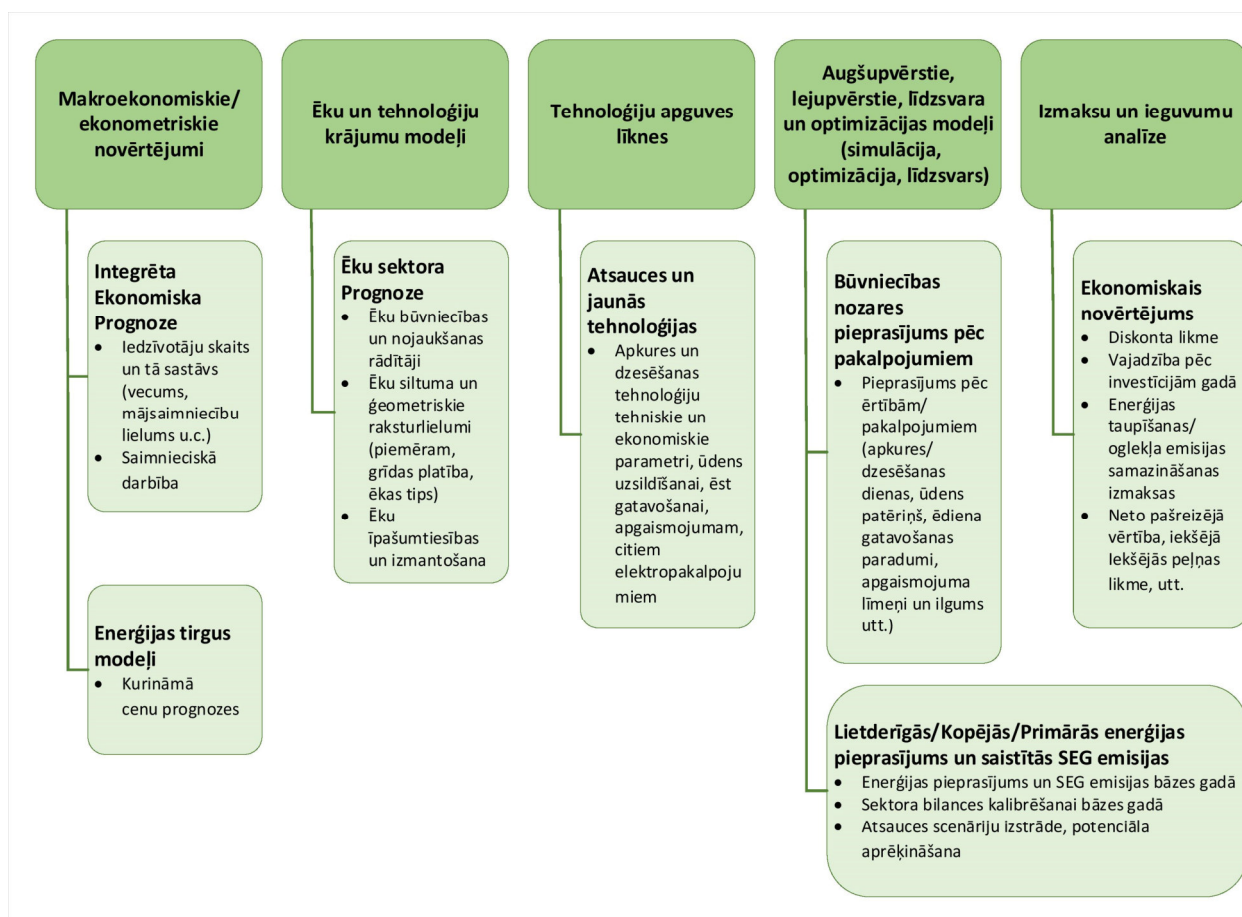
4.2. Kā analizēt ēku energoefektivitātes (un atjaunojamās enerģijas) investīciju vajadzības

Būvniecības sektors ir viens no lielākajiem enerģijas patērētājiem ES un Latvijā. Būtiskākie faktori, kas ļauj vērtēt nepieciešamo investīciju daudzumu ēkās, redzami 6. attēlā.



6. attēls. Pamatjautājumi investīciju vajadzību novērtēšanai būvniecības nozarē.

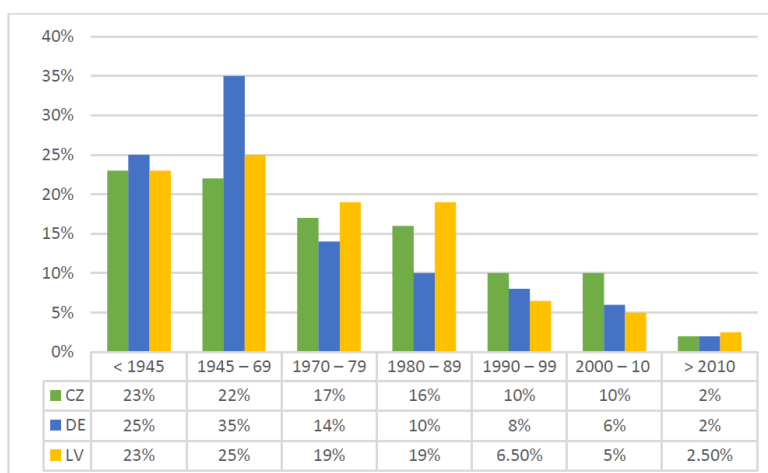
Enerģijas patēriņš ēkās galvenokārt atkarīgs no ēku tehniskajiem raksturlielumiem, ēku lietotāju paradumiem un klimatiskajiem apstākļiem. Tomēr ēku renovācijas tempi lielā mērā ir atkarīgi no projektu tehniski ekonomiskā pamatojuma, būvniecības uzņēmumu kapacitātes, darbaspēka un materiālu pieejamības. Lai novērtētu iespējamo energoefektivitātes potenciālu, ir svarīgi saprast esošo ēku tehniskos raksturlielumus un enerģijas patēriņu. Savukārt, lai novērtētu nepieciešamo investīciju daudzumu ēku energoefektivitātes projektos, ir jānovērtē arī iespējamo projektu skaits un tā izmaiņu dinamika, kas saistīts kā ar ekonomiskajiem, tā arī ar sociālajiem faktoriem (iedzīvotāju spēju savstarpēji sadarboties, pieņemt lēmumus, savstarpējo uzticēšanos u. c.). Kā rāda prakse, tad ēku atjaunošanas tempi ir nevienmērīgi un laikā mainīgi, ko izraisa gan iespējas projektus finansēt, gan arī iespējas organizēt ēku atjaunošanu kā tādu. Ēku atjaunošanas process ir dinamisks un laikā mainīgs, kas lielākai daļai modelēšanas programmu rada grūtības novērtēt iespējamo investīciju un SEG emisiju daudzumu. Analizējot līdz šim veiktos pētījumus, iespējams secināt, ka modeļus, kas izmantoti būvniecības sektora dekarbonizācijai, iespējams iedalīt vairākos veidos.



7. attēls. Apakšējo modeļu ievades parametri būvniecības nozarē.

Būvniecības nozares efektivitātes potenciāls

Ir aprēķināts, ka gandrīz 97 % ēku, kas Eiropā būvētas līdz 2010. gadam, ir jāveic daļēja vai padziļināta renovācija, lai tās atbilstu ilgtermiņa stratēģijas mērķiem (ECOFYS, 2012). 8. attēlā redzams dzīvojamo ēku sadalījums Latvijā, Čehijā un Vācijā pēc to vecuma (EK, 2018).



8. attēls. Dzīvojamo ēku sektora iedalījums pēc vecuma. Avots: Eiropas Komisija, 2018.

Kā redzams, Latvijā, līdzīgi kā Čehijā un Vācijā, liela daļa ēku celta pirms 1990. gada un lielākajai daļai no tām ir nepieciešams visaptveroša renovācija, uzlabojot tehnisko un energoefektivitātes līmeni.

Parasti lielāko daļu ēkās patērētās enerģijas izmanto ēkas apkurei un karstā ūdens sagatavošanai. Publisko ēku gadījumā nozīmīgu enerģijas daļu izmanto arī ēku dzesēšanai, ventilācijai, apgaismojumam un biroja iekārtu darbināšanai.

Kā jau minēts, ēkas enerģijas galapatēriņu (FE) iegūst, summējot enerģijas galapatēriņu telpu apsildei, dzesēšanai, ūdens sildīšanai, ierīcēm, apgaismojumam un ēdiena gatavošanas tehnoloģijām.

$$FE = FE_{\text{telpu apsildei \& dzesēšanai}} + FE_{\text{ūdens sildīšanai}} + FE_{\text{iekārtas \& apgaismojums}} + FE_{\text{ēdiena gatavošanai}}$$

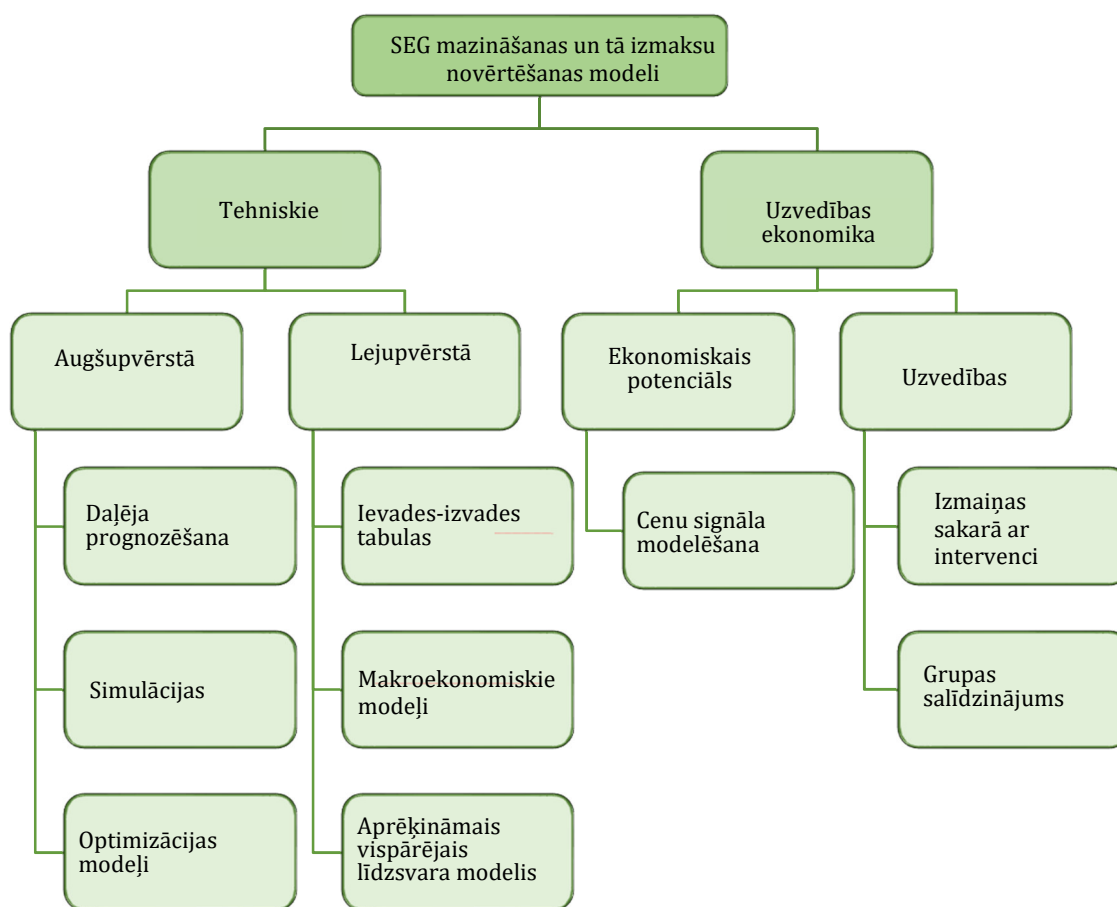
Runājot par vienu konkrētu pakalpojumu, piemēram, telpu apsildi, vieglāk ir noteikt elementus, kas enerģijas galapatēriņu ietekmē visvairāk. Kopumā ēkas veids (ēku apkure) un uzstādīto tehnoloģiju efektivitāte ir galvenie faktori, kas nosaka ēkas enerģijas pieprasījumu.

Ēka pastāvīgi uzņem un/vai zaudē siltumu, un, lai nodrošinātu siltuma komfortu, temperatūra ir jā saglabā vismaz tādā līmenī, kādu iesaka valsts standarti. Telpu apsildes enerģijas patēriņa precīza prognoze ir balstīta uz enerģijas apjoma noteikšanu, kas nepieciešams, lai kompensētu siltuma zudumus, ko rada tās pārvade un infiltrācija, un prognozēto saules siltuma pieaugumu, cilvēka ķermeņa un iekārtām.

Enerģija, kas vajadzīga, lai kompensētu siltuma zudumus tā pārvadīšanas dēļ, ir atkarīga no vairākiem faktoriem. Tie ietver ēkas sienu, durvju un logu izolācijas īpašības, ēkas izmērus un formu un starpību starp iekšējo un ārējo temperatūru (kas mainās atkarībā no gadalaika un ģeogrāfiskajām koordinātēm).

Ir veikti vairāki pētījumi, lai salīdzinātu dažādas aizstāšanas iespējas, novērtējot šādu tehnoloģiju integrācijas potenciālu un izmaksas. Nākamajā sadaļā aplūkoti interesanti Vācijā veikti gadījumu pētījumi.

Modeļi investīciju vajadzību novērtēšanai būvniecības nozarē



9. attēls. SEG mazināšanas un tās izmaksu novērtēšanas modeļi.

Kopumā izmantotos modeļus iespējams iedalīt tādos, kuri vērtē noteiktu tehnoloģiju izmantošanu, un tādos, kuri prognozē tirgus dalībnieku uzvedību. Parasti izšķir augšupvērsto un lejupvērsto pieeju. Analizējot ēku sektoru, parasti izmanto augšupvērsto pieeju, kas ļauj analizēt noteiktus tipveida atjaunošanas risinājumus un/vai tehnoloģijas, pēc tam attiecinot šos risinājumus uz visu nozari kopumā. Tas iespējams, ja pietiekami precīzi ir zināma esošo ēku tipoloģija un raksturojošie lielumi. Lejupvērstā metode, ko gan izmanto krietni retāk, parasti raksturo sakarību starp makroekonomiskajiem rādītājiem (iedzīvotāju skaita izmaiņām, dzīvojamo platību uz vienu cilvēku, enerģijas cenu izmaiņām, būvniecības kapacitāti u. c.). Cita tipa modelēšanas pieejas ir saistītas ar tirgus dalībnieku uzvedību, kas ietver šķēršļu un iespējamo politikas instrumentu analīzi, sākot no informācijas kampaņām un beidzot ar pasākumiem, kas var atvieglot tehniskās dokumentācijas sagatavošanu, tā samazinot neērtību izmaksas. Pie šāda jauna tipa modeļiem pieskaitāmi arī sistēmdinamikas modeļi, kas ļauj ņemt vērā arī atgriezeniskās saites un palīdz daudz labāk aprakstīt sistēmas dinamisko raksturu.

4.2.1. Kam jāpievērš uzmanība

Kā iepriekš minēts, lai novērtētu būvniecības sektorā nepieciešamās investīcijas, ir pieejams plašs modeļu klāsts. Katrs modelis koncentrējas uz konkrētiem faktoriem, tā rezultātus ietekmē ievaddati un pieņēmumi. Pieņēmumiem par atjaunošanas projektu finansējuma diskonta un procentu likmēm, ir izšķiroša nozīme galīgo (nākotnes) investīciju izmaksu noteikšanā, turpretim enerģijas cenu prognozes lielā mērā noteiks projektu ekonomiskos rādītājus. Tāpat svarīgas ir būvniecības materiālu, tehnoloģiju un darbaspēka izmaksas.

1. Diskonta likme

Diskonta likme, proti, likme, ko izmanto, lai diskontētu nākotnes naudas plūsmu, ir nepieciešama, lai aprēķinātu neto pašreizējo vērtību. Tā kā ēku atjaunošana ir saistīta ar ilgtermiņa investīcijām un ilgiem aprēķina periodiem (20 un 30 gadi), tad iegūtie rezultāti ir ļoti jutīgi pat pret nelielām diskonta likmju izmaiņām. Augstākas diskonta likmes negatīvi ietekmē pašreizējo neto vērtību. Diskonta likmes dažādās valstīs atšķiras, jo tās atspoguļo risku, ko rada kapitāla ieguldīšana konkrētā valstī un projektos. Projektiem, kas uzskatāmi par mazāk riskantiem, būs zemākas kapitāla izmaksas. Energoefektivitātes investīciju novērtējumi ir īpaši jutīgi arī attiecībā pret aprēķinos izmantotajām procentu likmēm, ņemot vērā parasti lielos ieguldījumus un garos aizņemšanās periodus.

2. Enerģijas cenas

Enerģijas cena ir būtisks faktors, kas nosaka izmaksu efektivitāti. Jo augstākas ir prognozētās enerģijas cenas, jo ekonomiski pamatotāka ir ēku atjaunošana. Ja enerģijas cena ir zemas, enerģijas ietaupījumi nav pietiekami lieli, lai stimulētu energoefektivitātes pasākumu ieviešanu. Tāpēc izmantotie modeļi ir ārkārtīgi jutīgi pret enerģijas cenu izmaiņām.

3. Tehnoloģiju izvēle

Tā kā pastāv vairākas tehnoloģijas, kuras var izmantot vienam un tam pašam pakalpojumam, izvēlēta tehnoloģija ietekmēs modeļa rezultātus. Turklāt tehnoloģijas nepārtraukti attīstās (piemēram, ventilāciju rekuperācijas iekārtu, siltumizolācijas, logu un AER tehnoloģiju efektivitāte). Pieņēmumi par jaunu tehnoloģiju izmantošanas difūziju tirgū un to izmaksām būtiski ietekmē iegūtos rezultātus.

4. Tehnoloģiju un darbaspēka izmaksas

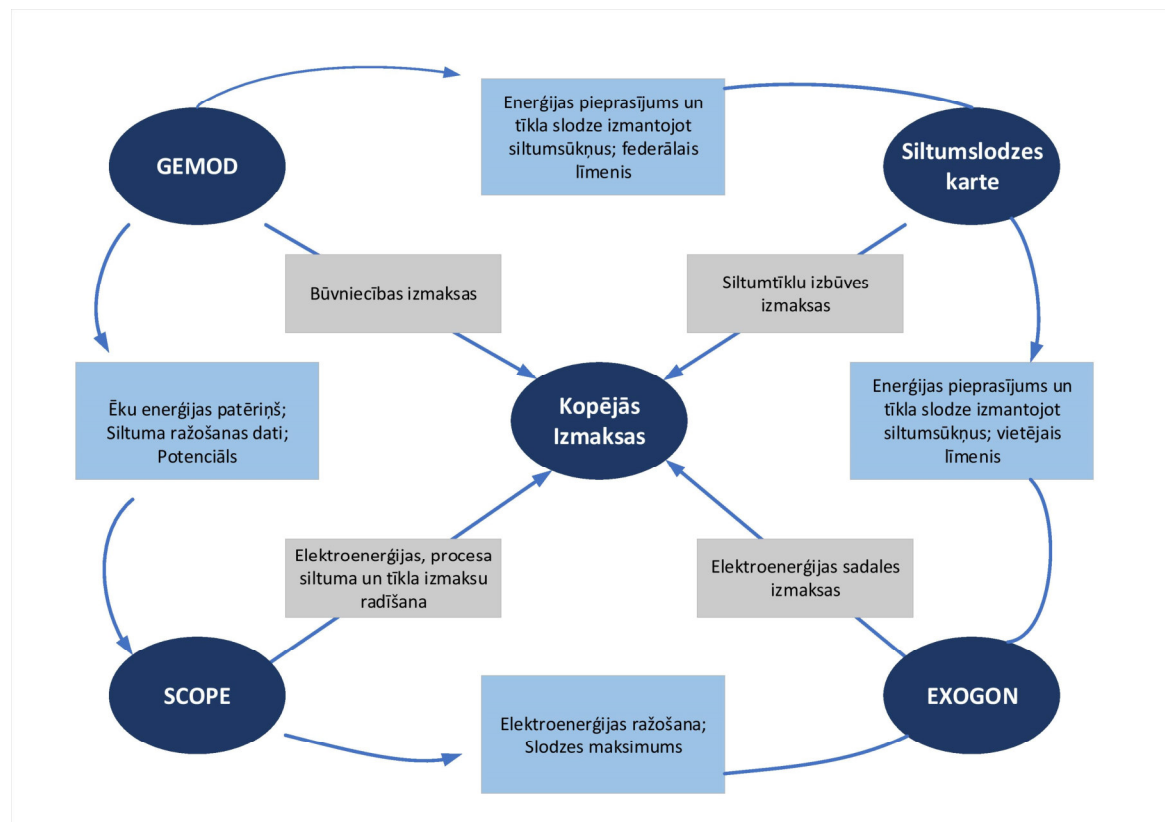
Tehnoloģiju, būvmateriālu un darbaspēka izmaksas ir galvenie pieņēmumi investīciju novērtējumos būvniecības sektorā. Būvniecība ir nozare, kurā darbaspēka izmaksas veido lielu daļu no kopējām izmaksām, turklāt šīs izmaksas var salīdzinoši ātri mainīties. Piemēram, Vācijā PV paneļu uzstādīšanas izmaksu lielāko daļu pašlaik veido darbaspēka izmaksas, savukārt pašas tehnoloģijas PV moduļu izmaksas ir ievērojami samazinājušās.

5. Atsauces scenārija definēšana

Pētījumi parasti ietver bāzes scenāriju (vai atsauces scenāriju) un vienu vai vairākus mazoglekļa/energoefektīvos scenārijus, kurus raksturo dažādas tehnoloģiju un politikas kombinācijas. Ir svarīgi nošķirt rezultātu atšķirības, kas, no vienas puses, izriet no dažādiem pieņēmumiem, bet, no otras puses, no dažādiem scenārijiem (piemēram, energoefektivitātes stratēģija salīdzinājumā ar atjaunojamās enerģijas paplašināšanas stratēģiju). Tomēr, tā kā modeļa rezultāti parasti ir norādīti kā papildu izmaksas atsauces scenārijam, tad pieņēmumi par atsauces scenāriji ir ļoti būtiski.

Neatkarīgi no izmantotā modelēšana veida ļoti būtiski ir veikt jutīguma analīzi, lai novērtētu ievaddatu un veikto pieņēmumu ietekmi uz iegūtajiem rezultātiem. Jutīguma analīzi būtu vēlams veikt visiem iepriekš minētajiem faktoriem, tā ļaujot labāk izprast iegūtos rezultātus.

Ļoti interesanta pieeja izmantota pētījumā “Value of Energy Efficiency” (IFEU et al., 2018), kura ietvaros analizēta būvniecības nozare kopumā. Autori pētījumā apvienojuši četrus dažādus modeļus (kā parādīts 10. attēlā).



10. attēls. Modeļa izveide “Energoeffektivitātes vērtība”, vienkāršots no IFEU et al. (2018).

Modelis kombinē enerģijas galapatēriņu ar enerģijas ražošanas izmaksām.²⁶

4.3. Investīcijas atjaunīgo energoresursu projektos

Lai novērtētu, cik lielā mērā enerģijas ražošanu var dekarbonizēt, ir svarīgi ņemt vērā faktorus, kas ietekmē atjaunojamās enerģijas izmantošanas iespējas, piemēram, enerģijas pārvades iespējas, iespējas pieslēgties tīklam, tuvums līdz patērētājam, resursu pieejamība (biomasa, vējš, saule). Kā citi faktori jāmin, piemēram, elektroenerģijas īstermiņa un ilgtermiņa tirdzniecības cenas, pieprasījuma un piedāvājuma mijiedarbība.

Matemātiskie modeļi

Matemātiskais modelis ir vienādojumu kopums, kas vienkāršotā formā attēlo reālās pasaules attiecības (cēloņsakarību, korelāciju). Modelis ļauj tuvināti analizēt pētāmo parādību, vienlaikus atmetot lieko. Tiek modelētas tikai tās attiecības, kas attiecas uz pētāmajiem procesiem atbilstoši pētījuma mērķim.

²⁶ IWU datubāze (2012. gads), Mājokļu un vides institūts.

Turpmāk īsi tiks aplūkoti elektroenerģijas nozares modeļi un to iespējamās atšķirības atbilstoši trim galvenajām dimensijām: fokuss, darbības joma un detalizācijas pakāpe²⁷ Elektroapgādes sistēmu modeļus iespējams iedalīt:

1. slodžu optimizācijas modeļos – elektroapgādes sistēmu analīze, sistēmas drošības un slodžu darbības optimizācijas uzdevumi;
2. tīkla stabilitātes modeļos – elektroapgādes sistēmu stabilitātes analīze;
3. energosistēmu modeļos – elektroenerģijas pieprasījuma un piedāvājuma modeļi, kurināmā cenu un oglekļa emisiju analīze;
4. elektroenerģijas tirgus modeļos – koncentrēšanās uz elektroenerģijas vairumtirdzniecības cenām, pārvadi un tirdzniecību.

Papildus būtu iespējams izdalīt modeļus, ko izmanto siltumapgādes sistēmu modelēšanai.

Otrs modeļu iedalījuma veids ir pēc to **darbības jomas**. Modeļi atšķiras pēc to aptverto sektoru skaita, koncentrējoties, piemēram, uz elektroenerģijas nozari, elektroenerģiju un citām nozarēm, piemēram, ēkām, transportu, rūpniecību vai visu ekonomiku. Turklāt modeļi var atšķirties pēc iespējam aprakstīt dažādu valstu vai, piemēram, elektroenerģijas tirdzniecības apgabalus (ģeogrāfiskais pārklājums), un tie var atšķirties pēc to spējas analizēt datus laikā (t. i., minūtes, stundas, dienas, gadi).

Modeļus atšķir arī to **detalizācijas pakāpe**, t. i., izmantotās datu rindas, kas nepieciešamas modeļu darbināšanai, kā arī atšķiras rezultāti, ko iespējams iegūt reprezentācijas nolūkos. Tāpat analīzes nolūkos atsevišķi iespējams izdalīt atsevišķas stacijas, sektorus vai tehnoloģijas. Piemēram, siltumsūkņu izmantošanas gadījumā to elektroenerģijas patēriņš lielā mērā būs atkarīgs no ēku siltumslodzes grafika.

Bieži nepieciešams kompromiss starp modeļa darbības jomu un detalizācijas pakāpi. Liela tvēruma un augstas detalizācijas pakāpes analīze ir ļoti dārga. Šāda veida modelēšanai ir nepieciešams liels ievaddatu apjoms. Dārga ir arī pašu ievaddatu vākšana, verifikācija un palielinās kļūdu iespējamība³⁴. Tomēr ļoti vienkāršoti modeļi nespēj ņemt vērā sasaisti ar citiem sektoriem, vai tie parasti neņem vērā dinamiskos efektus, kas ir ļoti būtiski enerģijas pieprasījuma un piedāvājuma gadījumā. Tādējādi modeļa izvēle ir atkarīga no analīzes mērķa.

Jo lielāka ir koncentrēšanās uz elektroenerģijas ražošanu, sistēmas ekspluatāciju un ar to saistītajām tehniskajām detaļām, jo lielāka ir detalizācija pakāpe un vajadzīgi īsāki modelēšana laika nogriežņi (ik stundu vai ik minūti). Toties, jo lielāka ir koncentrēšanās uz elektroenerģijas nozari un enerģētikas sistēmas ilgtermiņa attīstību, jo vairāk jāņem vērā makroekonomiskie faktori.

Makroekonomiskie
modeļi

Energosistēmas
modeļi

Investīcijas
spēkstacijās

Elektrības
ražošana

Tīkla modeļi

²⁷ Vēl viens svarīgs nodalīšanas elements ir modeļa risinājuma metode, bet tam būtu nepieciešama tehniskāka diskusija. Īsumā var minēt trīs galvenās metodes: optimizācija (kur viena objektīva funkcija ir vai nu maksimāla, vai minimāla), simulācija (mehāniska) un daudzkārtējas optimizācijas problēmas (kas ietver atsevišķu lēmumu pieņēmēju nepārprotamu attēlojumu).

<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomiskās aktivitātes • Populācija • (..) 	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrības pieprasījums • Elektrības piedāvājums • Nozaru sasaistišana • Degvielas tirgi 	<ul style="list-style-type: none"> • Investīcijas un ekspluatācijas pārtraukšanas potenciāls • Optimālās jaudas apvienojums 	<ul style="list-style-type: none"> • Vienības saistības un nosūtīšana • Zonālās jaudas cenas • Elektroenerģijas plūsmas 	<ul style="list-style-type: none"> • Vietējās robežcenas • Slodzes plūsmas • Sistēmas drošība un stabilitāte
---	---	---	--	---

11. attēls. Elektroapgādes nozaru modeļu parametri.

Kā parādīts 11. attēlā, operatīvos lēmumus pieņem, izmantojot dinamiskos un statiskos **tīkla modeļus** (augsta precizitātes), kas ļauj novērtēt sistēmas stabilitāti, drošību, slodzes plūsmas un ekonomisko nosūtīšanu. Tīkla modeļus papildina **elektroenerģijas ražošanas modeļi** (vai elektroenerģijas ražošanas modeļi), kas ļauj ņemt vērā spēkstaciju vienības saistības un nosūtīšanu, elektroenerģijas cenas un pārrobežu enerģijas apmaiņu.

Plašākā skatā **elektroenerģijas tirgus modeļi** ļauj modelēt arī lēmumus par ieguldījumiem (investīcijas spēkstacijās, skatīt 11. attēlu), kas var noteikt optimālo jaudas kombināciju. **Energosistēmu modeļi** ņem vērā elektroenerģijas pieprasījumu, pieprasījuma puses izmaiņas, novērtē starpnozaru saiknes un sektoru sasaisti. Visbeidzot, **makroekonomiskie vai integrētie novērtēšanas modeļi** aptver visu ekonomiku, var ietvert SEG emisiju novērtējumus un degvielas tirgus. Tomēr, zinot konkrētas ražošanas darbības emisijas faktoru, var novērtēt saistītās SEG emisijas.

Vēl vienu klasifikāciju piedāvā *Ventosa et al.* (2005). Tajā elektroenerģijas tirgus modeļi iedalīti trijās kategorijās: optimizācijas modeļi, līdzsvara modeļi un simulācijas modeļi. Pirmā kategorija – optimizācijas modeļi – koncentrējas uz peļņas maksimizācijas problēmu vienotiem uzņēmumiem, kas konkurē tirgū. Šajos modeļos peļņas funkcija ir maksimāli pakļauta tehniskiem un ekonomiskiem ierobežojumiem. Savukārt līdzsvara un simulācijas modeļi atspoguļo visu tirgus dalībnieku rīcību. Tie ļauj noteikt vienlaicīgu peļņas maksimizācijas līdzsvaru uzņēmumiem, kas piedalās tirgū. Īpaši piemēroti līdzsvara modeļi ir ilgtermiņa plānošanai un tirgus varas analīzei. Optimizācijas modeļi toties ir piemērotāki ikdienas cenu līkņu veidošanai un atsevišķu uzņēmumu darbības lēmumu pieņemšanai.

Pēc operatīvajiem lēmumiem enerģijas ražošanas modelēšana ir pamats, lai novērtētu lēmumus par investīcijām un spēkstaciju ekspluatācijas pārtraukšanu un energosistēmas jaudas kombināciju.

Elektroenerģijas tirgus modeļi ir būtiski, lai sniegtu informāciju, kas vajadzīga investīciju rentabilitātes novērtējumam. Lai sasniegtu šo mērķi, tie parasti papildina investīciju modeļus.

Spēkstaciju rentabilitāte lielā mērā ir atkarīga no elektroenerģijas cenām. Lai pieņemtu lēmumus par ieguldījumiem, projektu attīstītāji raugās uz cenām, kas tirgū varētu dominēt no spēkstaciju būvniecības sākuma līdz spēkstacijas darbības beigām. Dažādu tehnoloģiju kalpošanas ilgums ir mainīgs. Vācijā neliela investīciju daļa pašlaik ir balstīta uz ilgtermiņa elektroenerģijas pirkšanas līgumiem, un nākotnē enerģijas tirgi ir likvidi ne vairāk kā piecus gadus. Tāpēc aplēses lielā mērā ir balstītas uz sagaidāmajām elektroenerģijas cenām, kas izriet no elektroenerģijas tirgus modeļiem.

Kad elektroenerģijas cenu prognozes ir ņemtas vērā investīciju modeļos kopā ar ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksām (E&U izmaksas) un elektroenerģijas ražošanas aktīvas darbības mainīgajām izmaksām, var modelēt nākotnes paredzamās naudas plūsmas. Parasti to veic, izmantojot neto pašreizējās vērtības (NPV) aprēķinus.

Enerģijas tirgus ilgtermiņa modeļi bieži vien nav pietiekami, lai aprēķinātu atjaunojamās enerģijas projektu ieņēmumu plūsmas. Īpaša uzmanība jāpievērš ieguldījumiem atjaunojamās enerģijas spēkstacijās. Vējš un saules enerģija darbojas, kad vējš pūš un spīd saule. Mainoties laikapstākļiem, mainās jauda, un jaudu ir grūtāk paredzēt. Lai analizētu enerģijas piegādi un vajadzīgo elastību, modeļiem ir jāatspoguļo šī informācija un jāmodelē īstermiņa izmaiņas, piemēram, enerģijas piegāde stundā un pieprasījums.

Atjaunojamo enerģijas avotu integrēšanu enerģijas tirgos nevar attēlot ar plaši lietotiem optimizācijas modeļiem (*De Jonghe, 2011; Deane, 2012*). Šādi instrumenti neveido vajadzību pēc lielākas enerģijas sistēmu elastības, ko rada atkārtota izmantošana, un nespēj pareizi novērtēt atjaunojamo enerģijas avotu saražotās elektroenerģijas nākotnes vērtību, jo tiem trūkst augstas pagaidu izšķirtspējas. Īstermiņa pieprasījuma un piedāvājuma dinamika ir svarīga, lai būtu optimāli lēmumi par atjaunojamās enerģijas nosūtīšanu un ieguldījumiem (Velšs, 2014). Lai modelētu atjaunojamās enerģijas izmantošanu, ir nepieciešama lielāka detalizācija attiecībā uz lielu īslaicīgu izšķirtspēju un darbības ierobežojumu aptvērumu.

Energosistēmas modeļi

Energosistēmu modeļi parāda elektroenerģijas ražošanas daudzumu, kvalitāti un cenu noteiktā laikā. Energosistēmu modeļiem ir galvenā nozīme valsts investīciju vajadzību novērtēšanā. Tomēr tie ir jāintegrē enerģijas tirgus modeļos un pieprasījuma puses nozaru modeļos, lai noteiktu tehnoloģijas, kas tiks izmantotas elektroenerģijas piegādei tirgum. Faktori, kas jāņem vērā, novērtējot investīciju vajadzības enerģētikas nozarē, ir plaši, tāpēc izšķiroša nozīme ir jutīguma analīzei. Tas jo īpaši attiecas uz Vācijas elektroenerģijas nozarēm, kurās atjaunojamo energoresursu izmantošana palielinās un tām vēl vairāk jāpalielinās, lai sasniegtu mērķus klimata un enerģētikas jomā. Lai novērtētu AER rentabilitāti, ļoti svarīgi ir pat tādi elementi kā tīkla līdzsvars, drošība un elastības modelēšana.

4.3.1. Kam pievērst uzmanību

Augstāka diskonta likme samazina iekšējo peļņas normu, jo īpaši projektiem, kuriem nepieciešamas lielas sākotnējās investīcijas, piemēram, atjaunojamās enerģijas projektiem. Attiecībā uz atsaucē scenārija nozīmīgumu šajā kontekstā liela nozīme ir pieņēmumiem par sociālajām normām un politikas mērķiem, piemēram, Vācijas pakāpeniskajai ogļu ražošanas samazināšanai vai starptautiskajiem centieniem klimata pārmaiņu apkarošanā.

Papildus šiem faktoriem elektroenerģijas nozares pētījumi parāda rezultātus, kas īpaši jutīgi ir pret enerģijas cenu un elektroenerģijas pieprasījumu, kas ir raksturoti turpmāk.

1. Enerģijas cena

Enerģijas cena ir būtisks faktors, kas nosaka fosilā kurināmā aizstāšanu ar AER tehnoloģijām. Jo augstākas ir prognozētās fosilā kurināmā cenas, jo ienesīgāki ir ieguldījumi atjaunojamajā enerģijā. Valstīm, kas importē fosilo kurināmo, ir vēl lielāks spiediens ieguldīt AER tehnoloģijās, lai mazinātu tirdzniecības bilanci. Ja ogļu un gāzes cena ir zema, stimuli ieguldīt AER varētu nebūt pietiekami, lai atbalstītu pāreju. Tāpēc modeļi ir jutīgi pret enerģijas cenu izmaiņām.

Oglekļa cenas, kas ir vēl viens svarīgs šīs sadaļas faktors, piemēram, emisijas kvotu cena saskaņā ar ES emisijas kvotu tirdzniecības sistēmu, ir svarīgas, jo tās palielina uz fosilo kurināmo balstītas enerģijas ražošanas izmaksas. Tās arī palielina elektroenerģijas cenu, ja gāzes vai ogļu elektrostacijas nodrošina elektroenerģijas marginālo vienību. Turklāt tās netieši ietekmē arī elektroenerģijas cenu, kas noteikta nākotnes elektroenerģijas pirkšanas kontaktos, t. i., starptirdzniecībā, kur veic lielāko daļu darījumu, jo ietekmē tirgus dalībnieku vispārējās cenu prognozes.

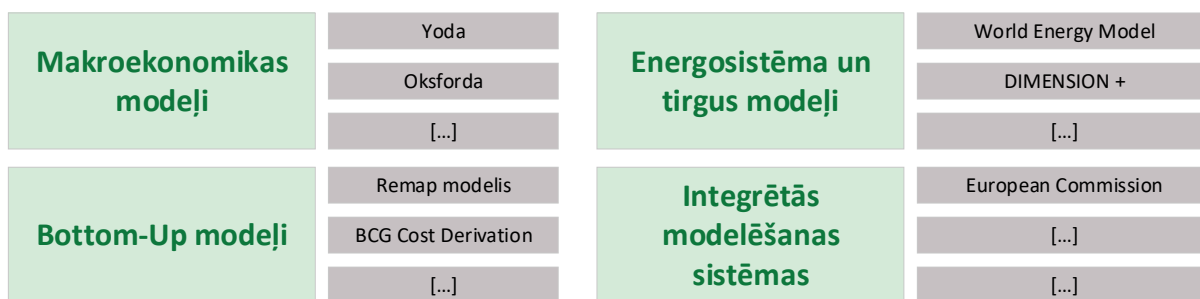
2. Elektroenerģijas pieprasījums

Elektroenerģijas pieprasījumam ir izšķiroša nozīme, lai prognozētu pieprasījumu pēc atjaunojamās enerģijas piegādes. Paredzams, ka pieprasījuma puses izmaiņas, ko izraisa nozaru sasaiste, energoefektivitātes pasākumi un pieprasījuma reakcijas tehnoloģijas, nākotnē veidos pieprasījuma līknes. Īpaša uzmanība jāpievērš attīstības tendencēm pieprasījuma pusē, kuras jāmodelē un jāatkaro ar piedāvājuma līknēm. Svarīga ir arī citu nozaru attīstība, piemēram, transporta, siltuma un rūpniecības nozares. Piemēram, ja elektromobiļu lietojums paplašinās vai ja celtniecības nozarē tiek veikta lielāka elektrifikācija, elektroenerģijas pieprasījums strauji pieaug.

Iepriekš minētie faktori, protams, katru modeli neietekmē vienādi. Piemēram, elektroenerģijas tirgus modeļi ir īpaši jutīgi pret pieprasījuma aplēsēm un tehnoloģiju izmaksām. Ja to papildina investīciju modeļi, pēkšņi kļūst svarīga arī diskonta likmju nozīme.

5. Diskusija un secinājumi

Nepieciešamo investīciju daudzums lielā mērā saistīts ar rezultātiem, kas iegūti, vērtējot kā makroekonomiskos faktoros (IKP izmaiņas, iedzīvotāju skaita izmaiņas u.c.), tā arī atsevišķu sektoru piemēram, enerģētikas, transporta, lauksaimniecības un citu sektoru, iespējamo attīstības scenārijus, plānotos projektus un izmantotās tehnoloģijas. Ziņojumā sniegts pārskats par ES un citās valstīs izmantotajiem modeļiem un pieejām, vērtējot nepieciešamās investīcijas.



12. attēls Ziņojumā apskatītie modeļi

Vērtējot zinātniskās publikācijas, izmantoto modeļu aprakstus un ziņojumos iegūtos rezultātus, ir izdarāmi vairāki būtiski secinājumi.

1. Ir jāpievērš uzmanība izmantotajiem izejas datiem. Nepieciešamo investīciju novērtējums ir atkarīgs no modelēšanas procesā veiktajiem pieņēmumiem un izejas datiem. Svarīgākie pieņēmumi, kas ietekmē rezultātus, ir kurināmā un tehnoloģiju izmaksas, jaunu tehnoloģiju difūzijas ātrums tirgū, makroekonomiskās prognozes par enerģijas pieprasījumu, cilvēku skaita izmaiņas un prognozes par ekonomisko aktivitāti kopumā.

2. Jāizprot scenāriji. Noteiktus CO₂ emisiju samazinājuma, energoefektivitātes un AER mērķus iespējams sasniegt dažādos veidos un ar dažādām tehnoloģijām. Tāpēc ir būtiski izprast, kādas jaudas un tehnoloģijas plānots uzstādīt katrā scenārijā, kādi pasākumi plānoti un kuros sektoros. Jāsaprot, vai visos scenārijos izmantoti vienādi izejas dati, kas saistīti ar IKP, iedzīvotāju skaita izmaiņām, kurināmā un tehnoloģiju cenām.

3. Investīcijas klimata un enerģētikas mērķos jāskata, ņemot vērā arī citas vajadzības un ieguvumus. Vērtējot investīcijas noteiktos projektos vai pasākumos, būtu jāvērtē arī citas vajadzības un ieguvumi, kas ir būtiski attīstībai un ekonomikas dekarbonizācijai. Piemēram, noteiktu energoefektivitātes mērķu sasniegšanu var apvienot ar nepieciešamību tehniski atjaunot ēkas, uzlabot mikroklimatu telpās vai uzlabot pilsētvidi. Atbalsts noteiktu tehnoloģiju izmantošanai būtu skatāms kopā ar iespējām atbalstīt vietējo ražošanu, jaunu tehnoloģiju izstrādi un ieguvumus, kas stimulētu vietējo ekonomiku.

4. Jānosaka esošais un nepieciešamais investīciju apjoms. Izprotot esošo investīciju plūsmu un apjomu enerģētikas un klimata projektos un nosakot nepieciešamo apjomu, var labāk identificēt iespējamus risinājumus, kas ļautu palielināt klimata projektu daudzumu. Šādas zināšanas ir ļoti būtiskas sarežģītu sistēmu pārvaldei. Piemēram, Eiropā 2030. gadam un 2050. gadam noteikto CO₂ emisiju mērķu sasniegšanai ir milzīga ietekme uz enerģētikas un klimata politiku un attiecīgi uz sabiedrību kopumā. Tam būs liela strukturāla ietekme uz to, kā tiek ražota un patērēta enerģija, kā tiek ražotas un piegādātas preces un pakalpojumi un, visbeidzot, uz to, kā cilvēki organizē savu ikdienas dzīvi.

Ņemot vērā ziņojuma "Investīcijas energoefektivitātes un atjaunīgo energoresursu projektos Latvijā 2018. gadā, Rīgas Tehniskā universitāte (RTU), decembris 2019"²⁸ rezultātus, iespējams secināt, ka 2018. gadā

²⁸ https://videszinatne.rtu.lv/wp-content/uploads/2019/12/Klimata_investiciju_karte_Latvia_2019_LV_pub_compressed.pdf

ēku un uzņēmumu energoefektivitātes pasākumos investēti vismaz 190 miljoni EUR, savukārt AER investēts 41 miljons EUR (tostarp 21,1 miljons EUR investēts Daugavas HES), kopā veidojot 231 miljonu EUR lielas investīcijas. Salīdzinot ar investīcijām ēku atjaunošanas projektos, tad AER projektos investēts piecas reizes mazāk, turklāt puse no visām investīcijām AER saistīta ar "Latvenergo" veiktajām investīcijām.

Atbilstoši NEKP mērķiem energoefektivitāti un atjaunojamo energoresursu tehnoloģijās būtu jāinvestē ap 445 miljoniem EUR katru gadu turpmāko 10 gadu laikā, kas ir divas reizes vairāk, nekā ticis investēts 2018. gadā.

Lai būtu iespējams sasniegt Latvijas klimata un enerģētikas mērķus, investīciju daudzums energoefektivitātes un atjaunojamo energoresursu projektos jādubulto.

Līdz šim ES fondu atbalstam ir visnozīmīgākā loma klimata projektu finansēšanā. Tas galvenokārt izmantots grantu veidā, investējot valsts un pašvaldību ēku atjaunošanas projektos. Ņemot vērā lielo grantu īpatsvaru, tad privāto investīciju apjoms 2018. gadā bijis salīdzinoši neliels, veidojot 29 % no visām kopējām investīcijām, savukārt ES fondu investīcijas veidoja 42 %, valsts un pašvaldību līdzfinansējums 29 %, tai skaitā kvotu tirdzniecības ieņēmumi.

Aplūkojot tehnoloģijas un projektus, kādos investēts, tad var secināt, ka galvenokārt investēts ēku visaptverošā renovācijā un lielais vairums projektu saistīti ar valsts un pašvaldību ēku atjaunošanu (42 % no visām kopējām investīcijām), savukārt AER sektorā tie ir bijuši bioenerģijas un siltumtrašu nomaiņas projekti. Ļoti maz ir projektu, kas ietveru enerģija ražošanu no citiem AER, enerģijas uzkrāšanu vai citus inovatīvus risinājumus. Energoefektivitātes projekti galvenokārt saistīti ar ēku renovāciju, sasniedzot minimālās energoefektivitātes prasības, un ļoti maz ir tādu projektu, kas būtu vērsti uz gandrīz nulles enerģijas ēkas līmeņa sasniegšanu vai AER tehnoloģiju integrēšanu ēkās.

6. Atsauces

AGEB (2018). Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2016. AG Energiebilanzen e.V. Retrieved from [link](#), checked on 15.02.2019.

AGEE-Stat – Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (2018). Erneuerbare Energien in Deutschland – Daten zur Entwicklung im Jahr 2017. [link](#)

Agora Energiewende and Fraunhofer ISE (2015). Current and future cost of photovoltaics. Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV systems. *Agora Energiewende*, 82. [link](#)

Agora Energiewende, Agora Verkehrswende and Frontier Economics (2018). Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe. [link](#)

BCG (Boston Consulting Group) and Prognos AG (2018). Philipp Gerbert, Patrick Herhold, Jens Burchardt, Stefan Schönberger, Florian Rechenmacher, Almut Kirchner, Andreas Kemmler and Marco Wunsch. Klimapfade für Deutschland. A study commissioned by the BDI. [link](#)

BMU (2016). Climate Action Plan 2050 – Principles and goals of the German government’s climate policy. [link](#)

BMU (2017). Projektionsbericht 2017 für Deutschland (gemäß Verordnung 525/2013/EU). [link](#)

BMU (2018). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety) Klimaschutzbericht 2017. Zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung. Retrieved from [link](#), checked on 09.01.2019.

BMWi (2014). Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Bericht von EWI, Prognos und GWS. [link](#)

BMWi (2015). Energy Efficiency Strategy for Buildings – Methods for achieving a virtually climate – neutral building stock. [link](#)

BMWi (2017). Langfrist- und Klimaszenarien. Study carried out by Fraunhofer ISI, Consentec and IFEU. [link](#)

BMWi (2018a). Sixth “Energy Transition” Monitoring Report “The Energy of the Future” – Reporting Year 2016. [link](#)

BMWi (2018b). Wirkung der Maßnahmen der Bundesregierung innerhalb der Zielarchitektur zum Umbau der Energieversorgung. Carried out by Prognos AG, DLR and Fraunhofer-ISI. Commissioned by BMWi. Basel/Karlsruhe/Stuttgart 31.01.2018. ([link](#))

BMWi (2018c). EEG in Zahlen: Vergütungen, Differenzkosten und EEG-Umlage 2000 bis 2019. ([link](#))

BMWi (2019). Nationaler Energie- und Klimaplan (NECP). ([link](#))

BMWi and BMU (2010). Energy Concept. Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply. ([link](#))

BNetzA (2017). BUndesnetzagentur. EEG in Zahlen 2017. ([link](#))

BPIE (2016). Renovating Germany's Buildings Stock. An Economic Appraisal from the Investors Perspective. BPIE in collaboration with Technische Universität Wien and Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. ([link](#));

Bundesregierung (2018). Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. ([link](#))

De Jonghe, Cedric; Delarue, Erik; Belmans, Ronnie; D'haeseleer, William (2011). Determining optimal electricity technology mix with high level of wind power penetration. In *Applied Energy* 88 (6), pp. 2231–2238. DOI: 10.1016/j.apenergy.2010.12.046

Deane, J.P; Chiodi, Alessandro; Gargiulo, Maurizio; Ó Gallachóir, Brian P. (2012). Soft-linking of a power systems model to an energy systems model. In *Energy* 42 (1), pp. 303–312, DOI: 10.1016/j.energy.2012.03.052.

DENA (2017). Gebäudestudie – Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor. ([link](#))

DENA (2018). Leitstudie Integrierte Energiewende – Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050. ([link](#))

DENA (2018a). dena-GEBÄUDEREPORT KOMPAKT 2018. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Deutsche Energieagentur, 4/2018.

ECOFYS (2012). Towards nearly zero-energy buildings, Definition of common principles under the EPBD (2012). ECOFYS, Politecnico di Milano / eERG, University of Wuppertal. ([link](#))

EEA (2018). Trends and projections in Europe 2018. Tracking progress towards Europe's climate and energy targets. European Environment Agency. EEA Report No 16/2018. ISSN 1977–8449. ([link](#))

Erdem, Fatma Pınar; Ünalımsı, İbrahim (2016). Revisiting super-cycles in commodity prices. In Central Bank Review 16 (4), pp. 137–142. DOI: 10.1016/j.cbrev.2016.11.001.

EU High-Level Expert Group on Sustainable Finance (2018). Financing a Sustainable European Economy. [\(link\)](#)

European Commission (2017). Impact assessment – Energy Efficiency Directive. Modelling tools for EU Analysis. European Commission. [\(link\)](#);

European Commission (2017a). Agreement on statistical transfers of renewable energy amounts between Lithuania and Luxembourg. [\(link\)](#)

European Commission (2018). A Clean Planet for all A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. In-depth analysis in support of the Commission Communication COM (2018) 773 [\(link\)](#);

Eurostat (2019). SHARES 2017 – Short Assessment of Renewable Energy Sources. [\(link\)](#)

Fraunhofer IWES and Fraunhofer IBP (2017). Heat Transition 2030. Study commissioned by Agora Energiewende. [\(link\)](#)

Fraunhofer-ISE (2015). What will the Energy Transformation cost? – Pathways for transforming the German energy system by 2050. [\(link\)](#)

Fraunhofer ISE (2018). Levelized Cost of Electricity – Renewable Energy Technologies. [\(link\)](#)

Fraunhofer ISE (2019). Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. [\(link\)](#)

Fraunhofer-IWES (2015). Geschäftsmodell Energiewende – Eine Antwort auf das “Die-Kosten-der-Energiewende“-Argument. [\(link\)](#)

GCEC (2014). Better Growth, Better Climate: The New Climate Economy report. The Synthesis Report. New York: The Global Commission on the Economy and Climate, The New Climate Economy. [\(link\)](#)

GoG (2011): Government of Germany. Bundesrepublik Deutschland: Fortschrittsbericht nach Artikel 22 der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Stand: 31.12.2011). Retrieved from [\(link\)](#), checked on 22.10.2018

GWS, Fraunhofer ISI, DIW Berlin, DLR and Prognos AG (2018). Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende. Commissioned by BMWi. [\(link\)](#)

Hirth, L. (2018). What Caused the Drop in European Electricity Prices? A Factor Decomposition Analysis. *Energy Journal*, 39(1). [\(link\)](#)

IEA (2017). Perspectives for the Energy Transition – Investment Needs for a Low-Carbon Energy System. [\(link\)](#)

IFEU and Beuth Hochschule (2017). Anlagenpotenzial – Ableitung eines Korridors für den Ausbau der erneuerbaren Wärme im Gebäudebereich. [\(link\)](#)

IFEU, Fraunhofer IEE and Consentec (2018). Wert der Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. [\(link\)](#)

IFEU, IWU, Ecofys, Universität Bielefeld (2015). Weiterentwicklung des bestehenden Instrumentariums für den Klimaschutz im Gebäudebereich – Sanierungsfahrplan. Commissioned by BMWi. [\(link\)](#)

IPCC (2018). Global Warming of 1.5° – An IPCC Special Report on the impacts of global warming. [\(link\)](#)

IRENA (2014). A Renewable Energy Roadmap (REmap 2030) – Cost Methodology. [\(link\)](#)

IRENA (2015). Renewable Energy Prospects – Germany. *Part of REmap 2030 – A Renewable Energy Roadmap*. [\(link\)](#)

IWU (2010). Datenbasis Gebäudebestand – Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Darmstadt. [\(link\)](#)

JRC (2012). Technology Learning Curves for Energy Policy Support. JRC Scientific and Policy Reports. [\(link\)](#)

May, N. (2017). The Impact of Wind Power Support Schemes on Technology Choices: In: *Energy Economics* 65 (2017).

May, N., Jürgens, I., Neuhoff, K. (2017). Renewable Energy Policy: Risk Hedging Is Taking Center Stage. In: *DIW Economic Bulletin* 39/40/2017.

McKinsey (2007). Costs and Potentials of Greenhouse Gas Abatement in Germany. [\(link\)](#)

Neuhoff, K., May, N., & Richstein, J. C. (2018). Renewable Energy Policy in the Age of Falling Technology Costs. *DIW Discussion Paper*. [\(link\)](#)

Noothout, P., Jager, D. D., Tesnière, L., van Rooijen, S., Karypidis, N., & Brückmann, R. (2016). DIACORE. The impact of risks in renewable energy investments and the role of smart policies. Final report. *Ecofys. Utrecht*. ([link](#))

Novikova A., Emmrich, J., Stelmakh, K. (2018). Climate finance landscape of the German building sector. Deliverable of Working Package 4, Task 7. Report of the BMF funded project Enavi. IKEM – Institute for Climate Protection, Energy and Mobility, July 2018. Retrieved from [link](#) and upon request, checked on 03.01.2019.

Novikova, A., Stelmakh, K., Klinge, A., Stamo I (2019). Climate and energy investment map of Germany. Status Report 2016. Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM): Februar 2019.

OECD (2017). Investing in Climate, Investing in Growth, OECD Publishing, Paris. ([link](#))

Porsch, Lukas; Sutter, Daniel; Maibach, Markus; Preiss, Philipp; Müller, Wolf (2014). Leitfaden zur Nutzen-Kosten-Abschätzung umweltrelevanter Effekte in der Gesetzesfolgenabschätzung. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Ecologic; infras; IER. Dessau (Texte, 01/2015). ([link](#))

Prognos et. al. (2018). Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung. ([link](#))

UBA (2018a). German Environment Agency, National Inventory Reports for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 to 2016 (as of 01/2018) and initial forecast for 2017 (UBA press release 08/2018). Retrieved from [link](#) , checked on 17.01.2019.

Ventosa, Mariano J.; Baillo, Alvaro; Ramos, Andres; Rivier, Michel (2005). Electricity market modeling trends. In *Energy Policy* 33(7), pp. 897-913. DOI: 10.1016/j.enpol.2003.10.013.

Welsch, Manuel. (2014). Incorporating flexibility requirements into long-term energy system models – A case study on high levels of renewable electricity penetration in Ireland. In *Applied Energy*.

7. Pielikums. Enerģetikā izmantotie modeļi

Modelis	Galvenie faktori un pieņēmumi	Ievades dati	Izvides dati
Yoda modelis	<ul style="list-style-type: none"> - Iedzīvotāju skaita pieaugums - Konkrētai valstij raksturīgās strukturālās iezīmes - Pašreizējais ekonomiskais stāvoklis (uzņēmējdarbības cikla stāvoklis) - Procentu likmes - Fiskālā politika un vispārējā regulatīvā sistēma - Izdevumi pētniecībai un attīstībai 	<ul style="list-style-type: none"> - Vēsturiskie tirdzniecības apjomi un saiknes starp valstīm - Pašreizējais ekonomikas stāvoklis (uzņēmējdarbības cikla stāvoklis) - Reālās procentu likmes - Reglamentējošā politika 	<ul style="list-style-type: none"> - Potenciālā ekonomiskā izaugsme - Ražošanas līmenis, cenas un tirdzniecības gaidas - Reālās procentu likmes - Ekonomikas izaugsme
Oksfordas globālais ekonomiskais modelis	<ul style="list-style-type: none"> - Iedzīvotāju skaita pieaugums - Konkrētai valstij raksturīgās strukturālās iezīmes - Vispārējais regulējums - Publiskā kapitāla ietekme uz potenciālo produkciju 	<ul style="list-style-type: none"> - Vēsturiskas tirdzniecības un finanšu savstarpējās saiknes - Pieprasījuma faktori (iedzīvotāju skaita pieaugums, preču un pakalpojumu pieprasījums) - Piedāvājuma faktori (kapitāla plūsmas, procentu likmes, tehnoloģiskais progress, darbaspēka piedāvājums, tirdzniecības apjomi, valūtas maiņas kursi un preču cenas) 	<ul style="list-style-type: none"> - Potenciālā produkcijas saražotais daudzums/izlaide - Piedāvājuma un pieprasījuma bilance pa nozarēm - Tirgus līdzsvars un cenas
Pasaules enerģijas modelis (PEM)	<ul style="list-style-type: none"> - Ekonomiskā izaugsme - Iedzīvotāju skaita pieaugums - Tehnoloģiju attīstība - SEG emisijas atļauju izmaksas - Infrastruktūras attīstība 	<ul style="list-style-type: none"> - Dati par enerģijas tirgiem - Enerģijas ražošanas tehnoloģiju jauda un izmaksas - Vēsturiskie sociālekonomiskie dati - Pieprasījuma tehnoloģiju jauda un izmaksas - Tehnoloģiju emisiju intensitāte 	<ul style="list-style-type: none"> - Kopējais enerģijas pieprasījums pa nozarēm - Kopējais enerģijas galapatēriņš pa nozarēm - Elektroenerģijas ražošana - Enerģijas plūsmas pa degvielām - Elektroenerģijas un fosilā kurināmā līdzsvara cenas - cenas galalietotājiem - Enerģijas bilance un SEG emisiju daudzums

Modelis	Galvenie faktori un pieņēmumi	Ievades dati	Izvides dati
REmap	<ul style="list-style-type: none"> - Patēriņa pieaugums (TFEC pa sektoriem) - Enerģijas cenas - Tehnoloģiskā veiktspēja un jaudas ierobežojumi - Kapitāla izmaksu prognozes - SEG emisijas izmaksas 	<ul style="list-style-type: none"> - Pieprasījuma tehnoloģiju jauda un izmaksas - Tehnoloģiju emisiju intensitāte - TFEC pa sektoriem - Kapitāla izmaksu prognozes 	<ul style="list-style-type: none"> - Tehnoloģiju aizstāšanas potenciāls - Tehnoloģiju aizstāšanas izmaksas - Ieguldījumi, kas vajadzīgi, lai sasniegtu TFEC mērķus - SEG emisiju daudzums
DIMENSION +	<ul style="list-style-type: none"> - Elektroenerģijas tīklu un enerģijas līdzsvara prasības - Ekonomikas izaugsme (enerģijas pieprasījums) - Politiskie apstākļi - Politisko sistēmu variācijas 	<ul style="list-style-type: none"> - Detalizēti dati par enerģijas tirgiem (detalzieta informācija par elektroenerģijas pieprasījumu, ražošanas jaudām, atjaunojamās enerģijas profiliem un attiecīgo tīkla infrastruktūru) - Elektroenerģijas, gāzes un siltuma tīkli - Enerģijas ražošanas tehnoloģiju, tīklu un uzglabāšanas iekārtu jauda un izmaksas 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistēmas kopējās izmaksas - Enerģijas daudzums (primārais, sekundārais, galīgais) - Ražošanas jauda un apvienojums (<i>mix</i>) - Enerģijas ražošana - SEG emisijas - Investīcijas enerģijas ražošanas tehnoloģijās un uzglabāšanas vienībās
RemoD-D	<ul style="list-style-type: none"> - Elektroenerģijas tīklu un enerģijas līdzsvara prasības - Ekonomikas izaugsme (enerģijas pieprasījums) - SEG samazināšanas mērķi (nosaka visu modelēšanas procesu) - Elektroenerģijas, siltuma, mobilitātes un rūpniecības nozaru mijiedarbība 	<ul style="list-style-type: none"> - Robežnosacījumi (piemēram, CO₂ mērķis, scenārija dati) - Laikapstākļu dati - Tehnoloģijas parametri (esošie krājumi, efektivitāte) - Ekonomiskie parametri (tehnoloģiju izmaksu prognoze, fosilā kurināmā cena utt.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Galvenais rezultāts: izmaksu ziņā optimizēta valstu energosistēmu attīstība, tostarp: <ul style="list-style-type: none"> - kopējās sistēmas izmaksas (kapitāla un ekspluatācijas izmaksas, degviela); - iekārtu un uzglabāšanas sistēmas darbība un enerģijas pieprasījums stundas sērijā; - enerģijas un siltuma ražošanas un enerģijas pārveidošanas mērogošana; - CO₂ emisijas; - tirgus daļa pa tehnoloģijām.

Modelis	Galvenie faktori un pieņēmumi	Ievades dati	Izvides dati
BCG Augšupvērtais (Bottom-up) izmaksu atvasinājums	<ul style="list-style-type: none"> - Tehnoloģiju attīstība - Modeļa robežas - Iedzīvotāju skaita pieaugums - Ražošanas pieaugums - Enerģijas cenas - SEG emisijas izmaksas 	<ul style="list-style-type: none"> - Tehnoloģijas - Enerģijas cenas - Energoefektivitātes tehnoloģiju mācību līknes un izmaksas 	<ul style="list-style-type: none"> - Energoefektivitātes pasākumu novēršanas izmaksas - Energoefektivitātes pasākumu investīciju izmaksas - Patērētās enerģijas daudzums - SEG emisiju daudzums
Prognos izmaksu un ieguvumu analīze	<ul style="list-style-type: none"> - Aplēstā ietekme/saikne starp piesārņojumu un sociālās labklājības rādītājiem - Emisiju ēnu cenas 	<ul style="list-style-type: none"> - Politikas pasākumi - Politikas izmaksas (saistītie tiešie valdības izdevumi un ietaupījumi) - Emisijas faktori - Aplēstā ietekme/saikne starp piesārņojumu un sociālās labklājības rādītājiem (piemēram, nodarbinātība, veselība) - Emisiju ēnu cenas 	<ul style="list-style-type: none"> - Vides politikas publiskās (sociālās un valdības) izmaksas un ieguvumi - Nodarbinātība - Ražošanas pieaugums - Veselības aprūpes izdevumi