

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

**I.Dzene**

**Latvijas reģionu energosistēmu  
ilgtspējīgas attīstības modelēšana un  
optimizācija**

**PROMOCIJAS DARBS**

**2011**

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**  
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte  
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

**Ilze DZENE**

Doktora studiju programmas „Vides zinātne” doktorante

**LATVIJAS REĢIONU  
ENERGOSISTĒMU  
ILGTSPĒJĪGAS ATTĪSTĪBAS  
MODELĒŠANA UN  
OPTIMIZĀCIJA**

**Promocijas darbs**

Zinātniskie vadītāji

Dr.sc.ing., asociētā profesore  
**M.ROŠĀ**

Dr.habil.sc.ing., profesors  
**I.VEIDENBERGS**

**Rīga, 2011**

UDK 620.9(474.3)(043)  
Dz 250 1

Dzene I. Latvijas reģionu energosistēmu ilgtspējīgas attīstības modelēšana un optimizācija. Promocijas darbs.-R.:RTU, 2011.- 130 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta 2011.gada 23.marta lēmumu, protokols Nr.23/03/2011

ISBN 978-9934-10-162-5

Promocijas darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”

## ANOTĀCIJA

Latvijai tāpat kā citām Eiropas Savienības dalībvalstīm ir izvirzīts mērķis 2020.gadā būtiski palielināt atjaunojamo energoresursu īpatsvaru enerģijas gala patēriņā, paaugstināt energoefektivitāti un samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas. Lai gan jau šobrīd Latvijai ir otrs augstākais atjaunojamo energoresursu īpatsvars gala enerģijas patēriņā starp visām dalībvalstīm un nav grūtību izpildīt saistības attiecībā pret Kioto protokolu, tomēr 2020.gadam izvirzītie mērķi ir ambiciozi un to sasniegšana ir iespējama īstenojot ilgtermiņīgu un ilgtermiņā pārdomātu enerģētikas un vides politiku.

Galvenais promocijas darba mērķis ir ar reģionālās plānošanas politikas instrumentu palīdzību radīt priekšnoteikumus „zaļa” reģiona izveidei, kurš īstenotu Latvijas enerģētikas politikas mērķus Eiropas Savienības politikas kontekstā.

Piemērotu politikas instrumentu noteikšanai promocijas darbā izstrādāti un aprobēti divi modeļi:

- sistēmdinamikas modelis primāro energoresursu izmantošanas prognožu analīzei, kas attēlo Latvijas centralizētās siltumapgādes sistēmas struktūru un modelē trīs dažādu politikas instrumentu ietekmi uz izmantotā kurināmā sadalījumu ar mērķi palielināt koksnes kurināmā izmantošanu centralizētās siltumapgādes sistēmas, aizvietojojt līdz šim lietoto dabasgāzi;
- Reģionu CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanas optimizācijas modelis, lai atrastu tādu pieļaujamo CO<sub>2</sub> emisiju līmeni reģionā, kuru iespējams sasniegt ar minimālām summārām izmaksām un vislielākajiem ieņēmumiem. Modelis aprobēts uz divu atšķirīgu Latvijas reģionu – bijušo Limbažu un Ogres rajonu sadedzināšanas iekārtu datiem.

Darbā aprakstīto metodiku var izmantot plaša auditorija: valsts, pašvaldības, energoapgādes uzņēmumi un investori, kā arī zinātnieki atbilstoši to vajadzībām.

## ANNOTATION

According to the European Climate and Energy package Latvia together with other European Union Member states has to decrease the share of renewable energy sources in the final gross energy consumption, to increase energy efficiency and to reduce the greenhouse gas emissions by 2020. Although today Latvia has the second highest share of renewable energy sources in the final energy consumption among all Member states and has a relatively comfortable situation to meet its Kyoto reduction target as the economy has declined considerably in the beginning of 90ies, the 2020 targets set for Latvia are ambitious and reaching them will be possible only if sustainable, well-considered long-term energy and environmental policy are implemented.

The main objective of this research is to create preconditions for development of “green energy” region by using regional planning policy instruments in order to reach objectives of Latvian energy policy in the framework of the European Union.

In order to select appropriate policy measures, two methodologies have been assessed and developed by the author:

- System dynamics simulation model for assessment and forecasting the use of primary energy sources in district heating sector in Latvia. The objective of the model is to represent the structure of the Latvian district heating system and to look for alternatives (three different policy instruments) that could lead Latvia to the implementation of its renewable energy policy goals by focusing on energy efficiency improvement and the use of renewable energy sources, and by replacing currently widely-used natural gas installations with wood fuel installations.
- Optimization model for reduction of CO<sub>2</sub> emissions in the region in order to find such a permissible level of CO<sub>2</sub> emissions and environmental tax in the region that is possible to reach with minimal overall costs and maximal income from avoided tax payments. The model has been tested on two different Latvian regions – former Limbaži and Ogre districts by using data of concrete combustion installations located in the regions.

This research study has different target groups, among all: the Latvian state and local governments, energy utilities, district heating companies, investors and scientists.

## PATEICĪBAS

Šī darba tapšanā lielu ieguldījumu ir devuši mana zinātniskā darba vadītāji – profesors Ivars Veidenbergs, kura zināšanas un gadu gaitā uzkrātā pieredze bija man nozīmīgs atbalsts darba tapšanas laikā, kā arī asociētā profesore Marika Roša, kuras padomi un uzmundrinošie vārdi spēku izsūkuma brīžos palīdzēja saņemt un virzīties tālāk uz mērķa sasniegšanu.

Nozīmīga loma promocijas darba izstrādes laikā ir bijusi arī profesorei Dagnijai Blumbergai, kas ar savu nezūdošo enerģiju un daudzajām idejām, nonākot strupceļā, mani vienmēr novirzīja pareizajā virzienā.

Vēlos pateikties arī savai ģimenei un kolēģiem, īpaši priekšniekam Claudio Rochas par uzmundrinājumu darba tapšanas laikā, kā arī Aigai Barisai un Ingai Ivanovai par sniegto tehnisko atbalstu.

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.

# SATURS

Ievads .....	7
1. Literatūras apskats .....	9
1.1. Enerģētikas un vides politikas attīstība .....	9
1.1.1. Eiropas Savienības enerģētikas politika .....	9
1.1.2. Latvijas enerģētikas politika .....	13
1.1.3. Instrumenti un atbalsta shēmas AER izmantošanas veicināšanai un enerģijas patēriņa samazināšanai .....	18
1.2. Ilgtspējīgas enerģētikas politikas veidošanas pamatprincipi .....	22
1.2.1. Dānijas enerģētikas stratēģijas izveide .....	22
1.2.2. Reģionālā energoplānošana .....	23
1.3. Energoplānošanas modeļi .....	30
1.3.1. Lejupejošā un augšupejošā modelēšanas pieeja .....	32
1.3.2. Modelēšanas metodoloģijas (līdzsvara, optimizācijas, imitācijas, ekonometriskie, sistēmu dinamikas modeļi) .....	32
1.3.3. Sistēmu dinamikas modeļa veidošana .....	36
1.4. Energoplānošana Latvijā .....	38
1.4.1. Energoplānošanas pieredze Latvijā .....	39
1.4.2. Enerģētikas nozare Latvijas reģionālās attīstības politikas plānošanas dokumentos .....	40
2. AER izmantošanas īpatsvara pieauguma iespējas centralizētajā siltumapgādē 43	
2.1. Dinamiskās sistēmas modeļa veidošana .....	43
2.1.1. Problēmas formulēšana .....	43
2.1.2. Dinamiskās hipotēzes veidošana .....	44
2.1.3. Modeļa formulēšana un imitācija .....	47
2.1.4. Modeļa testēšana .....	62
2.2. Politikas instrumentu ietekmes analīze .....	65
2.2.1. Scenāriju analīze .....	65
2.2.2. Scenāriju salīdzinājums .....	70
2.3. Secinājumi par politikas instrumentu ietekmi uz Latvijas centralizētās siltumapgādes sistēmas kurināmā struktūru .....	72
3. Reģionālā energoplānošanas modeļa izstrāde .....	73
3.1. Energoplānošanas pamatprincipi .....	73
3.2. Koksnes potenciāla noteikšana un tā izmantošanas sistēmiskā analīze ..	75
3.3. Vīzijas izveide valsts līmenī .....	80
3.4. Reģionālās energosistēmas optimizācija .....	84
3.4.1. Optimizācijas modeļa daļas .....	87
3.4.2. Optimizācijas algoritms .....	88
3.4.3. Teorētiskā optimizācijas modeļa izveide .....	90
3.4.4. Teorētiskā optimizācijas modeļa pārbaude .....	92
4. Modeļa aprobācija uz divu Latvijas rajonu piemēra .....	98
4.1. Modeļa aprobācija uz Limbažu rajona piemēra .....	98
4.1.1. Limbažu rajona vispārīgs raksturojums .....	98
4.1.2. Centralizētā siltumapgāde Limbažu rajonā .....	102

4.1.3.	Limbažu rajona energoapgādes sistēmas optimizācija.....	103
4.2.	Modeļa aprobācija uz Ogres rajona piemēra.....	108
4.2.1.	Ogres rajona vispārīgs raksturojums .....	108
4.2.2.	Centralizētā siltumapgāde Ogres rajonā.....	110
4.2.3.	Ogres rajona energoapgādes sistēmas optimizācija .....	111
	Secinājumi.....	118
	Pielikumi .....	121
	Literatūra .....	124

## IEVADS

Kā liecina zinātnieku pētījumi, globālā klimata sasilšana ir nepārprotama, un tam par pierādījumu kalpo novērojumu dati par globālo vidējo gaisa un okeāna ūdens temperatūru pieaugumu, plaša sniega un ledāju kušana zemes aukstajos apgabalos un ūdens līmeņa paaugstināšanās pasaules jūrās un okeānos. Lielākā daļa novēroto globālo vidējo temperatūras pieaugumu kopš 20.gadsimta vidus tiek saistīta ar novēroto antropogēno siltumnīcefekta gāzu emisiju koncentrāciju pieaugumu atmosfērā. Viens no galvenajiem antropogēno siltumnīcefekta gāzu emisiju avotiem ir enerģētikas sektors. Tādēļ pēdējo desmit gadu laikā enerģētika ir kļuvusi par vienu no vissvarīgākajiem Eiropas Savienības valstu attīstības jautājumiem.

Enerģētikas jautājumu aktualitāte ir saistīta ne tikai ar to, ka pēdējo gadu laikā intensīvi tiek risināta virkne izaicinājumu saistībā ar klimata pārmaiņām, bet šī jautājuma aktualitāti veicina arī bažas par pieaugošo atkarību no enerģijas importa, iespējamais energoresursu trūkums un drošas enerģijas ražošanas nepieciešamība par pieejamu cenu. Eiropas Savienība realizē ambiciozu enerģētikas politiku, aptverot visa veida energoresursus un radot priekšnoteikumus jaunai industriālajai revolūcijai, lai veidotu zema enerģijas patēriņa ekonomiku, vienlaicīgi sasniedzot daudz drošāku, konkurētspējīgāku un ilgtspējīgāku enerģijas patēriņu.

Attīstoties Latvijas ekonomikai un tautsaimniecībai, tiek prognozēts enerģijas patēriņa pieaugums, un līdz ar to aizvien aktuālāks kļūst jautājums par enerģētiskās neatkarības nodrošināšanu un resursu pietiekamību nākotnē. Vienlaikus pastiprināta uzmanība tiek pievērsta enerģētikas ietekmei uz vides un sociālajiem jautājumiem. Viena no galvenajām pieejām šo jautājumu risināšanā ir integrēta energoplānošana.

Energoplānošanu var veikt dažādos līmeņos – valstiskajā, reģionālajā un lokālajā līmenī. Katram plānošanas līmenim ir sava specifika, bet atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanai un līdz ar to enerģētiskās neatkarības palielināšanai un ietekmes uz vidi samazināšanai kā vispiemērotākā tiek atzīta energoplānošana reģionālajā līmenī.

Līdz šim Latvijā energoplāni vai tiem līdzīgi plānošanas dokumenti plašāk ir veidoti valsts vai lokālajā līmenī. Reģionālajā līmenī ir bijuši tikai daži mēģinājumi noteikt un prognozēt enerģētikas attīstību. Tomēr šie mēģinājumi nav guvuši redzamus rezultātus un nav rosinājuši citus Latvijas reģionus veikt līdzīgu izpēti un aizdomāties par sava reģiona ilgtspējīgu attīstību nākotnē.

Promocijas darba vispārējais mērķis ir ar reģionālās plānošanas politikas instrumentu palīdzību radīt priekšnoteikumus „zaļa” reģiona izveidei, kurš īstenotu Latvijas enerģētikas politikas mērķus Eiropas Savienības politikas kontekstā. Lai sasniegtu darba mērķi, ir izvirzīti vairāki darba ietvaros veicamie uzdevumi:

1. Izpētīt politikas instrumentu ietekmi atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanai valsts un reģionu līmenī.
2. Izveidot sistēmdinamikas modeli primāro energoresursu izmantošanas prognožu analīzei.

3. Pārbaudīt izveidoto sistēmdinamikas modeli Latvijas centralizētās siltumapgādes sistēmas primāro energoresursu struktūras izmaiņām.
4. Formulēt un risināt reģionu CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanas optimizācijas uzdevumu, lai atrastu tādu pieļaujamo CO<sub>2</sub> emisiju līmeni reģionā, kuru iespējams sasniegt ar minimālām summārām izmaksām un vislielākajiem ieņēmumiem.
5. Izmantot datu bāzi ar teorētiskām sadedzināšanas iekārtām, kuru uzstādītā jauda ir no 100 kW līdz 100 MW, lai atrastu empīrisku vienādojumu, kas matemātiski apraksta sakarību starp CO<sub>2</sub> emisiju līmeņiem un neatkarīgajiem mainīgajiem.

Atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanai valstiskā un reģionu līmenī izstrādāti divi modeļi:

- Oriģināls sistēmdinamikas analīzes modelis politikas instrumentu izvērtēšanai fosilā kurināmā aizvietošanai ar atjaunojamiem energoresursiem.
- Optimizācijas modelis CO<sub>2</sub> nodokļu ietekmes un reģiona kurināmā CO<sub>2</sub> emisiju līmeņatzīmes samazināšanās izvērtēšanai.

Modeļi aprobēti uz diviem Latvijas reģioniem – bijušajiem Limbažu un Ogres rajoniem.

Darbā izveidotie modeļi un to rezultāti ir svarīgi plašai auditorijai:

- Valsts līmenī – valdība ir saņēmusi signālu, ka fosilo kurināmo vietā vairāk ir iespējams izmantot enerģētisko koksni un tādēļ rīcības plānā ir jāiekļauj darbā atrastie politiskie instrumenti.
- Pašvaldību līmenī – novadu energoplānos ir iespējams izmantot optimizācijas modeli, lai iekļautu pasākumus, kurus ir iespējams pamatot ne tikai ekonomiski, bet arī no ietekmes uz klimata pārmaiņām viedokļa.
- Energoapgādes uzņēmumu un investoru līmenī – ar darbā izstrādāto optimizācijas modeli energoapgādes uzņēmumiem ir iespēja izvērtēt energoavotu attīstību īstermiņā un ilgtermiņā.
- Zinātnieku līmenī – iespējams pārliecināties un attīstīt tālāk ne tikai sistēmdinamikas analīzi līdzīgu problēmu risināšanai, bet arī optimizācijas modeli, kas veicina ietekmes uz klimata pārmaiņām samazinājumu.

Darbs sastāv no ievada, 4 nodaļām un secinājumiem. Tajā ir 130 lapas, t.sk., 85 attēli, 13 tabulas un literatūras saraksts ar 72 literatūras avotiem.

# 1. LITERATŪRAS APSKATS

## 1.1. Enerģētikas un vides politikas attīstība

Kā liecina zinātnieku pētījumi, globālā klimata sasilšana ir nepārprotama, un tam par pierādījumu kalpo novērojumu dati par globālo vidējo gaisa un okeāna ūdens temperatūru pieaugumu, plaša sniega un ledāju kušana zemes aukstajos apgabalos un ūdens līmeņa paaugstināšanās pasaules jūrās un okeānos. Vienpadsmit no pēdējā starptautiskās organizācijas Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) ziņojumā [1] apskatītajiem divpadsmit gadiem (1995–2006) ir ierindojami starp divpadsmit vissiltākajiem gadiem visā temperatūru novērojumu veikšanas vēsturē, kas datēta ar 1850.gadu. Ūdens līmeņa pieaugums jūrās ir tieši saistīts ar klimata temperatūras pieaugumu. Globālais vidējais jūras līmenis kopš 1961.gada ir audzis vidēji par 1,8 mm/gadā un kopš 1993.gada par 3,1 mm/gadā, pateicoties temperatūras pieaugumam, kas veicina ledāju kušanu. Satelītu uzņēmumi kopš 1978.gada liecina, ka vidējā Ziemeļu ledus okeāna ledāja platība ir sarukusi par 2,7% desmit gadu laikā, vasarā sasniedzot pat 7,4% samazinājumu pēdējā desmitgadē. Ledāju kušana kalnos un zemeslodes polos ir novērota vienlīdz kā ziemeļu, tā arī dienvidu puslodē.

Lielākā daļa novēroto globālo vidējo temperatūras pieaugumu kopš 20.gadsimta vidus tiek saistīta ar novēroto antropogēno siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju koncentrāciju pieaugumu atmosfērā. Oglekļa dioksīds (CO<sub>2</sub>) ir visbūtiskākā antropogēnā SEG. Laika periodā no 1970. līdz 2004.gadam tā ikgadējās emisijas apjoms ir audzis par apmēram 80%. CO<sub>2</sub> koncentrācijas globālais pieaugums ir fosilā kurināmā izmantošanas rezultāts kombinācijā ar zemes lietošanas veida maiņu [1].

Viens no galvenajiem antropogēno SEG emisiju avotiem ir enerģētikas sektors. Tādēļ pēdējo desmit gadu laikā enerģētika ir kļuvusi par vienu no vissvarīgākajiem Eiropas Savienības (ES) valstu attīstības jautājumiem. Enerģētikas jautājumu aktualitāte ir saistīta ne tikai ar to, ka pēdējo gadu laikā intensīvi tiek risināta virkne izaicinājumu saistībā ar klimata pārmaiņām, bet šī jautājuma aktualitāti veicina arī bažas par pieaugošo atkarību no enerģijas importa, iespējamais energoresursu trūkums un drošas enerģijas ražošanas nepieciešamība par pieejamu cenu. ES realizē ambiciozu enerģētikas politiku, aptverot visa veida energoresursus un radot priekšnoteikumus jaunai industriālajai revolūcijai, lai veidotu zema enerģijas patēriņa ekonomiku, vienlaicīgi sasniedzot daudz drošāku, konkurētspējīgāku un ilgtspējīgāku enerģijas patēriņu.

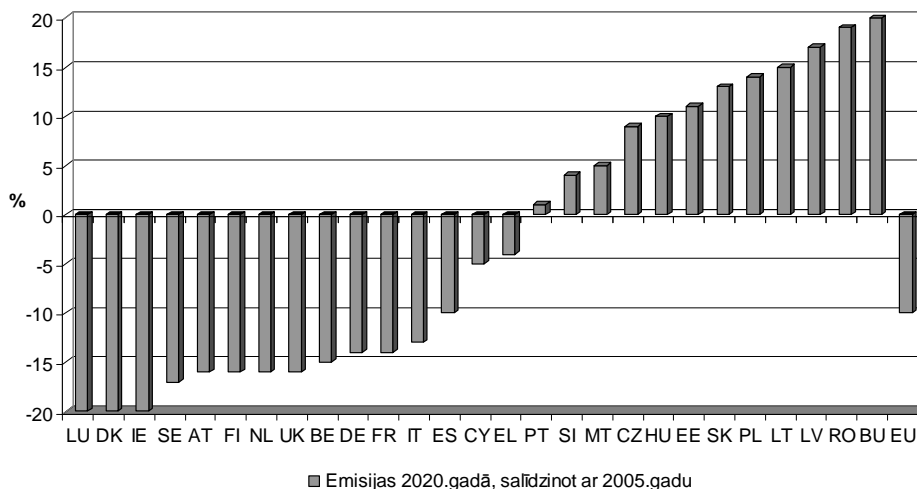
### 1.1.1. Eiropas Savienības enerģētikas politika

2008.gada janvārī Eiropas Komisija (EK) publicēja lielāko daļu klimata un enerģijas paketes un ar to saistīto likumprojektu. Klimata un atjaunojamās enerģijas pakete nosaka katras dalībvalsts sagaidāmo ieguldījumu ES enerģētikas politikai izvirzīto mērķu sasniegšanā un piedāvā virkni pasākumu, lai palīdzētu šos mērķus

realizēt. Klimata un enerģijas pakete paredz samazināt primāro enerģijas patēriņu, palielināt no atjaunojamajiem energoresursiem saražotās enerģijas daļu un samazināt SEG emisijas. Eiropas Parlamenta un Padomes vienošanās par paketi tika panākta 2008.gada decembrī, tā veicinot Eiropas pārveidi par zema oglekļa ekonomikas zonu un palielinot tās enerģētisko neatkarību.

Klimata un enerģijas pakete ir balstīta uz četriem elementiem, un katram no tiem tiek izstrādāts pavadošais normatīvais regulējums.

- 1) ES Emisiju tirdzniecības sistēmas (ETS) stiprināšana un paplašināšana, kas ir galvenais rīks emisiju samazināšanai ekonomiski izdevīgā veidā. Paredzēts, ka ETS aptverto sektoru emisijas tiks samazinātas par 21% 2020.gadā, salīdzinot ar 2005.gada līmeni. ETS tiks izveidots vienots ietvars ES robežās, un emisiju kvotu piešķiršana bez maksas līdz 2020.gadam pamazām tiks aizstāta ar kvotu izsoli.
- 2) Emisijas no sektoriem, kas nav iekļauti ES ETS (transports, mājsaimniecības, lauksaimniecība un atkritumu apsaimniekošana), 2020.gadā tiks samazinātas par 10% no 2005.gada līmeņa. Katra dalībvalsts dos savu ieguldījumu saskaņā ar tās relatīvo labklājības līmeni, uzstādot nacionālo emisiju samazināšanas mērķi diapazonā no -20% bagātākajām dalībvalstīm līdz +20% nabadzīgākajām valstīm, tā ļaujot sasniegt plānoto emisiju samazinājumu, kā arī samazināt ES atkarību no ārējiem enerģijas avotiem. Katras dalībvalsts paredzētais ieguldījums procentos ir redzams 1.1.attēlā.

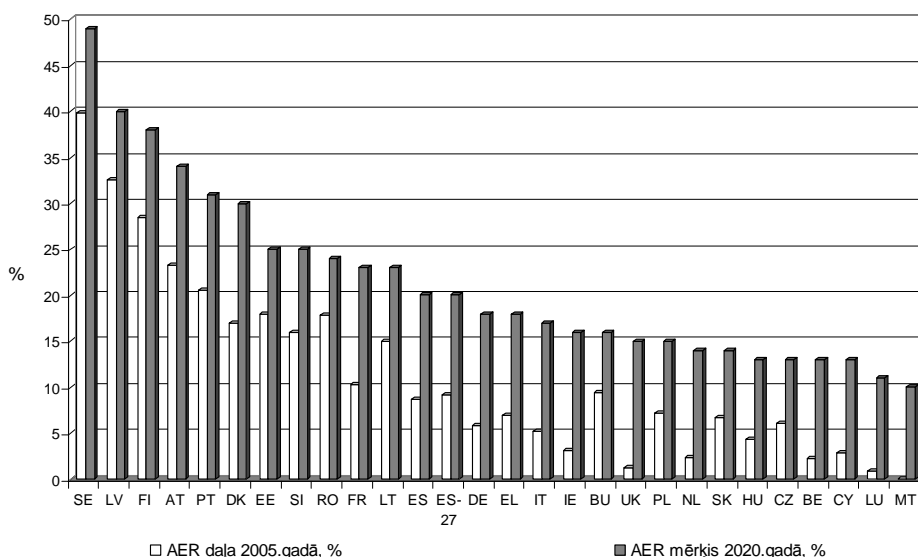


1.1.att. ES dalībvalstu nacionālie SEG emisiju samazināšanas mērķi sektoriem, kas nav iekļauti ETS

- 3) Tiek noteikti saistoši mērķi enerģijas daļai galapatēriņā, kura ražota no atjaunojamajiem energoresursiem (AER). Vidēji ES šī daļa ir noteikta 20% 2020.gadā (vairāk nekā divkārs no AER ražotās enerģijas daļas pieaugums galapatēriņā, salīdzinot ar 2006.gadu, kad AER daļa bija 9,2%). Katrai valstij noteiktie saistošie mērķi ir atšķirīgi, sākot no 10% AER daļai galapatēriņā

Maltai līdz 49% Zviedrijai. Šo mērķu sasniegšana palīdzēs samazināt ES atkarību no importētās enerģijas un samazināt SEG emisijas. Katras valsts saistošie mērķi ir redzami 1.2.attēlā.

- 4) Ir plānots veidot normatīvo ietvaru oglekļa uztveršanas un uzglabāšanas veicināšanai un attīstīšanai. Oglekļa uztveršana un uzglabāšana ir daudzsoļoš tehnoloģiju kopums, kas savāc rūpnieciskās ražošanas procesā emitēto oglekļa dioksīdu un uzglabā to pazemes ģeoloģiskajos veidojumos, tādējādi novēršot tā nonākšanu atmosfērā un dalību globālās sasilšanas procesu veicināšanā. Neskatoties uz to, ka dažādas oglekļa uztveršanas un uzglabāšanas tehnoloģiju komponentes jau tiek komerciāli veiksmīgi izmantotas, to izmantošanas tehniskā un ekonomiskā dzīvotspēja integrētā sistēmā vēl ir jāpierāda. Tādēļ ES plāno līdz 2015.gadam izveidot oglekļa uztveršanas un uzglabāšanas staciju tīklu šīs tehnoloģijas dzīvotspējas pārbaudei, lai padarītu to komerciāli izdevīgu līdz 2020.gadam. Vienlaicīgi ar normatīvo aktu paketi tika pārskatītas ES vadlīnijas par valsts atbalstu vides aizsardzībai, paredzot, ka valdības var sniegt finansiālu atbalstu oglekļa uztveršanas un uzglabāšanas pilotprojektu izveidei.



1.2.att. Saistošie mērķi ES dalībvalstīm no AER ražotās enerģijas daļas nodrošināšanai galapatēriņā 2020.gadā

Klimata un enerģijas pakete tiešā veidā neparedz energoefektivitātes uzlabošanas pasākumus, bet, paredzot ES energoefektivitātes rīcības plānu izveidi, rada spiedienu uz dalībvalstīm, lai tās veiktu pasākumus energoefektivitātes uzlabošanas jomā. Dalībvalstu vispārējais enerģijas ietaupījuma indikatīvais mērķis (9% enerģijas ietaupījums direktīvas piemērošanas devītajā gadā) noteikts Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvā 2006/32/EK (2006.gada 5.aprīlis) par enerģijas galapatēriņa efektivitāti un energoefektivitātes pakalpojumiem, kura sasniegšanai dalībvalstīm vairākos posmos jāizstrādā energoefektivitātes rīcības plāni, kuros

norādīti starpposmu valsts indikatīvie enerģijas ietaupījuma mērķi un sniegts pārskats par mērķu sasniegšanu.

Ēku energoefektivitātes paaugstināšanai Kopienā pieņemta Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2010/31/EK (2010.gada 19.maijs) par ēku energoefektivitāti. Direktīva nosaka ēku energoefektivitātes aprēķina metodes pamatojumu, minimālās energoefektivitātes prasības jaunām un lielizmēra ēkām, kā arī prasības ēku energosertificēšanai un tehnisko iekārtu pārbaudei un novērtējumam.

Energoefektivitātes paaugstināšanai enerģijas ražošanas sektorā un enerģijas piegādes drošības uzlabošanai 2004.gada 11.februārī tika pieņemta Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2004/8/EK par tādās koģenerācijas veicināšanu, kas balstīta uz lietderīgā siltuma pieprasījumu iekšējā enerģijas tirgū. Direktīva nosaka, ka atbalsts esošajām un plānotajām koģenerācijas stacijām jāīsteno, pamatojoties uz lietderīgā siltuma pieprasījumu un primārās enerģijas ietaupījumu un ņemot vērā citas alternatīvas enerģijas pieprasījuma samazināšanas iespējas. Kā viens no iespējamajiem atbalsta pasākumiem minēta īpaši atvieglota pieeja elektrotīkliem mazajām un mikro koģenerācijas stacijām.

Eiropas Savienības atjaunojamo energoresursu politikas mērķi saistībā ar klimata un enerģijas paketi definēti 2009.gada 23.aprīļa Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvā 2009/28/EK par atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu. Direktīva paredz, ka katrai dalībvalstij jānodrošina tai noteiktais no AER saražotās enerģijas īpatsvars 2020.gada enerģijas bruto galapatēriņā, lai sasniegtu vienoto Kopienas mērķi – vismaz 20% no AER saražotas enerģijas īpatsvaru Kopienas galīgajā enerģijas bruto patēriņā 2020.gadā. Mērķa sasniegšanai dalībvalstīm jāīsteno atbalsta pasākumi AER izmantošanas veicināšanai un energoefektivitātes palielināšanai, kas iekļauj atbalsta shēmu realizēšanu un dažādu dalībvalstu un trešo valstu sadarbības pasākumus. Saskaņā ar direktīvu katrai dalībvalstij jāizveido un jāpieņem valsts rīcības plāns AER jomā, kurā izklāstīti tās AER politikas mērķi un mērķu īstenošanai veicamie pasākumi.

Attiecībā uz transporta sektoru direktīva paredz, ka dalībvalstīm jānodrošina vismaz 10% no atjaunojamajiem energoresursiem saražotas enerģijas īpatsvars kopējā transporta enerģijas galapatēriņā 2020.gadā, ņemot vērā ilgtspējas principus biodegvielas ražošanā.

Balstoties uz klimata un enerģijas paketes normatīvā regulējuma prasībām, Eiropas Savienības līderi atjaunojamo energoresursu izmantošanas un energoefektivitātes paaugstināšanas jomā uzstādījuši trīs galvenos mērķus, kas sasniedzami līdz 2020.gadam:

- 1) par 20% samazināts primārās enerģijas patēriņš (salīdzinot ar prognozēto attīstības tendenci);
- 2) par 20% palielināta atjaunojamo energoresursu daļa kopējā enerģijas patēriņā;
- 3) par 20% samazinātas siltumnīcefekta gāzu emisijas, salīdzinot ar 1990.gada līmeni.

## 1.1.2. Latvijas enerģētikas politika

Latvijas atjaunojamo energoresursu politikas mērķi ir pakārtoti Eiropas Savienības AER politikas mērķiem, un tie ir formulēti valsts normatīvajos aktos un politikas plānošanas dokumentos.

Latvijas enerģētikas politikas vispārīgais mērķis ir „(..) nodrošināt līdzsvarotu, kvalitatīvu, drošu un ilgtspējīgu tautsaimniecības un iedzīvotāju apgādi ar enerģiju” [2]. Veiksmīga AER politikas īstenošana un AER īpatsvara palielināšana enerģijas ražošanā ir veids, kā panākt mērķa īstenošanu, un to paredz arī viens no Enerģētikas likumā definētajiem enerģētikas politikas mērķiem: „(..) veicināt vietējo, atjaunojamo un sekundāro energoresursu izmantošanu” [3]. Saskaņā ar „Atjaunojamo energoresursu izmantošanas pamatnostādnēm 2006.–2013.gadam” [4] galvenais stratēģiskais Latvijas AER politikas mērķis ir optimāla valsts AER potenciāla izmantošana, ievērojot Eiropas Savienības AER politikas mērķus un prasības. Pildot Direktīvā 2009/28/EK par atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu noteiktās Latvijas saistības, no AER ražotas enerģijas īpatsvaram Latvijā jābūt vismaz 40% no bruto enerģijas patēriņa 2020.gadā (skat. 1.2.attēlu), bet no atjaunojamās enerģijas saražotās transporta degvielas īpatsvaram – vismaz 10% no enerģijas galapatēriņa transportā [5]. „Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģija līdz 2030.gadam” [6] paredz, ka sekmīgas enerģētikas politikas īstenošanas rezultātā atjaunojamo energoresursu daļa enerģijas galapatēriņā 2020.gadā būs vēl lielāka – 42%, bet 2030.gadā vietējie energoresursi segs 60–65% valsts enerģijas galapatēriņa.

Lai veicinātu AER mērķa sasniegšanu, sekojot ES direktīvas prasībām, ir izstrādāts Latvijas atjaunojamo energoresursu rīcības plāns, kā arī Ekonomikas ministrija (EM) sadarbībā ar nozares speciālistiem ir izstrādājusi Atjaunojamās enerģijas likumprojektu.

Latvijas atjaunojamo energoresursu rīcības plānā „Latvijas Republikas Rīcība atjaunojamās enerģijas jomā Eiropas Parlamenta un Padomes 2009.gada 23.aprīļa direktīvas 2009/28/EK par atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu un ar ko groza un sekojoši atceļ Direktīvas 2001/77/EK un 2003/30/EK ieviešanai līdz 2020.gadam” Latvija apņemas īstenot izvirzīto mērķi 2020.gadā sasniegt 40% atjaunojamo energoresursu īpatsvaru enerģijas galapatēriņā. Lai Latvija arī turpmāk saglabātu līderpozīcijas ES AER izmantošanas jomā, ir jāizstrādā ilgtermiņā sekmīga AER plašākas izmantošanas politika, ietverot gan enerģētikas, vides, transporta un lauksaimniecības sektoru, gan reģionālo un teritoriālo plānošanu.

Saskaņā ar EM rīcībā esošajiem statistikas datiem (dati uz 13.04.2011.) 2009.gadā Latvijā atjaunojamās enerģijas īpatsvars kopējā enerģijas bruto galapatēriņā bija 35,5%, kas ir otrs augstākais rādītājs ES pēc Zviedrijas. Statistikas dati, sasniedzamais mērķis 2020.gadā un AER rīcības plānā noteiktā mērķa izpildes trajektorija ir dota 1.1.tabulā.

## Atjaunojamās enerģijas (AE) īpatsvars bruto enerģijas galapatēriņā, mērķis un tā sasniegšanas trajektorija, %

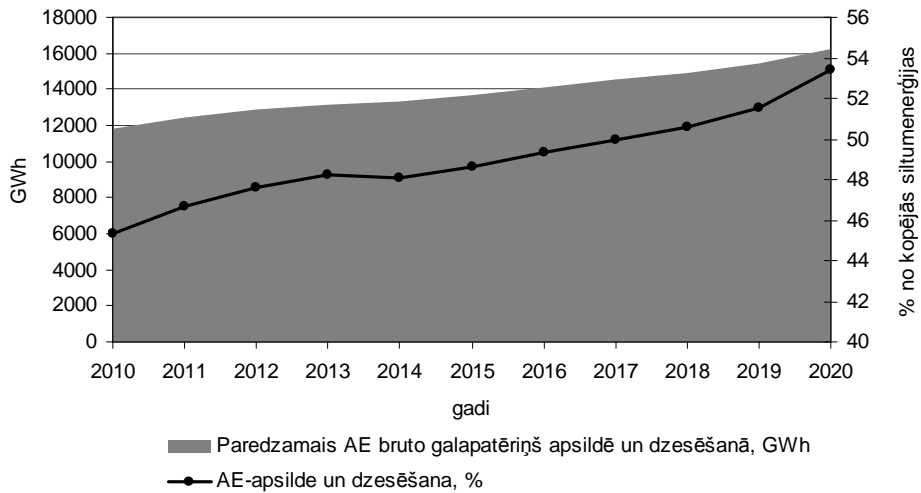
Gads	Statistikas dati			Rīcības plāna trajektorija				Mērķis
	2005	2008	2009	2011-2012	2013-2014	2015-2016	2017-2018	
AE apsilde un dzesēšana	42,7	42,9	48,2	47,6	48,1	49,3	50,6	53,4
AE elektroenerģija	44,9	37,5	41,9	47,0	49,9	52,0	55,2	59,8
AE transports	0,9	0,9	1,4	4,2	4,5	5,5	7,2	10,0
Kopējais AE īpatsvars, %	32,6	29,8	35,5	34,1	34,8	35,9	37,4	40,0

AER mērķa sasniegšana ir liels izaicinājums, kas prasīs papildu atbalsta programmas un finanšu līdzekļus. Par enerģētikas sektoru atbildīgā Ekonomikas ministrija plāno sakārtot enerģētikas sektoru regulējošos normatīvos aktus, paredzot pilnveidot elektroenerģijas tirgus liberalizāciju, izveidot ilgtspējīgu atbalsta mehānismu atjaunojamai enerģijai, kā arī noteikt ilgtspējības kritērijus biodegvielām un bioloģiskajiem šķidrajiem kurināmajiem. Paredzēts, ka šo darbību rezultātā tiks noteikta ilgtermiņā stabila un ilgtspējīga normatīvā vide, paaugstināta pašvaldību loma ilgtspējīgas enerģijas ražošanā un patēriņa veicināšanā, nodrošināta enerģijas pieejamība un pietiekamība patērētājiem, kā arī veicināta biodegvielas nozares attīstība un Latvijas uzņēmēju konkurētspēja starptautiskajā tirgū.

Tomēr Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) speciālistu veiktā analīze [7] parāda, ka pašreizējā valdības AER politika nenodrošinās Direktīvā izvirzītā AER mērķa sasniegšanu 2020.gadā.

Kā redzams 1.1.tabulā, viens no vissvarīgākajiem ir apsildes un dzesēšanas sektors (Latvijā pamatā siltuma ražošana), kas dos būtisku ieguldījumu AER mērķa sasniegšanā. EM noteiktā mērķa sasniegšanas trajektorija apsildes un dzesēšanas sektorā redzama 1.3.attēlā.

Latvija izceļas citu ES dalībvalstu vidū ar to, ka tās pilsētās un pagastos izveidotajām sazarotajām centralizētajām siltumapgādes sistēmām ir liels īpatsvars siltumapgādē. Šādu sistēmu attīstība ir jāvērtē pozitīvi no vairākiem aspektiem, no kuriem svarīgākie ir divi: kurināmā diversifikācijas iespējas un energoefektīvu tehnoloģisko risinājumu izmantošana. Tas nozīmē, ka centralizētu siltumapgādes sistēmu energoavotos ir iespējams vienlaikus izmantot visa veida kurināmo ar augstu energoefektivitāti, turklāt ir iespējams reizē ražot gan siltumenerģiju, gan elektroenerģiju. Taču jāatzīmē, ka centralizētā siltumapgāde ir reģionāla vai vietēja energosistēma, kuras attīstību ir iespējams ietekmēt ar reģionālās plānošanas metodēm.



1.3.att. Atjaunojamās enerģijas īpatsvars apsildes un dzesēšanas sektorā [8]

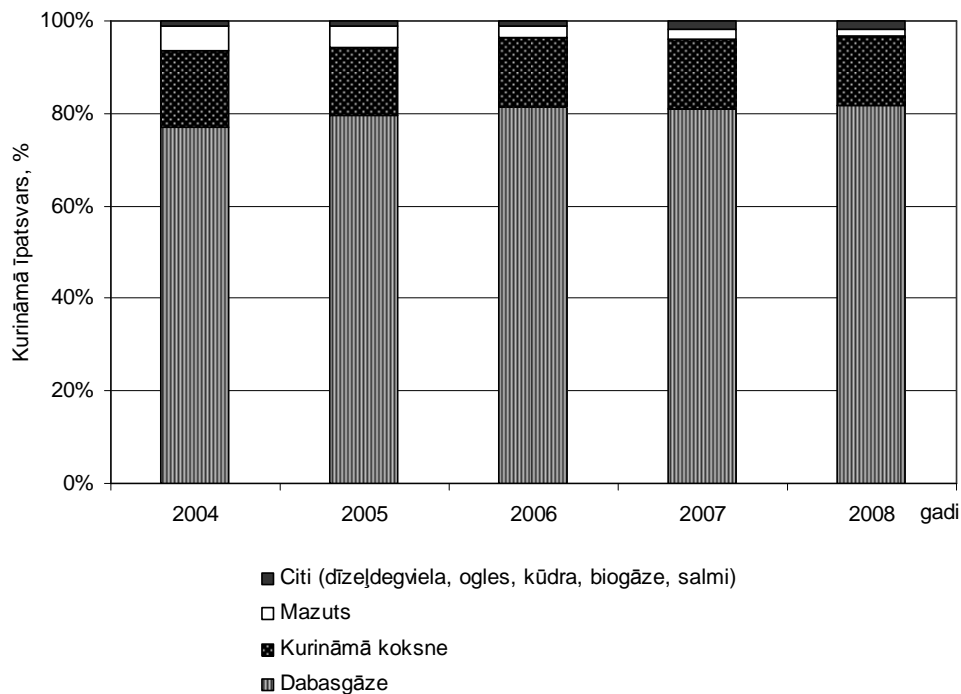
Pašreizējais primāro energoresursu izlietojums centralizētajā siltumapgādē ilustrēts 1.4.attēlā. Primāro energoresursu lietojumā Latvijas centralizētās siltumapgādes sistēmās dominē divi kurināmā veidi – dabasgāze un enerģētiskā koksne. Laika posmā no 2004.gada šo enerģētisko resursu kopējam īpatsvaram centralizētās siltumapgādes kurināmā struktūrā ir tendence palielināties, aizstājot galvenokārt naftas produktu un degakmens eļļas izmantošanu.

Centralizēto siltumapgādi raksturo trīs sistēmas elementu darbība atsevišķi un to savstarpējās saites:

- siltumenerģijas lietotāji: pieslēgto patērētāju skaits un slodze;
- energoavots: katlu mājas vai koģenerācijas stacijas jauda un tajā izmantotie energoresursi;
- siltumenerģijas pārvades sistēma: cauruļvadu sistēmas garums, diametri un sazarojība.

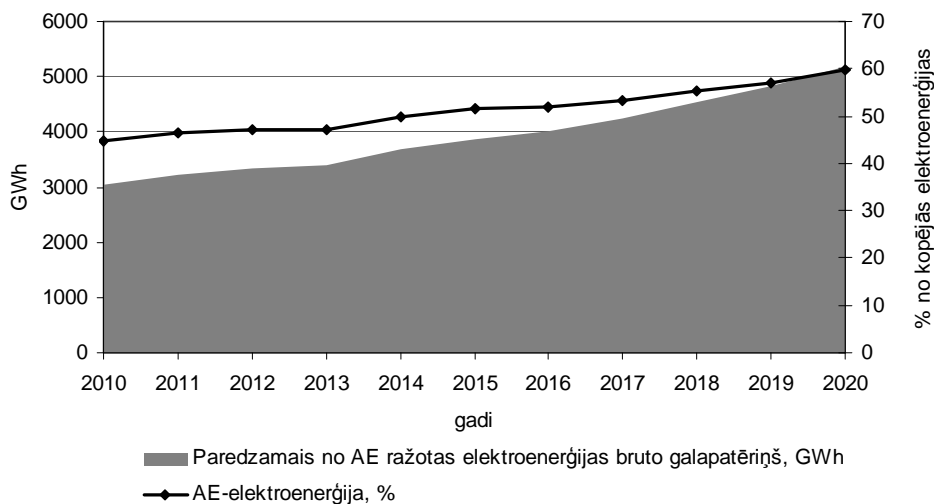
Visus uzskaitītos sistēmas elementus raksturo viens kopīgs parametrs – energoefektivitāte –, kam ir ļoti svarīga loma siltumapgādes sistēmas izveidē, rekonstrukcijā un darbināšanā. Energoefektivitātes paaugstināšanas aspektā siltumenerģijas lietotājiem ir ļoti augsts potenciāls, piemēram, māsaimniecības sektorā to ir iespējams paaugstināt par 30–50%. Tas būtiski ietekmēs centralizēto siltumapgādes sistēmu energoavotu jaudu. Energoefektivitātes paaugstināšana dos iespēju samazināt enerģijas patēriņu centralizētajā siltumapgādes sistēmā.

Centralizētās siltumapgādes sistēmas darbināšanā galvenā nozīme ir siltumenerģijas patērētājiem, kurus nosacīti var iedalīt trīs grupās: māsaimniecības, rūpnieciskās ražošanas uzņēmumi un pārējie patērētāji (pakalpojumu un terciārais sektors). Tāpat kā Latvijas kopējā energobilancē, lielākā centralizētās siltumapgādes sistēmās saražotās enerģijas patērētāju grupa ir māsaimniecības.



1.4.att. Kurināmā struktūra centralizētajā siltumapgādē [9]

Otrs būtisks sektors AER mērķa sasniegšanā ir elektroenerģijas ražošana. Mērķa sasniegšanas trajektorija elektroenerģijas sektorā redzama 1.5.attēlā.



1.5.att. AE īpatsvars elektroenerģijas sektorā [8]

Elektroenerģijas ražošanas apjomu palielināšanai no AER ir izstrādāts jauns AER likums, kura galvenie mērķi ir vietējās atjaunojamās enerģijas izmantošanas, ražošanas un eksporta veicināšana, nodrošinot stabilu ilgtermiņa investīciju vidi, kā arī SEG emisiju samazinājums, izmantojot visefektīvākās tehnoloģijas. Likumā paredzēts ieviest jaunu, vienkāršotu metodoloģiju no AER ražotas enerģijas iepirkuma cenas aprēķinam, lai to padarītu saprotamāku un „caurspīdīgāku” salīdzinājumā ar iepriekš izmantoto „kvotu sistēmu”.

Kā minēts iepriekš, lai gan ES klimata un enerģijas pakete tiešā veidā neskar energoefektivitātes jautājumus, tomēr tas ir viens no svarīgiem ES enerģētikas politikai uzstādīto mērķu sasniegšanas priekšnoteikumiem. Izpildot ES prasības, Latvija ir izstrādājusi valsts energoefektivitātes rīcības plānu. „Pirmajā Latvijas energoefektivitātes rīcības plānā 2008.–2010.gadam” [10] raksturoti laika posmā no 2000.–2007.gadam veiktie energoefektivitātes pasākumi, noteikts valsts enerģijas ietaupījuma indikatīvais mērķis 2016.gadam (9% enerģijas ietaupījums, salīdzinot ar vidējo enerģijas galapatēriņu laika posmā no 2000.–2004.gadam) un dažādos tautsaimniecības sektoros veicamie energoefektivitātes pasākumi, kas nepieciešami mērķa sasniegšanai.

Kopumā plāna mērķis ir ietaupīt 3483 GWh (uz 2016.gadu), lielāko ietaupījumu sasniedzot mājokļu sektorā, kurā paredzētie energoefektivitātes pasākumi ietver: energoaudītu veikšanu un ēku energosertificēšanu, energoefektivitātes paaugstināšanu daudzdzīvokļu, valsts un pašvaldību ēkās, enerģijas patērētāja informēšanu un tiesību aktu izstrādi energoefektivitātes paaugstināšanai ēkās. Latvija ir adaptējusi Direktīvu 2002/91/EK par ēku energoefektivitāti [11] Ēku energoefektivitātes likumā [12], kas nosaka ēku energosertifikācijas un energoefektivitātes prasības, tai skaitā nepieciešamību veikt atjaunojamo energoresursu izmantošanas novērtējumu ēkās, kuru platība ir lielāka par 1000 m<sup>2</sup>.

Pakalpojumu sektorā plānotas dažādas informatīvas kampaņas par efektīva apgaismojuma, biroja iekārtu un elektroierīču marķējuma izmantošanu, bet rūpniecības sektorā – informācijas izplatīšana par efektīvākām tehnoloģijām, apgaismojuma efektivitātes uzlabošana un energoaudītu veikšana tehnoloģisko procesu uzlabošanai. Transporta sektorā iekļautie pasākumi ir automašīnu tehniskā stāvokļa pārbaude, Rīgas pilsētas ielu sistēmas plānošana un dzelzceļa un sabiedriskā transporta integrācija, dažādu nodokļu likmju piemērošana automašīnām atkarībā no dzinēja tilpuma un automašīnas vecuma, informācijas izplatīšana par degvielas taupīšanu.

2010.gadā RTU speciālisti izvērtēja Latvijas iespējas sasniegt indikatīvo mērķi 9% enerģijas ietaupījums 2016.gadā, salīdzinot ar vidējo enerģijas galapatēriņu laika posmā no 2000.–2004.gadam, un secināja, ka ar energoefektivitātes rīcības plānā paredzētajiem pasākumiem to nav iespējams sasniegt [13].

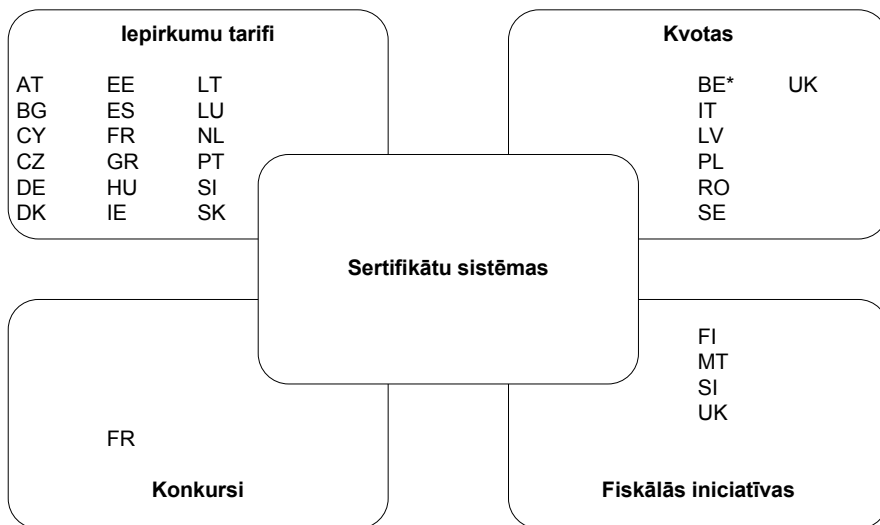
### 1.1.3. Instrumenti un atbalsta shēmas AER izmantošanas veicināšanai un enerģijas patēriņa samazināšanai

Direktīvā 2009/28/EK par atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu ir minētas šādas atbalsta shēmas AER ražošanai, kuras ES dalībvalstis drīkst izmantot:

- zaļie sertifikāti (*green certificates*);
- investīciju palīdzība (*investment aid*);
- nodokļu atlaides vai samazinājumi (*tax exemptions or reductions*);
- nodokļu atmaksa (*tax refunds*);
- AER obligāciju atbalsta shēmas (*renewable energy obligation support schemes*);
- tiešās cenas atbalsta shēmas, ieskaitot (*direct price support schemes including*):
  - iepirkuma tarifu (*feed-in tariffs*),
  - papildu piemaksas (*premium payments*);
- citi instrumenti, ko izstrādā ES dalībvalstis.

Papildus direktīvā ir iestrādāts jauns mehānisms par sadarbību ar citām ES dalībvalstīm un trešajām valstīm atjaunojamo energoresursu izmantošanā kopīgi īstenojamo projektu veidā.

Tā kā katras valsts atjaunojamo energoresursu īpatsvara mērķis ir atkarīgs no enerģijas galapatēriņa (ieskaitot elektroenerģiju, siltumenerģiju un transportu), apskatot AER politiku, vienlaicīgi ir jāizvērtē arī normatīvā bāze, kas izstrādāta, lai veicinātu energoefektivitāti.



1.6.att. ES-27 izmantotās atbalsta shēmas atjaunojamās elektroenerģijas ražošanai [14]

\* Beļģiju šajā gadījumā nevar uzskatīt 100% par valsti, kurā tiek atbalstīta kvotu sistēma, jo Flandrijā tiek piemēroti iepirkuma tarifi fotoelementiem

Pēdējo gadu pieredze AER ieviešanā ir parādījusi, ka ir nepieciešams stingrs valsts atbalsts AER izmantošanai enerģijas ražošanā. Tas ir novērtēts gan ES līmenī, gan arī 15 ES dalībvalstu līmenī, kas pēdējos gados īpaši ir veicinājušas AER izmantošanu elektroenerģijas ražošanā.

Šobrīd Eiropas atjaunojamo energoresursu tirgū atbalsta politikas pasākumi galvenokārt ir orientēti elektroenerģijas ražošanas virzienā. Tā kā šobrīd nav izvēlēti noteikti instrumenti un to lietojums nav harmonizēts visā Eiropā, katra valsts pati ir izvēlējusies un noteikusi, kāda veida iniciatīvas šajā sektorā piemērot. 1.6.attēlā ir grafiski atspoguļotas tās atjaunojamo enerģiju atbalstošās shēmas, kas patlaban tiek izmantotas visās ES dalībvalstīs.

Papildus šiem regulējošajiem instrumentiem tiek izstrādāti arī brīvprātīgi pasākumi, kas galvenokārt ir balstīti uz patērētāja vēlmi maksāt augstāku maksu par atjaunojamo enerģiju. Neskatoties uz to, analizējot šī instrumenta efektivitātes rādītājus, t.i., kāds ir esošo iekārtu skaits, kas izmanto šo instrumentu, tad ir skaidri redzams, ka tā ietekme uz kopējo atjaunojamo energoresursu elektroenerģijas attīstību ir minimāla.

#### *1.1.3.1. Iepirkuma tarifi un kvotas*

Lielākajā daļā valstu galvenais atbalsta mehānisms atjaunojamās elektroenerģijas ražošanā ir noteikta iepirkuma tarifa piemērošana. Iepirkuma tarifi ir uz ražošanu balstīta noteiktas cenas iniciatīva, kas parasti ir izteikta kā kopējā atjaunojamās enerģijas ražošanas cena vai kā papildu piemaksa pie elektroenerģijas tirgus cenas, kas tiek maksāta atjaunojamās elektroenerģijas ražotājiem. Iepirkuma tarifi uzliek atbildību energokompānijai iepirkt elektroenerģiju, kas tiek ražota no AER, samaksājot ražotājam tarifu, kas tiek noteikts no valsts puses un tiek garantēts noteiktā laika posmā. Šī sistēma ir labi pazīstama Vācijā, Dānijā un Spānijā, kur strauji attīstījās vēja, biomasas un saules enerģijas izmantošana. Galvenās šīs sistēmas priekšrocības minētajās valstīs ir ražotājiem radītā pārliecība par atbalstu uz kādu noteiktu laiku, kas vienlaicīgi ievērojami samazina investīciju risku. Turklāt iepirkuma tarifi ļauj paplašināt specifiskas tehnoloģijas lietojumu, kā arī tas pakļaujas nākotnes izmaksu samazinājumam, ja tiek piemēroti tarifi, kas ar katru gadu samazinās. Iepirkuma tarifi patlaban tiek izmantoti 18 ES dalībvalstīs [14,15].

Pēdējos gados arvien populārāka kļūst arī atjaunojamo energoresursu obligāciju sistēma (dēvēta arī par kvotu obligācijām), kad minimāla daļa no atjaunojamās enerģijas ir jāsarāžo patērētājam vai elektroenerģijas piegādātājam. Šo sistēmu bieži apvieno ar zaļo sertifikātu sistēmu (kaut arī tas nav obligāti), un to patlaban piemēro 6 no ES-27 valstīm (Beļģijā, Itālijā, Zviedrijā, Lielbritānijā, Polijā un Rumānijā). Kvotu obligāciju sistēma parasti tiek ieviesta, balstoties uz valdības noteiktiem mērķiem un patērētāju un elektroenerģijas piegādātāju obligācijām. Kad mērķi ir noteikti, paralēli tiek izveidots zaļo sertifikātu tirgus, un to cena tiek noteikta, balstoties uz pieprasījumu un piegādes nosacījumiem (ko paredz obligācijas).

### *1.1.3.2. Fiskālās iniciatīvas*

Trešā atjaunojamo energoresursu izmantošanu veicinoša shēma (skat. 1.6.attēlu) ir fiskālās iniciatīvas, kā, piemēram, CO<sub>2</sub> vai enerģijas nodokļu atvieglojumi. Šāda veida iniciatīvas ir pievilcīgas, jo tās dod skaidru signālu enerģijas gala lietotājam par atjaunojamās enerģijas pievienoto vērtību. Lielākais trūkums ir tas, ka fiskālās iniciatīvas nesniedz ilgtermiņa skaidrību par investīcijām, tādējādi paaugstinot investīciju riskus projektu attīstītājiem un citiem atjaunojamo energoresursu investoriem. Ražošanas nodokļa iniciatīvas ir uz ražošanu balstīti cenu nosakoši mehānismi, kas izpaužas kā elektroenerģijas nodokļa, kas uzlikts visiem ražotājiem, atvieglojumi. Šis instruments no iepirkuma tarifa atšķiras ar naudas plūsmu, jo tā atspoguļo samazinātās izmaksas papildu ienākuma vietā.

### *1.1.3.3. Konkursu shēmas*

Ceturtā atbalsta shēmu kategorija (skat. 1.6.attēlu) ir konkursu shēma, kas tika izmantota Lielbritānijā, Īrijā un Francijā. Tomēr Īrija 2005.gada aprīlī paziņoja, ka konkursu shēma tiks aizstāta ar iepirkuma tarifiem, kas garantēti līdz 15 gadiem. Vienīgā valsts, kas šobrīd vēl izmanto konkursu shēma, ir Francija. Konkursu shēmas var noteikt investīciju atbalstu vai jaudu atbalstu, bet abos gadījumos šie ir jaudu nosakoši mehānismi. Investīciju gadījumā tiek izziņots konkurss par noteiktu uzstādāmo jaudu un līgumi tiek noslēgti, balstoties uz iepriekš noteiktu izsoles procesu, kā rezultātā uzvarētājam tiek sniegti labi investīciju nosacījumi, ieskaitot investīciju subsīdijas par uzstādīto kilovatu. Uz ražošanu balstītā konkursu shēma darbojas līdzīgi, tomēr šajā gadījumā uzvarētājs nesāņem vienreizēju investīciju atbalstu, bet viņam tiek piedāvāta izsoles cena par kWh, ko tas var saņemt visa noslēgtā līguma darbības laikā.

### *1.1.3.4. Līmeņatzīmes*

Līmeņatzīmes ir kvantitatīvi rādītāji (piemēram, emisijas faktori) attiecināti uz saražoto vienību (piemēram, x gCO<sub>2</sub>/MWh) [16,17]. Tās ir kvantitatīvas rādītāju bāzes līnijas, kuras nosaka politiski lēmumi [18].

Lai noteiktu līmeņatzīmes, ir jāveic vidējo rādītāju novērtējums [18,19]. Lai novērtētu līmeņatzīmes lielumu, ir jāņem vērā gan laika, gan telpas dimensija. Līmeņatzīmes SEG emisiju ierobežošanai var noteikt, ņemot vērā vēsturiskos rādītājus vai prognozes. Pirmajā gadījumā tiek pārvērtēti emisiju samazinājumi, ņemot vērā autonomus efektivitātes uzlabojumus. Otrajā gadījumā ir liela nenoteiktība. Līmeņatzīmju atkarība no telpas ir saistīta ar to, ka reģionā var tikt

izvēlēta valsts līmeņatzīme, bet tā varētu ierobežot uzņēmumus un emisijas avotus noteiktā šīs valsts reģionā [19].

Līmeņatzīmju metode ir atzīta par vienu no vislabākajām metodēm, jo tā ļauj salīdzināt līdzīga tipa uzņēmumu, piemēram, centralizētas siltumapgādes siltumenerģijas ražošanas avotu, rādītājus dažādās valstīs un reģionos ar standartiem vai labākajām pieejamajām tehnoloģijām, kā arī veicina uzņēmumus ar mazāk energoefektīvām iekārtām ieviest energoefektivitātes pasākumus, lai sasniegtu noteikto līmeņatzīmes rādītāju. Savukārt, viens no galvenajiem šīs metodes trūkumiem ir tas, ka līmeņatzīmes lieluma noteikšanai ir nepieciešami precīzi statistikas dati.

Lai noteiktu līmeņatzīmes sadedzināšanas iekārtām, vispirms ir jāraksturo galvenie parametri, no kuriem ir atkarīgi līmeņatzīmju lielumi. Tie ir [20]:

- darbības vienība (tCO<sub>2</sub> uz ...):
  - ievadītā enerģija (tonnas vai m<sup>3</sup> kurināmā; MWh kurināmā),
  - uzstādītā jauda (MW),
  - saražotā enerģija (MWh):
    - MWh elektroenerģijas,
    - MWh siltumenerģijas,
    - MWh elektroenerģijas un siltumenerģijas (koģenerācijas ciklā);
- no kurināmā atkarīga / neatkarīga.

Ja līmeņatzīme tiek rēķināta uz ievadīto enerģiju, tad aprēķinā nevar ņemt vērā energoefektivitātes rādītāju, kā arī saražotā produkta veidu, t.i., elektroenerģija vai siltumenerģija. Līmeņatzīmes uz uzstādīto jaudu (tCO<sub>2</sub>/MW vai tCO<sub>2</sub>/MJ) ir piemērotas gadījumā, kad ir pieejami vēsturiskie dati, bet tās nav piemērotas jaunu sadedzināšanas iekārtu novērtēšanai.

Pastāv trīs veidu līmeņatzīmes uz saražoto enerģiju: līmeņatzīme uz saražoto elektroenerģiju, līmeņatzīme uz saražoto siltumenerģiju un līmeņatzīme uz vienlaikus saražoto elektroenerģiju un siltumenerģiju koģenerācijas ciklā.

Latvijā līdz šim nav veikta atjaunojamo energoresursu īpatsvara pieauguma modelēšana centralizētās siltumapgādes sistēmās un nav izvērtēta dažādu politikas instrumentu ietekme uz kurināmā struktūras izmaiņām centralizētās siltumapgādes sektorā. Praksē AER atbalsta politikas instrumenti var tikt realizēti kā CO<sub>2</sub> nodoklis (vai atbrīvojums no nodokļa maksas, ja iekārtā enerģijas ražošanai izmanto atjaunojamus energoresursus) un kā līmeņatzīmes noteikšana attiecībā uz pieļaujamo CO<sub>2</sub> emisijas daudzumu, tCO<sub>2</sub>/MWh. Šādu instrumentu kombinācija var ietekmēt kurināmā patērētāju izvēli par labu atjaunojamo energoresursu, piemēram, enerģētiskās koksnes, lietošanai, aizstājot šobrīd centralizētajā siltumapgādē lietoto fosilo kurināmo, kas pamatā ir dabasgāze (skat. 1.4.att.).

## 1.2. Ilgtspējīgas enerģētikas politikas veidošanas pamatprincipi

### 1.2.1. Dānijas enerģētikas stratēģijas izveide

Dānija 2011.gada sākumā nāca klajā ar Enerģētikas stratēģiju, kura paredz, ka 2050.gadā Dānijā netiks izmantoti fosilie kurināmie. Stratēģijas izveide ir tapusi kā mērķtiecīga politika, sadarbojoties Dānijas valdībai un Dānijas Inženieru asociācijai [21].

Daudzus gadus Dānijā CO<sub>2</sub> emisiju apjoms uz vienu iedzīvotāju ir bijis starp visaugstākajiem pasaulē, bet vienlaikus Dānija ar savu aktīvo enerģētikas politiku ir jau ir sasniegusi ievērojamu emisiju samazinājumu [22]. 35 gadu laikā Dānija ir spējusi stabilizēt tās primāro energoapgādi, samazinot naftas produktu daļu tajā. 20% elektroenerģijas Dānijā tiek ražoti vēja parkos un 15% no primārās enerģijas ir no atjaunojamajiem energoresursiem, t.sk. no biomasas un atkritumu dedzināšanas. Turklāt būtiska loma Dānijas enerģētikas politikā ir atvēlēta arī energoefektivitātei, un šobrīd apmēram 50% elektroenerģijas tiek ražoti koģenerācijā [21]. Dānijas saistošais mērķis ir 20% AER īpatsvars bruto enerģijas galapatēriņā 2020.gadā. Dānijas jaunā enerģētikas stratēģija paredz, ka 2050.gadā valsts energoapgāde tiks 100% nodrošināta no atjaunojamajiem resursiem – biomasas kombinācijā ar vēja, viļņu un saules enerģiju.

Šādas 100% atjaunojamās enerģijas ražošanas sistēmas izveidei ir vismaz trīs lieli tehnoloģiskie izaicinājumi [23]: energoefektivitāte enerģijas patērētāja pusē, energoefektivitātes uzlabošana enerģijas ražošanā un fosilo kurināmo aizstāšana ar dažāda veida atjaunojamās enerģijas avotiem. Lai pārvarētu šos tehnoloģiskos izaicinājumus, Dānijā tika veikta plaša atjaunojamo energoresursu ieviešanas plānošana, izveidojot stratēģijas atjaunojamo energoresursu integrēšanai saistītajās energosistēmās, uz kurām vienlaicīgi darbojas arī veiktie enerģijas taupības un energoefektivitātes pasākumi. Šādas 100% atjaunojamo energoresursu sistēmas izveidē ir divas galvenās problēmas: pirmā problēma ir saistīta ar neregulāro (periodisko) avotu integrēšanu energosistēmā, īpaši elektroapgādē, savukārt otra problēma skar transporta sektora iekļaušanu stratēģijā.

Lai pārvarētu iepriekš minētos izaicinājumus un problēmas, stratēģijas izstrādātāji kombinēja divas pieejas – radošo pieeju, piedaloties vairākiem ekspertiem, un detalizētu analītisko pieeju, kas ietvēra visas sistēmas tehnisko un ekonomisko analīzi un katra atsevišķa piedāvājuma apspriešanu. Apspriešanas un pārskatīšanas laikā katrs atsevišķais piedāvājums tika veidots, kombinējot ekspertu zināšanas ar spēju tās piemērot kopējai sistēmai gan tehniskās inovācijas ziņā, gan efektīvas energoapgādes un socioekonomisko aspektu pamatotībā. Alborgas Universitātes zinātnieki analizēja dažādu alternatīvu un pasākumu ietekmi uz kopējo energosistēmu, izmantojot datormodeli EnergyPLAN. Dānijas nākotnes energoapgādes sistēma šajā modelī tiek analizēta, fiksējot ikstundas datus un veidojot elastīgas sistēmas ar iespēju balansēt elektroenerģijas piegādi un patēriņu un iespēju importēt vai eksportēt enerģiju no/uz starptautiskajiem elektroenerģijas tirgiem.

Modelēšanas rezultāti parādīja, ka atteikšanās no fosilo resursu lietošanas Dānijas energoapgādē 2050.gadā ir fiziski iespējama, tomēr Dānijai būs jāizšķiras,

cik lielā mērā valsts balstīs savu energoapgādi uz biomasas resursiem, kas prasīs esošo lauksaimniecības zemju izmantošanas reorganizācijas pasākumu veikšanu, un cik lielā mērā tā tiks balstīta uz vēja enerģiju [23].

Jebkuras enerģētikas stratēģijas ieviešanā liela loma ir pašvaldībām un reģionālajai plānošanai [24]. Arī Dānijas gadījumā pašvaldības kā vietējās energoplānošanas autoritātes ir tās, kurām jaunā vīzija ir jāpieņem un jāpielāgo atšķirīgiem vietējiem apstākļiem. Dānijā tika analizēti 11 dažādu pašvaldību energoplāni [25], izvērtējot, cik lielā mērā pašvaldības energoplāns atbilst valsts 100% AER stratēģijai. Rezultāti parādīja, ka Dānijas pašvaldības ir ieinteresētas energoplānošanā un plānos paredzētās aktivitātes ir daudzveidīgas. Tajā pat laikā tika secināts, ka ir nepieciešama labāka energoplānošanas aktivitāšu koordinācija centralizētā līmenī. Tika norādīts, ka ir skaidrāk jādefinē pašvaldību kā energoplānošanas autoritāšu loma, piemēram, uzdotot tām veikt stratēģisku energoplānošanu, kurā tiek ietverta energoefektivitātes un atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšana visos sektoros. Lai to veiktu, valstij ir jānodrošina pašvaldības ar nepieciešamajiem plānošanas instrumentiem un jāizveido attiecīgs plānošanas ietvars.

Dānijas Enerģētikas stratēģijas kontekstā tiek uzsvērti arī centralizētās siltumapgādes loma nākotnē. Alborgas Universitātes zinātnieki ir veikuši pētījumu [26] par izvēlētās stratēģijas ietekmi uz centralizētās siltumapgādes sektoru Dānijā. Tajā tika apskatīti 25% no Dānijas dzīvojamā fonda – ēkas, kurās ir uzstādīti individuālie gāzes vai dīzeļdegvielas katli un kuras nākotnē varētu pieslēgt centralizētai siltumapgādes sistēmai, vai esošo katlu vietā uzstādīt efektīvākus atjaunojamus resursus izmantojošus katlus. Skatoties šādā perspektīvā, tika secināts, ka vislabākais risinājums atlikušajās ēkās būtu kombinēt pakāpenisku centralizētās siltumapgādes sistēmas paplašināšanu ar individuāliem siltumsūkņiem. Šis risinājums ir spēkā esošām sistēmām, kuras pamatā ir balstītas uz fosilo kurināmo lietošanu, kā arī nākotnes sistēmām, kas jau tiks balstītas uz 100% atjaunojamās enerģijas izmantošanu.

Kā redzams, Dānija ir labs piemērs citām Eiropas valstīm un arī Latvijai, parādot, ka ir iespējams realizēt ambiciozu enerģētikas politiku, tikai tam ir nepieciešami piemēroti plānošanas instrumenti (datormodeļi), sabiedrības un ekspertu iesaistīšanās un atbalsts un koordinēta darbība visos sektoros un plānošanas līmeņos, īpaši uzsverot pašvaldības kā vietējās plānošanas autoritātes lomu.

## 1.2.2. Reģionālā energoplānošana

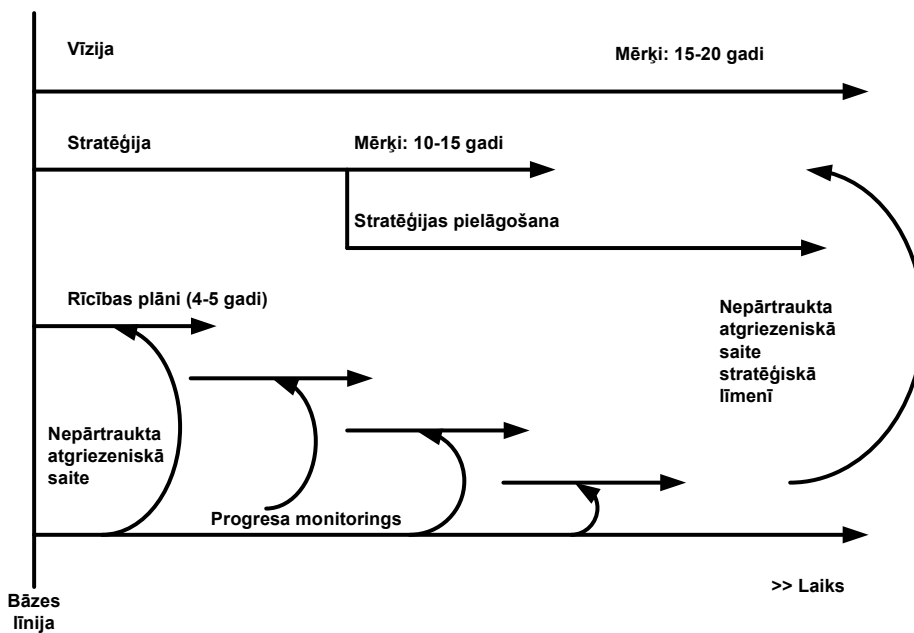
### 1.2.2.1. Energoplānošanas process

Ilgtspējīga energoplānošana reģionālajā līmenī ir cieši saistīta ar atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu elektroenerģijas, siltumenerģijas un dzesēšanas vajadzībām, energoapgādes drošību un paplašināšanu, energoefektivitātes paaugstināšanu produktu un pakalpojumu sektorā un ēkās, kas ir arī vieni no galvenajiem darbības virzieniem enerģētikas un klimata politikas veidošanā Eiropas Savienībā.

Energoplānošanas procesu var sadalīt 8 secīgos soļos:

- vīzijas izveide;
- dzinējspēku noteikšana;
- bāzes līnijas definēšana;
- attīstības scenāriju izstrāde;
- stratēģijas formulēšana;
- rīcības plāna formulēšana;
- progressa monitorings un novērtēšana;
- jaunās informācijas iekļaušana plānošanas procesā (piemērošanās).

Vīzija ir balstīta uz politisku uzstādījumu un attēlo gan reālās iespējas, gan ambīcijas. Vīzijā tiek uzstādīti gan ilgtermiņa, gan vidēja termiņa mērķi. Mērķiem ir jābūt konkrētiem un izmērāmiem. Vīzija parasti tiek izstrādāta, paredzot mērķus nākamajiem 15–25 gadiem.

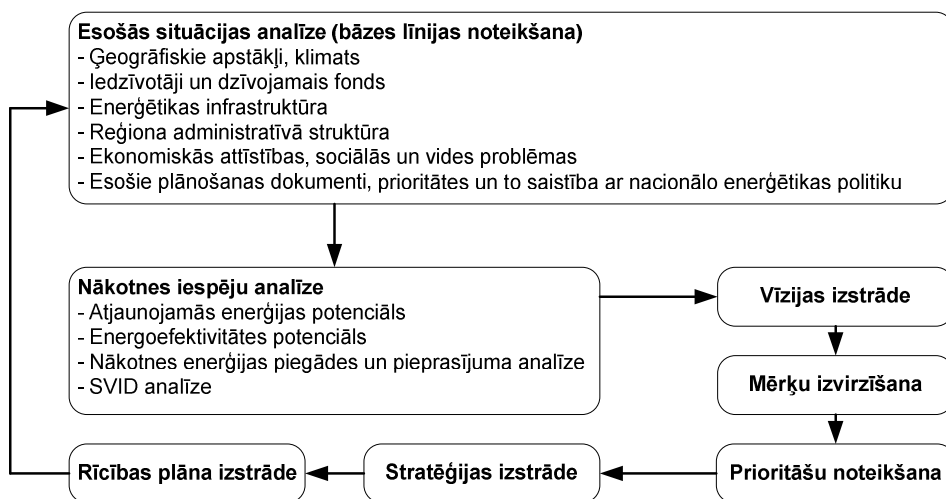


1.7.att. Plānošanas laika ietvars

Enerģētikas politiku noteiktā reģionā ietekmē dažādi dzinējspēki. Tie var būt politiski, ekonomiski, sociāli vai ar vidi saistīti apsvērumi, kas būtiskā veidā ietekmē enerģētikas politikas nākotni un veidošanos. Viens no pirmajiem plānošanas uzdevumiem ir identificēt un saprast, kas ir enerģētikas attīstības un pārvaldības dzinējspēki, piemēram, vai tā ir ekonomiskā izaugsme, demogrāfiskā attīstība, resursu pieejamība, sociālā attīstība, vai varbūt tie ir vides un veselības aizsardzības jautājumi. Identificējot dzinējspēkus, ir jāsaprot, kādas ir attiecības starp tiem, un jānodala, kurus spēkus ir iespējams ietekmēt, bet kuri darbojas neatkarīgi no plānošanas. Šī analīze ļauj noteikt tos dzinējspēkus, uz kuriem tiek

balstīti nākamie plānošanas cikla soļi – esošās situācijas jeb bāzes līnijas noteikšana un attīstības scenāriju izstrāde. Plānošanas laika ietvars ir redzams 1.7.attēlā.

Bāzes līnijas noteikšana ir nepieciešama, lai dotu atsauci plānošanai un progresa monitoringam. Bāzes līnija dod gan zinātnisku, gan kvantitatīvu bāzi tālākai plānošanai, kā arī palīdz saprast, kādu vēsturisko datu trūkst un kādas ir bijušas līdzšinējās attīstības tendences. Bāzes līnijas izstrādes metodikas piemērs un tās saistība ar citām plānošanas daļām redzama 1.8.attēlā. Piemērs ir balstīts uz Čehijas speciālistu [27] izveidotu plānošanas modeli. Saskaņā ar šo modeli energoplāna izstrāde tiek sadalīta divās lielās daļās: esošās situācijas analīze un nākotnes iespēju analīze.



1.8.att. Reģionālās energoplānošanas konceptuālā shēma

### 1) Esošās situācijas analīze

Esošās situācijas aprakstā iekļaujama informācija un attiecīgie dati par reģiona dabas apstākļiem, energoapgādi un pieprasījumu, demogrāfiju, administratīvo struktūru utt. Kur vien tas ir iespējams, ir vēlams sniegt detalizētu informāciju atsevišķu pašvaldību līmenī. Vissvarīgākie vispārīgie reģiona dati ir:

- reģiona platība;
- klimatiskie apstākļi (temperatūra, grādu dienas, saules radiācija, vēja ātrums u.c.);
- ģeogrāfiskie dati;
- vēsturiskais konteksts.

Šie jautājumi jāapskata no enerģijas piegādes un lietošanas viedokļa, kā arī ņemot vērā iespējamo atjaunojamo energoresursu un energoefektivitātes potenciālu reģionā.

Apskatot reģiona administratīvo struktūru (pašvaldības, pagasti un pilsētas), ir svarīgi saprast, kādā līmenī tiek pieņemti stratēģiski ar nākotni saistīti lēmumi,

kas nosaka nākotnes prioritātes un sasniedzamos mērķus un kurš nosaka, attīsta un apstiprina potenciālos projektus.

Nākamais svarīgais jautājums ir iedzīvotāju skaits un tā pieauguma vai samazinājuma prognozes nākamo 10–15 gadu laikā. Ar mājsaimniecību sektoru saistītie pamatdati ir:

- privātmāju un daudzdzīvokļu māju skaits;
- dzīvokļu skaits mājokļos;
- ēkās izmantotie tipiskākie celtniecības materiāli;
- ēku vecums, tehniskais stāvoklis, siltumizolācijas kvalitāte;
- siltumenerģijas patēriņš uz m<sup>2</sup> u.c. lielumi.

Šeit ir jāapskata visi parametri, kas ietekmē enerģijas lietošanu ēkās vai ir saistīti ar potenciālajiem enerģijas ietaupījumiem.

Reģiona vissvarīgākie ekonomiskie faktori ir:

- iekšzemes kopprodukts (IKP);
- ekonomiskie sektori un to aktivitātes;
- rūpniecībā – pamatnozares, nodarbinātība;
- lauksaimniecībā – lielākās saimniecības, to produkcija, zemes lietojums;
- mežsaimniecībā – lielākie uzņēmumi, mežu īpašumtiesības, mežu platības, kokapstrāde;
- pieejamie publiskie un komerciālie pakalpojumi;
- izglītības sektors – skolu skaits, skolnieku un studentu skaits izglītības iestādēs;
- veselības aprūpes sektors – slimnīcu skaits, gultu skaits slimnīcās, citu iestāžu (pansionātu, sociālās aprūpes namu utt.) skaits;
- cita informācija.

Pie vispārējā reģiona apraksta var apskatīt vēl citus svarīgus aspektus, kas varētu ietekmēt ar energoapgādi un enerģijas lietošanu saistītos jautājumus, piemēram, reģiona sociālās problēmas (bezdarbs, migrācija utt.), vides problēmas (gaisa kvalitāte, ūdens kvalitāte utt.), esošie stratēģiskie dokumenti (reģionālās attīstības plāni, rīcības plāni vides situācijas uzlabošanai utt.), likumdošana un veiksmīgi ieviesti atjaunojamo energoresursu vai energoefektivitātes projekti reģionā.

Nākamais plānošanas solis saskaņā ar piedāvāto energoplānošanas metodi [27] ir esošās enerģētikas infrastruktūras analīze, nosakot, kādā veidā enerģija tiek lietota. Šajā aprakstā būtiskākie jautājumi ir:

- saistība ar apkārtējiem reģioniem;
- reģionā pieejamie enerģijas avoti (centralizētās apkures sistēmas, elektroenerģijas ražošanas stacijas), enerģijas ražotāji un izmantotās tehnoloģijas, to uzstādītā jauda, kurināmā patēriņš, radītās emisijas;
- reģionā pieejamie sadales tīkli: elektroenerģijas, dabasgāzes, centrālapkures (informācija par atsevišķām pašvaldībām), enerģijas piegādātāji;
- pašvaldības ar pieeju dabasgāzes tīklam, pašvaldības, kam jāpaļaujas tikai uz importētiem fosiliem resursiem vai vietējiem alternatīvajiem resursiem;
- rūpniecības uzņēmumi reģionā, to uzstādītā jauda, kurināmā patēriņš, emisijas;
- atkritumu enerģijas izmantošana;
- šobrīd izmantotie atjaunojamās enerģijas avoti.

Esošā enerģijas piegāde un lietošana ir jābalsta uz pieejamo statistisko informāciju un citiem datiem. Ja ir pieejami detalizēti dati, ir iespējams izveidot detalizētu enerģijas bilanci. Ja šādi dati nav pieejami, ir jāizdara pieņēmumi un jādod to skaidrojums. Enerģijas piegādes aspektā jāapskata šādi jautājumi:

- kopējā primārās enerģijas piegāde reģionam (primārās enerģijas bilance) pa enerģijas nesējiem, pārveidojot to enerģijas vienībās (TJ vai MWh), un enerģijas piegādes struktūra (%);
- atkarība no importa un enerģijas pašnodrošinājums;
- enerģijas piegādes stipro un vājo pušu noteikšana, pamatproblēmu identificēšana;
- vispārēja enerģijas piegādes attīstība un tās iespējas nākotnē – fosilo kurināmo izmantošana vai AER lietošana.

Enerģijas patēriņa aspektā jāapskata šādi jautājumi:

- enerģijas galapatēriņš – enerģija, kas piegādāta gala patērētājiem, sadalīta pa sektoriem (mājsaimniecības, pakalpojumi, rūpniecība, lauksaimniecība) un pa enerģijas nesējiem (elektroenerģija, centralizēts siltums, gāze, ogles u.c.);
- enerģijas patēriņu ietekmējošo faktoru noteikšana pašreiz un nākotnē.

Esošā enerģijas situācija ir jānovērtē, cik vien detalizēti tas ir iespējams. Energobalance vai esošās situācijas apraksts tālāk tiek izmantots kā pamats mērķu noteikšanai un nākotnes iespēju apskatīšanai.

## 2) Nākotnes iespēju analīze

Nākotnes iespējas jāskata no diviem punktiem – no enerģijas ietaupījumu un no atjaunojamo energoresursu izmantošanas viedokļa. No energoefektivitātes pasākumu viedokļa jāapskata potenciālais ietaupījums šādos sektoros:

- mājsaimniecībās (ēku siltināšana, apkures sistēmas regulēšana, energoefektīvu iekārtu izmantošana);
- publiskajā un komerciālajā sektorā (ēku siltināšana, apkures sistēmas regulēšana, energoefektīvu iekārtu izmantošana);
- rūpniecībā un lauksaimniecībā (energoefektīvu tehnoloģisko procesu ieviešana, enerģijas zudumu samazināšana, atkritumu siltuma izmantošana, rūpnieciskās koģenerācijas uzstādīšana utt.);
- centralizētā siltuma ražošanā – paaugstināt ražošanas tehnoloģiju efektivitāti (koģenerācija, jauni katli, kurināmā maiņa u.c.);
- sadales tīklos (samazināt siltuma zudumus centralizētās siltumapgādes tīklos u.c.).

Potenciālie enerģijas ietaupījumi tiek noteikti kā starpība starp pašreizējo enerģijas patēriņu un labākajām izmantotajām tehnoloģijām.

No AER viedokļa ir jāapskata šādi jautājumi:

- saules kolektoru un fotoelementu enerģija (balstoties uz datiem par saules radiāciju un noteikto potenciālo saules enerģijas daļu karstā ūdens, apkures u.c. vajadzībām);
- hidroenerģija;
- vēja enerģija (balstoties uz vēja resursu kartēm);

- ģeotermālā enerģija vai apkārtējās vides siltums (izmantošanai siltumsūkņos);
- biomasa (atlikumi no mežsaimniecībām, apstrādes rūpniecības, dārziem un parkiem, lauksaimniecības atkritumi, piemēram, salmi un atlikumi no augu pārstrādes, enerģētiskās koksnes audzēšanas potenciāls uz lauksaimniecībā neizmantotās zemes vai citu nerentablu kultūru aizvietošanai);
- biogāze (no atkritumu poligoniem, notekūdeņu attīrīšanas, organiskām vielām (dzīvnieku mēsliem, organiskiem atkritumiem, teritoriju kopšanas atkritumiem).

AER potenciāla noteikšana ir vissvarīgākais solis, lai noteiktu prioritātes un konkrētus projektus ar visaugstāko ieviešanas potenciālu. Potenciāla noteikšanai var izmantot dažādas pieejas. Pamatā šis process ir jābalsta uz pieejamajiem statistikas datiem, bet papildus var izmantot arī eksperta vērtējumu un citus rīkus, piemēram, SVID analīzi.

Nākamais solis ir nākotnes piegādes un pieprasījuma iespējas turpmākajiem 10–20 gadiem. Lai tās noteiktu, ir jāapskata šādi jautājumi:

- enerģētikas infrastruktūras attīstība (gāze, siltums, elektroenerģija – sadale);
- enerģijas pieprasījuma attīstība – pa sektoriem, kurināmā un enerģijas veidiem, izmantojot prognozes no reģiona stratēģiskās plānošanas dokumentiem. Šeit jāietver arī prognozēto enerģijas ietaupījumu energoefektivitātes pasākumu rezultātā;
- iespējamās alternatīvas enerģijas piegādei nākotnē – ilgtermiņa iespējas, alternatīvo scenāriju izstrāde.

Nākotnes alternatīvie scenāriji ir jāapskata, izmantojot šādus indikatorus:

- nākotnes CO<sub>2</sub> emisijas;
- investīcijas AER projektos;
- investīcijas EE pasākumos;
- AER daļa nākotnes primāro energoresursu enerģijas patēriņā;
- saražotā elektroenerģija, izmantojot AER u.c.

Var izmantot arī citus ar vidi saistītos indikatorus: sasniegtais enerģijas ietaupījums, emisiju samazinājums, nodarbinātība, citi sociālie ieguvumi, radītie ienākumi utt.

### 3) Enerģijas vīzija, mērķi, prioritātes, stratēģija un rīcības plāns

Kad visa iepriekšminētā informācija ir zināma, var noformulēt reģiona enerģijas vīziju, noteikt konkrētus īstenojamus mērķus un izvēlēties konkrētus projektus, nosakot galvenos to ieviešanas pasākumus.

Izstrādājot scenārijus, tiek dots ieskats nākotnes enerģijas vajadzībās. Dažādi scenāriji ir atkarīgi no dažādo dzinējspēku attīstības un ietekmes uz reālajām enerģijas vajadzībām. Stratēģiskās plānošanas un vadības visnozīmīgākais posms ir stratēģijas izstrāde, kas ir vienlaicīgi gan stratēģisks plāns, gan stratēģisks process. Plāns ir stratēģijas gala iznākums – dokuments, bet stratēģiskais process ietver vispārējo vadību, kas nodrošina, ka stratēģijas dokuments tiek uzrakstīts, apspriests, apstiprināts un ieviests.

Stratēģijā vīzija tiek pārvērsta reālos mērķos attiecībā uz resursu pārvaldību, energoapgādi (ražošanu un sadali) un lietošanu (gala patērētājs), dodoties ilgtspējīgas enerģētikas attīstības virzienā. Šajā procesā ir iespējams integrēt arī tādus ar enerģiju tieši nesaistītus jautājumus kā nabadzības riska samazināšana, dzimumu līdztiesība, vides pārvaldība, sociālā attīstība, kultūra un veselības aprūpe. Stratēģiju izstrādā vidējā termiņā – 10 līdz 15 gadu nākotnei ar 4–5 gadu starposmiem (rīcības plāniem). Stratēģijā tiek paredzēti mērķi, bet netiek detalizēti aprakstīti instrumenti, ar kuriem tos realizēt. Tiek noteiktas svarīgākās iesaistītas puses, organizācijas un indivīdi, kā arī tiek sadalīta atbildība starp tiem.

Rīcības plānā tiek izvirzītas atsevišķas noteiktas darbības, kuras ir jāizpilda, lai sasniegtu stratēģijā noteiktos mērķus. Rīcības plāns ir pamats reālai stratēģijas ieviešanai nākamā 4 līdz 5 gadu laikā. Katrai darbībai tiek noteikts tās mērķis, ieviešanas laika grafiks, budžets un organizatoriskie aspekti.

#### *1.2.2.2. Reģionālās energoplānošanas metodes*

Atkarībā no plānošanas mērķiem energoplānošanā reģionālajā līmenī izmanto dažādas pieejas. Lai realizētu ilgtspējīgu plānošanu, speciālisti [28] piedāvā izmantot vairākas metodes: vairāku kritēriju lēmumu pieņemšanas tehnoloģijas, Delfi metodi un teritoriālo energoplānošanu.

Delfi tehnoloģijas tiek izmantotas kā efektīva metode ilgtermiņa plānošanai saistībā ar ilgtspējīgu attīstību. Šīs metodes pamatā ir divi scenāriji, kurus izveido, balstoties uz ekspertu pētījumiem. Šīs metodes bieži tiek izmantotas kopā ar ģeogrāfisko informācijas sistēmu (GIS), lai veicinātu ilgtspējīgu attīstību jaunattīstības valstīs [28].

Teritoriālās plānošanas pieeja energoplānošanai tiek plaši izmantota lauku apvidos un jaunattīstības valstīs. Šo pieeju ilgtspēja ir atkarīga galvenokārt no sabiedrības līdzdalības plāna izstrādē.

Vairāku kritēriju lēmumu pieņemšanas tehnoloģiju aizsākums meklējams 20. gadsimta sešdesmitajos gados. Klasiskās metodes radās laikā, kad tika radītas mērķu programmēšanas, noteikšanas un izvēles metodes, un astoņdesmitajos gados tās kopā ar datorzinātnes attīstību realizējās vairāku kritēriju lēmumu pieņemšanas tehnoloģijās. Enerģētikā plānošanas mērķiem sākotnēji tika izmantotas viena kritērija pieejas, kas bija balstītas uz pieprasījuma prognozi un efektīvas zemu izmaksu piegādes formas meklējumiem. Tomēr astoņdesmito gadu sākumā vajadzība energoplānošanā apvienot sociālo ietekmi ar vides jautājumiem veicināja vairāku kritēriju lēmumu pieņemšanas tehnoloģiju izmantošanu [28].

Speciālisti [29] piedāvā uz lēmumu atbalsta sistēmu un GIS pamata veidotu energoplānošanas metodi, kas paredzēta integrētai energoplānošanai, no vienas puses, ņemot vērā reģiona telpiskās izmaiņas un resursu pieejamības sezonālās izmaiņas, enerģijas pieprasījumu u.c., no otras puses, reģionālajā energoplānā tiek ietverta lemšanas struktūra, lēmumu pieņemšanas līmeņi un ieviešanas stratēģijas.

Piedāvātās sistēmas pamatprincips ir piegādāt enerģiju pietiekamā daudzumā ilgtspējīgai reģiona attīstībai. Šī energoplānošanas metode ietver tādu avotu un enerģijas pārvēršanas iekārtu atrašanu, kas apmierina enerģijas

pieprasījumu un optimāli veic visus uzdevumus. Optimalitāte ir atkarīga no mērķa, piemēram, minimizēt kopējās enerģijas ikgadējās izmaksas, minimizēt importēto resursu izmantošanu, maksimizēt sistēmas kopējo efektivitāti utt. Dažādi faktori, piemēram, resursu pieejamība reģionā, enerģijas nepieciešamība, uzstāda ierobežojumus energoplānošanas uzdevumam. Tādējādi energoplānošanas uzdevums kļūst par optimizācijas problēmu.

Piedāvātā [29] energoplānošanas metode meklē enerģijas sadales optimumu, balstoties uz integrētas energoplānošanas pieeju kādam rajonam Indijā. Metode tiek izmantota, lai prognozētu enerģijas sadalījumu 2005., 2010. un 2015.gadā. Šeit piedāvātā integrētā energoplānošanas metode, kas balstīta uz lēmumu atbalsta sistēmu pieeju ir elastīga, pielāgojama, ņem vērā vides aspektus un dod optimālu jaunu atjaunojamo/tradiccionālo energoavotu kombināciju. Metode ir realizēta datormodeļa (*Regional Integrated Energy Plan*) veidā, kas paredzēts lēmumu pieņēmējiem un plānotājiem rajona līmenī, lai viņi varētu novērtēt esošo enerģijas politiku un attīstīt vidi saudzējošus un ilgtspējīgus energoplānus.

Modelī [29] iespējams prognozēt pieprasījuma situāciju pēc dažādiem scenārijiem (bāzes scenārija, augstas enerģijas intensitātes scenārija, valsts attīstības scenārija u.c.), tādējādi gūstot ieskatu nākotnē un novērtējot enerģētikas politikas ietekmi. Datormodelis kalpo dažādiem mērķiem:

- 1) kā datu bāze – satur informāciju par iedzīvotāju skaitu un dabas resursiem (zemes lietojumu un struktūru, mežu tipiem, lauksaimniecības kultūrām, ražīgumu u.c.) vairāku gadu griezumā;
- 2) enerģētikas informācijas apkopošanai – iespējams ievadīt, papildināt un labot datus, kā arī iegūt datus un automātiski veidot atskaites un grafikus saistībā ar telpiskajām kartēm (rajonam, pagastam, ciemam);
- 3) prognozēšanas rīks – energoapgādes prognozēšanas iespējas 5 gadu intervālos;
- 4) politikas analīzes rīks – modelē un novērtē alternatīvās enerģijas projektu ietekmi (tehniski ekonomiskos, vides efektus);
- 5) kā izziņas avots – tur publicētas rakstu anotācijas un citu reģionu enerģētikas datu bāzes;
- 6) saites uz dažādiem enerģētikas avotiem – uz avotiem, kas saistīti ar enerģētikas un vides jautājumiem;
- 7) atjaunojamās enerģijas potenciāla, importēto enerģijas avotu (elektroenerģijas, naftas produktu) piegādes statuss – enerģijas pieprasījuma novērtējums dažādos sektoros, alternatīvu tehniski ekonomiskais un vides novērtējums;
- 8) vides tehnoloģiju datubāze.

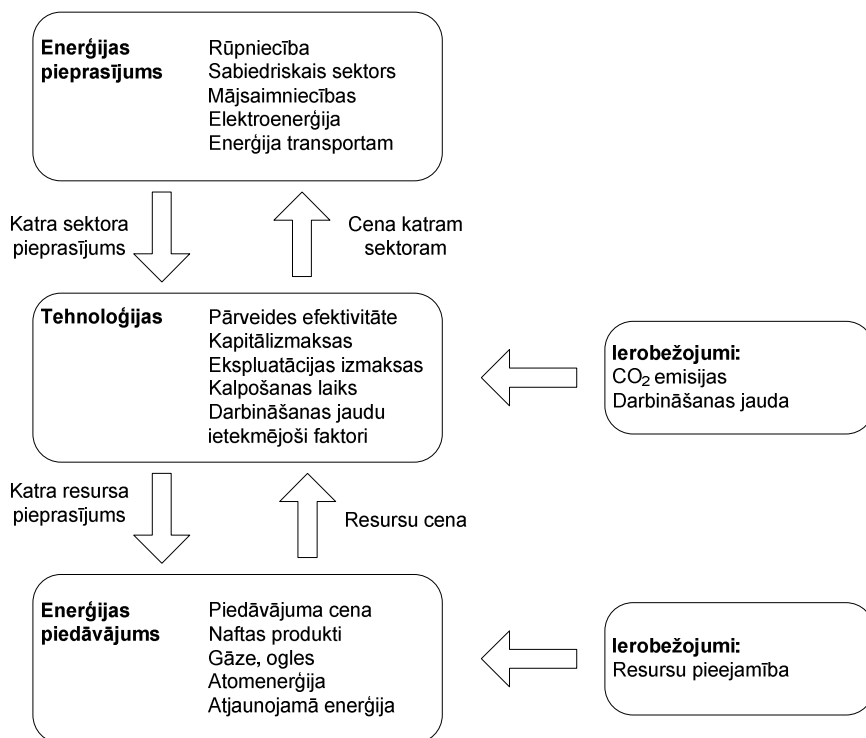
### **1.3. Energoplānošanas modeļi**

Enerģētikas datormodeļi, līdzīgi kā citi modeļi, ir vienkāršots reālo sistēmu attēlojums. Modelis ir noderīgs situācijās, kad nav iespējams vai nav lietderīgi veikt pārbaudes un eksperimentus reālajā sistēmā, tas ir pārāk dārgi vai pat neiespējami. Energosistēmu analīzei pasaulē līdz šim izstrādāti daudz dažādi plānošanas modeļi,

kas balstīti uz atšķirīgām pieejām un pamatprincipiem, tādējādi to klasificēšana ir absolūti subjektīva. Energoaplānošanas modeļus iespējams klasificēt, ņemot vērā [30,31]:

- modeļa mērķi (vispārīgi un konkrēti);
- struktūru (iekšēji un ārēji pieņēmumi);
- izmantoto analītisko („top-down”, „bottom-up”, kombinētie modeļi) vai matemātisko pieeju;
- metodoloģiju (imitācijas, optimizācijas, sistēmu dinamikas, ekonomiskā līdzsvara un makroekonomiskie, ekonometriskie u.c. modeļi);
- ģeogrāfisko pārklājumu (globāls, nacionāls, reģionāls, lokāls);
- laika posmu (ilgtermiņa, vidēja termiņa, īstermiņa);
- detalizētības līmeni;
- ievades – izvades datus utt.

Enerģētikas–ekonomikas modeļiem raksturīgais strukturālais pamatprincips skaidrots 1.9.attēlā. Enerģētikas–ekonomikas modeļa pamatstruktūru veido enerģijas pieprasījums un piedāvājums, ko savstarpēji saista enerģijas ražošanā izmantotās tehnoloģijas. Enerģijas pieprasījuma un piedāvājuma raksturošanai izmanto divus faktoros – enerģijas daudzumu un cenu. Kā ārēji faktori, kas ietekmē sektora darbību, tiek uzdoti dažādi ierobežojumi, piemēram, CO<sub>2</sub> emisijas, iekārtas jauda vai resursu pieejamība.



1.9. att. Enerģētikas–ekonomikas modeļa struktūra [32]

Turpmāk plašāk apskatīti dažāda veida energoplānošanas modeļi atkarībā no modelēšanā izmantotās analītiskās pieejas un metodoloģijas, kā arī ģeogrāfiskā pārklājuma, liekot uzsvāru uz reģionālajā līmenī izmantoto decentralizēto energoplānošanas datormodeļu analīzi.

### 1.3.1. Lejupejošā un augšupejošā modelēšanas pieeja

*Lejupejošā* (angliski *top-down*) un *augšupejošā* (angliski *bottom-up*) modelēšanas pieeja ir pamatpieejas enerģētikas–ekonomikas modeļu veidošanā, ko izmanto, lai meklētu saikni starp ekonomikas un enerģētikas sistēmām. Jēdzieni „augšup” (angliski *top*) un „lejup” (angliski *bottom*) saīsināti apzīmē attiecīgi vienotos/kopuma (angliski *aggregate*) un dalītos (angliski *disaggregated*) modeļus. *Lejupejošās* modelēšanas pieejas gadījumā sistēma tiek analizēta, izmantojot vienotus/kopējus (aggregate) ekonomiskus mainīgos, turpretī *augšupejošā* modelēšanas pieeja ņem vērā tehnoloģiskās iespējas un specifiskus klimata pārmaiņu samazināšanas politikas projektus. [32]. Atkarībā no izvēlētas modelēšanas pieejas var iegūt atšķirīgus rezultātus, kas skaidrojams ar dažādajiem veidiem, kā katrā gadījumā tiek raksturotas tehnoloģijas, lēmuma pieņemšana, tirgus darbība un ekonomikas institūcijas konkrētajā laika posmā [30].

Abām modelēšanas pieejām kopīga ir koncentrēšanās uz dažādu politikas pasākumu ietekmes novērtēšanu, kā, piemēram, CO<sub>2</sub> ierobežošanas izmaksas vai tehnoloģiju izvēle, pateicoties izmaiņām nodokļu sistēmā [33].

Modelēšanas pirmsākumos robeža starp *lejupejošās* un *augšupejošās* modelēšanas pieejas modeļiem bija izteikta un skaidra. Pateicoties nepārtrauktai attīstībai un modeļu pilnveidošanai, pašlaik ir izveidoti hibrīdmodeļi, kas apvieno abu modelēšanas pieeju labākās īpašības [32].

*Augšupejošo* modelēšanas pieeju lielākoties izmanto imitācijas un optimizācijas modeļos, tomēr šo tehniku izmantošana iespējama arī *lejupejošajos* modeļos. Turpretī ekonometrijas, makroekonomikas un ekonomiskā līdzsvara modeļus vispārīgi lieto tikai *lejupejošajos* modeļos, lai gan iespējami arī izņēmumi [32].

### 1.3.2. Modelēšanas metodoloģijas (līdzsvara, optimizācijas, imitācijas, ekonometriskie, sistēmu dinamikas modeļi)

#### 1.3.2.1. Līdzsvara modeļi

Ekonomiskā līdzsvara metodoloģija balstās uz kopējo ekonomikas struktūru un koncentrējas uz enerģētikas sektora un pārējās ekonomikas mijiedarbību. Izšķir daļēja līdzsvara un pilnīga (vispārīga) līdzsvara modeļus. Daļējā līdzsvara modeļi izmanto līdzsvaru ekonomikas daļās, piemēram, līdzsvaru starp enerģijas pieprasījumu un piedāvājumu. Vispārīgā līdzsvara modeļi saistīti ar vienlaicīgu līdzsvaru visās tirgus daļās un to noteicošajiem faktoriem [30].

Enerģētikas politikas analīzē plaši tiek izmantoti vispārīgā līdzsvara aprēķina modeļi (angliski *computable general equilibrium models, CGE*), jo to

struktūra ir loģiska un spēj ietvert lielāko daļu sistēmai būtisko aspektu. CGE modeļus izmanto, lai modelētu un analizētu īstenotās politikas rezultātus vai dažādu eksogēnu notikumu ietekmi uz enerģētikas sistēmu. Veidojot vispārīgā līdzsvara aprēķina modeli, sākotnēji, balstoties uz novēroto realitāti, tiek konstruēts modeļa bāzes gadījums. Pievienojot pamatmodelim dažādus eksogēnus mainīgos, vēlāk tiek veidoti scenāriji, kas raksturo plānoto sistēmas attīstību vai jau iepriekš pieredzēto situāciju. Vispārīgā līdzsvara aprēķina modeļa veidošanā tiek izmantotas trīs savstarpēji saistītas, bet atšķirīgas jomas: formulēšana (ekonomikas teorija), parametru novērtējums (ekonometrika) un matemātiskais risinājums (lietišķā matemātika) [34].

Vispārīgā līdzsvara aprēķina modeļos ekonomikas dalībnieku uzvedība tiek veidota, balstoties uz mikroekonomikas principiem. Šos modeļus izmanto, lai noteiktu tās atalgojuma, cenu un ārvalstu valūtu vērtības, kas veido tirgus līdzsvaru. CGE modeļi apskata ekonomiku dažādos līdzsvara stāvokļos un tādējādi nespēj piedāvāt ieskatu pielāgošanās procesā. Parametri CGE modeļos ir daļēji kalibrēti (tie ir izvēlēti atbilstoši kāda gada datiem) un ir tikai daļēji noteikti statistiski vai ekonometriski. Tādējādi var būt grūti nodrošināt atsevišķu parametru vērtību ticamību/pamatotību.

CGE modeļi ir [32]:

- GREEN – rekursīvs<sup>1</sup> dinamisks (recursive-dynamic) globāls CGE modelis, kas īpaši koncentrējas uz enerģijas ražošanu un patēriņu. Modelis ir kalibrēts, izmantojot 1985.gada datus un attēloto IKP un iedzīvotāju skaita dinamisko pieaugumu;
- Second generation model – paredzēts globāla mēroga modelēšanai, lai analizētu uz siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanu vērstu politiku;
- GEM-E3 – Eiropas Savienības mēroga modelis enerģētikas, ekonomikas un vides nozarei. Iekļauj detalizētu enerģijas piedāvājuma, patēriņa un piesārņojošo emisiju ietekmes uz vidi raksturojumu;
- EPPA (The Emissions Prediction and Policy Analysis) – rekursīvs dinamisks vairāku reģionu un sektoru globālās ekonomikas attēlojuma modelis;
- WORLDSCAN – Eiropas Savienības mēroga modelis ekonomikas attēlošanai, analizē pieprasījumu un piedāvājumu deviņos tautsaimniecības sektoros [35].

### *1.3.2.2. Optimizācijas modeļi*

Optimizācijas metodoloģija tiek izmantota, lai optimizētu enerģētikas nozares investīciju lēmumus vai lai atrastu tādu enerģētikas sistēmas struktūru, kuras īstenošana prasa vismazākās izmaksas. Optimizācijas modeļa piedāvātie rezultāti raksturo vislabāko iespējamo risinājumu pie noteiktiem mainīgajiem, ņemot vērā pastāvošos ierobežojumus. Optimizācijas modeļi pieņem, ka pie

---

<sup>1</sup> Rekursīva risinājuma pieeja nozīmē, ka noteiktā periodā investīcijas, ietaupījumi un patēriņa lēmumi ir balstīti uz cenām šajā periodā [36]

noteiktiem ierobežojumiem dominē ideāls tirgus stāvoklis un optimāla patērētāju uzvedība. Tomēr attīstības valstīs liela daļa ekonomikas nebalstās uz tirgus principiem, tāpat liela daļa iedzīvotāju neatspoguļo optimālu patērētāju rīcību, piemēram, iedzīvotāji bez pieejas modernai enerģijai, graustu iemītnieki, naturālās saimniecības u.c. [30].

Optimizācijas modeļi izstrādā alternatīvus risinājuma variantus, ņemot vērā problēmu, modeļa mērķi un ierobežojumus. No alternatīvām tiek izvēlēts vislabākais iespējamais (optimālais) variants [37].

Dinamiskos optimizācijas modeļus, kas ir enerģētikas sektora modeļu grupa (orientēti uz tehnoloģijām), var dēvēt arī par daļēja līdzsvara modeļiem. Šie modeļi tiecas minimizēt kopējās enerģētikas sistēmas izmaksas 40–50 gadu laika posmam, tādējādi izskaitļojot daļēju līdzsvaru enerģijas tirgos. Izmaksas iekļauj investīciju un ekspluatācijas izmaksas katrā sektorā, pamatojoties uz detalizētu izmaksu faktoru un pieņēmumu attēlojumu. Agrākās optimizācijas modeļu versijas meklēja iespējas nodrošināt enerģijas pieprasījumu ar viszemākajām izmaksām. Nesenākas versijas ļauj pieprasījumam būt atkarīgam no cenām. Plašais tehnoloģiju raksturojums ļauj novērtēt pamatkapitāla apgrozījumu un tehnoloģiju apguvi (technology learning), kas dažos modeļos ir kā endogēni mainīgie. Lielākā daļa inženiertehniskā tipa optimizācijas modeļu tiek risināti, pamatojoties uz piedāvājuma ierobežojumiem, nevis piedāvājuma un pieprasījuma sakritību, kas veidojas pie noteiktas tirgus cenas [32].

Optimizācijas modeļus iespējams iedalīt atkarībā no to risināšanā izmantotās matemātiskās pieejas: lineārās programmēšanas, dinamiskās lineārās programmēšanas, nelineārās programmēšanas, dinamiskās nelineārās programmēšanas un jauktās veselo skaitļu programmēšanas matemātiskās pieejas modeļi. Lielākoties optimizācijas modeļos tiek izmantotas lineārās programmēšanas tehnikas, lai noskaidrotu to sistēmas konfigurāciju, kas maksimizē un minimizē objektīvās funkcijas (piemēram, izmaksu minimizēšana). Šādus modeļus izmanto, lai plānotu viszemākās elektroenerģijas izmaksas, kā arī reģionālajā energoplānošanā [30].

Optimizācijas modeļi ir [32]:

- MARKAL – dinamiskās lineārās programmēšanas modelis, kas sākotnēji radīts, lai vērtētu jaunu enerģijas tehnoloģiju ieviešanas ietekmi uz nacionāla vai reģionāla mēroga sistēmām. To var izmantot dažādu pieņēmumu un ierobežojumu analīzei;
- META-Net – uz tehnoloģijām balstīts tirgus modelis, tieši risina ekonomiskā līdzsvara problēmu;
- MESSAGE – dinamisks lineārās programmēšanas optimizācijas modelis, īpaši piemērots kompleksiem, vairāku reģionu modeļiem ilgtermiņa enerģijas sistēmu optimizēšanas modelēšanai;
- EFOM-ENV – nacionāls dinamisks lineārās programmēšanas optimizācijas modelis, kas attēlo enerģijas ražošanas un patēriņa sektorus katrā no dalībvalstīm. Modelis optimizē šo sektoru attīstību pie noteiktas kurināmā importa cenas un derīgās enerģijas pieprasījuma iepriekš definētā laika posmā.

### 1.3.2.3. Imitācijas modeļi

Imitācijas modeļi ir enerģētikas sistēmu aprakstoši modeļi, kas balstās uz loģisku sistēmas attēlojumu. Imitācijas modeļu mērķis ir vienkāršota sistēmas darbības attēlošana. Imitācijas modeļi uzskata par statisku, ja tas attēlo sistēmas darbību atsevišķā laika brīdī. Imitācijas modeļi uzskata par dinamisku, ja modelēšanā iegūto rezultātu ietekmē sistēmas uzvedības attīstība vai izplatība, salīdzinot ar iepriekšējiem periodiem.

Imitācijas modeļis dod iespēju ar scenāriju palīdzību analizēt dažādu iepriekš izteiktu hipotēžu ietekmi uz enerģētikas sistēmas darbību. Izstrādājot atšķirīgus scenārijus, iespējams novērtēt dažādu pieņēmumu un politikas rīcību ietekmi uz enerģētikas sistēmu [30].

Integrētie enerģētikas sistēmas imitācijas modeļi (angliski *integrated energy-system simulation models*) ir *augšupvērstās* pieejas modeļi, kas iekļauj detalizētu enerģijas pieprasījuma un piedāvājuma tehnoloģiju raksturojumu. Pieprasījums un tehnoloģiskā attīstība tiek modelēta, izmantojot eksogēnus pieņēmumus dažādos scenārijos. Enerģijas patērētāji parasti tiek iedalīti dažādos apakšsektoros un procesos, kas ļauj plānot attīstības tendences, pamatojoties uz tehnoloģiju attīstības scenārijiem.

### 1.3.2.4. Ekonometriskie modeļi

Ekonometrija ir robežzinātne starp ekonomikas teoriju, statistiku un matemātisko ekonomiku. Ekonometrijas pamatā ir statistisko datu sakarību pētīšana, lai veiktu īstermiņa un vidēja termiņa prognozes. Ekonometrijas modeļu uzdevums ir aprēķināt modeļa parametru vērtības, izmantojot reālus statistikas datus, parādīt to attēlus skaitliskā koordinātu sistēmā, novērtēt atrasto parametru izlases kļūdas utt. Ekonometrijas metodes nav paredzētas cēloņsakarību atklāšanai. Ekonometriskie modeļi neietver strukturālas izmaiņas un nepaskaidro enerģijas pieprasījumu noteicošos faktoros. Tā kā mainīgo vērtības balstās uz pagātnes uzvedību, nepieciešama saprātīga ekonomiskās uzvedības stabilitāte [30,38].

Ekonometriskie modeļi ir [32]:

- POLES – globāla un reģionalizēta mēroga imitācijas modeļis, kas piedāvā ilgtermiņa enerģijas piedāvājuma un pieprasījuma scenāriju analīzi;
- MDM-E3 – vairāku sektoru dinamisks Lielbritānijas nacionālās ekonomikas modeļis prognožu un alternatīvu enerģētikas, ekonomikas un vides politikas scenāriju izstrādei un analīzei;
- QUEST – globāls makroekonomikas modeļis politikas analīzei un izpētei;
- WARM – modeļis enerģētikas un vides problēmu pētīšanai;
- E3 ME – Eiropas Savienības mēroga datormodeļis, kas analizē Eiropas ekonomikas, enerģētikas un vides sistēmas un tiek izmantots politikas analīzē, izpētē un prognozēšanā.

### 1.3.2.5. Sistēmu dinamikas modeļi

Sistēmu dinamika ir metodoloģija un datorsimulācijas (imitācijas) modelēšanas tehnika kompleksu problēmu strukturēšanai un risināšanai [39]. Cits literatūras avots [40] sistēmu dinamiku definē kā kompleksu sistēmu dinamiskās attīstības jeb laikā radītās uzvedības struktūras pētīšanas metodi. Apkopojot var teikt, ka sistēmu dinamika ir kompleksu sistēmu dinamiskās attīstības pētīšanas metode, ar kuras palīdzību iespējams risināt kompleksas problēmas.

Sistēmu dinamikas teorija balstās uz saistību pētīšanu starp sistēmas uzvedību un tās pamatā esošo sistēmas struktūru [41]. Tas nozīmē, ka, analizējot sistēmas struktūru, veidojas dziļāka izpratne par sistēmas parādītās uzvedības cēloņiem, kas ļauj labāk risināt novērotās sistēmas problemātisko uzvedību.

Sistēmu dinamikas modeļi izmanto inženierzinātņu vadības teoriju, lai modelētu sistēmu kā savstarpēji saistītu līmeņu (angliski *stock*) un plūsmu (angliski *flow*) mainīgo grupu [30].

Sākotnēji sistēmu dinamika bija izstrādāta, lai palīdzētu uzņēmumu vadītājiem uzlabot izpratni par ražošanas procesiem, bet pašlaik to izmanto politikas analīzē un veidošanā gan sabiedriskajā, gan privātajā sektorā [42].

Sistēmu dinamiku pasaulē izmanto atjaunojamo energoresursu tehnoloģiju analīzei, CO<sub>2</sub> un citu SEG emisiju pētīšanai dažādās nozarēs, dažādu enerģētisko resursu izpētei valstu līmenī utt.

### 1.3.3. Sistēmu dinamikas modeļa veidošana

Sistēmu dinamikas modeļa veidošana ietver trīs galvenos posmus: modeļa formulēšanu, modelēšanu un modeļa analīzi. Modeļa formulēšanas fāzē tiek definēta pētāmā problēma un izstrādāta dinamiskā hipotēze. Modelēšanas posmā tiek imitēta pētāmās problēmas dinamiskā attīstība, savukārt modeļa analīzes posms iekļauj modeļa verifikāciju un iegūto rezultātu novērtējumu. Turpmāk tekstā plašāk aprakstīts katrs no sistēmu dinamikas modeļa veidošanas soļiem.

#### 1.3.3.1. Problēmas formulēšana

Sistēmu dinamikas modelēšana sākas ar pētāmās problēmas formulēšanu. Sistēmu dinamikas modelis tiek radīts, lai rastu kādas problēmas risinājumu. Skaidrs modeļa mērķa definējums palīdz formulēt problēmu. Problēmas formulēšanā noderīgs var būt verbāls pētāmās sistēmas apraksts, kas balstās uz modelētāja mentālajiem modeļiem par pētāmās sistēmas darbību. Definējot problēmu, jāatbild uz jautājumiem:

- Kāds ir modeļa mērķis?
- Kāda ir modeļa loma? Vai tas ir aprakstošs, skaidrojošs, prognozējošs vai mācību modelis?

- Kāda ir pētāmās problēmas daba: lineāra vai nelineāra, statiska vai dinamiska?
- Kāda ir vēsturiskā sistēmas uzbūves struktūra?
- Kāda ir paredzamā un/vai vēlamā uzbūves struktūra?

Turpmākais solis ir, izmantojot pieejamo informāciju par sistēmu, kas parāda problemātisko uzvedību, izveidot dinamisko problēmas (sistēmas uzvedības) attēlojuma laika grafiku un aprakstīt to. Šo grafiku sauc par atsaucē scenāriju jeb atsaucē uzvedības struktūru. Par modeļa atsaucē scenāriju var uzstādīt arī grafiku, kurā prognozēta galveno mainīgo uzvedība [43,44].

### *1.3.3.2. Dinamiskās hipotēzes izstrādāšana*

Kad ir formulēta problēma pētāmās sistēmas uzvedībā, modeļa veidotājs uzzīmē galvenos līmeņus (krājumus), kas saistās ar iepriekš izveidoto problemātiskās uzvedības atsaucē struktūru, un plūsmas, kas ietekmē šos līmeņus. Dod apzīmējumu elementiem. Apraksta, kā plūsmas varētu ietekmēt izmaiņas līmeņa rezultātos. Izsaka hipotēzi par to, kas izraisa izmaiņas plūsmās un to, kā līmeņa un plūsmu struktūra var radīt sākotnēji izveidoto sistēmas atsaucē uzvedības struktūru. Līmeņa–plūsmas struktūru pārveido cēlonisko cilpu diagrammās, lai izskaidrotu dinamisko hipotēzi [43].

### *1.3.3.3. Formulēšana un imitācija*

Izmantojot modelēšanas programmatūru (Vensim, Powersim, iThink u.c.), dinamisko hipotēzi pārveido datormodelī, kas spējīgs imitēt pētāmās sistēmas uzvedību. Formulēšanas stadijā modelētājs uzraksta vienādojumus, kas raksturo funkcionālās attiecības starp mainīgajiem modelī, un ievada šos vienādojumus datormodelēšanas programmā. Imitācijas stadijā modelis tiek „iedarbināts”, izmantojot modelēšanas programmu.

Rezultātā tiek iegūti mainīgā izejas dati grafiskā formā, ko salīdzina ar sākotnēji izveidoto sistēmas atsaucē uzvedības struktūru. Rezultātu nesakrītība liecina par kļūdu izveidotajā sistēmas modelī, savukārt, ja modelētā sistēmas uzvedība sakrīt ar atsaucē grafiku, iespējams, sistēma ir uzmodelēta pareizi. Modeļa iespējamā pareizība vienmēr ir pieņēmums, jo arī dažādi modeļi var radīt līdzīgu uzvedību un nav iespējams skaidri noteikt, vai tieši šis modelis precīzi attēlo reālās sistēmas uzvedību. Pārlicību par modeļa atbilstību pētāmajai sistēmai var palielināt, veicot dažādus modeļa verifikācijas testus. [43,44,45].

Definējot mainīgos modelī, jāatbild uz jautājumiem:

- Kuri ir interesējošie mainīgie?
- Vai mainīgais ir endogēns vai eksogēns?
- Vai ir iekļauti piemērotie mainīgie un izslēgti nevajadzīgie?

#### *1.3.3.4. Modeļa verifikācija*

Verifikācija ir modeļa analīzes posms. Verifikācijas mērķis ir nodrošināt pārliecību, ka modelis ir pilnīgs un noderīgs. Literatūrā [46] tiek piedāvāti vairāki testi sistēmu dinamikas modeļu validēšanai, lai palielinātu pārliecību par to derīgumu un ticamību. Sistēmu dinamikas modeļu verifikācijas testus var iedalīt trīs grupās:

- struktūras verifikācijas testi, kas vērtē modeļa struktūru un elementus, neanalizējot savstarpējās attiecības starp sistēmas struktūru un tās izrādīto uzvedību;
- uzvedības verifikācijas testi, kas vērtē modeļa struktūras adekvātumu, analizējot sistēmas radīto uzvedību;
- politikas ietekmes novērtējuma testi.

Modeļa verifikācija sniedz atbildes uz šādiem jautājumiem [43,44]:

- Vai modeļa robeža atbilst konkrētajam mērķim?
- Vai modelis nav pārāk sarežģīts vai vienkāršs?
- Vai iekļauti visi problēmu skaidrojošie elementi?

#### *1.3.3.5. Rezultātu novērtēšana un eksperimentēšana*

Rezultātu novērtēšana un eksperimentēšana ar modeli, lai atklātu un novērtētu politikas iespējas analizētās problēmas risinājumam, ir pēdējais modelēšanas posms [43].

## **1.4. Energoaplānošana Latvijā**

Latvijā, atšķirībā no Zviedrijas un Dānijas, nav vēsturiski veidojusies apziņa par energoaplānošanas nepieciešamību un plānošana saistībā ar enerģētikas sektora attīstību ir veikta pamatā valsts līmenī, pēdējo desmit gadu laikā reģionālo energosistēmu plānošanu skarot tikai atsevišķu Eiropas Savienības finansētu projektu un iniciatīvu ietvaros. Kā apskatīts 1.2.1.nodaļā, Eiropā eksistē pirmais piemērs, ko rāda Dānija, demonstrējot, ka ir iespējams ar rūpīgu energoaplānošanu un datorizētu modelēšanas rīku izmantošanu radīt reālu stratēģiju enerģijas vajadzību nodrošināšanai, lietojot tikai vietējos atjaunojamus energoresursus. Latvijas iespējas pāriet uz 100% atjaunojamo energoresursu izmantošanu centralizētajā siltumapgādē ar sistēmu dinamikas modeļa palīdzību tiek analizētas šī darba 2.nodaļā, pārbaudot trīs dažādu politikas instrumentu ietekmi uz kurināmā struktūras izmaiņām. Reģionālās energoaplānošanas jautājums tālāk tiek risināts darba 3.nodaļā, kurā ir apzinātas klimata un ekonomisko indikatoru vērtības, noskaidrota to savstarpējā mijiedarbība un izveidots optimizācijas modelis šīs mijiedarbības optimuma noteikšanai.

### 1.4.1. Energoplānošanas pieredze Latvijā

Latvijā teritorijas plānošana tiek īstenota nacionālajā, plānošanas reģionu un vietējo pašvaldību līmenī, izstrādājot savstarpēji saskaņotus teritorijas plānojumus. Vietējām pašvaldībām šobrīd nav noteikta obligāta prasība veikt vietēja līmeņa pasākumus AER izmantošanas īpatsvara veicināšanai, bet ir paredzēts uzdot veikt grozījumus plānošanas dokumentos un apbūves noteikumos, lai iekļautu tajos ar AER izmantošanas veicināšanu saistītas prasības, kas ir iestrādātas Atjaunojamās enerģijas likumā. Atjaunojamās enerģijas likums uzdod pašvaldībām izvērtēt vietējās pašvaldības teritoriālā plānojuma atbilstību Atjaunojamās enerģijas likumam un valsts rīcības plānam un nepieciešamības gadījumā papildināt pašvaldību plānošanas dokumentus ar plānoto atjaunojamo enerģiju ražotņu daudzumu un izvietojumu.

Pašlaik pašvaldības izstrādā teritorijas plānojumus, ņemot vērā spēkā esošos normatīvos aktus un valsts līmeņa attīstības plānošanas dokumentus. Saskaņā ar Enerģētikas likumu pašvaldību funkcijas ietver siltumapgādes organizēšanu savā administratīvajā teritorijā, kā arī energoefektivitātes un konkurences veicināšanu siltumapgādes un kurināmā tirgū. Pašvaldība sava teritorijas plānojuma ietvaros, ņemot vērā vietējo AER izmantošanas un koģenerācijas iespējas un izvērtējot siltumapgādes drošumu un ilgtermiņa robežizmaksas, var noteikt siltumapgādes attīstību un izdot saistošos noteikumus.

Piecas Latvijas pilsētas (Rīga, Jelgava, Jēkabpils, Valmiera, Tukums) ir parakstījušas „Pilsētas mēru paktu”, brīvprātīgi uzņemoties saistības par reģionālo rīcības plānu izstrādi līdz 2020.gadam, kas iekļauj arī AER izmantošanas īpatsvara palielināšanu reģiona energobilancē.

Par informācijas izplatīšanu saistībā ar atjaunojamo enerģiju un energoefektivitāti valsts, reģionālajā un vietējā līmenī Latvijā atbildīga ir Ekonomikas ministrija, kas savā interneta mājas lapā publicē informāciju par esošajiem un plānotajiem reģionāla un vietēja līmeņa pasākumiem. Lai veicinātu energoefektivitāti un AER izmantošanu publiskajā un privātajā sektorā un nodrošinātu informācijas pieejamību iedzīvotājiem, ir izveidotas trīs reģionālās enerģētikas aģentūras (plānotas vēl divas).

Informāciju par atbalsta pasākumiem, kas attiecas uz AER izmantošanu elektroenerģijai, apsildei, dzesēšanai un transportam, sniedz attiecīgās iestādes. Publiska pieeja informācijai interesentiem tiek nodrošināta trīs veidos: caur atbildīgo iestāžu interneta mājas lapām, publicējot oficiālajā laikrakstā „Latvijas Vēstnesis” un rīkojot seminārus interesentiem. Vienota interneta vietne, kurā apkopota visa informācija par pieejamajiem atbalsta pasākumiem, nav izveidota. Lai veicinātu zināšanu un tehnoloģiju izplatību AER jomā, plānots veidot interneta vietni, kurā tiktu apkopota un publicēta informācija par atjaunojamo enerģiju, efektīvām tehnoloģijām, labās prakses piemēriem, saistīto normatīvo aktu bāzi utt.

Līdzšinējā energoplānošanas pieredze Latvijā nav liela. 1999.gadā tika izstrādāta „Ventspils pilsētas siltumapgādes sistēmu attīstības koncepcija”, piedāvājot četru enerģijas avotu tehnoloģisko risinājumu alternatīvas, ņemot vērā gan ekonomiskos, gan ekoloģiskos aspektus. Turpinot Ventspils siltumapgādes sistēmas uzlabošanu, 2009.gadā tika veikts siltumapgādes sistēmas energoaudits,

kura laikā tika analizēta katlu mājas darbība un siltumtrašu tehniskais stāvoklis. Cits energoplānošanas piemērs ir Limbažu rajona energoplāns, kas tika izstrādāts Eiropas Komisijas programmas „Inteliģenta enerģija Eiropai” līdzfinansētā projekta „Energy 4 Cohesion” ietvaros. Limbažu rajona energoplāna vispārējais mērķis bija efektīvas un ilgtspējīgas enerģijas pārvaldības politikas ieviešana Limbažu rajonā un rajona dinamiska attīstība, nodrošinot ilgtspējīgu enerģijas piegādi nākotnē un uzlabotu enerģijas pārvaldību. Pamatojoties uz vispārīgo mērķi, tika noteikti trīs specifiski energoplāna mērķi:

- uzticama, pieejama un diversificēta enerģijas piegāde, maksimāli izmantojot vietēji pieejamos atjaunojamos energoresursus;
- efektīva, labi plānota un pārvaldīta enerģijas ražošana un enerģijas patēriņš;
- esošā gaisa piesārņojuma līmeņa samazināšana, samazinot piesārņojošo vielu veidošanos, tai skaitā CO<sub>2</sub> emisijas no kurināmā dedzināšanas, un gaisa kvalitātes uzlabošana.

Energoaplāna izstrādes gaitā sākotnēji tika veikta enerģijas ietaupījumu potenciāla analīze. Balstoties uz enerģijas ietaupījuma potenciāla analīzi katrā no sektoriem (mājsaimniecības, publiskais sektors un sabiedriskie pakalpojumi, rūpniecība, centralizētā siltumapgāde, sadales tīkli), tika identificēti iespējamie energoefektivitātes projekti.

Cita Eiropas Komisijas līdzfinansētā projekta „Innovative Thinking” ietvaros tika izstrādāta Madonas un Lubānas CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanas stratēģija un Enerģijas rīcības plāns. Šī rīcības plāna galvenais mērķis bija samazināt Madonas un Lubānas ietekmi uz vidi no enerģijas lietošanas mājsaimniecībās, pašvaldības ēkās, mazajos un vidējos izņēmumos un novada pašvaldību darbībās, vienlaicīgi nodrošinot ilgtspējīgu enerģijas ražošanu, piegādi un lietošanu.

#### 1.4.2. Enerģētikas nozare Latvijas reģionālās attīstības politikas plānošanas dokumentos

Reģionālās attīstības politikas virzieni Latvijā ir definēti šādos valsts politikas dokumentos:

- Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģijā;
- Nacionālais attīstības plānā;
- plānošanas reģionu attīstības programmās un teritoriju plānojumos;
- novadu attīstības programmās un teritoriju plānojumos;
- vietējo pašvaldību attīstības programmās un teritoriju plānojumos.

Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģija (LIAS) līdz 2030.gadam ir izstrādāta 2008.gadā un ir hierarhiski visaugstākais nacionālā līmeņa ilgtermiņa plānošanas dokuments valstī. LIAS nosaka deviņus stratēģiskos darbības virzienus, kas saistīti ar sabiedrību, valsts ekonomisko attīstību, pilsētvidi, enerģētiku un dabas resursiem.

Attiecībā uz enerģētikas nozari LIAS pieminēta Latvijas lielā energoatkarība no Krievijas un vietējās kurināmās koksnes neizmantotais potenciāls. Izvirzītais enerģētikas politikas mērķis ir saglabāt līderpozīcijas Eiropas

Savienībā atjaunojamo energoresursu izmantošanā un sekmēt vietējās atjaunojamās enerģijas potenciālu.

Kā prioritārie rīcības virzieni enerģētikas nozarē LIAS noteikti enerģētiskās drošības un neatkarības palielināšana, atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšana (valsts atbalsts pārejai no fosilajiem uz vietējiem biomasas resursiem, esošo energoobjektu modernizācijai un rekonstrukcijai, likumdošanas pilnveidošana), energoefektivitātes pasākumu ieviešana gan privātajā, gan valsts sektorā, videi draudzīga transporta politika, organizējot pakāpenisku pāreju uz vietējas izcelsmes biogāzes un biodegvielas izmantošanu sabiedriskajā transportā un atbalstot degvielu ekonomējošu transporta līdzekļu izmantošanu mājsaimniecībās.

Nacionālais attīstības plāns (NAP) 2007.–2013.gadam ir vidēja termiņa plānošanas dokuments, kas izstrādāts saskaņā ar Latvijas Republikas Reģionālās attīstības likumu. NAP mērķis ir „(..) sekmēt līdzsvarotu un ilgtspējīgu valsts attīstību un nodrošināt Latvijas konkurētspējas paaugstināšanu citu valstu vidū”. NAP definē valsts problēmas, izvirza vidēja termiņa mērķus, uzdevumus un nosaka rīcības veidu to sasniegšanai. Saskaņā ar NAP reģionālās attīstības mērķis ir līdzsvarotas un ilgtspējīgas valsts attīstības nodrošināšana, kā īstenošanai jāveicina policentrisks reģionālā attīstība, vienlaikus domājot par galvaspilsētas Rīgas kā Baltijas jūras reģiona centra attīstību, kā arī jāveicina reģionālā sadarbība. Galvenie risināmie reģionālās attīstības veicināšanas uzdevumi ir:

- vienotas valsts attīstības plānošanas sistēmas izveide, lai nodrošinātu sadarbību visos plānošanas līmeņos;
- teritoriāli diferencētu reģionālās attīstības instrumentu izstrāde un īstenošana, labvēlīgi ietekmējot tautsaimniecības attīstību;
- reģionu nodrošināšana ar materiāli tehnisko bāzi un cilvēkresursiem, lai stiprinātu to plānošanas jomas kapacitāti;
- reģiona kultūrvides iekļaušana teritoriālajā plānošanā kā ilgtspējīgas attīstības un konkurētspējas nosacījums;
- kvalitatīvas un funkcionējošas Rīgas reģiona telpiskās struktūras izveide, nodrošinot kvalitatīvu transporta tīklu;
- Rīgas kā izglītības, zinātnes, uzņēmējdarbības centra attīstības veicināšana, daudzveidīgas un kvalitatīvas dzīves un kultūras veidošana;
- pašvaldību un reģionu savstarpējās sadarbības stiprināšana;
- kaimiņvalstu vides monitoringa sistēmas uzlabošana, tuvināšana Eiropas Savienības prasībām.

Energonodrošinājuma paaugstināšanas jomā risināmie uzdevumi ir Baltijas enerģijas apgādes sistēmas integrēšana Eiropas sistēmās, primāro energoresursu piegādes dažādošana un elektroenerģijas pašnodrošinājuma palielināšana, biodegvielas ražošanas un plašākas izmantošanas sekmēšana.

Sabiedrisko pakalpojumu jomā, kas skar energoapgādi, galvenais NAP noteiktais uzdevums ir vienotas atbalsta politikas izstrāde energoefektivitātes paaugstināšanai siltumapgādes sistēmās un gala patērētāja pusē.

Plānošanas reģionu attīstības tendences ir raksturotas plānošanas reģionu teritorijas attīstības plānojumos un attīstības programmās, kas ir hierarhiski

pakārtotas Nacionālajam attīstības plānam un Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģijai. Ņemot vērā reģiona attīstības plānošanas dokumentus, tiek izstrādāti tajā ietilpstošo pašvaldību teritorijas attīstības plānojumi un programmas.

Plānošanas reģionu attīstības plānos reģionālajā līmenī noteiktie mērķi saistībā energoplānošanu ir:

- kvalitatīvas dzīves vides nodrošināšana, samazinot vides piesārņojumu, sakārtojot atkritumu apsaimniekošanas un ūdensapgādes sistēmas;
- enerģētikas infrastruktūras uzlabošana, racionalizējot dabas resursu izmantošanu, paaugstinot energoefektivitāti sabiedriskajās un dzīvojamajās ēkās, kā arī siltumapgādē;
- reģiona attīstības nodrošināšana, veicinot pakalpojumu un ražošanas ar augstu pievienoto vērtību attīstību primārajās uzņēmējdarbības nozarēs (mežsaimniecība, kokapstrāde, lauksaimniecība);
- vietējo atjaunojamo energoresursu izmantošanas sekmēšana;
- videi draudzīga transporta attīstība.

Līdz šim Latvijā nav veikta reģionālo energoplānošanas metožu aprobācija. Aprobācija tiek veikta šī darba ietvaros, izmantojot divu Latvijas novadu energosistēmu datus (skat. 4.nodaļu).

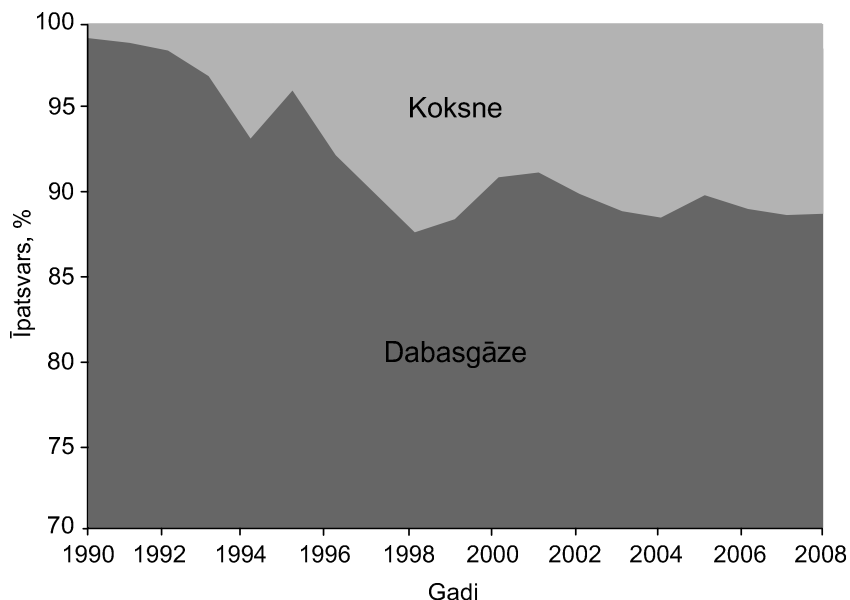
## 2. AER IZMANTOŠANAS ĪPATSVARA PIEAUGUMA IESPĒJAS CENTRALIZĒTAJĀ SILTUMAPGĀDĒ

### 2.1. Dinamiskās sistēmas modeļa veidošana

Atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanas modeļa veidošana notiek saskaņā ar sistēmu dinamikas modelēšanas posmiem – problēmas formulēšana, dinamiskās hipotēzes izstrādāšana, modeļa veidošana datorprogrammā, modeļa testēšana un rezultātu analīze (skat. 1.3.3.nodaļu).

#### 2.1.1. Problēmas formulēšana

Iepriekšējās nodaļas 1.4.attēlā ir redzams, ka centralizētās siltumapgādes sistēmās kā dominējošie energoresursi tiek izmantota dabasgāze un kurināmā koksne. Abu primāro energoresursu savstarpējais sadalījums gadu gaitā mainās maz. No 2004. līdz 2008.gadam centralizētās siltumenerģijas ražošanā dabasgāzes izmantošanas īpatsvars piecas reizes pārsniedza enerģētiskās koksnes izmantošanas īpatsvaru. Aplūkotajā periodā kurināmā sadalījumā nav nozīmīgu izmaiņu. Centralizēto siltumapgādes sistēmu enerģētiskās koksnes energoavotu uzstādītās jaudas pieaugums Latvijā ir ļoti neliels, un tas ir jāpalielina, lai būtiski samazinātu siltumenerģijas tarifus un enerģētikas ietekmi uz vidi un klimata izmaiņām.



2.1.att. Dabasgāzes un enerģētiskās koksnes īpatsvars energobilancē. Pārveidošanas sektors. Vispārējās lietošanas katlu mājas un koģenerācijas stacijas [47]

Ņemot vērā enerģētiskās koksnes pieejamo potenciālu, var teikt, ka tās izmantošanas pieauguma ātrums ir neatbilstoši lēns. Rezultātā problemātiskā uzvedība, kas tiek analizēta ar sistēmu dinamikas modeļa palīdzību, ir pārāk lēna enerģētiskās koksnes izmantošanas īpatsvara palielināšanās centralizētās siltumapgādes sektorā. Problēma ir dinamiska, un problemātiskās uzvedības dinamiskai raksturošanai tiek izmantoti vēsturiskie statistikas dati.

Kā atsaucis scenārijs tiek izmantots grafiks, kas raksturo dabasgāzes un enerģētiskās koksnes izmantošanas savstarpējo attiecību energobilancē laika posmā no 1990. līdz 2008.gadam (skat. 2.1.attēlu). Atsaucis scenārijs rāda, ka novērotajā periodā kurināmā struktūrā pārliecinoši dominē dabasgāze, bet koksnes īpatsvaram ir tendence palielināties. Analizējot atsaucis scenāriju, var secināt, ka enerģētiskās koksnes īpatsvaram kurināmā struktūrā būtu jābūt augstākam, ņemot vērā Latvijas enerģētiskās koksnes potenciālu, ar kuru pilnībā ir iespējams nosegt siltumenerģijas pieprasījumu centralizētās siltumapgādes sistēmās, turpretī dabasgāze ir salīdzinoši dārgs importēts primārais energoresurss.

#### *2.1.1.1. Modeļa mērķis*

Atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanas modeļa vispārīgais mērķis ir pēc iespējas precīzāk attēlot Latvijas centralizētās siltumapgādes sistēmas struktūru; meklēt alternatīvas, kā Latvijai sasniegt noteiktos mērķus atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanā; analizēt, vai tas ir iespējams, koncentrējoties uz energoefektivitātes paaugstināšanu un atjaunojamo energoresursu pilnīgāku izmantošanu, pašlaik izmantoto dabasgāzi aizstājot ar koksnes kurināmo.

Energoefektivitātes paaugstināšanas un atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanai tika izmantoti trīs politikas instrumenti, un modeļa mērķis ir šo trīs politikas instrumentu ietekmes analīze, identificējot noteicošo politikas instrumentu vai politikas instrumentu kombināciju, kas veicinās enerģētiskās koksnes potenciāla izmantošanu siltumenerģijas ražošanā.

#### *2.1.1.2. Modeļa loma*

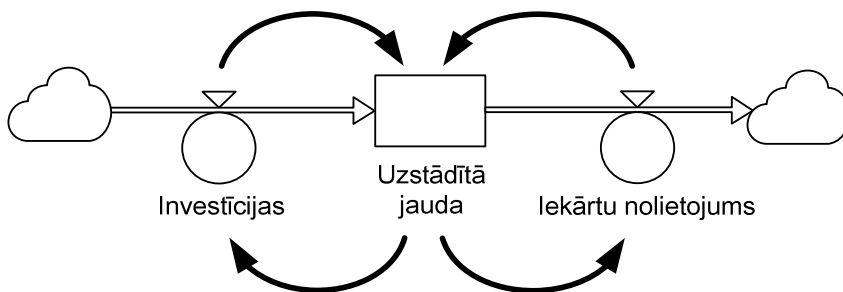
Modelis ir skaidrojošs un prognozējošs. Modelis skaidro kurināmā struktūru ietekmējošo faktoru nozīmi un prognozē iespējamo kurināmā struktūras sadalījumu un ekonomisko faktoru (siltumenerģijas tarifa) izmaiņas politikas atbalsta instrumentu iedarbības rezultātā.

### 2.1.2. Dinamiskās hipotēzes veidošana

Noteicošais faktors, kas ietekmē kurināmā struktūras sadalījumu, ir katra kurināmā veida uzstādītās enerģijas jauda. Tādēļ divi centrālie modeļa elementi

(krājumi) ir uzstādītā jauda siltumenerģijai, kas ražota, izmantojot enerģētisko koksni, un siltumenerģijai, kas ražota, izmantojot dabasgāzi.

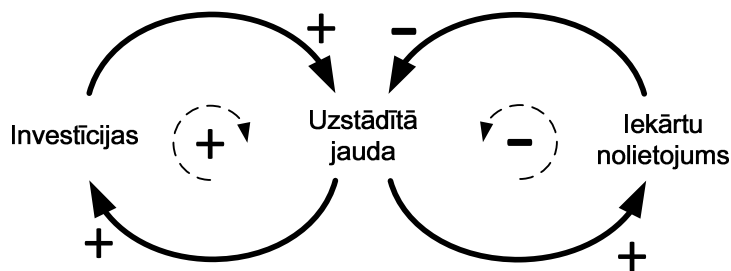
Krājumus ietekmē ieejošās un izejošās plūsmas. Modelis ir veidots kā enerģētikas un ekonomikas modelis, tādēļ galvenās plūsmas, kas ietekmē abus uzstādītos jaudas krājumus, ir investīcijas katra kurināmā veida uzstādītās jaudas palielināšanai un iekārtu nolietojums. 2.2.attēlā redzams uzstādītās enerģijas jaudas krājuma un to ietekmējošo plūsmu attēlojums, izmantojot sistēmu dinamikas modelēšanas elementus.



2.2.att. Uzstādītā siltumenerģijas ražošanas jauda – krājums un plūsmas

Kā redzams 2.2.attēlā, investīcijas uzstādītās kurināmā enerģijas jaudas palielināšanai ir ieejošā plūsma, kas palielina krājuma vērtību, savukārt iekārtu nolietojums ir izejošā plūsma, kas samazina krājuma vērtību. No uzstādītās kurināmā enerģijas jaudas ir atkarīgs konkrētā kurināmā veida īpatsvars kurināmā struktūrā.

2.3.attēlā redzamā konstruētā krājuma – plūsmu grafika – pārveide cēlonisko cilpu diagrammā palīdz izprast uzstādītās jaudas, investīciju plūsmas un iekārtu nolietojuma plūsmas savstarpējās mijiedarbības dabu.

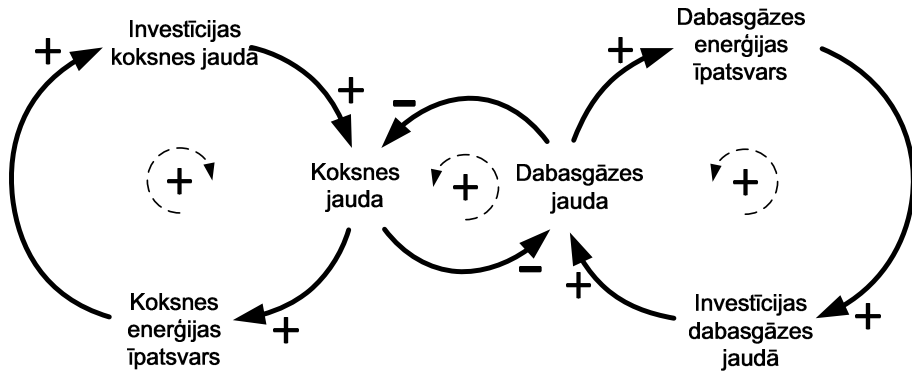


2.3.att. Uzstādītās jaudas un investīciju un iekārtu nolietojuma plūsmu mijiedarbība – cēlonisko cilpu diagramma

2.3.attēlā redzamā cēlonisko cilpu diagramma rāda, ka uzstādītās siltumenerģijas ražošanas jauda palielinās, pieaugot investīcijām, kas paredzētas jaudas palielināšanai. Šī cilpa ir noslēgta, tāpēc, palielinoties uzstādītajai jaudai, vēl vairāk pieaug investīcijas jaudas palielināšanai. Tādējādi investīciju plūsmas un

uzstādītās jaudas savstarpējā mijiedarbība veido pozitīvu stimulējošu cilpu, kas raksturo eksponenciāli pieaugošu sistēmas struktūru.

Uzstādītās siltumenerģijas ražošanas jaudas un iekārtu nolietojuma savstarpējās mijiedarbības cēloniskā cilpa rāda, ka, pieaugot uzstādītajai jaudai, palielinās kopējais iekārtu nolietojums. Palielinoties iekārtu nolietojumam, samazinās uzstādītā jauda. Šī ir negatīva balansējoša cilpa, kas darbojas pretēji pozitīvās cilpas ietekmei un līdzsvaro sistēmas darbību. Negatīva balansējoša cilpa raksturo uz mērķi virzītu sistēmas struktūru. Pozitīvas virzošās un negatīvas balansējošās cilpas kombinācija rada līkni, kas raksturo S veida sistēmas uzvedību.



2.4.att. Uzstādītās siltumenerģijas jaudas struktūras veidošanās – cēlonisko cilpu diagramma

Gan enerģētiskās koksnes, gan dabasgāzes uzstādītās siltumenerģijas jaudas dinamiskās attīstības modelēšanai tiek izmantota šāda krājuma un plūsmu struktūra. Tā kā tiek modelēts līdzsvara modelis, kur kopējā abu kurināmā veidu uzstādītās enerģijas jaudas vērtība modelēšanas laikā ir konstanta, palielinoties viena kurināmā veida uzstādītajai enerģētiskajai jaudai, samazinās otra kurināmā veida uzstādītā siltumenerģijas jauda.

2.4.attēlā redzamā cēlonisko cilpu diagramma apraksta enerģētiskās koksnes un dabasgāzes enerģijas uzstādītās siltumenerģijas jaudas savstarpējo atkarību un investīciju plūsmu ietekmi uz katra kurināmā veida īpatsvaru kurināmā struktūrā. Cēloniskā cilpa, kas raksturo uzstādīto jaudu enerģijai, kura ražota, izmantojot kurināmo koksnī (kurināmās koksnes enerģija), rāda: jo lielākas ir investīcijas kurināmās koksnes iekārtu uzstādītās jaudas palielināšanai, jo lielāks kļūst kurināmās koksnes īpatsvars siltumenerģijas ražošanā. Jo lielāks kļūst kurināmās koksnes īpatsvars enerģijas ražošanā, jo vairāk pieaug investīcijas kurināmās koksnes iekārtu uzstādītās jaudas palielināšanai.

Cēloniskā cilpa, kas raksturo savstarpējo mijiedarbību starp kopējo uzstādīto jaudu kurināmās koksnes iekārtām un dabasgāzes iekārtām, rāda: jo lielāka kļūst kurināmās koksnes iekārtu uzstādītā jauda, jo mazāka tā kļūst dabasgāzes iekārtām. Jo mazāka kļūst dabasgāzes iekārtu uzstādītā jauda, jo vairāk palielinās kurināmās koksnes iekārtu kopējā uzstādītā jauda.

Cēloniskā cilpa, kas raksturo uzstādīto jaudu siltumenerģijai, kura ražota, izmantojot dabasgāzi, rāda: jo mazāka kļūst dabasgāzes iekārtu uzstādītā jauda, jo mazāks kļūst dabasgāzes īpatsvars siltumenerģijas ražošanā. Jo mazāks ir dabasgāzes īpatsvars, jo mazākas ir investīcijas dabasgāzes iekārtu uzstādītās jaudas palielināšanai. Jo mazākas ir investīcijas, jo vairāk samazinās dabasgāzes iekārtu uzstādītā jauda.

Kā redzams, modelēto situāciju raksturo trīs pozitīvas virzošās atgriezeniskās saites cilpas. Šīs cilpas skaidro enerģētiskās koksnes siltumenerģijas uzstādītās jaudas un īpatsvara pieaugumu kurināmā struktūrā.

Formulējot dinamisko hipotēzi, var teikt, ka atsaucēs scenārijā parādīto sistēmas uzvedības struktūru rada investīciju un iekārtu nolietojuma plūsmu un uzstādītās jaudas krājuma savstarpējā mijiedarbība.

### 2.1.3. Modeļa formulēšana un imitācija

Latvijas centralizētās siltumapgādes sistēmas kurināmā struktūras modelēšana notiek sistēmdinamikas modelēšanas programmas „Powersim Constructor 2.5” programmēšanas vidē. Izmantojot modelēšanas programmas rīkus, dinamiskā hipotēze tiek pārveidota sistēmu dinamikas datorimitācijas modelī, kas attēlo sākotnējo atsaucēs scenārija struktūru.

Galvenie faktori, kas ietekmē enerģētiskās koksnes un dabasgāzes patēriņa siltumenerģijas ražošanai sadalījumu kurināmā struktūrā un siltumenerģijas ražošanas tarifu, modelī ir attēloti kā dažādi elementi. Elementu vērtības tiek definētas matemātisku vienādojumu un konstanšu veidā.

#### 2.1.3.1. Modeļa uzbūve un elementi

Kurināmā struktūras modeļa centrā atrodas divas centralizētajā siltumapgādē dominējošo primāro energoresursu – dabasgāzes un enerģētiskās koksnes – plūsmas (skat. 2.5.attēlu). Kurināmā sadalījumu regulē centrālie krājumi „Koksnes jauda” un „Gāzes jauda”, kas raksturo centralizētajā siltumapgādē uzstādītās siltumenerģijas jaudas izmaiņu akumulāciju modelētajā sistēmā laika gaitā.

Krājums „Koksnes jauda” ( $Q_K$ , GW) raksturo uzstādīto jaudu siltumenerģijai, kas ražota, izmantojot enerģētisko koksni. Elementam tiek piešķirta sākotnējā vērtība, kas raksturo pašreizējo uzstādīto koksnes enerģijas jaudu un ir atkarīga no ikgadējā pieprasītās siltumenerģijas apjoma, sākotnējā enerģētiskās koksnes īpatsvara kurināmā struktūrā (15%) un izlīdzinātās siltuma slodzes ilguma (skat. 2.1.formulu):

$$Q_K^{init} = \frac{Q_T \cdot 15\%}{Q_{izl}} = \frac{8000 \cdot 15\%}{2000} = 0,6GW, \quad (2.1)$$

kur

$Q_K^{init}$  – krājuma „Koksnes jauda” sākotnējā vērtība, *GW*;

$Q_T$  – ikgadējais pieprasītās siltumenerģijas apjoms, *GWh/gadā*;

$Q_{izl}$  – izlīdzinātās siltumslodzes ilgums, *h/gadā*.

Konstante „Stundas gadā” ( $Q_T$ ) izsaka izlīdzināto siltumenerģijas pieprasījuma slodzi gadā, pieņemot, ka iekārtas darbojas ar pilnu jaudu.

Ievērojot pieņēmumu, ka pašreizējais dabasgāzes īpatsvars kurināmā struktūrā ir 85%, līdzīgi tiek aprēķināta krājuma „Gāzes jauda” sākotnējā vērtība (skat. 2.2.formulu). Krājumu sākotnējo vērtību aprēķinā izmantotie pieņēmumi balstās uz Latvijas energosektora attīstības un ekspertu datiem.

$$Q_G^{init} = \frac{Q_T \cdot 85\%}{Q_{izl}} = \frac{8000 \cdot 85\%}{2000} = 3,4GW, \quad (2.2)$$

kur

$Q_G^{init}$  – krājuma „Gāzes jauda” sākotnējā vērtība, *GW*;

$Q_T$  – ikgadējais pieprasītās siltumenerģijas apjoms, *GWh/gadā*;

$Q_{izl}$  – izlīdzinātās siltumslodzes ilgums, *h/gadā*.

Modelēšanas laikā ( $t = 25$  gadi) koksnes enerģijas un dabasgāzes enerģijas uzstādītā jauda mainās atkarībā no plūsmām, kas ietekmē krājumus (skat. 2.3.formulu):

$$Q = f(I, D), \quad (2.3)$$

kur

$I$  – investīciju plūsma, *GW/gadā*;

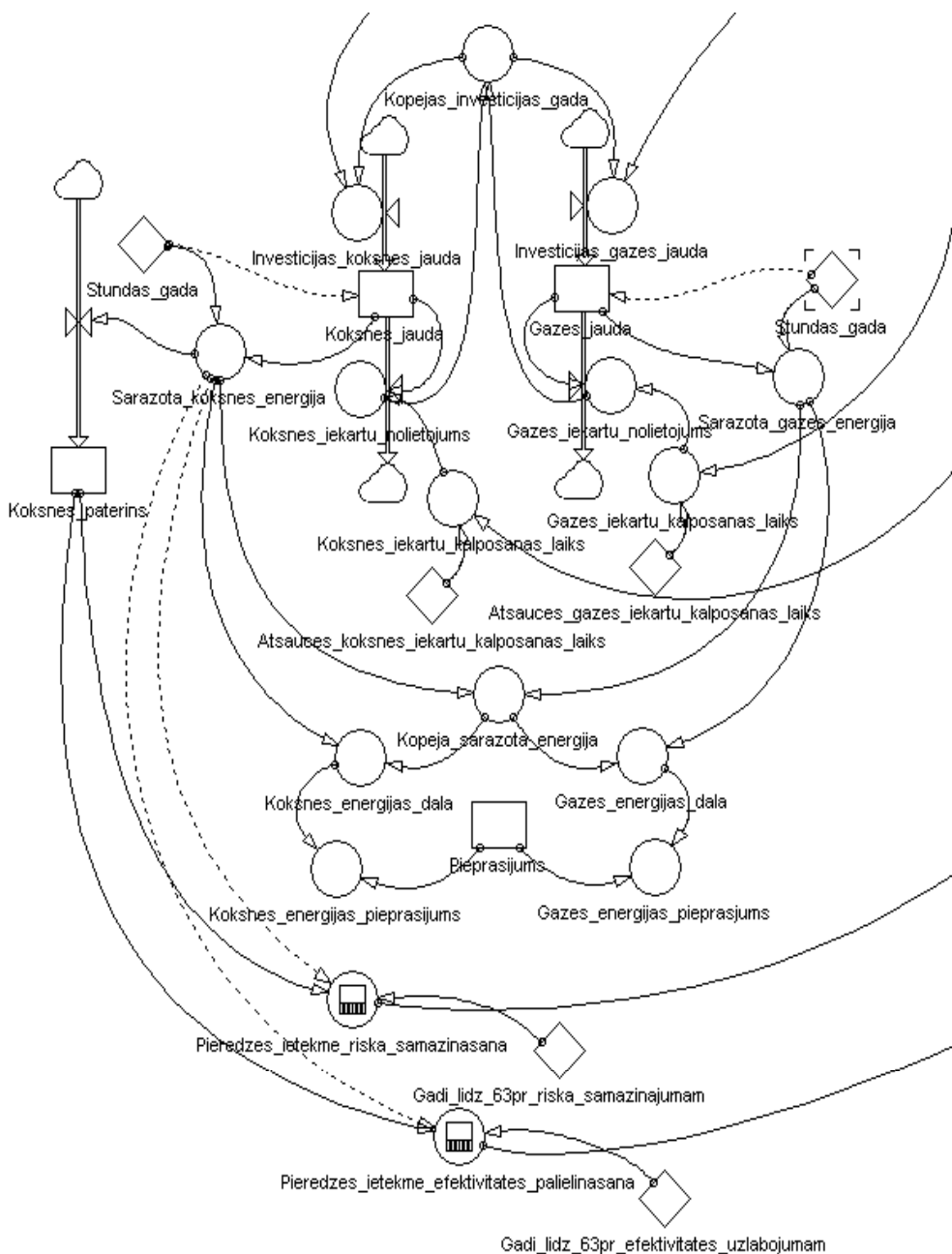
$D$  – ikgadējais nolietojums, *GW/gadā*.

Ir divu veidu plūsmas, kas ietekmē koksnes un dabasgāzes enerģijas uzstādītās jaudas vērtības – ieejošā plūsma un izejošā plūsma. Ieejošā plūsma raksturo investīcijas, kas paredzētas koksnes vai dabasgāzes enerģijas uzstādītās jaudas palielināšanai un pozitīvi ietekmē krājumu „Koksnes jauda” un „Gāzes jauda” vērtības. Izejošā plūsma raksturo iekārtu ikgadējo nolietojumu, kas samazina siltumenerģijas uzstādītās jaudas vērtību, – krājumi „Koksnes jauda” un „Gāzes jauda” tiek ietekmēti negatīvi.

Parametrs „Investīciju daļa koksnei” raksturo investīciju sadalījumu starp dabasgāzi un enerģētisko koksni. Abu energoresursu investīciju daļu summa ir 1 (100%) (skat. 2.4.formulu), tāpēc investīciju sadalījuma aprēķinam pietiek ar parametru, kas izsaka enerģētiskās koksnes investīciju daļu (elements „Investīciju daļa koksnei”). Dabasgāzes investīciju daļa tiek aprēķināta kā starpība starp investīciju daļu summu un koksnes investīciju daļu.

$$I_K^S + I_G^S = 1, \quad (2.4)$$

kur  
 $I_K^S$  – koksnes investīciju daļa;  
 $I_G^S$  – dabasgāzes investīciju daļa.



2.5.att. Centrālie krājumi – kurināmā struktūras modelis

Attiecīgi dabasgāzes investīciju plūsma tiek aprēķināta, izmantojot 2.5.formulu:

$$I_G = I_T \cdot (1 - I_K^S), \quad (2.5)$$

kur

$I_G$  – dabasgāzes investīciju plūsma, *GW/gadā*;

$I_T$  – kopējās investīcijas jaudas palielināšanai, *GW/gadā*;

$I_K^S$  – koksnes investīciju daļa

Veidojot modeli, pieņemts, ka kurināmā investīciju daļa ir atkarīga no siltumenerģijas ražošanas tarifa. Lai aprakstītu koksnes investīciju daļas izmaiņas raksturu laika gaitā, tiek izmantota loģiskā funkcija (skat. 2.6.formulu):

$$I_K^S = \frac{e^{-\alpha T_K}}{e^{-\alpha T_K} + e^{-\alpha T_G}} = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(T_G - T_K)}}, \quad (2.6)$$

kur

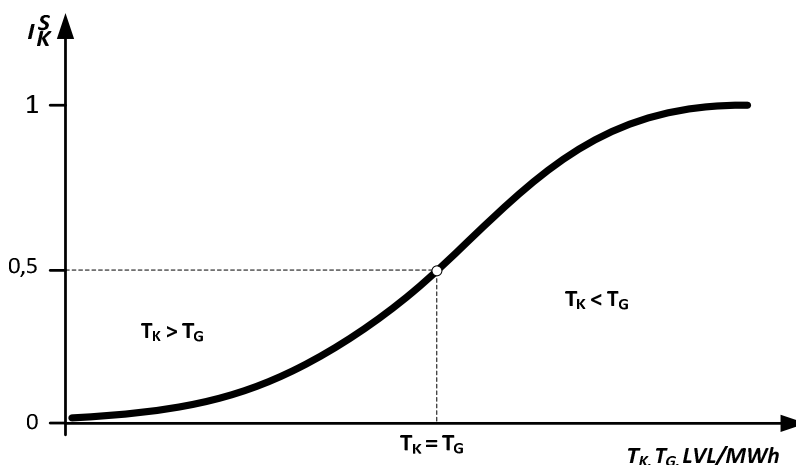
$I_K^S$  – koksnes investīciju daļa;

$\alpha$  – koeficients, kas raksturo lēmuma pieņēmēju kurināmā izvēlē;

$T_K$  – koksnes enerģijas tarifs, *LVL/MWh*;

$T_G$  – dabasgāzes enerģijas tarifs, *LVL/MWh*.

Koeficients  $\alpha$  (elements „Koeficients  $\alpha$ ”) raksturo lēmuma pieņēmēju – centralizētās siltumenerģijas ražotāju – lēmumu pieņemšanas raksturu, izvēloties starp enerģētiskās koksnes vai dabasgāzes izmantošanu siltumenerģijas ražošanā. Koeficients  $\alpha$  tiek izteikts konstantes veidā (vērtība robežās 0–1) un veido loģiskās funkcijas slīpumu (skat. līkni 2.6.attēlā). Jo augstāka ir koeficienta  $\alpha$  vērtība, jo līdzīgāks ir lēmumu pieņēmēju viedoklis un rīcība, izvēloties vienu vai otru kurināmā veidu.



2.6.att. Enerģētiskās koksnes investīciju daļas ( $I_K^S$ ) izmaiņas atkarībā no enerģijas vienības ražošanas izmaksām jeb enerģijas tarifa ( $T_K$  un  $T_G$ ) – loģiskā funkcija

Kā redzams 2.4.formulā, enerģētiskās koksnē un dabasgāzes investīciju daļu summa ir 1. Tas nozīmē, ka, pieaugot enerģētiskās koksnē investīciju daļai, samazinās dabasgāzes investīciju daļa. 2.6.attēlā redzams, ka gadījumā, kad abu kurināmā veidu enerģijas tarifs ir vienāds ( $T_K = T_G$ ), arī investīciju daļa abiem kurināmā veidiem ir vienāda ( $I_K^S = I_G^S$  jeb  $I_K^S = 0,5$ ). Ja enerģētiskās koksnē enerģijas vienības ražošanas izmaksas ir augstākas par dabasgāzes enerģijas vienības ražošanas izmaksām ( $T_K > T_G$ ), enerģētiskās koksnē investīciju daļa ir mazāka par dabasgāzes investīciju daļu ( $I_K^S < I_G^S$  jeb  $0 < I_K^S < 0,5$ ). Ja enerģētiskās koksnē enerģijas vienības ražošanas izmaksas ir zemākas par dabasgāzes enerģijas vienības ražošanas izmaksām ( $T_K < T_G$ ), enerģētiskās koksnē investīciju daļa ir augstāka par dabasgāzes investīciju daļu ( $I_K^S > I_G^S$  jeb  $0,5 < I_K^S < 1$ ).

Investīciju sadalījums regulē investīciju plūsmu vērtības, kas, savukārt, ietekmē dabasgāzes un enerģētiskās koksnē enerģijas uzstādītās jaudas. No kurināmā enerģijas uzstādītās jaudas atkarīgs enerģijas daudzums, kas saražots no konkrētā kurināmā. Parametri „Saražotā koksnē enerģija” ( $E_K, GWh$ ) un „Saražotā gāzes enerģija” ( $E_G, GWh$ ) izsaka centralizētās siltumenerģijas daudzumu gadā, kas tiek saražots, izmantojot attiecīgi enerģētisko koksnē vai dabasgāzi. Parametru vērtība katrā modelēšanas solī aprēķināta, ņemot vērā kurināmā uzstādīto siltumenerģijas jaudu un izlīdzināto siltumenerģijas pieprasījuma slodzi gadā (skat. 2.7.formulu):

$$E = Q \cdot Q_{izl}, \quad (2.7)$$

kur

$E$  – attiecīgā kurināmā veida saražotā enerģija,  $GWh/gadā$ ;

$Q$  – kurināmā uzstādītā siltumenerģijas jauda,  $GW$ ;

$Q_{izl}$  – izlīdzinātā siltumenerģijas pieprasījuma slodze,  $h/gadā$ .

Saražotās koksnē enerģijas un dabasgāzes enerģijas summa veido kopējo saražotās siltumenerģijas apjomu ( $E_T, GWh/gadā$ ). Tiek pieņemts, ka kopējais saražotās siltumenerģijas daudzums ir vienāds ar kopējo siltumenerģijas pieprasījumu un modelēšanas laikā nemainās (skat. 2.8.formulu). Kopējais enerģijas pieprasījums ir 8000  $GW/h$  gadā.

$$DM_T = E_K + E_G = 8TWh, \quad (2.8)$$

kur

$DM_T$  – kopējais siltumenerģijas pieprasījums,  $GWh/gadā$ ;

$E_K$  – saražotā koksnē enerģija,  $GWh/gadā$ ;

$E_G$  – saražotā gāzes enerģija,  $GWh/gadā$ .

No katra energoresursa saražotās siltumenerģijas daudzums, kas attiecināts pret kopējo saražotās siltumenerģijas daudzumu, izsaka kurināmā daļu (īpatsvaru) kurināmā struktūrā (skat. 2.9.formulu):

$$E^S = \frac{E}{E_T}, \quad (2.9)$$

kur

$E^S$  – katra kurināmā daļa (īpatsvars) kurināmā struktūrā;

$E$  – no katra energoresursa saražotās siltumenerģijas daudzums,  $GWh/gadā$ ;

$E_T$  – kopējais saražotais siltumenerģijas daudzums,  $GWh/gadā$ .

Savukārt, reizinot kopējo siltumenerģijas pieprasījumu ar katra kurināmā daļu, tiek iegūti parametri, kuri raksturo pieprasījumu pēc enerģijas, kas ražota, izmantojot dabasgāzi (parametrs „Gāzes enerģijas pieprasījums”,  $DM_G$ ,  $GWh/gadā$ ), un pieprasījumu pēc enerģijas, kas ražota, izmantojot enerģētisko koksni (parametrs „Koksnes enerģijas pieprasījums”,  $DM_K$ ,  $GWh/gadā$ ). Sakarība izteikta 2.10.formulā:

$$DM = DM_T \cdot E^S, \quad (2.10)$$

kur

$DM$  – enerģijas pieprasījums katram kurināmā veidam,  $GWh/gadā$ ;

$DM_T$  – kopējais siltumenerģijas pieprasījums,  $GWh/gadā$ .

Palielinoties enerģētiskās koksnes īpatsvaram kurināmā struktūrā, pieaug krājuma „Koksnes patēriņš” vērtība. Krājums „Koksnes patēriņš” ( $B_K$ ) raksturo enerģētiskās koksnes siltumenerģijas patēriņu un līdz ar to arī sabiedrības pieredzi koksnes izmantošanā. Pieņemts, ka krājuma sākotnējā vērtība ir vienāda ar 0 ( $B_K^{init} = 0$ ). Tas nozīmē, ka, sākot modelēšanu (1.solī), sabiedrībai nav pieredzes koksnes izmantošanā. Turpmāk, palielinoties koksnes enerģijas īpatsvaram un saražotajam koksnes enerģijas daudzumam ( $E_K$ ), sabiedrībā uzkrājas pieredze par koksnes izmantošanu. Jo lielāks ir koksnes patēriņš (saražotās koksnes enerģijas daudzums), jo lielāka kļūst sabiedrības pieredze koksnes izmantošanā.

Tas, vai sabiedrībā ir pieredze vai nav pieredzes enerģētiskās koksnes izmantošanā, ietekmē elementus „Pieredzes ietekme riska samazināšanā” ( $EXP_R$ ) un „Pieredzes ietekme efektivitātes palielināšanā” ( $EXP_\eta$ ), kas attiecīgi raksturo to, kāda ir sabiedrības pieredze saistībā ar koksnes tehnoloģiju izmantošanas risku un efektivitāti. Sākotnēji (1.solī), kad sabiedrībai nav pieredzes koksnes izmantošanā („Koksnes patēriņš”  $B_K = 0$ ), abu mainīgo vērtības  $EXP_R = EXP_\eta = 1$ , un tas nozīmē, ka sabiedrībā attiecīgi pastāv visaugstākais risks saistībā ar koksnes izmantošanas negatīvajiem aspektiem un viszemākā koksnes izmantošanas efektivitāte. Palielinoties sabiedrības pieredzei koksnes izmantošanā, elementu vērtības eksponenciāli samazinās (skat. 2.11. un 2.12.formulu), un tas nozīmē, ka samazinās risks saistībā ar koksnes izmantošanas negatīvajiem aspektiem un palielinās koksnes iekārtu izmantošanas efektivitāte. Tas skaidrojams ar tā saucamo „mācīšanās efektu”. Jāņem vērā – lai noteiktu koksnes izmantošanas efektivitātes paaugstināšanos un riska samazināšanos mācīšanās efekta rezultātā, ir jāizmanto politikas instrumenti „Efektivitātes uzlabošana INSTR” ( $P_\eta$ ) un „Riska samazināšana INSTR” ( $P_R$ ) (skat. 2.1.3.3.nodaļu).



Modelī pieņemts, ka enerģētiskās koksnes siltumenerģijas tarifu ietekmē koksnes kurināmā cena, koksnes tehnoloģiju kapitālizmaksas un ekspluatācijas izmaksas, lietderības koeficients, atsaucē kalpošanas laiks, enerģētiskās koksnes sadegšanas siltums, investīciju ikgadējā procentu likme un riska faktors. Koksnes tarifu aprēķina, izmantojot šādu sakarību (skat. 2.13.formulu):

$$T_K = \frac{C_K^K \cdot \eta_K}{Q_{zK}^d} + C_K^O + \frac{C_K^I \cdot 10^3}{Q_{izl}} \cdot \left(i + \frac{1}{\tau_K^{ref}}\right) + R, \quad (2.13)$$

kur

$T_K$  – koksnes siltumenerģijas tarifs, *LVL/MWh*;

$C_K^K$  – koksnes kurināmā cena, *LVL/t*;

$C_K^I$  – koksnes tehnoloģiju kapitālizmaksas, *LVL/MW*;

$C_K^O$  – koksnes tehnoloģiju ekspluatācijas izmaksas, *LVL/MWh*;

$Q_{izl}$  – izlīdzinātās siltuma slodzes ilgums, *h/gadā*;

$\eta_K$  – koksnes lietderības koeficients;

$\tau_K^{ref}$  – kalpošanas laiks, *gadi*;

$Q_{zK}^d$  – koksnes sadegšanas siltums, *MWh/t*;

$i$  – investīciju ikgadējā procentu likme, *%/gadā*;

$R$  – riska faktors.

Koksnes kurināmā cena, tehnoloģiju kapitālizmaksas, ekspluatācijas izmaksas, efektivitāte un sadegšanas siltuma vērtības tiek aprēķinātas kā vidējā svērtā vērtība starp trīs Latvijā izmantotajiem enerģētiskās koksnes veidiem: malku, šķeldu un granulām.

Kopējo enerģētiskās koksnes izmantošanas efektivitāti (parametrs „Kopējā koksnes efektivitāte”) izsaka kā sakarību (skat. 2.14.formulu) starp izmantoto koksnes tehnoloģiju lietderības koeficientu un mācīšanās efekta rezultātu, ko nosaka parametra „Pieredzes ietekme efektivitātes palielināšanā” vērtība. Jāatceras, ka mācīšanās efekta ierosināšanai ir jāizmanto politikas instruments „Efektivitātes uzlabošana INSTR”.

$$\eta_K = \eta'_K + (1 - \eta'_K) \cdot (1 - EXP_\eta) \cdot P_\eta, \quad (2.14)$$

kur

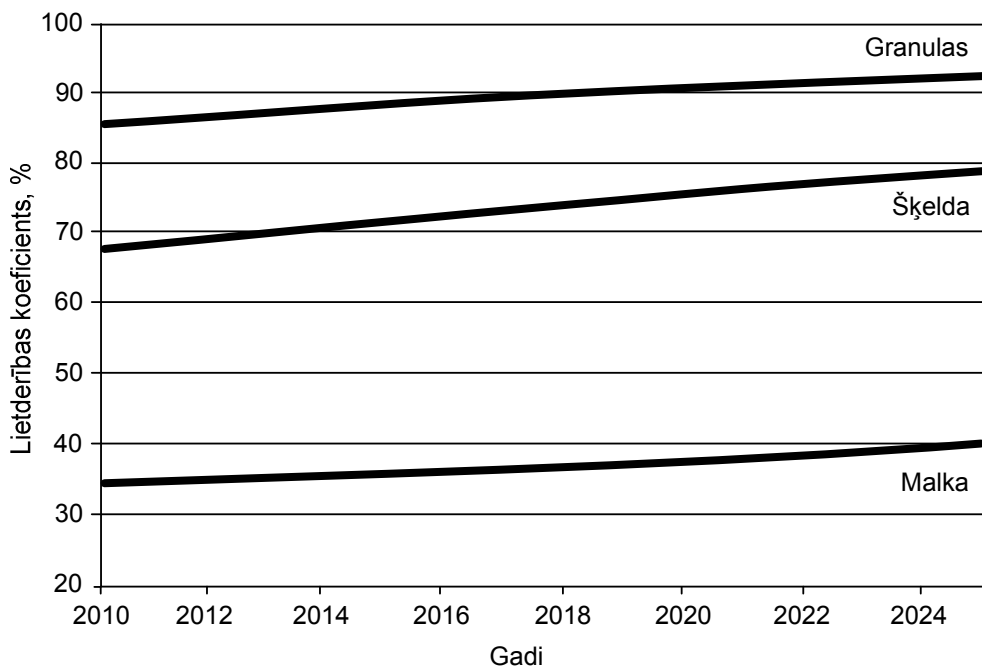
$\eta_K$  – kopējā koksnes izmantošanas efektivitāte;

$\eta'_K$  – koksnes tehnoloģiju lietderības koeficients;

$EXP_\eta$  – pieredzes ietekme efektivitātes palielināšanā;

$P_\eta$  – politikas instruments efektivitātes uzlabošanai.

Tiek pieņemts, ka koksnes iekārtu lietderības koeficients ( $\eta'_K$ ) laika gaitā palielināsies. Koksnes iekārtu lietderības koeficienta pieauguma grafiki katram enerģētiskās koksnes veidam attēloti 2.8.attēlā.



2.8.att. Prognoze par enerģētiskās koksnis iekārtu lietderības koeficienta izmaiņām

Parametrs „Risks” ( $R$ ) raksturo negatīvos aspektus, kas sabiedrībā saistās ar enerģētiskās koksnis izmantošanu (piemēram, zemāks automatizācijas līmenis salīdzinājumā ar dabasgāzes izmantošanu). Parametra vērtība ir atkarīga no sabiedrībā uzkrātās koksnis izmantošanas pieredzes un no tā, vai koksnis izmantošanas īpatsvara palielināšanai tiek lietots politikas instruments „Risks INSTR”. Neizmantojot politikas instrumentu, parametra vērtība ir nemainīga. Lietojot politikas instrumentu, parametra vērtība samazinās, un tas raksturo riska faktora samazināšanos.

Koksnis zemākais sadegšanas siltums tiek aprēķināts, ņemot vērā koksnis mitruma saturu (skat. 2.15.izteiksmi).

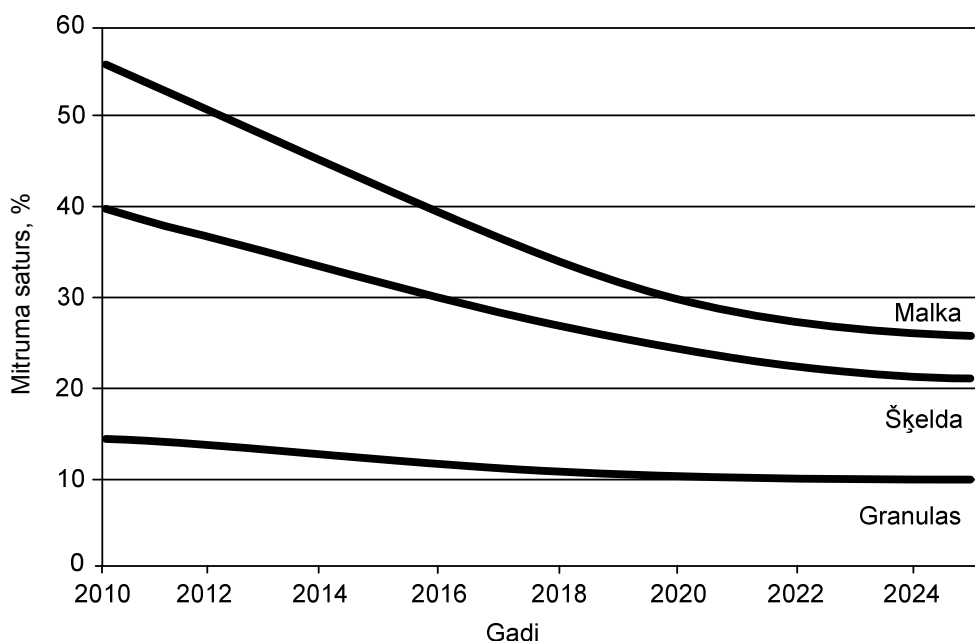
$$Q_{zK}^d = (18,317 - (0,2018 \cdot W_K)) \cdot 0,28, \quad (2.15)$$

kur

$Q_{zK}^d$  – koksnis zemākais sadegšanas siltums,  $MWh/t$ ;

$W_K$  – koksnis mitruma saturs, %.

Tiek pieņemts, ka saskaņā ar Eiropas Savienības prasībām izmantotās enerģētiskās koksnis mitruma saturs laika gaitā samazināsies. Enerģētiskās koksnis mitruma satura samazināšanās grafiki katram enerģētiskās koksnis veidam parādīti 2.9.attēlā.



2.9.att. Prognoze par enerģētiskās koknes mitruma satura izmaiņām

Modelī pieņemts, ka dabasgāzes siltumenerģijas tarifu jeb vienas vienības ražošanas izmaksas ietekmē dabasgāzes cena, dabasgāzes tehnoloģiju kapitālizmaksas un ekspluatācijas izmaksas, efektivitāte, atsaucis kalpošanas laiks, dabasgāzes sadegšanas siltums un ikgadējais investīciju procentu likmes pieaugums. Dabasgāzes cena (tarifs  $T_G$ ) Latvijā tiek noteikta un regulēta atkarībā no dabasgāzes patēriņa lieluma: jo lielāks dabasgāzes patēriņš gadā, jo mazāks tarifs. Otrs lielums, no kura atkarīgs dabasgāzes tarifs, ir naftas (vai mazuta) kotācija biržā, un tā pasaules enerģētikas tirgū mainās atkarībā no ekonomiskās situācijas. Dabasgāzes tarifu aprēķina, izmantojot šādu sakarību (skat. 2.16.formulu):

$$T_G = \frac{C_G^K \cdot \eta_G}{Q_{zG}^d} + C_G^O + \frac{C_G^I \cdot 10^3}{Q_{izl}} \cdot \left(i + \frac{1}{\tau_G^{ref}}\right), \quad (2.16)$$

kur

$T_G$  – dabasgāzes siltumenerģijas tarifs,  $LVL/MWh$ ;

$C_G^K$  – dabasgāzes cena,  $LVL/1000 m_{st}^3$ ;

$C_G^I$  – dabasgāzes tehnoloģiju kapitālizmaksas,  $LVL/MW$ ;

$C_G^O$  – dabasgāzes tehnoloģiju ekspluatācijas izmaksas,  $LVL/MWh$ ;

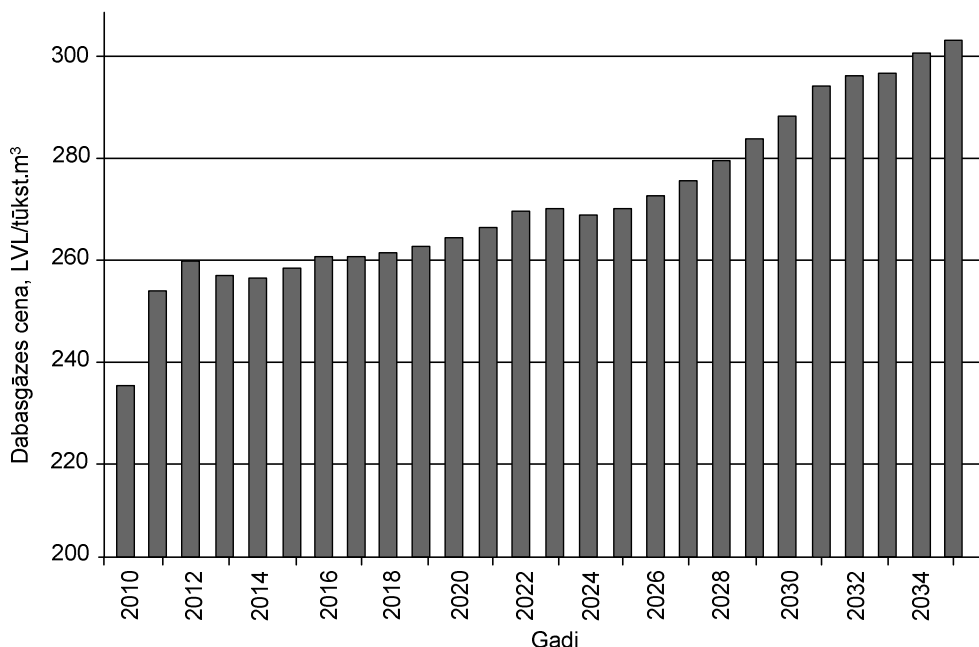
$\eta_G$  – dabasgāzes iekārtu efektivitāte;

$\tau_G^{ref}$  – kalpošanas laiks;

$Q_{zG}^d$  – dabasgāzes sadegšanas siltums,  $MWh/t$

$i$  – investīciju ikgadējais procentu likmes pieaugums,  $\%/gadā$ .

Dabaszgāzes cena  $C_G^K$ ,  $LVL/tūkst.m^3$  tiek aprēķināta, sākotnējai dabaszgāzes cenai pieskaitot dabaszgāzes cenas izmaiņas prognozes līdz 2035.gadam saskaņā ar Amerikas Savienoto Valstu Enerģētikas informācijas pārvaldes (*U.S. Energy Information Administration*) datiem. Sākotnējā dabaszgāzes cena balstīta uz AS „Latvijas Gāze” prognozēm par dabaszgāzes cenu 2010.gada jūnijā. Modelī iekļautā prognoze par dabaszgāzes cenas izmaiņām redzama 2.10.attēlā un 2.1.tabulā.



2.10.att. Dabaszgāzes cenas izmaiņas

Atkarībā no siltumenerģijas ražošanas tarifa enerģētiskās koksnes un dabaszgāzes izmantošanas gadījumā un enerģētiskās koksnes un dabaszgāzes īpatsvara kurināmā struktūrā mainās vidējās siltumenerģijas vienības ražošanas izmaksas (skat. 2.17.formulu):

$$T_T = E_K^S \cdot T_K + E_G^S \cdot T_G, Ls / MWh, \quad (2.17)$$

kur

$T_T$  – vidējās siltumenerģijas vienības ražošanas izmaksas,  $Ls/MWh$ ;

$E_K^S$  – enerģētiskās koksnes īpatsvars kurināmā struktūrā;

$E_G^S$  – dabaszgāzes īpatsvars kurināmā struktūrā;

$T_K$  – koksnes tarifs,  $Ls/MWh$ ;

$T_G$  – gāzes tarifs,  $Ls/MWh$ .

## Dabaszāzes cenas izmaiņas

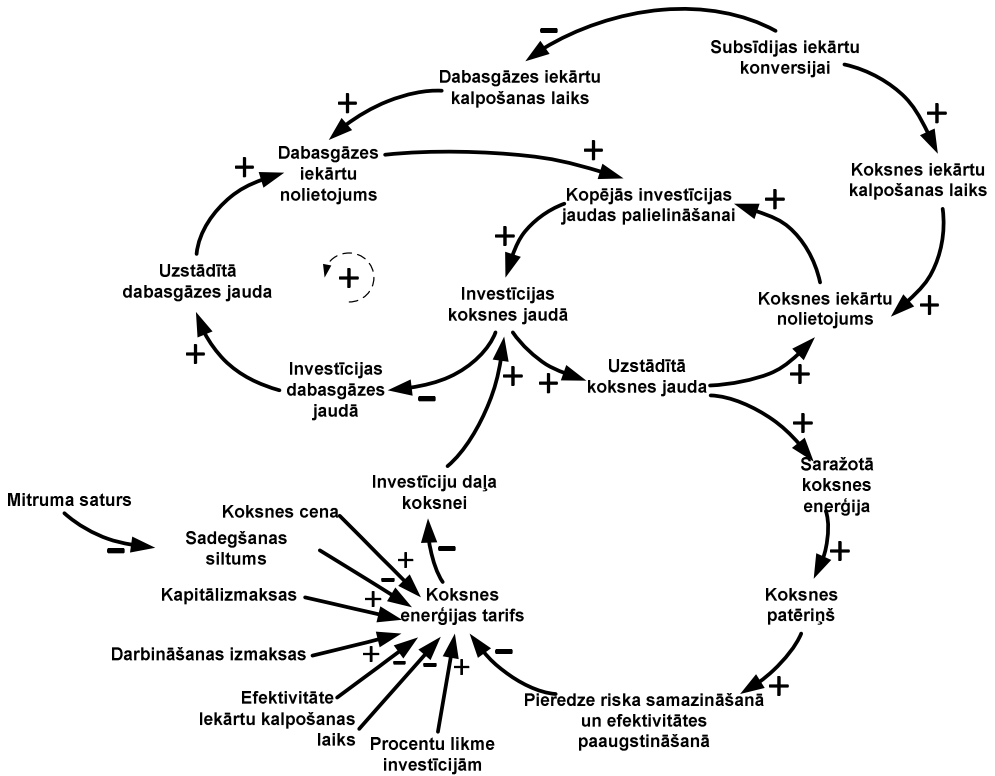
Nr. p.k.	Gads	Dabaszāzes cenas izmaiņas prognoze [48], Ls/t.m <sup>3</sup>	Sākotnējā dabaszāzes cena [49], Ls/t.m <sup>3</sup>	Ikgadējā dabaszāzes cenas izmaiņa, Ls/t.m <sup>3</sup>	Modelētā dabaszāzes cena, ņemot vērā ikgadējo cenas izmaiņu, Ls/t.n.m <sup>3</sup>
1	2010	7,06	128,7		236,0
2	2011	8,09	147,4	18,7	254,7
3	2012	8,43	153,6	6,2	260,9
4	2013	8,28	150,8	-2,8	258,1
5	2014	8,24	150,2	-0,6	257,5
6	2015	3,37	152,5	2,3	259,8
7	2016	8,45	154,1	1,6	261,4
8	2017	8,45	154,1	0,0	261,4
9	2018	8,50	154,9	0,8	262,2
10	2019	8,56	156,0	1,1	263,3
11	2020	8,68	158,2	2,2	265,5
12	2021	8,79	160,2	2,0	267,5
13	2022	8,98	163,6	3,4	270,9
14	2023	9,01	164,2	0,6	271,5
15	2024	8,93	162,7	-1,5	270,0
16	2025	9,00	164,0	1,3	271,3
17	2026	9,14	166,5	2,5	273,8
18	2027	9,29	169,4	2,9	276,7
19	2028	9,52	173,5	4,1	280,8
20	2029	9,76	177,8	4,3	285,1
21	2030	10,01	182,5	4,7	289,8
22	2031	10,33	188,3	5,8	295,6
23	2032	10,46	190,6	2,3	297,9
24	2033	10,50	191,3	0,7	298,6
25	2034	10,70	194,9	3,6	302,2
26	2035	10,83	197,4	2,5	304,7

## 2.1.3.2. Kurināmā struktūras modeļa atgriezeniskās saites

Iepriekš aprakstītie modeļa elementi un sakarības veido atgriezeniskās saites jeb cilpas (skat. 2.11.attēlu). Modelī ir divas galvenās atgriezeniskās saites, kas nosaka enerģētiskās koksnes un dabaszāzes enerģijas uzstādītās jaudas sadalījuma dinamisko attīstību.

Pirmā atgriezeniskā saite nosaka – jo lielāka kļūst uzstādītās enerģētiskās koksnes siltumenerģijas jauda ( $Q_K$ ), jo vairāk siltumenerģijas tiek saražots, izmantojot enerģētisko koksnī ( $E_K$ ), tādēļ palielinās koksnes patēriņš ( $B_K$ ). Palielinoties enerģētiskās koksnes patēriņam katrā modelēšanas solī, sabiedrībā arvien vairāk uzkrājas pozitīvā koksnes izmantošanas pieredze, ļaujot samazināt riskus, kas saistīti ar negatīvajiem koksnes izmantošanas aspektiem ( $EXP_R$ ), un palielināt koksnes izmantošanas efektivitāti ( $EXP_\eta$ ). Riska samazināšanās un

efektivitātes palielināšanās samazina tarifu siltumenerģijai, kas ražota, izmantojot enerģētisko koksnī ( $T_K$ ). Samazinoties enerģētiskās koksnī siltumenerģijas tarifam ( $T_K$ ), palielinās investīcijas šī kurināmā veida izmantošanas palielināšanai kurināmā struktūrā ( $I_K^S$ ). Rezultātā enerģētiskās koksnī uzstādītā siltumenerģijas jauda ( $Q_K$ ) palielinās. Tā kā tiek izmantots līdzsvara modelis, palielinoties enerģētiskās koksnī uzstādītajai siltumenerģijas jaudai ( $Q_K$ ), dabasgāzes uzstādītā jauda ( $Q_G$ ) samazinās.



2.11.att. Kurināmā struktūras modeļa cēloņseku diagramma

Otra atgriezeniskā saite nosaka – ja valdība īsteno vienu no politikas instrumentiem, kas raksturo subsīdiju piešķiršanu dabasgāzes apkures iekārtu nomaiņai ar enerģētiskās koksnī apkures iekārtām ( $P_S$ ), samazinās reālais dabasgāzes iekārtu kalpošanas laiks ( $\tau_G$ ). Dabasgāzes iekārtu kalpošanas laika ( $\tau_G$ ) samazināšanās izraisa investīciju ( $I_T$ ) daļas samazinājumu dabasgāzei, jo investīcijas kurināmā uzstādītās jaudas palielināšanai atkarīgas no iekārtu nolietojuma ( $D_G$ ). Ja iekārtu nolietojums ( $D_G$ ) samazinās, samazinās investīcijas dabasgāzes jaudas palielināšanai ( $1 - I_K^S$ ). Samazinoties investīcijām dabasgāzes uzstādītās jaudas palielināšanai ( $1 - I_K^S$ ), palielinās investīcijas enerģētiskās koksnī uzstādītās jaudas palielināšanai ( $I_K^S$ ), tādēļ palielinās enerģētiskās koksnī īpatsvars un turpinās pirmajā atgriezeniskajā saitē aprakstītie procesi.

### 2.1.3.3. Politikas instrumenti enerģētiskās koksnes īpatsvara palielināšanai

Kurināmā struktūras modelī ir iekļauti trīs politikas instrumenti enerģētiskās koksnes izmantošanas īpatsvara palielināšanai:

- 1) „Subsīdijas\_INSTR” ( $P_S$ ) – politikas instruments, kas raksturo subsīdijas centralizētās siltumenerģijas lietotājiem dabasgāzes apkures katlu nomaiņai pret enerģētiskās koksnes katliem (tas nozīmē, ka dabasgāzes katli var tikt aizstāti ar koksnes katliem pirms to normālā kalpošanas laika beigām);
- 2) „Riska\_samazināšana\_INSTR” ( $P_R$ ) – politikas instruments, kas raksturo sākotnēju īslaicīgu kampaņu ar enerģētiskās koksnes lietošanu saistīto risku kompensēšanai, kuras mērķis ir mudināt sabiedrību izvēlēties koksnes tehnoloģijas (tirgvedības vai atbalsta pasākumi procesa ierosināšanai, kas veicina pozitīvās koksnes tehnoloģiju izmantošanas pieredzes izplatīšanos sabiedrībā, pateicoties informācijas plūsmam);
- 3) „Efektivitātes\_uzlabošana\_INSTR” ( $P_\eta$ ) – politikas instruments, kas raksturo pasākumus enerģētiskās koksnes izmantošanas efektivitātes uzlabošanai.

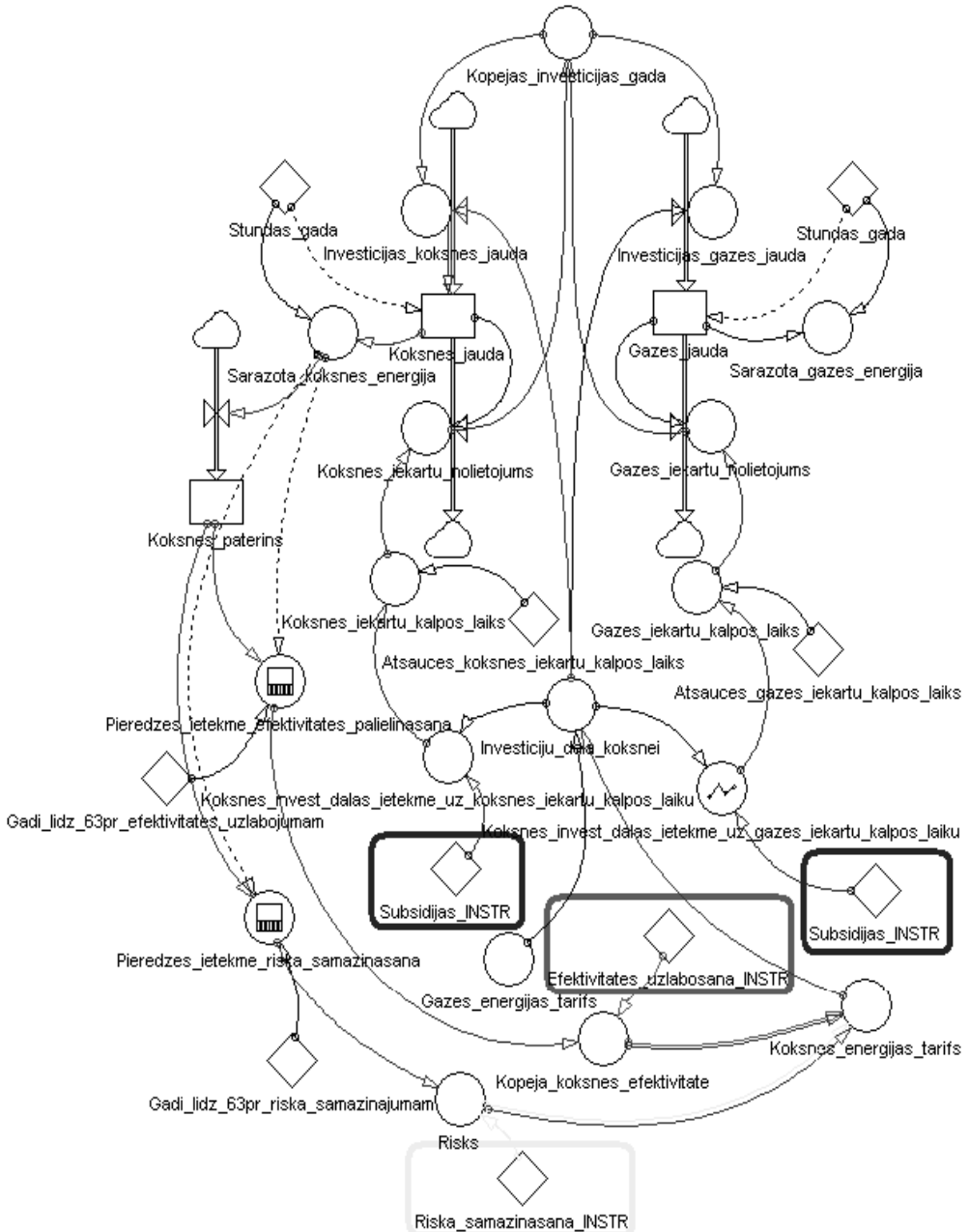
Politikas instrumenti ir izteikti konstanšu veidā (skat. 2.12.attēlu). Konstantes vērtība var būt 0 vai 1, kas raksturo to, vai politikas instruments attiecīgi tiek vai netiek lietots.

Gadījums  $P_S = 0$  nozīmē, ka netiek piešķirtas subsīdijas dabasgāzes apkures iekārtu nomaiņai ar enerģētiskās koksnes apkures iekārtām. Savukārt, ja  $P_S = 1$ , tas nozīmē, ka valsts sniedz subsīdijas tūlītējai dabasgāzes apkures iekārtu nomaiņai ar koksnes apkures iekārtām. Līdz ar to izmantoto dabasgāzes tehnoloģiju kalpošanas laiks vairs nav 20 gadi, bet mazāks, jo dabasgāzes iekārtas tiek aizstātas ar koksnes apkures iekārtām.

Vērtība  $P_R = 0$  nozīmē, ka sabiedrībā nav sākotnējā impulsa ar koksnes izmantošanu saistīto negatīvo aspektu novēršanai, līdz ar to neizplatās informācija par koksnes apkures iekārtu izmantošanas pozitīvo pieredzi un netiek veicināta jaunu potenciālo lietotāju piesaistīšana. Sabiedrībā pastāv uzskats, ka koksnes izmantošana ir neērta, dārga u.c. Šī vērtība raksturo negatīvos aspektus, kas saistās ar koksnes izmantošanu. Savukārt, ja  $P_R = 1$ , tas nozīmē, ka sabiedrībā sākotnēji tiek dots impulss (tirgvedības vai atbalsta pasākumi), lai kompensētu ar koksnes izmantošanu saistītos negatīvos aspektus, tādēļ izplatās pozitīvā pieredze koksnes tehnoloģiju izmantošanā, kas veicina arvien jaunu patērētāju piesaisti. Tādējādi samazinās risks, kas sabiedrībā saistās ar koksnes izmantošanas negatīvajiem aspektiem.

Vērtība  $P_\eta = 0$  nozīmē, ka netiek īstenoti pasākumi koksnes apkures iekārtu izmantošanas efektivitātes uzlabošanai. Ja  $P_\eta = 1$ , tas nozīmē, ka tiek īstenoti pasākumi koksnes apkures iekārtu izmantošanas efektivitātes uzlabošanai.

Imitācijas modelis ļauj mainīt konkrēto politikas instrumentu vērtības no 0 uz 1, un, veidojot dažādas šo parametru kombinācijas, tiek iegūti grafiki (skat. rezultātus 2.2.1.nodaļā), kas raksturo kurināmā sadalījumu siltumenerģijas ražošanā, kā arī siltumenerģijas tarifa izmaiņas 25 gadu periodā.



2.12.att. Politikas instrumentu attēlojums modelī

Šāda modelēšana ir nozīmīga, jo parametru savstarpējās attiecības nav lineāras un modelēšana ļauj imitēt sistēmas uzvedību atkarībā no atsevišķu parametru vai dažādu parametru kombināciju ietekmes.

#### 2.1.4. Modeļa testēšana

Izveidotā sistēmu dinamikas modeļa verifikācija notiek, izmantojot sistēmu dinamikas modeļu verifikācijas testus. Tie ir struktūras un parametru verifikācijas testi, dimensiju saskaņotības tests, robežu atbilstības tests, uzvedības prognozēšanas tests un uzvedības jutības tests.

Modeļa verifikācija sākas ar modeļa struktūras atbilstības pārbaudi. Tā kā modeļa veidošanā piedalījās gan enerģētikas nozares, gan sistēmu dinamikas modelēšanas eksperti, var uzskatīt, ka modelī iekļautie pieņēmumi par reālās sistēmas darbību ir pareizi un labi raksturo reālās sistēmas struktūru. Arī modeļa parametru vērtības ir balstītas uz ekspertu pieredzi vai literatūras avotos atrodamo informāciju, tāpēc var secināt, ka tās konceptuāli un skaitliski atbilst reālās dzīves vērtībām ticamības robežās.

Modeļa robežu atbilstības novērtēšana notiek saskaņā ar modeļa veidošanas mērķi. Modelis tiek veidots, lai palīdzētu noskaidrot, kāpēc centralizētajā siltumapgādē netiek izmantots enerģētiskās koksnes potenciāls. Tas tiek darīts, modelī iekļaujot trīs politikas instrumentus enerģētiskās koksnes īpatsvara palielināšanai. Tiek izvirzīta hipotēze, ka enerģētiskās koksnes izmantošanas īpatsvara zemā pieauguma cēlonis ir Latvijas politikas plānošanas dokumentos atzīmētās Latvijas atjaunojamo energoresursu politikas problēmas. Galvenās politikas problēmas ir nepietiekama atjaunojamo energoresursu tehnoloģiju konkurētspēja ar fosilajiem kurināmajiem un stabili ilgtermiņa valsts atbalsta pasākumu trūkums, kā arī neefektīvas energoapgādes tehnoloģijas un sabiedrības nepietiekamā izglītība un informētība par atjaunojamo energoresursu izmantošanas iespējām un priekšrocībām.

Enerģētiskās koksnes atbalsta politikas instrumenti ir saistīti ar minētajām problēmām. Politikas instruments  $P_S$  veicina enerģētiskās koksnes tehnoloģiju konkurētspēju un kalpo kā stabils valsts atbalsta pasākums. Politikas instruments  $P_R$  veicina sabiedrības izpratni par enerģētiskās koksnes izmantošanas iespējām un ieguvumiem. Politikas instruments  $P_\eta$  veicina enerģētiskās koksnes efektīvu izmantošanu sabiedrībā, tādējādi palielinot enerģētiskās koksnes tehnoloģiju izmantošanas efektivitāti.

Var secināt, ka problēma (enerģētiskās koksnes izmantošanas zemais pieauguma ātrums) modelī tiek atgriezeniski saistīta ar galvenajiem problēmas cēloņiem.

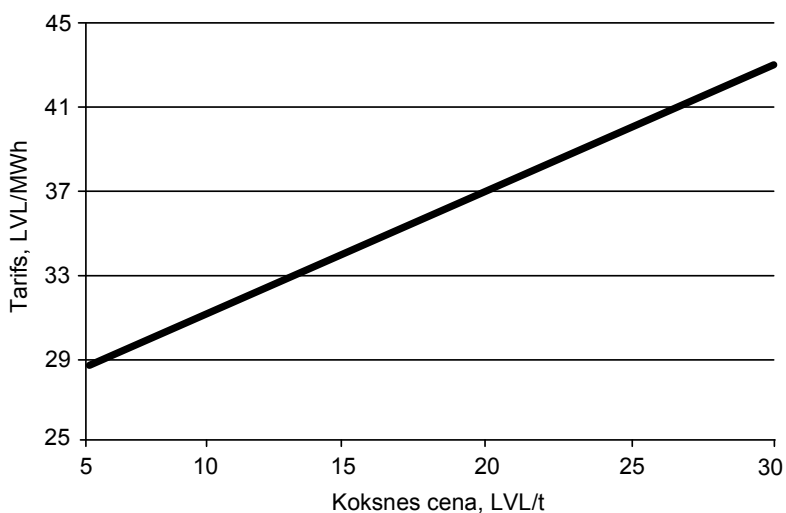
Modeļa uzvedība ekstrēmos apstākļos tiek pārbaudīta, piešķirot 0 vērtību investīciju plūsmām. Ja investīciju plūsmas modelī nav, samazinās uzstādītā enerģijas jauda. Kurināmā procentuālais sadalījums nemainās, jo nav investīciju, kas varētu ietekmēt viena vai otra kurināmā izmantošanas pieaugumu. Dabaszāzes enerģijas uzstādītā siltumenerģijas jauda ( $Q_G$ ) krītas straujāk nekā koksnes enerģijas uzstādītā jauda ( $Q_K$ ), jo dabaszāzes īpatsvars kurināmā struktūrā ir lielāks, līdz ar to lielāks ir arī iekārtu nolietojums ( $D_G$ ), kas samazina dabaszāzes enerģijas jaudas krājuma vērtību. Netiek nodrošināts nepieciešamais siltumenerģijas ražošanas apjoms ( $DM_T$ ), jo ar katru modelēšanas soli tas samazinās. Var secināt, ka modeļa uzvedība šādos apstākļos ir atbilstoša uzstādījumiem.

Ar uzvedības prognozēšanas testu tiek novērtēta modeļa radītās nākotnes uzvedības struktūra. Attiecībā uz enerģētiskās koksnes izmantošanu siltumenerģijas ražošanā modelis prognozē koksnes izmantošanas īpatsvara palielināšanos un koksnes siltumenerģijas tarifa ( $T_K$ ) samazināšanos, pateicoties enerģētiskās koksnes enerģijas uzstādītās jaudas ( $Q_K$ ) pieaugumam. Attiecībā uz dabasgāzes izmantošanu siltumenerģijas ražošanā modelis prognozē dabasgāzes izmantošanas īpatsvara samazināšanos un dabasgāzes enerģijas tarifa ( $T_G$ ) pieaugumu. Dabasgāzes enerģijas tarifa ( $T_G$ ) pieaugums skaidrojams ar dabasgāzes cenas ( $C_G^K$ ) pieaugumu, kas ir ticami. Enerģētiskās koksnes enerģijas tarifa ( $T_K$ ) samazinājums gadījumā, kad enerģētiskās koksnes izmantošana netiek palielināta ar politikas instrumentiem, skaidrojams ar iekārtu lietderības koeficienta ( $\eta_K$ ) palielināšanos un izmantotās koksnes mitruma satura ( $W_K$ ) samazināšanos, kas arī ir ticami. Enerģētiskās koksnes īpatsvara pieaugums attiecībā pret dabasgāzi skaidrojams ar investīciju plūsmas palielināšanos koksnei ( $I_K^S$ ) un samazināšanos dabasgāzei ( $1 - I_K^S$ ) siltumenerģijas tarifu izmaiņu rezultātā, kas ir ticami.

Lai pārbaudītu modeļa ticamību citos veidos, analizēta dažādu parametru vērtību izmaiņu ietekme uz kurināmā struktūru. Testēšana veikta, mainot konkrētu parametru vērtības. Turpmāk aprakstītas parametros veiktās izmaiņas un novērotās modeļa uzvedības izmaiņas.

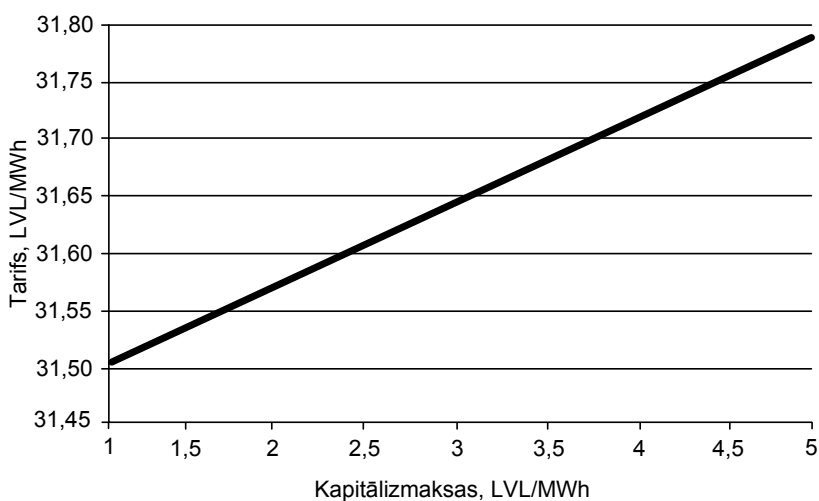
- 1) Ja pieņem, ka dabasgāzes cena ( $C_G^K$ ) ir ļoti zema (100 LVL/tūkst.  $\text{nm}^3$ ), modelis aprēķina, ka dabasgāzes enerģijas tarifs ( $T_G$ ) ir zemāks par enerģētiskās koksnes enerģijas tarifu ( $T_K$ ), tādēļ palielinās investīciju daļa dabasgāzes uzstādītās jaudas palielināšanai ( $1 - I_K^S$ ) un dabasgāzes īpatsvars palielinās līdz 87%.
- 2) Ja pieņem, ka dabasgāzes cena ( $C_G^K$ ) ir ļoti augsta (500 LVL/ tūkst.  $\text{nm}^3$ ), modelis aprēķina, ka dabasgāzes enerģijas tarifs ( $T_G$ ) ir augstāks par enerģētiskās koksnes enerģijas tarifu ( $T_K$ ), tādēļ laika gaitā koksnes enerģijas īpatsvars palielinās.
- 3) Ja pieņem, ka enerģētiskās koksnes tehnoloģiju uzstādīšanas izmaksas ( $C_K^I$ ) un ekspluatācijas izmaksas ( $C_K^O$ ) ir ļoti augstas (50 LVL/MWh), modelis aprēķina, ka enerģētiskās koksnes enerģijas tarifs ( $T_K$ ) ir ~1,5 reizes augstāks par dabasgāzes tarifu ( $T_G$ ) un enerģētiskās koksnes īpatsvars 25 gadu laikā samazinās no 15 līdz 1%.
- 4) Ja siltumenerģijas ražošanā tiek izmantota kurināmā koksne ar augstu mitruma saturu ( $W_K = 50\%$ ) un iekārtas ar zemu lietderības koeficientu ( $\eta_K = 50\%$ ), enerģētiskās koksnes enerģijas tarifs ( $T_K$ ) sākotnēji pārsniedz dabasgāzes enerģijas tarifu ( $T_G$ ), bet, pieaugot dabasgāzes cenai ( $C_G^K$ ), modelēšanas beigās abu energoresursu veidu enerģijas tarifi izlīdzinās. Kurināmā sadalījumā dominē dabasgāze, tomēr vērojams neliels koksnes izmantošanas pieaugums.

Tā kā visi apskatītie gadījumi ir ticami, palielinās pārliecība par modeļa spēju aprakstīt reālās sistēmas uzvedību.



2.13.att. Enerģētiskās koksnes siltumenerģijas tarifs atkarībā no enerģētiskās koksnes cenas

Modeļa parametru verifikācija tiek turpināta, analizējot izmaiņas enerģētiskās koksnes siltumenerģijas tarifā ( $T_K$ ), ko izraisa enerģētiskās koksnes cenas ( $C_K^K$ ) un tehnoloģiju kapitālizmaksu ( $C_K^I$ ) mainība. 2.13.attēlā raksturotas modeļa aprēķinātās enerģētiskās koksnes siltumenerģijas tarifa ( $T_K$ ) izmaiņas atkarībā no enerģētiskās koksnes cenas ( $C_K^K$ ). 2.13.attēlā redzams, ka, palielinoties enerģētiskās koksnes cenai ( $C_K^K$ ), modelis aprēķina siltumenerģijas tarifa ( $T_K$ ) kāpumu, kā tam būtu jābūt.



2.14.att. Enerģētiskās koksnes siltumenerģijas tarifs atkarībā no tehnoloģiju kapitālizmaksām

2.14.attēlā raksturotas modeļa aprēķinātās enerģētiskās koksnes siltumenerģijas tarifa ( $T_K$ ) izmaiņas atkarībā no enerģētiskās koksnes tehnoloģijas uzstādīšanas kapitālizmaksām uz saražoto enerģijas vienību ( $C_K^j$ ). 2.14.attēlā redzams, ka, palielinoties kapitālizmaksām uz saražotās enerģijas vienību ( $C_K^j$ ), palielinās enerģijas ražošanas tarifs ( $T_K$ ), kas ir ticami.

Trešā sistēmu dinamikas modeļu verifikācijas grupa – politikas īstenošanas verifikācijas testi – analizēta šī darba rezultātu sadaļā.

Modeļa struktūras un uzvedības verifikācija ļauj secināt, ka izveidotajā modelī ir iekļauti visi nozīmīgākie reālās sistēmas uzvedību (problēmu) skaidrojošie faktori. Modeļa robeža un detalizācijas pakāpe ļauj ticami aprakstīt reālās sistēmas uzvedību, un modeļa veidotās prognozes var uzskatīt par reālām.

## 2.2. Politikas instrumentu ietekmes analīze

### 2.2.1. Scenāriju analīze

Modelī iestrādāto trīs politikas instrumentu izmantošana tika kombinēta visos iespējamajos veidos, iegūstot astoņus modelēšanas scenārijus. Pārskats par scenārijiem un attiecīgajām politikas instrumentu kombinācijām dots 2.2.tabulā, kur vērtība „1” norāda, ka attiecīgais politikas instruments scenārija modelēšanā ir aktivizēts, bet „0” – ka konkrētais politikas instruments scenārijā netiek lietots.

Turpmāk darbā atsevišķi apskatīts 1., 5. un 8.scenārijs, grafiski attēlojot modelēšanā iegūto kurināmā struktūru un siltumenerģijas tarifu. Pārējo scenāriju rezultāti grafiski attēloti šī darba 1.pielikumā.

2.2.tabula

Scenārijos lietoto politikas instrumentu kombinācijas

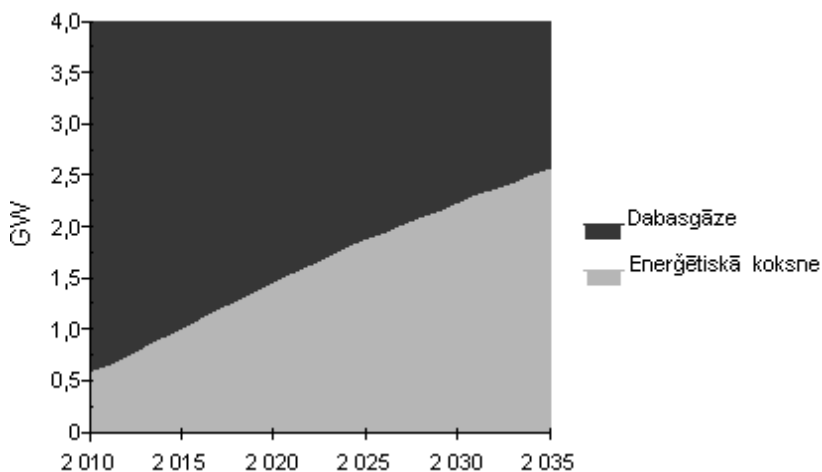
Scenārijs	Politikas instrumenti		
	$P_S$	$P_R$	$P_\eta$
1. scenārijs. Nevienu politikas instrumentu neizmanto	0	0	0
2. scenārijs. Subsīdiju pakete	1	0	0
3. scenārijs. Informācijas pakete	0	1	0
4. scenārijs. Tehnoloģiju energoefektivitātes pakete	0	0	1
5. scenārijs. Subsīdiju un informācijas pakete	1	1	0
6. scenārijs. Subsīdiju un tehnoloģiju energoefektivitātes paketes	1	0	1
7. scenārijs. Informācijas un tehnoloģiju energoefektivitātes paketes	0	1	1
8. scenārijs. Visi trīs politikas instrumenti tiek lietoti	1	1	1

#### 2.2.1.1.1.scenārija modelēšanas rezultāti

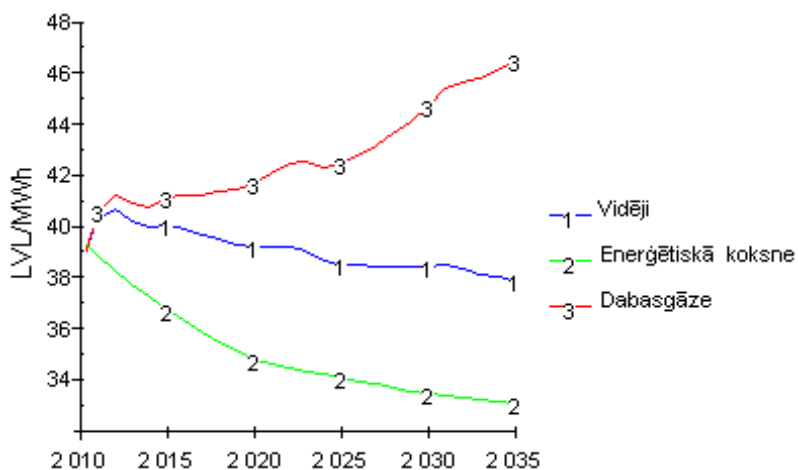
1.scenārijā modelēta situācija, kad visu trīs analizēto politikas instrumentu vērtība ir 0 ( $P_S = 0$ ,  $P_R = 0$  un  $P_\eta = 0$ ). Tādējādi šis scenārijs raksturo situāciju, kad netiek īstenoti nekādi atbalsta pasākumi enerģētiskās koksnes īpatsvara

palielināšanai: netiek piešķirtas subsīdijas dabasgāzes apkures iekārtu nomainīai ar enerģētiskās koksnes apkures iekārtām, sabiedrībā neizplatās informācija par koksnes izmantošanas priekšrocībām un ieguvumiem, līdz ar to pastāv augsts koksnes tehnoloģiju izmantošanas risks. Netiek īstenoti arī enerģētiskās koksnes iekārtu izmantošanas efektivitātes uzlabošanas pasākumi.

2.15.a.attēlā redzams 1.scenārijā modelētais uzstādītās siltumenerģijas jaudas sadalījums dabasgāzei un kurināmajai koksnei 25 gadu periodā, un 2.15.b.attēlā redzamas siltumenerģijas tarifa izmaiņas.



2.15.a.att. 1. scenārija modelēšanas rezultāti. Kurināmā struktūra



2.15.b.att. 1. scenārija modelēšanas rezultāti. Siltumenerģijas tarifs

Kā redzams 2.15.a.attēlā, gadījumā, kad enerģētiskās koksnes īpatsvara palielināšanai netiek izmantoti politikas atbalsta pasākumi, koksnes īpatsvaram kurināmā sadalījumā ir tendence palielināties, ar laiku pārsniedzot dabasgāzes uzstādīto jaudu. Enerģētiskās koksnes īpatsvara pieauguma tendence šajā gadījumā

skaidrojama, pirmkārt, ar prognozēto dabasgāzes cenas kāpumu, jo tādēļ palielinās dabasgāzes enerģijas tarifs, kas, savukārt, izraisa investīciju daļas pieaugumu enerģētiskās koksnes uzstādītās jaudas palielināšanai. Otrkārt, enerģētiskās koksnes enerģijas uzstādītā jauda pieaug, jo ar laiku samazinās enerģētiskās koksnes mitruma saturs un palielinās iekārtu efektivitāte, izraisot koksnes enerģijas tarifa samazināšanos un investīciju daļas pieaugumu uzstādītajai koksnes jaudai. 1.scenārijā kurināmā struktūrā modelētajā periodā dominē dabasgāze.

2.15.b.attēlā redzams, ka dabasgāzes siltumenerģijas tarifs apskatītajā laika periodā pieaug. Tas skaidrojams ar modeli iekļauto prognozi par dabasgāzes cenas kāpumu, kas izraisa dabasgāzes enerģijas tarifa sadārdzināšanos.

Enerģētiskās koksnes tarifam šajā gadījumā ir tendence samazināties, jo modeli iekļauts pieņēmums, ka laika gaitā samazināsies centralizētajā siltumapgādē izmantotās enerģētiskās koksnes mitruma saturs un palielināsies iekārtu lietderības koeficients – šie faktori ietekmē siltumenerģijas tarifu.

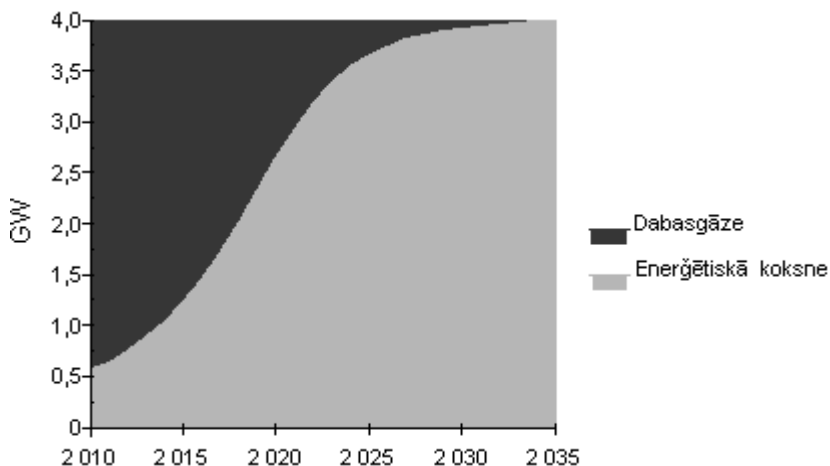
Vidējais siltumenerģijas tarifs sākotnēji seko dabasgāzes siltumenerģijas tarifa pieaugumam, jo tas ir straujāks nekā enerģētiskās koksnes siltumenerģijas tarifa samazinājums un dabasgāzes īpatsvars kurināmā struktūrā ir vairākas reizes lielāks salīdzinājumā ar enerģētisko koksnī. Vēlāk, pateicoties koksnes siltumenerģijas tarifa straujākam kritumam, vidējais siltumenerģijas tarifs sāk samazināties.

#### *2.2.1.2.5.scenārija modelēšanas rezultāti*

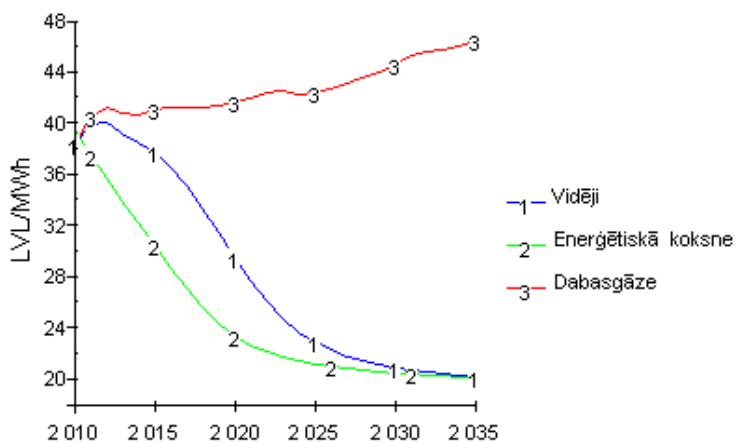
5.scenārijā modelēta situācija, kad tiek aktivizēti divi no trīs politikas instrumentiem ( $P_S = 1$ ,  $P_R = 1$  un  $P_\eta = 0$ ), t.i., scenārijs raksturo situāciju, kad enerģētiskās koksnes īpatsvara palielināšanai tiek piešķirtas subsīdijas tūlītējai dabasgāzes apkures iekārtu nomainīšanai ar koksnes apkures iekārtām (instrumenti  $P_S$ ) un īstenoti sākotnēji atbalsta pasākumi ar enerģētiskās koksnes lietošanu saistīto risku kompensēšanai (instrumenti  $P_R$ ). Līdz ar to sabiedrībā izplatās pieredze par pozitīvajiem koksnes izmantošanas piemēriem un tiek piesaistīti potenciālie lietotāji. Šajā scenārijā netiek īstenoti pasākumi, lai uzlabotu koksnes tehnoloģiju izmantošanas efektivitāti.

2.16.a.attēlā redzams, ka politikas instrumentu  $P_S$  un  $P_R$  kombinācija nozīmīgi ietekmē dinamisko kurināmā sadalījuma attīstību nākotnē. Koksnes izmantošanas īpatsvars strauji pieaug jau pirmo 10–15 gadu laikā, vēlāk pieauguma ātrums samazinās. Modelētā perioda beigās kurināmā koksnē pilnībā aizstāj dabasgāzes izmantošanu siltumenerģijas ražošanā centralizētās siltumapgādes sistēmās. Šādu kurināmā struktūru veido divu politikas instrumentu savstarpējā mijiedarbība.

Attiecībā uz siltumenerģijas tarifiem 2.16.b.attēlā redzams, ka dabasgāzes siltumenerģijas tarifs apskatītajā laika periodā pieaug. Tas ir skaidrojams ar modeli iekļauto prognozi par dabasgāzes cenas kāpumu, kas izraisa dabasgāzes enerģijas tarifa sadārdzināšanos.



2.16.a.att. 5.scenārija modelēšanas rezultāti. Kurināmā struktūra



2.16.b.att. 5.scenārija modelēšanas rezultāti. Siltumenerģijas tarifs

Tā kā enerģētiskās koksnes siltumenerģijas tarifu ietekmē īstenotie politikas instrumenti, tas strauji samazinās pirmo 10 gadu laikā, vēlāk kritums ir neliels. Tas ir līdzīgi kā 3.scenārijā (skat. rezultātus 1.pielikumā), kur tika izmantots politikas instruments  $P_R$ , lai sabiedrībā popularizētu enerģētiskās koksnes izmantošanu un samazinātu risku, kas saistās ar koksnes tehnoloģiju izmantošanu.

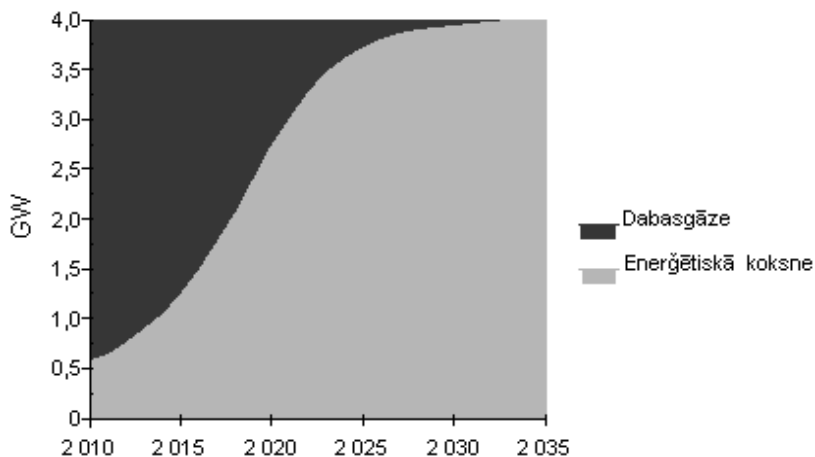
Vidējais siltumenerģijas tarifs sākotnēji pieaug, sekojot dabaszgāzes tarifa pieauguma tendencei, bet vēlāk samazinās, sekojot enerģētiskās koksnes siltumenerģijas tarifa samazinājuma tendencei. Salīdzinot ar pirmajiem četriem scenārijiem, vidējā siltumenerģijas tarifa kritums sasniedzams visātrāk un ir visstraujākais. Tas skaidrojams ar strauju enerģētiskās koksnes īpatsvara pieaugumu kurināmā struktūrā.

Koksnes siltumenerģijas tarifa izmaiņas tendence šajā scenārijā ir līdzīga gadījumam, kad enerģētiskās koksnes izmantošanas veicināšanai tika izmantots vienīgi politikas instruments  $P_R$ , kas paredz enerģētiskās koksnes atbalsta

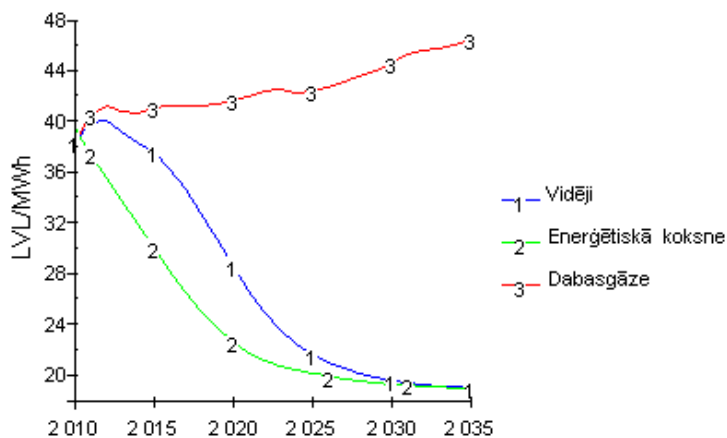
pasākumus, lai mazinātu ar koksnes lietošanu saistītos riskus, savukārt koksnes īpatsvara palielināšanās šajā gadījumā ir nozīmīgāka. Tādējādi var secināt, ka šajā scenārijā analizēto politikas instrumentu kombinācija mijiedarbojoties būtiskāk ietekmē kurināmā patēriņa sadalījumu nekā koksnes enerģijas tarifu.

### 2.2.1.3.8.scenārija modelēšanas rezultāti

8.scenārijā modelēta situācija, kad tiek aktivizēti visi trīs politikas instrumenti ( $P_S = 1$ ,  $P_R = 1$  un  $P_\eta = 1$ ), t.i., scenārijs raksturo gadījumu, kad tiek piešķirtas subsīdijas dabasgāzes apkures iekārtu nomainībai ar enerģētiskās koksnes apkures iekārtām (politikas instruments  $P_S$ ), tiek īstenoti tirgvedības pasākumi, lai veicinātu koksnes izmantošanu (politikas instruments  $P_R$ ) un lai palielinātu koksnes izmantošanas efektivitāti (politikas instruments  $P_\eta$ ).



2.17.a.att. 8.scenārija modelēšanas rezultāti. Kurināmā struktūra



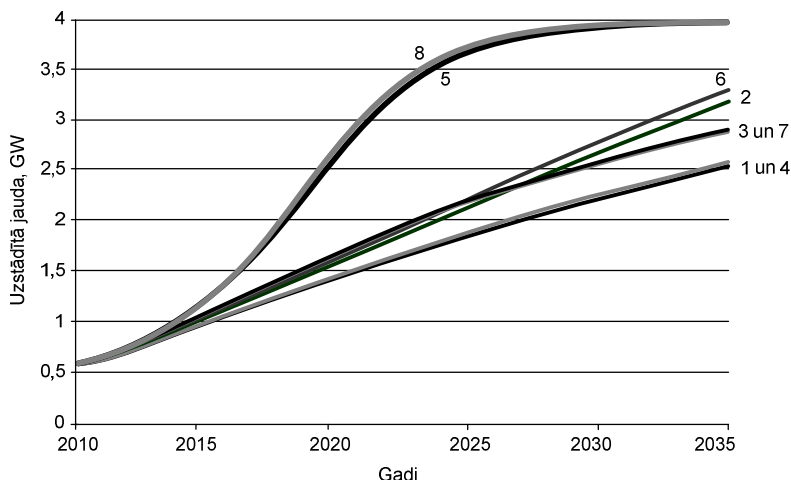
2.17.b.att. 8.scenārija modelēšanas rezultāti. Siltumenerģijas tarifs

2.17.a.attēlā redzams, ka, īstenojot visus trīs politikas instrumentus ( $P_S$ ,  $P_R$  un  $P_\eta$ ) koksnes īpatsvara palielināšanai, to ietekme uz kurināmā sadalījumu uzstādītās siltumenerģijas jaudas struktūrā ir nozīmīga, tomēr šis scenārijs līdzinās 5.scenārija modelēšanas rezultātiem (skat. 2.16.a.attēlu), kad netika izmantots politikas instruments  $P_\eta$  – koksnes izmantošanas efektivitātes uzlabošana. Īstenojot visus trīs politikas instrumentus, enerģētiskās koksnes īpatsvars ir tikai nedaudz lielāks nekā 5.scenārijā. No tā var secināt, ka šāda kurināmā patēriņa sadalījuma sasniegšanai pietiek ar pirmo divu politikas instrumentu ( $P_S$  un  $P_R$ ) īstenošanu, bet instrumenta  $P_\eta$  ietekme ir salīdzinoši neliela.

Kā redzams 2.17.b.attēlā, arī siltumenerģijas tarifa dinamiskā attīstība šajā scenārijā līdzinās 5.scenārija rezultātiem (2.16.b.attēls), kad netiek izmantots trešais atbalsta politikas instruments  $P_\eta$ . Īstenojot visus trīs politikas instrumentus, enerģētiskās koksnes siltumenerģijas tarifs un arī vidējais siltumenerģijas tarifs ir viszemākais, tomēr papildu ieguvums salīdzinājumā ar 5.scenāriju ir nebūtisks. Var secināt, ka koksnes tehnoloģiju efektivitātes uzlabošanas pasākumi (politikas instruments  $P_\eta$ ) nedod papildu ieguldījumu koksnes enerģijas tarifa samazināšanā.

### 2.2.2. Scenāriju salīdzinājums

Salīdzinot enerģētiskās koksnes un dabasgāzes izmantošanas īpatsvara izmaiņas visos scenārijos (skat. 2.18. un 2.19.attēlu), ir redzamas divas izmaiņu attīstības tendences. Pirmā – pakāpenisks un mērens enerģētiskās koksnes izmantošanas īpatsvara pieaugums un dabasgāzes izmantošanas īpatsvara kritums ar nedaudz atšķirīgu izmaiņu ātrumu (1., 2., 3., 4., 6. un 7.scenārija gadījumā). Otra tendence – straujš enerģētiskās koksnes izmantošanas īpatsvara pieaugums un dabasgāzes izmantošanas īpatsvara samazinājums (5. un 8.scenārija gadījumā).

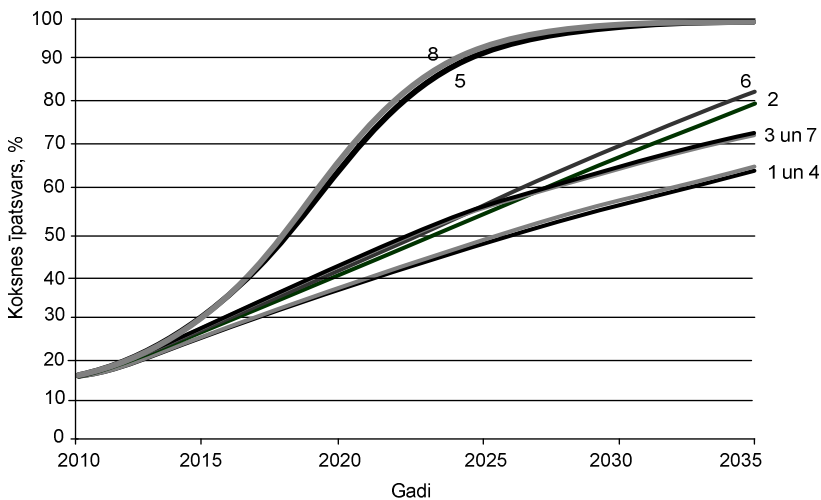


2.18.att. Koksnes kurināmā uzstādītās jaudas izmaiņu salīdzinājums modelētajos scenārijos

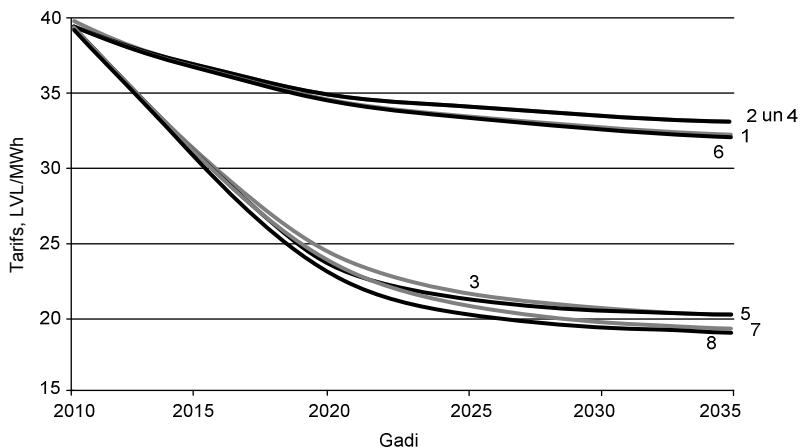
No tā var secināt, ka vislielāko ietekmi uz koksnes īpatsvara palielināšanos kurināmā struktūrā dod pirmā un otrā politikas instrumenta ( $P_S$  un  $P_R$ ) kombinācija.

Salīdzinot enerģētiskās koksnes siltumenerģijas tarifa izmaiņas modelētajos scenārijos (skat. 2.20.attēlu), vērojama līdzīga divu attīstības tendenču veidošanās. Vienā scenāriju grupā (1., 2., 4. un 6.scenārijs) vērojama pakāpeniska koksnes siltumenerģijas tarifa samazināšanās. Otra scenāriju grupa (3., 5., 7. un 8.scenārijs) rāda salīdzinoši strauju enerģētiskās koksnes tarifa samazinājumu.

No iegūtajiem modelēšanas rezultātiem 2.20.attēlā var secināt – lai panāktu vislielāko koksnes tarifa samazinājumu, visbūtiskākā loma ir politikas instrumenta  $P_R$  īstenošanai, jo tas ir kopīgs visiem otrās grupas scenārijiem. Ar koksnes izmantošanu saistīto risku novēršana dos vislielāko ieguldījumu koksnes tarifa samazināšanā, bet pārējo divu politikas instrumentu ietekme uz tarifu ir salīdzinoši neliela.



2.19.att. Koksnes kurināmā īpatsvara izmaiņu salīdzinājums modelētajos scenārijos



2.20.att. Koksnes siltumenerģijas tarifa izmaiņu salīdzinājums modelētajos scenārijos

### **2.3. Secinājumi par politikas instrumentu ietekmi uz Latvijas centralizētās siltumapgādes sistēmas kurināmā struktūru**

Modelī iekļauti trīs politikas instrumenti kurināmās koksnes īpatsvara palielināšanai, un ar modeļa palīdzību iespējams novērtēt to ietekmi uz kurināmā struktūru. Politikas instrumentu ietekmes analīzes rezultātā var secināt, ka, izmantojot tos atsevišķi, vislielāko ietekmi uz kurināmās koksnes īpatsvara palielināšanu dod politikas instruments, kas paredz subsīdijas dabasgāzes apkures iekārtu nomaiņai ar kurināmās koksnes iekārtām, tomēr pieaugums nav liels, salīdzinot ar gadījumu, kad kurināmās koksnes atbalstam netiek izmantots neviens politikas instruments. Lai kurināmās koksnes īpatsvars palielinātos straujāk un sasniegtu lielāku daļu kurināmā struktūrā, nepieciešama vairāku politikas instrumentu mijiedarbība. Īstenojot politikas atbalsta instrumentus, kas paredz subsīdijas iekārtu konversijai un sākotnējus pasākumus ar koksnes izmantošanu saistīto risku novēršanai, iespējams panākt strauju kurināmās koksnes īpatsvara pieaugumu un pilnīgu dominanci kurināmā struktūrā pēc 25 gadiem.

Attiecībā uz siltumenerģijas vienības ražošanas izmaksām jeb siltumenerģijas tarifu 25 gadu laikā modelis prognozē tarifa pieaugumu no dabasgāzes ražotai siltumenerģijai, savukārt no kurināmās koksnes ražotas siltumenerģijas tarifam raksturīga krītoša tendence. Dabasgāzes siltumenerģijas tarifa pieaugums skaidrojams ar prognozēto dabasgāzes cenas kāpumu. Kurināmās koksnes enerģijas tarifa samazinājums skaidrojams ar prognozēto apkures iekārtu efektivitātes uzlabošanu un izmantotās kurināmās koksnes mitruma satura samazināšanu. Kurināmās koksnes enerģijas tarifu ir iespējams samazināt, izmantojot politikas instrumentus kurināmās koksnes īpatsvara palielināšanai. Uz kurināmās koksnes enerģijas tarifa samazināšanu visbūtiskāko ietekmi atstāj politikas instruments, kas paredz sākotnējus pasākumus ar kurināmās koksnes lietošanu saistīto risku kompensēšanai sabiedrībā.

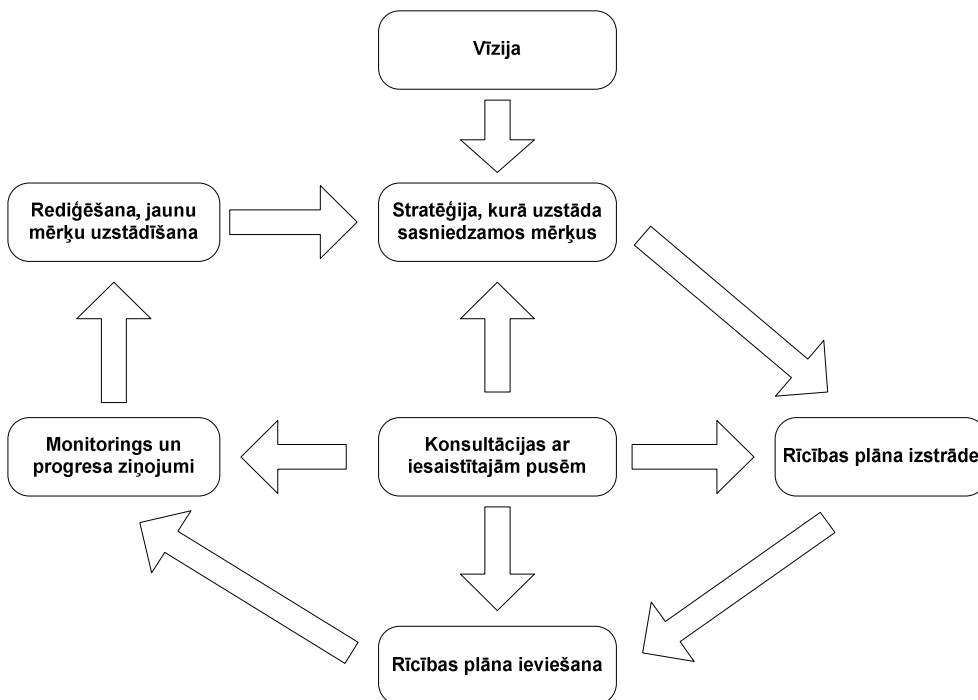
Novērtējot modelī iekļauto politikas instrumentu ietekmi uz kurināmās koksnes īpatsvara palielināšanu centralizētās siltumapgādes sistēmās Latvijā, var secināt, ka kurināmās koksnes potenciāls netiek izmantots, jo trūkst mērķtiecīgas, aktīvas un ilgtspējīgas valsts atbalsta politikas kurināmās koksnes izmantošanas veicināšanas atbalstam. Modelēšanas rezultāti rāda, ka, atrodot iespējas īstenot konkrētus atbalsta politikas instrumentus, kurināmās koksnes īpatsvaru centralizētās siltumapgādes sistēmās ir iespējams būtiski palielināt, tādējādi virzot valsti uz tās atjaunojamo energoresursu politikas mērķu sasniegšanu. Būtiski, ka kurināmās koksnes īpatsvara palielināšanās centralizētās siltumapgādes sistēmās pozitīvi ietekmē arī siltumenerģijas, kas ražota, izmantojot kurināmo koksni, tarifu.

Modelēšanas rezultāti pierāda, ka Latvijā ir iespējams iztikt bez dabasgāzes, to aizstājot ar koksni. Ar apskatītajiem politikas instrumentiem ir iespējams nodrošināt, ka jau 2035.gadā Latvijas centralizētās siltumapgādes sistēmās ražotā siltumenerģija 100% tiek iegūta no atjaunojamajiem resursiem – enerģētiskās koksnes.

### 3. REĢIONĀLĀ ENERGOPLĀNOŠANAS MODEĻA IZSTRĀDE

#### 3.1. Energoplānošanas pamatprincipi

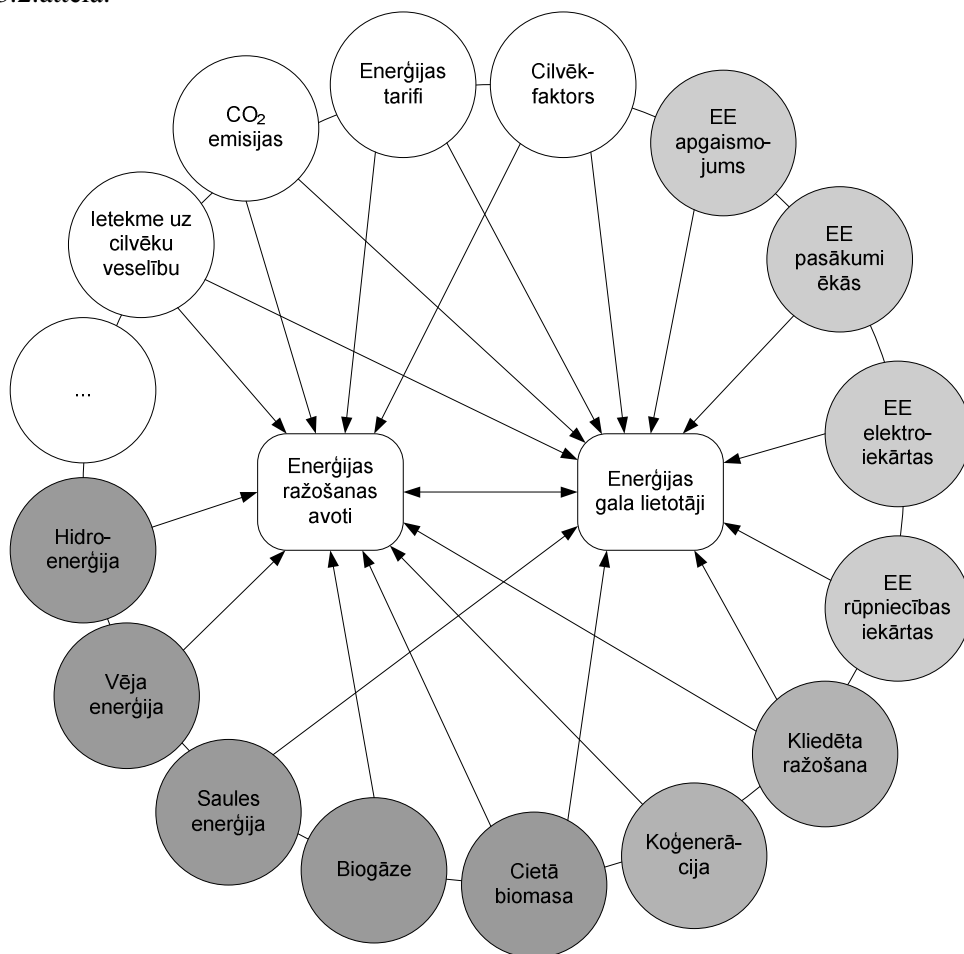
Reģionālā energoplānošana ir drīzāk ciklisks process, kas iekļauj iesaistīto pušu uzklaušīšanu un daudzu iepriekš pieņemtu lēmumu maiņu, nevis lineāra soļu secība. Plānošanas cikls shematiski ir attēlots 3.1.attēlā un detalizēti aprakstīts 1.2.2.nodaļā.



3.1.att. Plānošanas cikls

Energoapatērētāja vadība parasti tiek izmantota, lai kontrolētu enerģijas patēriņu un optimizētu pieejamos vai plānotos enerģijas avotus [50]. Kā norāda energoplānošanas speciālisti [51], energoplānošana reģionālajā līmenī tiek atzīta par vienu no vispiemērotākajiem rīkiem atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanai un energosistēmu ietekmes uz vidi samazināšanai. Energoapatērētāja vadība tika izraudzīta kā sākumpunkts izpētei par to, kādā veidā reģionālo energoplānošanu var kombinēt ar energoapatērētāju vadības konceptu, lai maksimizētu atjaunojamās enerģijas izmantošanu, samazinātu CO<sub>2</sub> emisijas un atrastu optimālu ekonomisko risinājumu atjaunojamo energoresursu tehnoloģiju ieviešanai noteiktā reģionā. Analīzē tika nolemts iekļaut arī primārās enerģijas avotus, lai aptvertu visu reģionālo energosistēmu. Energoapatērētāja puse ietver

enerģijas gala lietotājus [50,52], kas šajā pētījumā ir viens no diviem pamatelementiem, kuri novietoti reģionālās energosistēmas centrā. Otrs elements ir enerģijas ražošanas avoti, pamatā – primārās enerģijas avotu (kurināmā) patērētāji. Reģionālās energosistēmas elementi un to savstarpējā iedarbība ir redzama 3.2.attēlā.



3.2.att. Reģionālās energosistēmas elementi un to savstarpējā iedarbība

Vairāki iepriekš veikti pētījumi norāda uz virkni problēmu, kas saistītas ar atjaunojamo energoresursu ieviešanu un energoefektivitātes pasākumu īstenošanu reģionālajās energosistēmās [53]: augstas atjaunojamās enerģijas tehnoloģiju izmaksas, salīdzinot ar fosilos kurināmos izmantojošām tehnoloģijām, finansējuma pieejamība, nepietiekama sadarbība starp administratīvajām iestādēm, tirgus iniciatīvu trūkums un citas problēmas, t.sk. sociālās un veselības problēmas, kas prasa veidot stratēģijas enerģētikas un ar enerģētiku saistītā vides sektora pārvaldībai, lai izstrādātu piemērotu enerģētikas politiku un uzlabotu enerģijas pārvaldības sistēmu harmonizāciju, veicinot energoefektivitātes integrēšanu un paātrinātu plašāku atjaunojamo energoresursu lietošanu [54].

### 3.2. Koksnes potenciāla noteikšana un tā izmantošanas sistēmiskā analīze

Šobrīd valsts energobilancē ir neattaisnojami liels fosilā kurināmā īpatsvars, kuru ir iespējams samazināt, uzsākot aktīvu vietējā kurināmā izmantošanu reģionos. Fosilo kurināmo aizstāšana ar atjaunojamajiem ir ne tikai mūsu valsts enerģētikas sektora neatkarības jautājums, bet arī valsts politiskās gribas apstiprinājums. Statistikas dati liecina, ka Latvijas teritorijas aizaug ar mežiem. Pēdējo piecu gadu laikā apmežoto teritoriju īpatsvars pieaudzis no 44% līdz 52%.

Cilvēku aktivitāšu izplatība energosektora telpā vispirms ir saistīta ar vietējā, atjaunojamā energoresursa izmantošanu. Pēdējos piecos gados Latvijā ir izstrādāti un publicēti vairāk nekā 25 pētījumi par enerģētiskās koksnes tēmu. Vairāk nekā puse no šiem pētījumiem veltīti jautājumiem, kas saistīti ar Latvijas enerģētiskās koksnes potenciālu.

Analizējot augstāk minētos biomasas izmantošanas pētījumus, enerģētiskās koksnes potenciāla noteikšanas metodes atšķiras. Atšķirīgi ir arī rezultāti. Vērtētie pētījumi šajā jomā ir sadalīti četrās grupās.

- 1.grupa. Pētījumos ir sniegts pilnvērtīgs un izsmelošs kopējā enerģētiskās koksnes potenciāla aprēķins un apraksts. Apkopojot pētījumu datus no Būvniecības, enerģētikas un mājokļu valsts aģentūras ekspertu darba [55], Rīgas Tehniskās universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta un mežsaimniecības sektora ekspertu izpētes rezultātiem [56], Latvijas Lauksaimniecības universitātes zinātnieku veikuma [57], LVMI „Silava” darbinieku izpētes darba [58], ir iespējams iegūt vispusīgu ainu par enerģētiskās koksnes potenciālu.
- 2.grupa. Enerģētiskās koksnes potenciāls ir noteikts, balstoties uz iepriekš veiktiem pētījumiem, piemēram, SIA “Arhitektūras konsultācijas” pētījums [59].
- 3.grupa. Pētījumi ir balstīti uz normatīvajos aktos [60] noteiktajiem enerģētiskās koksnes potenciāliem, kas nozīmē, ka dati ņemti no iepriekšējos gados izstrādātiem modeļiem (bez būtiskām korekcijām), kaut arī Centrālā statistikas pārvalde katru gadu ziņo par Latvijas teritoriju aizaugšanu ar mežiem.
- 4.grupa. Atsevišķu koksnes resursu avotu potenciāla pētījumi ir veikti par lauksaimniecības atkritumiem (Fizikāli enerģētiskais institūts, 2006) [61], par apaugumu uz grāvjiem, par lietotu koksni (LVMI “Silava” 2008) [58], koksnes resursiem bioeļļas ieguvei (SIA “E& IC” 2006) [62].

Apkopojot datus par enerģētiskās koksnes potenciālu Latvijā (skat. 3.1.tabulu), tas tiek prognozēts plašās robežās: no 13,5 līdz 30 TWh/gadā. Pēdējā laikā arvien vairāk speciālistu tiecas domāt par to, ka tuvojamiem pēdējam.

Latvija ir viena no tām nedaudzajām valstīm, kura varētu paaugstināt atjaunojamo energoresursu īpatsvaru līdz 50% no kopējā enerģijas patēriņa. Koksne spēlē būtisku lomu, it īpaši siltumenerģijas ražošanā.

Plānošanas dimensija vietējo atjaunojamo energoresursu izmantošanā ir saistīta ar dažāda veida infrastruktūras izvietojumu, ievērtējot vides, sociālos un

ekonomiskos aspektus. Latvijas vietējo energoresursu attīstībai ir jābalstās uz pudura veidošanas, vides un klimata problēmu integrēšanas un pakāpeniskuma principiem.

3.1.tabula

Enerģētiskās koksnes potenciāls Latvijā

Pētījums	Enerģētiskās koksnes potenciāls	Datu avots
Enerģētiskās koksnes plūsmas teorētiskā un eksperimentālā modeļa izstrāde un produktu kvalitātes prasību izvērtējums [57]	8,39–8,89 milj.m <sup>3</sup> : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ koksnes pārstrādes blakusprodukti – 5,5 milj.c.m<sup>3</sup>;</li> <li>▪ zari un nemeža zemes – 0,49 milj. c.m<sup>3</sup>;</li> <li>▪ malka no cirmām – 1,19 milj. c.m<sup>3</sup>;</li> <li>▪ malka no privātmežiem – 1,2–1,7 milj. c.m<sup>3</sup>.</li> </ul>	Zemkopības ministrijas un CSP 2007.gada dati
Atjaunojamo energoresursu potenciāls Latvijā. Atjaunojamā enerģija un tās attīstības iespējas nākotnē [55]	12,6 milj.m <sup>3</sup> (30 TWh): <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ meža un nemeža zemes – 7,6 milj. c.m<sup>3</sup> (16,2 TWh);</li> <li>▪ papīrmalka un celulozes šķelda – 4 milj. c.m<sup>3</sup> (10 TWh);</li> <li>▪ otrreizējā koksne – 1 milj. c.m<sup>3</sup> (3 TWh);</li> <li>▪ enerģētiskās koksnes eksports.</li> </ul>	Eksperta aprēķini
Faktiskās enerģētiskās koksnes plūsmas apzināšana [56]	9,24 milj.m <sup>3</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ meža izstrāde – 3,5 milj. m<sup>3</sup>;</li> <li>▪ koksne ārpus meža – 0,1 milj. m<sup>3</sup>;</li> <li>▪ kokapstrādes blakusprodukti – 5,54 milj. m<sup>3</sup>;</li> <li>▪ lietota koksne – 0,1 milj. m<sup>3</sup>.</li> </ul>	2007.gada CSP dati, AS „Latvijas valsts meži” dati, ekspertu viedoklis un vērtējums
Biomasa izmantošanas ilgtspējības kritēriju lietošana un pasākumu izstrāde [58]	2 480 378 t <sub>sausnas</sub> gadā (13,15 TWh) Biokurināmā izmantošanas intensificēšanas potenciāls ir 5 TWh.	Citi pētījumi, CSP dati

Pudura veidošanas princips balstās uz to, ka katrs reģions izvēlas sava energosektora attīstību, integrējot energoapgādes sistēmas attīstības plānu novada vai pilsētas attīstības plānā.

Izmantojot integrēšanas principu, iespējams prognozēt valsts kopējo energosektora attīstību, noārdot reģionālās robežas energoapgādei un izceļot vides aizsardzības un ietekmes uz klimata pārmaiņām problēmas. Šobrīd valstī veiksmīgi ir izveidota fosilā kurināmā izmantošanas sistēma, attīstot dabasgāzes cauruļvadu tīklus. Tādam pašam tīklojumam ir jāizveidojas arī enerģētiskās koksnes, salmu un citas biomasas izmantošanai Latvijas enerģētikā.

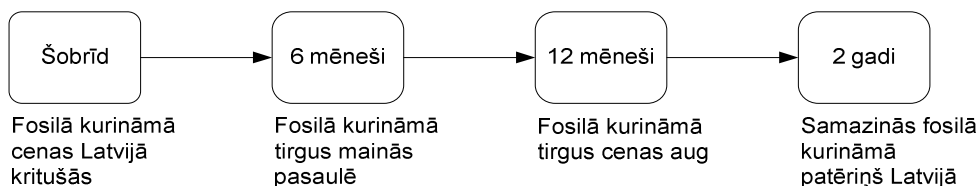
Balstoties uz izpēti par atjaunojamo energoresursu potenciālu, par atjaunojamo energoresursu izmantošanas tehnoloģiskajām iespējām, par ekonomiskajām un socioekonomiskajām izmaksām, iespējams izvēlēties

pasākumus, kuri ir jārealizē tuvākā, vidējā termiņā vai ilgtermiņā. Pasākumiem ir jābūt tādiem, lai tie nebūtu pretrunīgi un tiktu ieviesti noteiktā secībā.

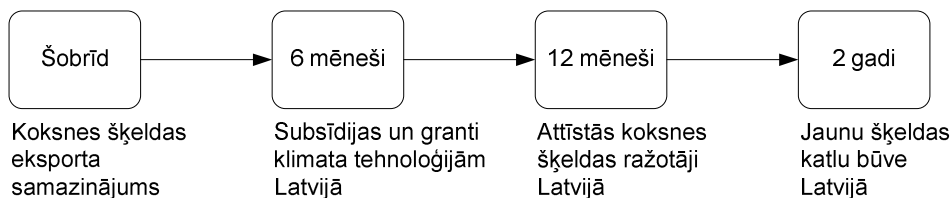
Enerģētiskās koksnes attīstības tirgus Latvijā ir cieši saistīts ar energoresursu tirgu pasaulē. Fosilā kurināmā tirgus cenu svārstības pasaulē izraisīja to fluktuāciju Latvijā ar nelielu nobīdi laikā. Cita cenu svārstību iezīme ir saistīta ar to, ka cenu samazināšanās ietekmē fosilā kurināmā patēriņa pieaugumu, kurš, savukārt, izraisa cenu paaugstināšanos. Loģiska un ekonomiski pamatota fosilā kurināmā cenu izmaiņu ietekme uz Latvijas energosektora attīstību īstermiņā ilustrēta 3.3.attēlā. Tajā nav ņemta vērā politisko partiju ietekme uz fosilā kurināmā tirgu.

Dabasgāzes tirgus sašaurināšanās iespējama arī gadījumā, kad tiek uzsākta mērķtiecīga enerģētiskās koksnes izmantošana reģionos, aizstājot dārgo fosilo kurināmo katrā pagastā, pilsētas un novada katlu mājā.

Koksnes šķeldas izmantošanas attīstības posmi analogi fosilā kurināmā cenu izmaiņām ir ilustrēti 3.3. un 3.4.attēlā.



3.3.att. Fosilā kurināmā cenu izmaiņas īstermiņā



3.4.att. Koksnes šķeldas izmantošanas attīstības posmi Latvijā

Šobrīd Latvijā ir pašvaldības, kuras pieņem lēmumus par energoavotu izbūvi, bet pēc pāris gadiem maina lēmumus, kaut arī ir iztērēts desmitiem un dažreiz pat simtiem tūkstošu latu konkursu dokumentācijas un tehnisko specifikāciju izstrādei. Pašvaldību ieinteresētība koksnes izmantošanā tiek aplūkota no jaunu darba vietu veidošanas, no investīciju ieplūšanas jaunās ražotnēs un infrastruktūras attīstības viedokļa.

Enerģētiskās koksnes ieviešanā Latvijā teorētiski ir ieinteresēti visu līmeņu administratori. Tomēr visvairāk par to tiek domāts zemākajā – vietējo pašvaldību – līmenī. Kaut arī enerģētiskās koksnes ieviešana dažādos telpiskās plānošanas līmeņos dod pievienoto vērtību katram, galvenais iemesls vietējā līmeņa aktivitātēm pašvaldībās ir siltumenerģijas tarifa samazināšanas iespējas. Aktivitātes vietējā līmenī rosina uz darbību novada un reģionālajā līmenī.

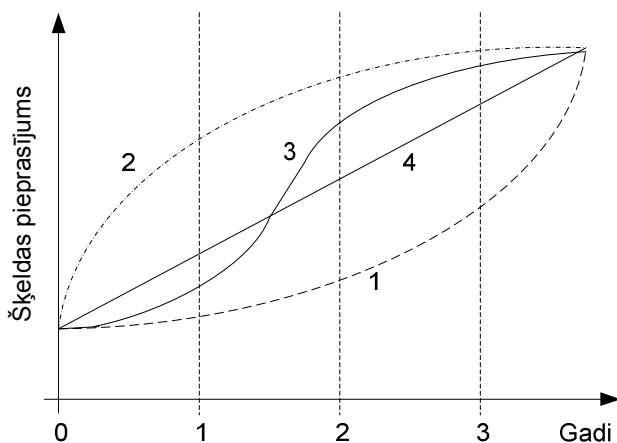
Sistēmiskā analīze rāda, ka šķeldas izmantošanas telpiskā dimensija (sākot no vietējā, turpinot reģionālajā un sasniedzot nacionālo līmeni) ir tikai viens no faktoriem, kas ir jāintegrē valsts energosektora attīstībā.

Koksnes izmantošana pašvaldībās ir saistīta ar divu veidu biznesu attīstību, no kuriem pirmo un galveno vietu ieņem šķeldas pieprasījuma attīstīšana. Ir jāveido jaunas darba vietas, jārealizē socioekonomiskie pasākumi, lai katrā pašvaldībā rīcībspējīgie nenodarbinātie iedzīvotāji (darbu zaudējušie) uzsāktu šķeldas sagādes biznesu, tīrot grāvjus, ceļmalas un atmatā atstātos laukus.

Enerģētiskās koksnes ražotņu attīstības iespēju sistēmiska analīze ir veikta, balstoties uz dažādiem aspektiem:

- šķeldas pieprasījuma pieaugumu;
- šķeldas ražošanas apjoma pieaugumu;
- algu un nodokļu pieaugumu;
- infrastruktūras attīstību no investīciju pieauguma.

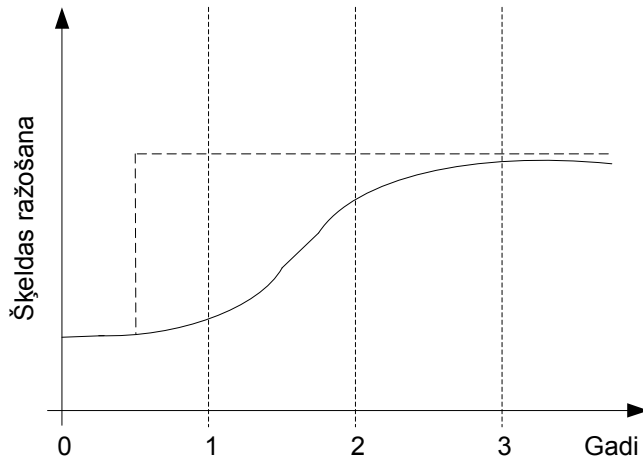
Šķeldas pieprasījums vietējā līmeņa pašvaldībās atšķirsies. Tā attīstības modeļi ir grafiski attēloti 3.5.attēlā. Dažās no pašvaldībām šķeldas pieprasījums attīstīsies lēnām, eksponenciāli pieaugot pa gadiem (1.līnija). Citās tas attīstīsies daudz straujāk, jo pašvaldība uzreiz pamanīs iespēju izmantot vietējos energoresursus tūlīt un nekavējoties (2.līnija).



3.5.att. Šķeldas pieprasījuma attīstības modeļi pa gadiem

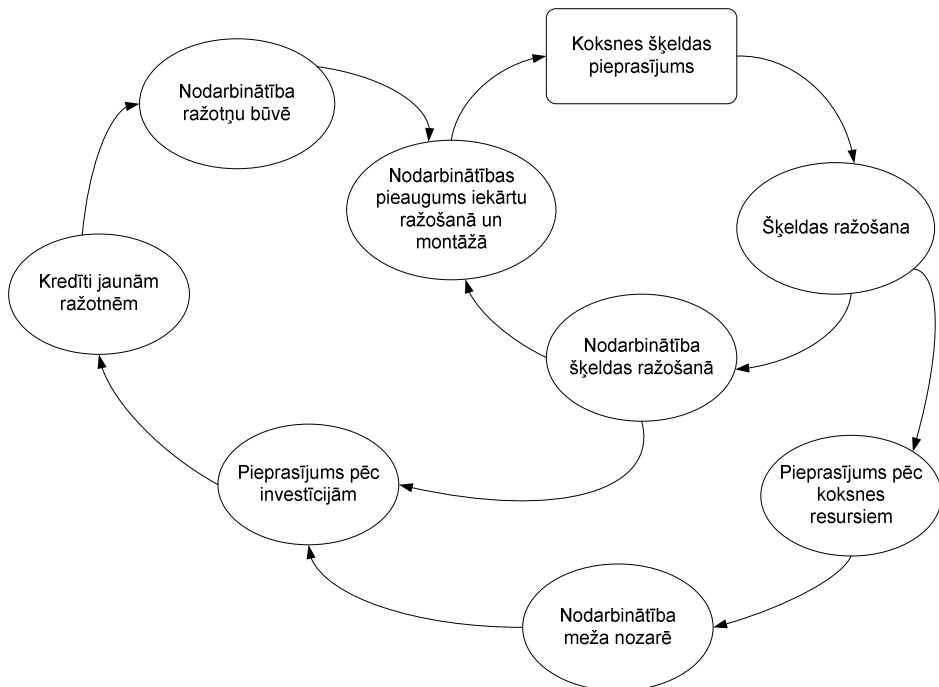
Visbiežāk Latvijā vietējā līmenī sākotnēji būs kavēšanās attīstībā un pēc tam attīstība notiks straujāk (3.līnija). Teorētiski iespējams arī lineārs šķeldas pieprasījuma pieaugums vietējā līmenī (4.līnija). Šķeldas pieprasījuma attīstības modeļa īstenošana ir atkarīga no dažāda līmeņa faktoriem, piemēram, no tehnoloģiju pieejamības nacionālajā līmenī, no darbinieku profesionalitātes vietējā līmenī utt.

Savukārt šķeldas ražošana visticamāk attīstīsies atbilstoši „S” burta formas līknei: vispirms lēni uzsākot šķeldas ražošanu un pēc tam turpinot ar strauju attīstību (skat. 3.6.attēlu).



3.6.att. Šķeldas ražošanas attīstības modelis vietējās pašvaldībās

Vienlaikus ir svarīgi saprast, kādas iekārtas būtu jāuzstāda, lai aizstātu dabasgāzes izmantošanu, kādi būs kapitālieguldījumi, kā atmaksāsies investīcijas un vai tas novedīs pie zemākiem siltumenerģijas tarifiem. Ekonomiskie un socioekonomiskie faktori gan nacionālajā, gan arī vietējā līmenī būtiski ietekmēs šķeldas ražošanas attīstības modeli, jo tas ir saistīts ne tikai ar importa samazināšanos valsts līmenī, bet arī ar nodarbinātības pieaugumu visos līmeņos.



3.7.att. Koksnes šķeldas ieviešanas sistēmas komplekss vietējā līmenī

Koksnes šķeldas ieviešanas sistēmas komplekss vietējā līmenī ir ilustrēts 3.7.attēlā. Tajā redzamas saites un cilpas, kas saista šķeldas pieprasījuma un ražošanas attīstības modeļus un blakus efektus, ko izraisa koksnes šķeldas izmantošanas attīstība.

Galvenais problēmas uzstādījums ir koksnes šķeldas pieprasījuma pieaugums, kas izraisīs šķeldas ražošanas biznesa attīstību. Tā, savukārt, palielinās šajā biznesā iesaistīto skaitu. Šķeldu iespējams izmantot siltumapgādes sistēmu enerģētiskajās iekārtās, kuru skaitam ir jāpieaug, un līdz ar to būs jāiesaista vairāk katlu māju būvnieku un iekārtu montāžas speciālistu. Nodarbināto skaita pieaugums sākotnēji attīstīsies lēnām, un laika gaitā tas pieaugs, palielinoties šķeldas pieprasījumam. Nodarbinātības attīstības modelis šajā sektorā vietējā līmenī attīstīsies pa „S” burta veida līkni: vispirms lēni uzsākot šķeldas ražošanu un pēc tam uzsākot strauju attīstību.

Šķeldas un enerģijas ražošanai ir nepieciešamas tehnoloģiskās iekārtas, kuras var ražot uz vietas Latvijā (nacionālā līmeņa attīstības kritērijs) vai arī iepirkt ārpus valsts. Neatkarīgi no tehnoloģiju ražotāja atrašanās vietas šķeldas un enerģijas ražošanas biznesa uzsākšanai ir nepieciešamas investīcijas.

### **3.3. Vīzijas izveide valsts līmenī**

Vīzijas izstrāde ir viens no galvenajiem energoplānošanas elementiem. Eiropas Komisijai ir skaidra vīzija par turpmāko enerģētikas attīstību Eiropā (skat. 1.1.1.nodaļu). Dānija kā pirmā Eiropas valsts ir publiskojsi savu vīziju – kļūt neatkarīga no fosilā kurināmā līdz 2050.gadam. Skaidri definētu mērķu izvirzīšana ir pirmais solis uz ilgtspējīgu un ekonomiski līdzsvarotu politiku, kas dos ievērojamu ieguldījumu arī nākamajām paaudzēm. Mērķus var noteikt:

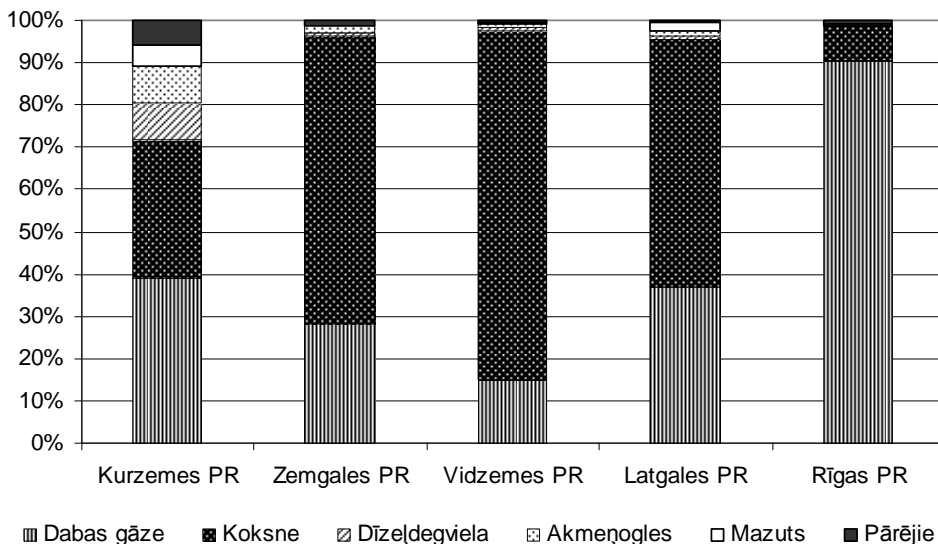
- valsts līmenī;
- reģionu līmenī;
- atsevišķu pašvaldību līmenī;
- nelielu administratīvo vienību līmenī;
- mājsaimniecību līmenī.

Latvijai kā neatkarīgai valstij šādas vīzijas nav. Kā jau aprakstīts 1.nodaļā, Latvijas enerģētikas politika ir galvenokārt balstīta uz Eiropas Komisijas izvirzīto mērķu teorētisku sasniegšanu, neanalizējot energoresursu potenciālu, mehānismus šī potenciāla sasniegšanai un neplānojot sistēmisku pieeju rezultāta sasniegšanai.

Latvijā enerģētikas sektora attīstība ir atkarīga no enerģijas patēriņa un energoresursu piegādes un pieejamības. Enerģijas lietotāju struktūru Latvijā raksturo liels enerģijas patēriņš mājsaimniecības, publiskajā un pakalpojumu sektorā, salīdzinot ar samērā nelielu patēriņu lauksaimniecības un rūpniecības sektorā. Tas uzliek īpašus uzdevumus energosektora attīstībai, it īpaši izvēloties energoresursus enerģijas ražošanas un piegādes nodrošināšanai.

Latvijā tiek izmantoti importētie fosilie un atjaunojamie energoresursi. Konkrētu energoresursu izmantošana ir atkarīga no katra reģiona izvēlētajā energoapgādes politikas, un kopējais energoresursu patēriņš ir atkarīgs no katra

energoresursu veida attīstības reģionos. 3.8.attēlā ir redzams kurināmā patēriņa dalījums 2007.gadā.



3.8.att. Kurināmā dalījums piecos Latvijas reģionos

Kā redzams 3.8.attēlā, pamatā kā kurināmais tiek izmantota dabasgāze (75%) un koksne (22%). Rīgas reģionā dabasgāzes īpatsvars sasniedz aptuveni 91%, bet vislielākā kurināmā diversifikācija ir novērojama Kurzemes reģionā, kur bez dabasgāzes un koksnes izmanto arī dīzeļdegvielu, mazutu un citus fosilos kurināmos. Savukārt Vidzemē pamatā izmanto koksni (apmēram 81%), kas vistīcāmāk ir skaidrojams ar augsto mežainību reģionā (apmēram 52% no kopējās reģiona teritorijas).

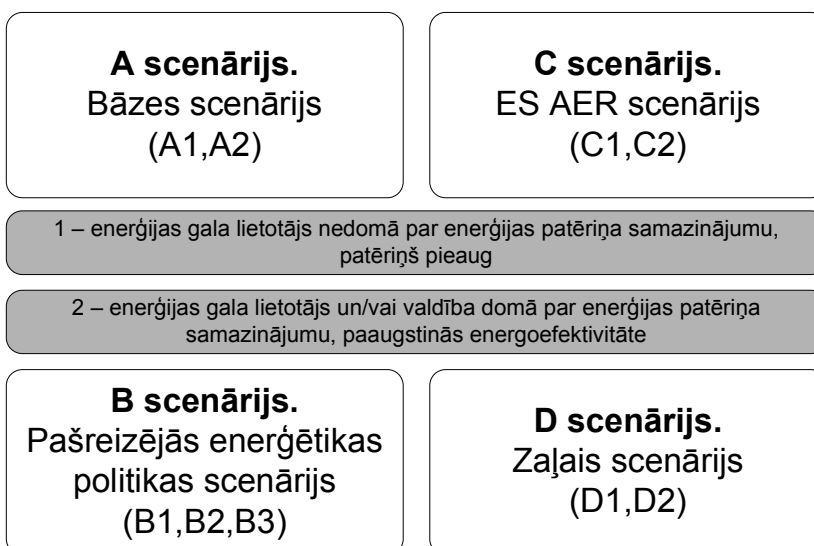
2008. un 2009.gadā tika izstrādāti divi pētījumi „Atjaunojamo energoresursu izmantošanas iespēju izvērtējums Latvijā līdz 2020.gadam” [7] un „Latvijas atjaunojamo energoresursu izmantošanas un energoefektivitātes paaugstināšanas modelis un rīcības plāns” [63]. Abi pētījumi viens pēc otra meklēja alternatīvas, kā Latvijai sasniegt uzlikto ES mērķus atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanai, un analizēja, vai tas ir iespējams, kā arī identificēja galvenos pasākumus energoefektivitātes un AER sektoros.

Pirmajā pētījumā ir analizēti četri energosektora attīstības scenāriji, kuri atšķiras ar politiskajiem uzstādījumiem un atjaunojamo energoresursu īpatsvaru.

- A scenārijs. A scenārijs ir t.s. bāzes scenārijs, kas ir veidots ar apsvērumu, ka energoapgādes sistēmas attīstība turpinās, kā līdz šim, un līdz ar to izmaiņas atjaunojamo energoresursu izmantošanas un energoefektivitātes jomā ir minimālas. Netiek realizēti Eiropas Savienības direktīvās nospraustie mērķi, un netiek izmantoti papildu politikas instrumenti, kas nozīmīgi izmainītu energosektora attīstību. Tādējādi šis scenārijs faktiski parāda, kas notiks, ja energosektora attīstība turpinās tā, kā līdz šim.

- B scenārijs. B scenārijs ir izveidots, ievērojot 2006.gadā Ministru kabinetā apstiprināto enerģētikas plānošanas dokumentu “Enerģētikas attīstības pamatnostādnes 2007.–2016.gadam”, kas nosaka, kā attīstīsies Latvijas enerģētika nākamajos desmit gados, “Pārvades sistēmas operatora ikgadējo novērtējuma ziņojumu”, kas izdots 2008.gadā, kā arī jaunāko Ekonomikas ministrijas izpētes dokumentu, kurā ir izvērtētas atjaunojamo energoresursu izmantošanas iespējas 2020.gadā (B3 scenārijs). Jāatzīmē, ka B scenāriji nav burtisks iepriekš minēto plānošanas dokumentu atspoguļojums, bet ņem vērā tajos plānoto elektrostaciju un koģenerācijas staciju jaudu attīstību, kā arī to, ka atjaunojamo energoresursu izmantojošo avotu attīstība nenotiek saskaņā ar minētajos plānos paredzētajiem laika grafikiem.
- C scenārijs. Sasniegts ES rekomendētais atjaunojamo energoresursu īpatsvars Latvijas energobilancē. Eiropas Savienības speciālisti šobrīd aktīvi strādā pie klimata un enerģijas politikas dokumentu paketes laika periodam, kas definēts kā periods pēc Kioto protokola un sniedzas līdz 2020.gadam. ES enerģijas un klimata paketē tiks noteikti ierobežojumi katrai valstij, lai mazinātu ietekmi uz klimata pārmaiņām. Latvijai šajā laikā būs jāsasniedz atjaunojamo energoresursu īpatsvars 42% apmērā no kopējā enerģijas gala lietotāja patēriņa.
- D scenārijs. Zaļais scenārijs ar maksimālu atjaunojamo energoresursu izmantošanu. Šis scenārijs ir jāuztver arī kā Latvijas neatkarības scenārijs, jo tas ilustrē iespējas, kā samazināt energoresursu importu un attīstīt vietējos energoresursus.

Scenāriju apkopojums ilustrēts 3.9.attēlā. Katram no scenārijiem ir veikti inženiertehniskie un ekonomiskie aprēķini. Vienam variantam veikta aprites cikla analīze, lai ieskicētu ietekmes uz vidi plašo problēmu loku.

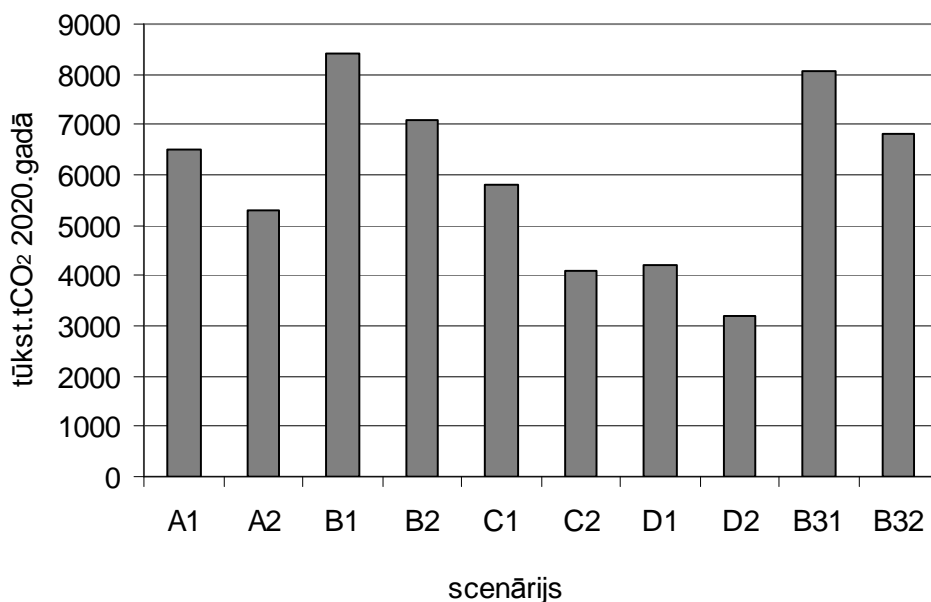


3.9.att. Scenāriju algoritms [63]

C un D enerģētikas attīstības scenāriju inženiertehniskā analīze rāda, ka tikai gadījumā, ja vienlaicīgi tiek realizēta energoefektivitātes paaugstināšanas stratēģija un atjaunojamo energoresursu kardinālas izmantošanas stratēģija, ir iespējams pietuvoties ES uzliktajiem atjaunojamo energoresursu izmantošanas mērķiem. Tikai kardināli pasākumi, piemēram, lielo pilsētu energoavotu (ieskaitot Rīgas TEC 1 un Rīgas TEC 2) rekonstrukcija, mainot fosilo kurināmo uz biomasu, ļauj sasniegt jūtamus rezultātus. Tos sasniegt nav iespējams, ja vienlaicīgi netiek realizēta atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanas politika transportā.

Ja netiek ieviesti ievērojami energoefektivitātes pasākumi un rezultātā samazināts primāro energoresursu patēriņš, kopējās energoapgādes izmaksas (kas ietver primāro energoresursu izmaksas un kapitālizmaksas) visu scenāriju 1.alternatīvām (kas paredz, ka netiek būtiski samazināts enerģijas patēriņš) aptuveni pēc 2016.gada pārsniegs visu 2.alternatīvu kopējās izmaksas, neraugoties uz fosilo energoresursu un importētās elektroenerģijas īpatsvaru atbilstošajos scenārijos. Respektīvi, atjaunojamo energoresursu īpatsvara ievērojama palielināšana energobilancē nepalīdzēs izvairīties no kopējo izmaksu kāpuma, ja netiks veikti ievērojami energoefektivitātes pasākumi.

Attīstības scenārijs ar ievērojamu primāro energoresursu patēriņa samazinājumu un vislielāko atjaunojamo energoresursu īpatsvaru energobilancē (scenārijs D2) varētu piedāvāt viszemāko izmaksu energoapgādes sistēmas attīstības ceļu.



3.10.att. Scenāriju CO<sub>2</sub> emisiju līmenis 2020.gadā [63]

Energosektora ietekme uz klimata pārmaiņām ir atkarīga no atjaunojamo energoresursu īpatsvara un enerģijas gala lietotāja energoefektivitātes. SEG emisiju samazinājums iespējams tikai variantā, kad valsts vienlaicīgi īsteno gan

energoefektivitātes pasākumus, gan atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanas politiku.

Scenāriju CO<sub>2</sub> emisiju līmeņa 2020.gadā salīdzinājums ilustrēts 3.10.attēlā. Kā redzams grafiskajā attēlā, 2020.gadā SEG emisiju apjomi ir uzskatāmi par līdzvērtīgiem D1, D2 un C2 scenārijā. Tas nozīmē, ka šie scenāriji ir uzskatāmi par klimatam draudzīgiem.

### 3.4. Reģionālās energosistēmas optimizācija

Ņemot vērā augstāk minētos valsts līmeņa enerģētikas politikas izpētes rezultātus un Dānijas pieredzi, uzsverot pasākumu īstenošanas svarīgumu reģionu un pašvaldību līmenī, reģionālās energosistēmas optimizācija tiek veikta, vērtējot klimata komponenti, t.i., optimizējot emisiju samazinājumu. Vides aizsardzības jautājumu raksturs un īpatnības ir tādas, ka bieži tikai optimālu risinājumu gadījumā ir iespējama to praktiska realizācija. Tā, piemēram, samazinot reģiona emisiju līmeni par 50–60%, tiek risinātas daudzas ar piesārņojumu saistītas problēmas. Taču vides aizsardzības pasākumi ir dārgi, un to realizācija par katru cenu var kļūt par iemeslu jaunām sabiedrības problēmām, šoreiz – finansiālām. Ir rūpīgi jāizvērtē emisiju samazinājuma nepieciešamība, kur un cik daudz jāsamazina un cik tas maksās.

Optimizācijai ir nepieciešami piemēroti matemātiskie modeļi, kuri aprakstītu ar vides piesārņojumu saistītus fizikālos procesus. Modeļiem ir jāatbilst vairākām būtiskām prasībām [64]:

1. modeļi ir jādefinē lieliem reģioniem, jo piesārņojuma izplatības parādībai ir raksturīgi lieli pārneses attālumi. Avota emisijas netiek lokalizētas tā tuvumā;
2. modeļos ir jāapraksta visi būtiskākie ar piesārņojumu saistītie fizikālie un ķīmiskie procesi;
3. nepieciešami ļoti lieli meteoroloģisko un emisiju datu apkopojumi;
4. arī izejas datu faili ir lieli, jo nepieciešama ātra liela apjoma informācijas vizualizācija tā, lai tā būtu saprotama plašam speciālistu lokam.

Minētajām prasībām atbilstošie modeļi tiek klasificēti kā liela mēroga gaisa piesārņojuma modeļi [65].

Jautājuma būtība ir noteikt uzņēmumu pieļaujamo emisiju apjomu, kura rezultātā konkrētā reģiona emisiju koncentrācija nepārsniegtu noteiktu, ekosistēmai pieļaujamo emisiju līmeni. Otrā, ar pirmo saistīta problēma ir jaunu uzņēmumu optimālas vietas izvēle, lai reģiona piesārņojuma līmenis nepārsniegtu noteikto, reģionam pieļaujamo koncentrāciju. Uzdevums ir atrast emisiju līmeņus, kuri nebūtu pārāk zemi un būtu maksimāli ekonomiski izdevīgi.

Aplūkosim reģionu  $R$ , kurā ir  $k = 1, 2 \dots m$  novadu  $N$  un  $N \in R$ . Pieņemam, ka katrā novadā ir definēta laikā  $t_i \in [0, T]$  integrālā emisiju koncentrācija katram  $s$  emisijas veidam  $c_s$ . Novadā punktus  $r_i \in N$  ir izvietoti  $n$  uzņēmumi vai punktveida emisiju avoti  $E_i$ ,  $i = 1, 2 \dots n$ .

Sacītais nozīmē, ka punktā  $r_l \in N$  novietotā emisiju avota  $E_l(t) \in N$  laikā  $t_l \in [0, T]$  radīto emisiju koncentrācija  $c(r_l, t_l)$  nedrīkst pārsniegt noteiktu, pieļaujamu vērtību  $C$ :

$$C(r_l, t_l) \leq C$$

Avotu emisiju pārnese raksturojumi ir  $A_i$ . Avota radīto  $s$  emisiju pārvietojumu raksturo vienādojums:

$$\frac{dc(r, t)}{dt} - A(r, t)c(r, t) = \sum_{i=1}^n E_i \delta(r - r_i), \quad (3.1)$$

kur

$\delta(r - r_i)$  – delta funkcija;

$A(r, t)$  – operators, kurš raksturo emisiju pārnese fizikālos efektus (atmosfēras horizontālās gaisa plūsmas, difūziju, emisiju ķīmiskās reakcijas, sedimentāciju).

Vienādojuma (3.1) operatora  $A(r, t)$  un koncentrācijas  $C(r, t)$  reizinājumu izsaka ar izteiksmi:

$$A(r, t)C(r, t) = -\frac{\delta(uc_s)}{\delta x} - \frac{\delta(vc_s)}{\delta y} - \frac{\delta(wc_s)}{\delta z} + \frac{\delta}{\delta x}(K_x \frac{\delta c_s}{\delta x}) + \frac{\delta}{\delta y}(K_y \frac{\delta c_s}{\delta y}) + \frac{\delta}{\delta z}(K_z \frac{\delta c_s}{\delta z}) - (k_{1s} - k_{2s})C_s, \quad (3.2)$$

kur

$u, v, w$  – vēja ātrumi;

$K_x, K_y, K_z$  – difūzijas koeficienti;

$k_{1s}, k_{2s}$  – sedimentācijas koeficienti.

Reģionā izvietotie uzņēmumi rada piesārņojumu, kuru laikā  $[0, T]$  katram emisiju veidam  $S$  var noteikt kā:

$$Y_{SK} = \int_0^T dt \int_{k=1}^m dN_k \int_{i=1}^n p_i c_{si} di, \quad (3.3)$$

kur

$i = 1, \dots, n$  – avotu (uzņēmumu) skaits novadā;

$k = 1, \dots, m$  – novadu skaits reģionā;

$p_i$  – avotu ražošanas apjoms;

$c_{si}$  – avota emisiju veida  $s$  koncentrācija.

Reģiona atsevišķa novada emisijas nosaka kā:

$$Y'_{SK} = \int_0^T dt \int_{i=1}^n p_i c_{si} di \quad (3.4)$$

Rezultātā jānosaka uzņēmumu plānotās emisijas  $E_i$  tā, lai būtu spēkā sakarība:

$$Y_{sk} \leq Z_{sk}, \quad (3.5)$$

kur

$Z_{sk}$  – pieļaujamās novada emisijas.

Plānotais emisiju līmenis ir jāsasniedz ar minimāliem izdevumiem uzņēmumu rekonstrukcijai un maksimāliem ieņēmumiem no nodokļiem par emisiju samazinājumu.

Uzņēmumu izmaksas emisiju samazināšanai raksturo izmaksu efektivitāte  $\xi_{ef}$ , kura nosaka, cik lielas investīcijas ir nepieciešamas, lai emisijas samazinātu par vienu vienību, piemēram, Ls/tCO<sub>2</sub>. Izmaksu efektivitāte ir atkarīga no emisiju samazinājuma apjoma, un tās izmaiņas ir nelineāras [20].

$$\xi_{ef} = f(\Delta E_i) \quad (3.6)$$

Samazinot emisiju apjomu, samazinās arī uzņēmuma nodoklis par piesārņojošu darbību  $\xi_{nod.i}$ . Tas nozīmē, ka uzņēmuma izdevumus, kas saistīti ar emisiju samazināšanu, nosaka ar izteiksmi:

$$I_i = (\xi_{ef.i} - \xi_{nod.i}) \cdot (\overline{E}_i - E_i), \quad (3.7)$$

kur

$\overline{E}_i$  – uzņēmuma sākotnējais emisiju apjoms;

$E_i$  – uzņēmuma emisiju apjoms pēc samazināšanas.

Kopējie novada uzņēmumu izdevumi, kas saistīti ar emisiju samazinājumu, aprēķināmi kā:

$$I_{izd} = \int_{i=1}^n (\xi_{ef.i} - \xi_{nod.i}) \cdot (\overline{E}_i - E_i) \quad (3.8)$$

Nosakot kopējos uzņēmuma ieņēmumus, izteiksmi (3.8) pārveido kā:

$$I_{ien} = \int_{i=1}^n (\xi_{nod.i} - \xi_{ef.i}) \cdot (\overline{E}_i - E_i) \quad (3.9)$$

Tas nozīmē, ka optimizācijas problēmu var formulēt šādi: atrast vienādojumā (3.1) tādu uzņēmumu emisiju līmeni  $E_i$ , lai

$$I_{ien} = \int_{i=1}^n (\xi_{nod.i} - \xi_{ef.i}) \cdot (\overline{E}_i - E_i) \rightarrow \max \quad (3.10)$$

un tiktu ievēroti ierobežojumi

$$Y_{sk} \leq Z_{sk} \quad (3.11)$$

Optimizācijas uzdevums, kuru definē vienādojumi (3.1), (3.9) un (3.10), pieder pie lineārās programmēšanas uzdevumiem [64], kuriem atrasti risinājumi atsevišķiem vienkāršotiem gadījumiem [66]. Optimizāciju sarežģī nepieciešamība risināt emisiju pārneses vienādojumu (3.1).

Šajā darbā optimizācijas uzdevums ir vienkāršots, aplūkojot vienu emisiju veidu – CO<sub>2</sub> emisijas. Uzņēmuma samazinātās emisijas tiek pielīdzinātas novadā noteiktai emisiju līmeņatzīmei, un netiek aplūkota emisiju pārnese un emisiju izmaiņas laikā.

### 3.4.1. Optimizācijas modeļa daļas

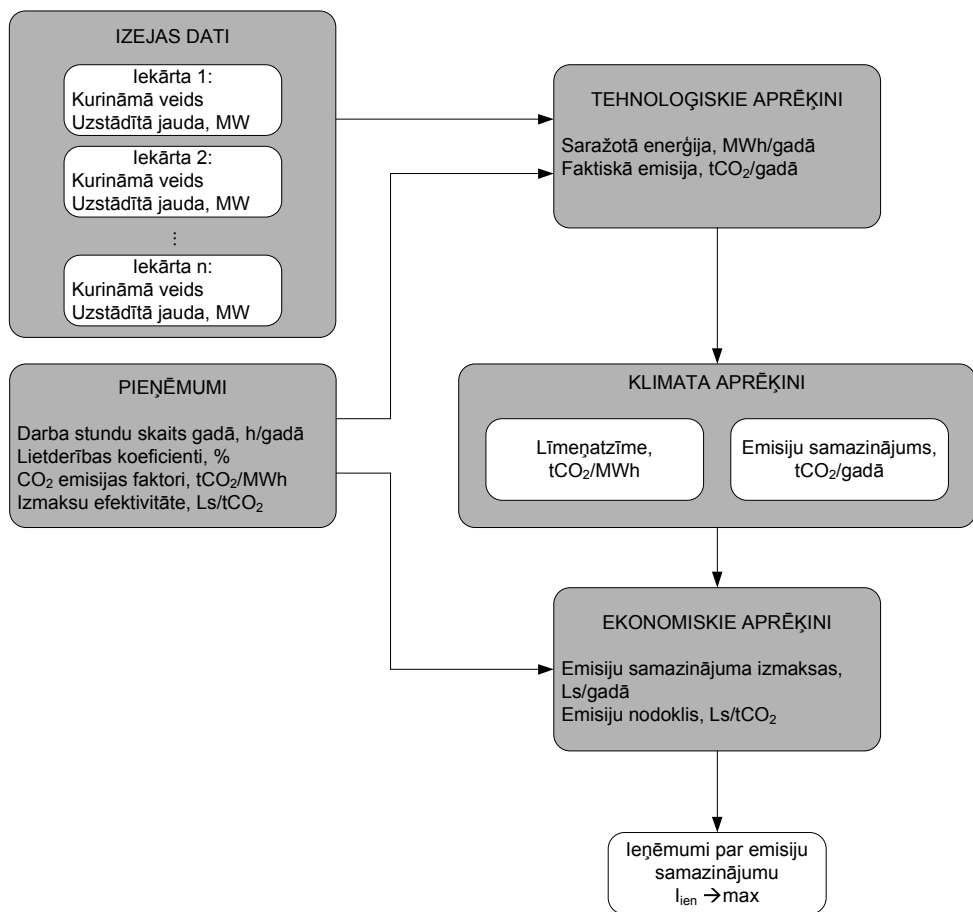
Izveidotais reģionālās energosistēmas optimizācijas modelis (skat. 3.11.attēlu) sastāv no šādām piecām aprēķina daļām:

- izejas dati,
- pieņēmumi,
- tehnoloģiskie aprēķini,
- klimata aprēķini,
- ekonomiskie aprēķini.

Kā izejas dati modelī tiek ievadīti katras iekārtas uzstādītā jauda un izmantotais kurināmā veids. Modeļa verifikācijai šie izejas dati par reālām iekārtām reģionālajā līmenī ņemti no Valsts statistikas datu bāzes par piesārņojošo emisiju gaisā „2-Gaiss” [67]. Lai unificētu un vienkāršotu aprēķina procesu, tika izdarīti vairāki pieņēmumi:

- izvēlēts vienots iekārtu darba stundu skaits gadā;
- noteikti lietderības koeficienti iekārtām atkarībā no izmantotā kurināmā veida;
- noteikti CO<sub>2</sub> emisijas faktori atkarībā no kurināmā veida;
- veikts CO<sub>2</sub> ietaupījuma izmaksu efektivitātes novērtējums saskaņā ar empīriski iegūtu vienādojumu.

Bez izejas datu un pieņēmumu komponentēm optimizācijas modelī ir iekļauti trīs aprēķinu bloki: tehnoloģiskais, klimata un ekonomiskais aprēķins.



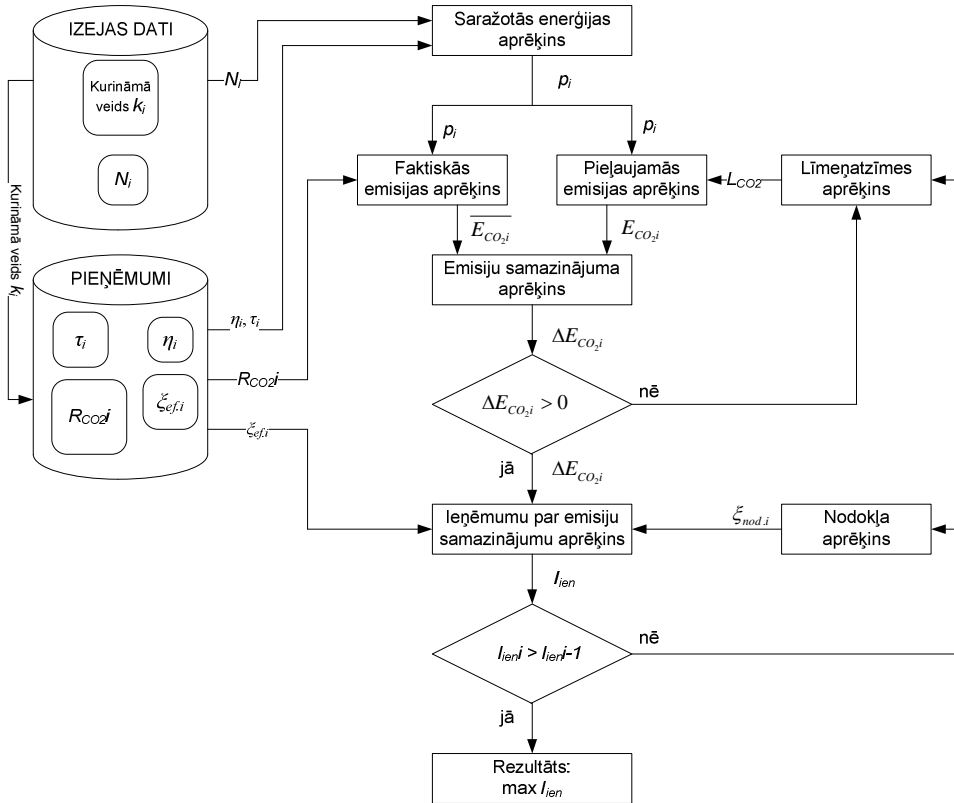
3.11.att. Reģionālās enerģosistēmas optimizācijas modeļa daļas

Tehnoloģisko aprēķinu blokā, izmantojot datus par iekārtu uzstādīto jaudu un kurināmā veidu, kā arī darba stundu skaitu gadā, lietderības koeficientus un CO<sub>2</sub> emisiju faktorus, tiek aprēķināts iekārtā saražotais enerģijas daudzums gadā un faktiskā CO<sub>2</sub> emisija. Tālāk šie dati tiek ievadīti klimata aprēķinu blokā, kurā tiek noteikta CO<sub>2</sub> emisijas līmeņatzīme un, balstoties uz to, aprēķināts potenciālais CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums gadā.

Ekonomisko aprēķinu blokā, kas ir pēdējais aprēķinu bloks algoritma izpildes pirmajā posmā, tiek aprēķinātas CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma izmaksas atkarībā no līmeņatzīmes un CO<sub>2</sub> emisijas nodokļa. Optimums atrodas vietā, kur, summējot izmaksas CO<sub>2</sub> samazinājuma iegūšanai un ieguvumus no nemaksātā CO<sub>2</sub> nodokļa, ieguvumi ir vislielākie.

### 3.4.2. Optimizācijas algoritms

Optimizācijas procesa algoritms ir veidots, ietverot visas iepriekš aprakstītās optimizācijas modeļa daļas, un tas ir redzams 3.12.attēlā.



3.12.att. Optimizācijas modeļa algoritms

Darbā veiktās optimizācijas mērķis ir atrast tādu reģiona uzņēmumu līmeņatzīmi, līdz kurai samazinot uzņēmuma CO<sub>2</sub> emisijas, tā ieņēmumi, pateicoties nodokļu samazinājumam (vai kvotu tirdzniecībai), būtu maksimāli. Ievērojot minētos pieņēmumus un ierobežojumus uzdevuma risināšanai, darbā formulēta vienādojumu sistēma, kurā reģiona uzņēmumu maksimālos ieņēmumus, pateicoties CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumam, nosaka ar izteiksmi:

$$I_{ien} = \int_{i=1}^n (\xi_{CO_2, nod, i} - \xi_{CO_2, ef, i}) \Delta E_{CO_2, i} \rightarrow \max \quad (3.12)$$

Uzņēmuma CO<sub>2</sub> emisijas pirms samazināšanas pasākumu veikšanas aprēķina kā

$$\overline{E_{CO_2, i}} = p_i \cdot R_{CO_2, i} \cdot t_{CO_2}, \quad (3.13)$$

kur

$R_{CO_2}$  – izmantojamā kurināmā CO<sub>2</sub> emisiju faktors, tCO<sub>2</sub>/MWh.

Uzņēmuma CO<sub>2</sub> emisijas pēc samazināšanas pasākumu veikšanas nosaka ar izteiksmi:

$$E_{CO_2i} = p_i \cdot L_{CO_2}, tCO_2, \quad (3.14)$$

kur

$L_{CO_2}$  – novada noteiktā CO<sub>2</sub> emisiju līmeņatzīme, tCO<sub>2</sub>/MWh.

Uzņēmuma enerģijas ražošanas apjomu gadā apraksta vienādojums:

$$p_i = \int_0^{\tau} \frac{N_i}{\eta_i} d\tau, MWh, \quad (3.15)$$

kur

$N_i$  – uzņēmuma enerģijas ražošanas iekārtu jauda, MW;

$\eta_i$  – iekārtu vidējais lietderības koeficients;

$\tau$  – iekārtu darbināšanas laiks gadā, h.

Uzņēmuma pasākumu rezultātā iegūtais CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums ir:

$$\Delta E_{CO_2i} = \overline{E_{CO_2i}} - E_{CO_2i}, tCO_2 \quad (3.16)$$

CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma efektivitāte ir atkarīga no samazinājuma apjoma, un tās aprēķinam ir izmantota izteiksme:

$$\xi_{CO_2ef.i} = a_0 + a_1(\Delta E_{CO_2i}) + a_2(\Delta E_{CO_2i})^2 + a_3(\Delta E_{CO_2i})^3, Ls/tCO_2 \quad (3.17)$$

Veicot optimizāciju, jāievēro noteikums, ka:

$$\sum_{i=1}^n \Delta E_{CO_2i} > 0 \quad (3.18)$$

### 3.4.3. Teorētiskā optimizācijas modeļa izveide

Izejas datu blokā tiek apskatītas 1000 teorētiskas sadedzināšanas iekārtas jaudu diapazonā no 100 kW līdz 100 MW. Sākotnējā optimizācijas modeļa izveidē ir pieņemts, ka iekārtās kā kurināmo izmanto dabasgāzi. Aprēķina piemērs attēlots 3.2.tabulā.

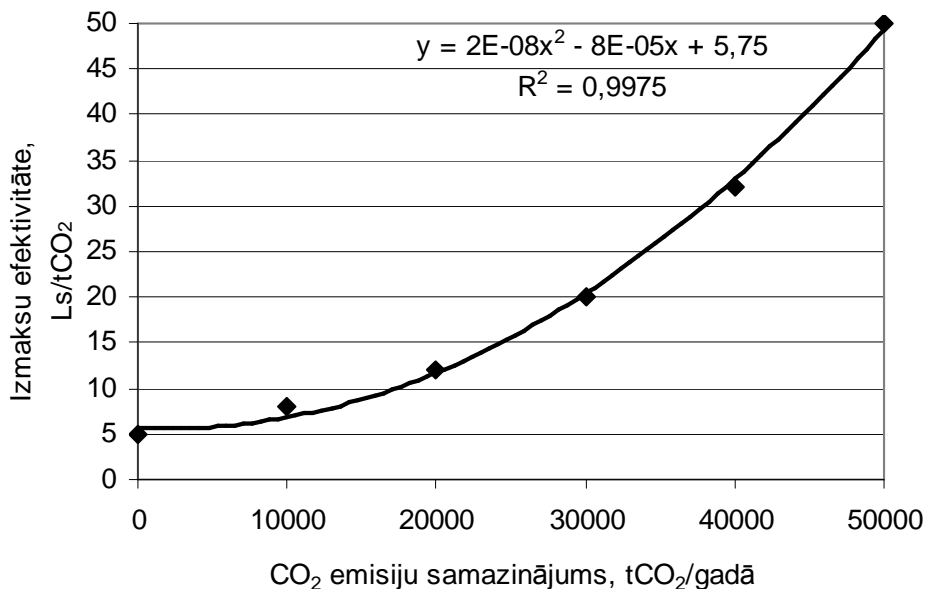
Teorētiskajā optimizācijas modelī izdarīti šādi pieņēmumi:

- CO<sub>2</sub> emisijas faktors uz saražoto enerģiju dabasgāzei  $R_{CO_2} = 0,229$  tCO<sub>2</sub>/MWh;

- darba stundu skaits  $\tau = 5000$  h/gadā;
- CO<sub>2</sub> samazinājuma izmaksu efektivitāte  $\xi_{ef,i}$  tiek izteikta ar šādu sakarību [20]:

$$\xi_{ef,i} = 2 \cdot 10^{-8} \cdot (\Delta E_{CO_2})^2 - 8 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta E_{CO_2} + 5.75 \quad (3.19)$$

Šī sakarība ir iegūta empīriski un tās grafiskā ilustrācija parādīta 3.13.attēlā:



3.13.att. CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma izmaksu atkarība no iegūtā CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma

3.2.tabula

Izejas datu piemērs teorētiskajā optimizācijas modelī

Iekārta $i$	Kurināmā veids $k_i$	Jauda $N_i$ , MW
Iekārta 1	Dabāsgāze	0.1
Iekārta 2	Dabāsgāze	0.2
Iekārta 3	Dabāsgāze	0.3
Iekārta 4	Dabāsgāze	0.4
...	...	...
Iekārta 1000	Dabāsgāze	100

Tehnoloģiskie aprēķini veikti visām 1000 iekārtām, aprēķinot saražoto enerģijas daudzumu un faktisko CO<sub>2</sub> gada emisiju no katras iekārtas. Tehnoloģisko aprēķinu rezultātu piemērs redzams 3.3.tabulā.

## Tehnoloģisko aprēķinu rezultātu piemērs teorētiskajā optimizācijas modelī

Iekārta $i$	Saražotā enerģija $p_i$ , MWh/gadā	Faktiskā emisija $\overline{E}_{CO_2i}$ , tCO <sub>2</sub> /gadā
Iekārta 1	500	115
Iekārta 2	1000	229
Iekārta 3	1500	344
Iekārta 4	2000	458
...	...	...
Iekārta 1000	500000	114564

Klimata aprēķinu blokā optimizācijas modelēšana tiek veikta pie dažādām līmeņatzīmes vērtībām, kas balstītas uz pieņēmumu. Modelēšanā izmantotās līmeņatzīmju vērtības:  $L_{CO_2} = 0,1 \div 0,225$  ar soli 0,025.

Ekonomisko aprēķinu blokā ieņēmumi par emisiju samazinājumu rēķināti pie dažādām nodokļu likmēm  $\xi_{nod.i}$ . Modelēšanai izvēlētas nodokļa likmes  $\xi_{nod.i} = 7, 10, 15$  un 20 Ls/tCO<sub>2</sub>.

## 3.4.4. Teorētiskā optimizācijas modeļa pārbaude

Optimizācijas modeļa pārbaude veikta izmantojot četru scenāriju identifikāciju. Scenāriji atšķiras ar CO<sub>2</sub> nodokļa likmēm:

- 1.scenārijs: CO<sub>2</sub> nodokļa likme 7 Ls/tCO<sub>2</sub>
- 2.scenārijs: CO<sub>2</sub> nodokļa likme 10 Ls/tCO<sub>2</sub>
- 3.scenārijs: CO<sub>2</sub> nodokļa likme 15 Ls/tCO<sub>2</sub>
- 4.scenārijs: CO<sub>2</sub> nodokļa likme 20 Ls/tCO<sub>2</sub>

Katra scenārija analīzei izmantoti divu veidu relatīvi lielumi. CO<sub>2</sub> samazinājuma relatīvās vērtības iegūtas, atbilstošās faktiskās CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma  $\Delta tCO_2$  vērtības dalot ar maksimāli iespējamo CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu:

$$r_{CO_2} = \frac{\Delta CO_2^{fakt}}{\Delta CO_2^{max}}, \quad (3.20)$$

kur

$r_{CO_2}$  – relatīvais CO<sub>2</sub> emisijas samazinājums;

$\Delta CO_2^{fakt}$  – faktiskais CO<sub>2</sub> emisijas samazinājums, tCO<sub>2</sub>/MWh;

$\Delta CO_2^{max}$  – maksimālais CO<sub>2</sub> emisijas samazinājums, tCO<sub>2</sub>/MWh.

Šajā gadījumā tiek izmantoti emisiju faktori, kas raksturo kurināmo un iekārtu lietderības koeficientus. Maksimālās CO<sub>2</sub> emisijas samazinājuma vērtības tiek definētas kā līmeņatzīmes vērtības CO<sub>2</sub> samazinājumam diapazonā no 0,1 līdz 0,225 tCO<sub>2</sub>/MWh. Relatīvais CO<sub>2</sub> samazinājums  $r_{CO_2}$  mainās no 0,03 līdz 0,1. Augstākais relatīvais CO<sub>2</sub> emisijas samazinājums atbilst emisiju faktora līmeņatzīmes vērtībai, kas ir vienāda ar 0,1 tCO<sub>2</sub>/MWh.

Relatīvo vērtību ieviešana ir nepieciešama, lai būtu iespējams savstarpēji salīdzināt dažāda izmēra reģionus, kuri atšķiras ar uzstādītām jaudām, emisiju apjomiem un ieguldījumiem.

Scenāriju salīdzināšanai ir ieviesti arī relatīvie izdevumi, kas tiek noteikti ar sekojošu vienādojumu:

$$i_{izd} = \frac{I_{izd}^{fakt}}{I_{izd}^{max}}, \quad (3.21)$$

kur

$i_{izd}$  – relatīvie izdevumi;

$I_{izd}^{fakt}$  – faktiskie izdevumi, Ls/gadā;

$I_{izd}^{max}$  – maksimālie iespējamie izdevumi, Ls/gadā.

CO<sub>2</sub> emisijas samazinājuma gadījumā izdevumi var būt ar atšķirīgām zīmēm, jo kopējie izdevumi summējas no šādām komponentēm:

- kapitālieguldījumi CO<sub>2</sub> emisijas samazinājuma pasākumu veikšanai (ar „+” zīmi);
- ienākumi no emisiju tirdzniecības par CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu (ar „-” zīmi);
- novērstie izdevumi, kas veidojas no CO<sub>2</sub> nodokļa summas samazinājuma, jo samazinās CO<sub>2</sub> emisiju apjomi (ar „-” zīmi).

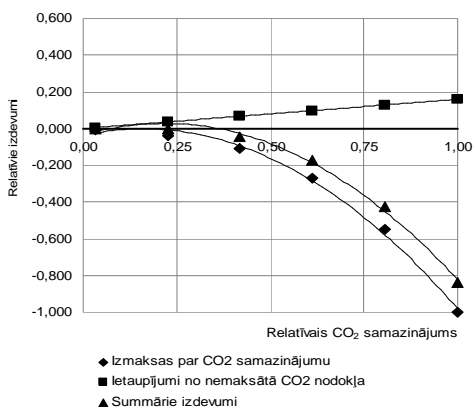
Šajā piemērā emisiju tirdzniecības ienākumi netiek ņemti vērā.

Izmaksu relatīvās vērtības aprēķinātas, izmaksu komponentes dalot ar maksimālo izmaksu par CO<sub>2</sub> samazinājumu vērtību. Kā redzams, samazinājuma izmaksu maksimums tiek sasniegts pie zemākām līmeņatzīmju vērtībām.

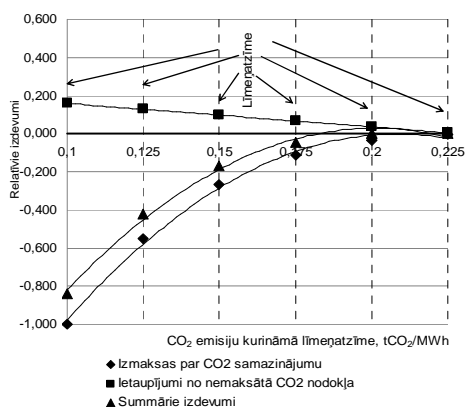
Scenāriju aprēķinu rezultāti tiek attēloti divu veidu grafikos – relatīvie izdevumi atkarībā no relatīvā samazinājuma un atkarībā no CO<sub>2</sub> emisijas faktora samazinājuma līmeņatzīmes. Četru aplūkoto scenāriju ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā samazinājuma redzami 3.14., 3.16., 3.18. un 3.20.attēlā, un scenāriju ekonomisko rādītāju izmaiņas atkarībā no līmeņatzīmes ir parādītas 3.15., 3.17., 3.19. un 3.21.attēlā.

### 3.4.4.1.1.scenārijs. CO<sub>2</sub> nodokļa likme $\xi_{nod.i} = 7 \text{ Ls/tCO}_2$

Pie CO<sub>2</sub> nodokļa likmes 7 Ls/tCO<sub>2</sub> izmaksas, ietaupījumi un summārie izdevumi pie katras no izvēlētajām CO<sub>2</sub> emisijas faktora samazinājuma līmeņatzīmes vērtībām ilustrēti 3.14 un 3.15.attēlos.



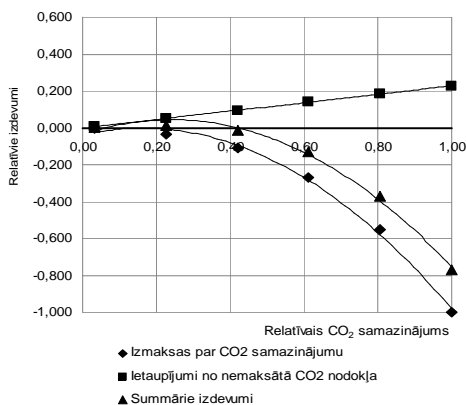
3.14.att. Pirmā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> samazinājuma



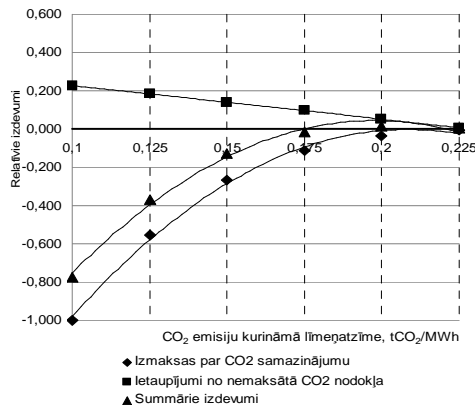
3.15.att. Pirmā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no līmeņatzīmēm

### 3.4.4.2.2.scenārijs. CO<sub>2</sub> nodokļa likme $\xi_{nod.i} = 10 \text{ Ls/tCO}_2$

Pie CO<sub>2</sub> nodokļa likmes 10 Ls/tCO<sub>2</sub> izmaksas, ietaupījumi un summārie izdevumi pie katras no izvēlētajām CO<sub>2</sub> samazinājuma līmeņatzīmes vērtībām ir redzami 3.16 un 3.17.attēlos.



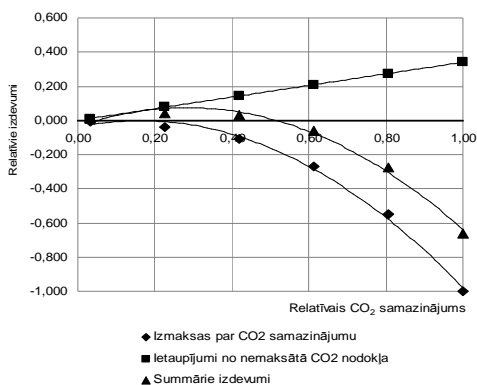
3.16.att. Otrā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> samazinājuma



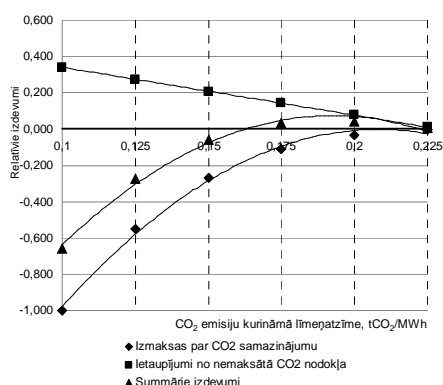
3.17.att. Otrā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no līmeņatzīmēm

### 3.4.4.3.scenārijs. CO<sub>2</sub> nodokļa likme $\xi_{nod.i} = 15 \text{ Ls/tCO}_2$

Pie CO<sub>2</sub> nodokļa likmes 15 Ls/tCO<sub>2</sub> izmaksas, ietaupījumi un summārie izdevumi pie katras no izvēlētajām CO<sub>2</sub> samazinājuma līmeņatzīmes vērtībām ir redzami 3.18. un 3.19.attēlos.



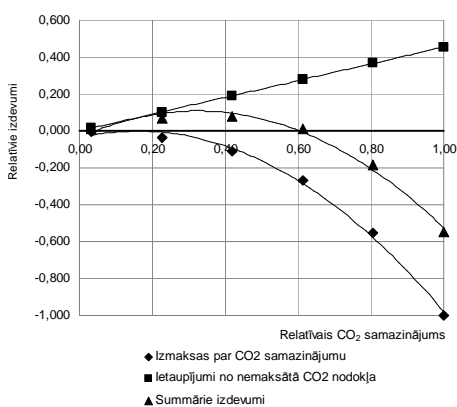
3.18.att. Trešā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> samazinājuma



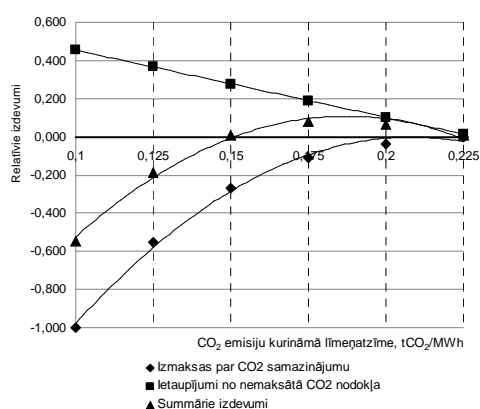
3.19.att. Trešā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no līmeņatzīmēm

### 3.4.4.4.scenārijs. CO<sub>2</sub> nodokļa likme $\xi_{nod.i} = 20 \text{ Ls/tCO}_2$

Pie CO<sub>2</sub> nodokļa likmes 20 Ls/tCO<sub>2</sub> izmaksas, ietaupījumi un summārie izdevumi pie katras no izvēlētajām CO<sub>2</sub> samazinājuma līmeņatzīmes vērtībām ir redzami 3.20. un 3.21.attēlos.



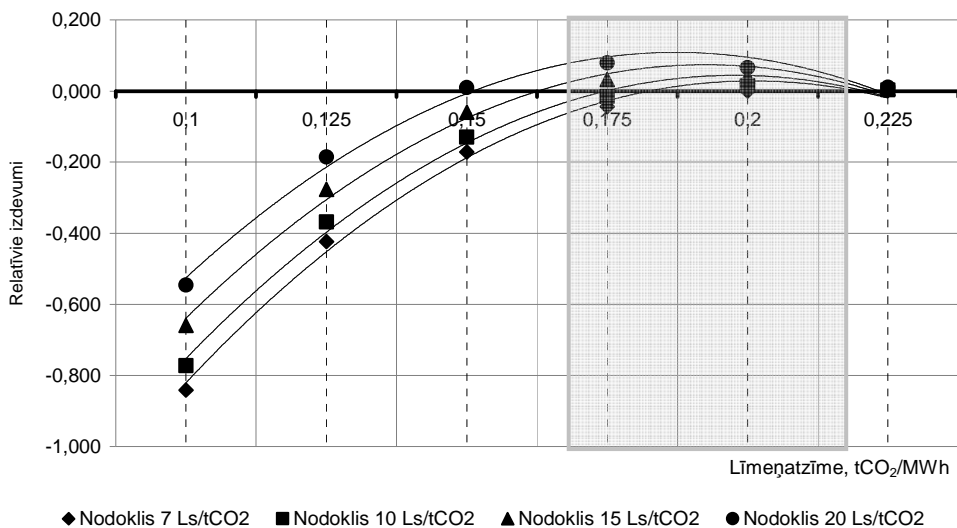
3.20.att. Ceturtnā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> samazinājuma



3.21.att. Ceturtnā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no līmeņatzīmēm

Analizējot ekonomisko rādītāju izmaiņas atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> emisijas samazinājuma (skat. 3.14., 3.16., 3.18. un 3.20.attēlu) redzams, ka, pieaugot nodokļa likmei, palielinās summāro ietaupījumu relatīvā vērtība, kā arī pieaug relatīvais samazinājums, pie kura tiek sasniegts summāro ietaupījumu maksimums. Ja nodokļa likme ir 7 Ls/tCO<sub>2</sub>, maksimālie summārie relatīvie ietaupījumi ir 0,001 pie ietaupījumu relatīvās vērtības 0,2. Palielinot nodokļa likmi līdz 20 Ls/tCO<sub>2</sub>, relatīvo ietaupījumu maksimālā vērtība palielinās līdz 0,08 un tiek sasniegts relatīvais samazinājums 0,4. Tas nozīmē, ka, palielinoties nodokļa likmei, kļūst ekonomiski izdevīgi pasākumi, kas saistīti ar lielāku CO<sub>2</sub> samazinājumu.

CO<sub>2</sub> samazinājumu nosaka iekārtām piemērotā CO<sub>2</sub> emisijas faktora līmeņatzīme. Četrus scenāriju ekonomisko rādītāju izmaiņas atkarībā no iekārtām piemērotās līmeņatzīmes ir redzamas 3.15., 3.17., 3.19. un 3.21.attēlā. Izmaiņu raksturs liecina, ka, pieaugot nodokļa likmei, iekārtām var piemērot mazākas līmeņatzīmju vērtības, tādējādi palielinot CO<sub>2</sub> samazinājumu. Uzskatāmajam scenārijam salīdzinājumam izmantoti lielumi, kas parāda summārās izmaksas un iekārtu līmeņatzīmes.



3.22.att. Optimizācijas modeļa rezultāti

Summārās izmaksas pie dažādām nodokļa likmēm atkarībā no līmeņatzīmes vērtības ir apkopotas 3.22.attēlā. Scenāriju grafiku analīze rāda, ka, pieaugot nodokļa likmei, pieaug maksimālā relatīvo summāro izmaksu vērtība un samazinās optimālās iekārtu līmeņatzīmes vērtības.

3.22.attēlā redzams, ka summāro izmaksu grafiki divreiz šķērso līmeņatzīmju asi, iezīmējot stāvokļus ar 0 relatīvo summāro izmaksu vērtībām. Apgabals starp atzīmētajiem stāvokļiem iezīmē tās robežvērtības, kuru diapazonā summārās izmaksas ir pozitīvas vai 0. Tas nozīmē, ka CO<sub>2</sub> samazinājumi iekārtu grupai ir ar pozitīvu vai 0 ekonomisko efektu.

Zem minimālās līmeņatzīmes vērtības iekārtu grupas summārās izmaksas ir negatīvas un CO<sub>2</sub> samazinājums ir saistīts ar papildu līdzekļu ieguldījumu.

Samazinoties nodokļa likmei, samazinās līmeņatzīmju diapazons, kurā panākams pozitīvs vai 0 CO<sub>2</sub> samazinājuma ekonomiskais efekts. Piemēram, ja nodokļa likme ir 20 Ls/tCO<sub>2</sub>, tad līmeņatzīmju diapazons ir robežās no 0,15 līdz 0,225 tCO<sub>2</sub>/MWh un, pazeminoties nodokļa likmei līdz 7 Ls/tCO<sub>2</sub>, diapazons ir no 0,175 līdz 0,225 tCO<sub>2</sub>/MWh.

Veiktā izpēte liecina, ka, izmantojot optimizācijas modeli tehnoloģisko iekārtu grupai, var noteikt:

- 1) CO<sub>2</sub> samazinājuma robežas, kurās pie noteiktās nodokļa likmes samazinājuma izmaksas nodrošina ieņēmumus;
- 2) to CO<sub>2</sub> samazinājumu un nodokļa likmi, pie kuriem ieņēmumi būs maksimāli;
- 3) iekārtām piemērojamo līmeņatzīmju diapazonu, kurā pie noteiktām nodokļa likmēm iekārtu grupa gūs ieņēmumus;
- 4) iekārtu grupai piemērojamo līmeņatzīmi, pie kuras ieņēmumi būs maksimāli.

Darbā izpētes rezultātā tiek piedāvāta metodika, ar kuras palīdzību var izvērtēt novada vai reģiona iekārtām izmantoto CO<sub>2</sub> līmeņatzīmju vērtību no ekonomiskā un vides aizsardzības viedokļa un izvēlēties ekonomiskajai situācijai visatbilstošāko.

Precīzāku rezultātu iegūšanai ir jāveido un regulāri jāpapildina CO<sub>2</sub> izmaksu efektivitātes rādītāju datu bāze.

## 4. MODEĻA APROBĀCIJA UZ DIVU LATVIJAS RAJONU PIEMĒRA

Saskaņā ar administratīvi teritoriālo reformu Latvijas teritorija ir iedalīta piecos plānošanas reģionos, kas, savukārt, sadalīti mazākās teritoriālajās vienībās – novados un pagastos. Tā kā reģiona analīzei un energosistēmas raksturošanai nepieciešamie statistikas dati lielākoties pieejami par laika periodu pirms administratīvās reformas ieviešanas, tad šajā darbā tiek saglabāts iepriekšējais administratīvais iedalījums un modelis tiek testēts bijušo rajonu robežās. Lai pārbaudītu modeļa darbību energosistēmās ar atšķirīgu kurināmā veidu īpatsvaru, ir izvēlēts viens „dabasgāzes rajons” un viens „koksnes rajons” (skat. 4.1.tabulu). Šāds nosacīts rajonu iedalījums iegūts agrāka izpētes darba rezultātā [68].

4.1.tabula

Nosacīts rajonu sadalījums grupās pēc kurināmā veida īpatsvara siltumenerģijas ražošanas struktūrā

„Dabasgāzes rajoni”	„Koksnes rajoni”	„Diversificēta kurināmā rajoni”
Aizkraukles	Alūksnes	Dobeles
Bauskas	Balvu	Jēkabpils
Cēsu	Gulbenes	Kuldīgas
Daugavpils	Krāslavas	Preiļu
Jelgavas	Limbažu	Saldus
Liepājas	Ludzas	Ventspils
Ogres	Madonas	
Rēzeknes	Talsu	
Rīgas	Tukuma	
Valmieras	Valkas	

Optimizācijas modeļa testēšanai ir izvēlēti Limbažu un Ogres rajons.

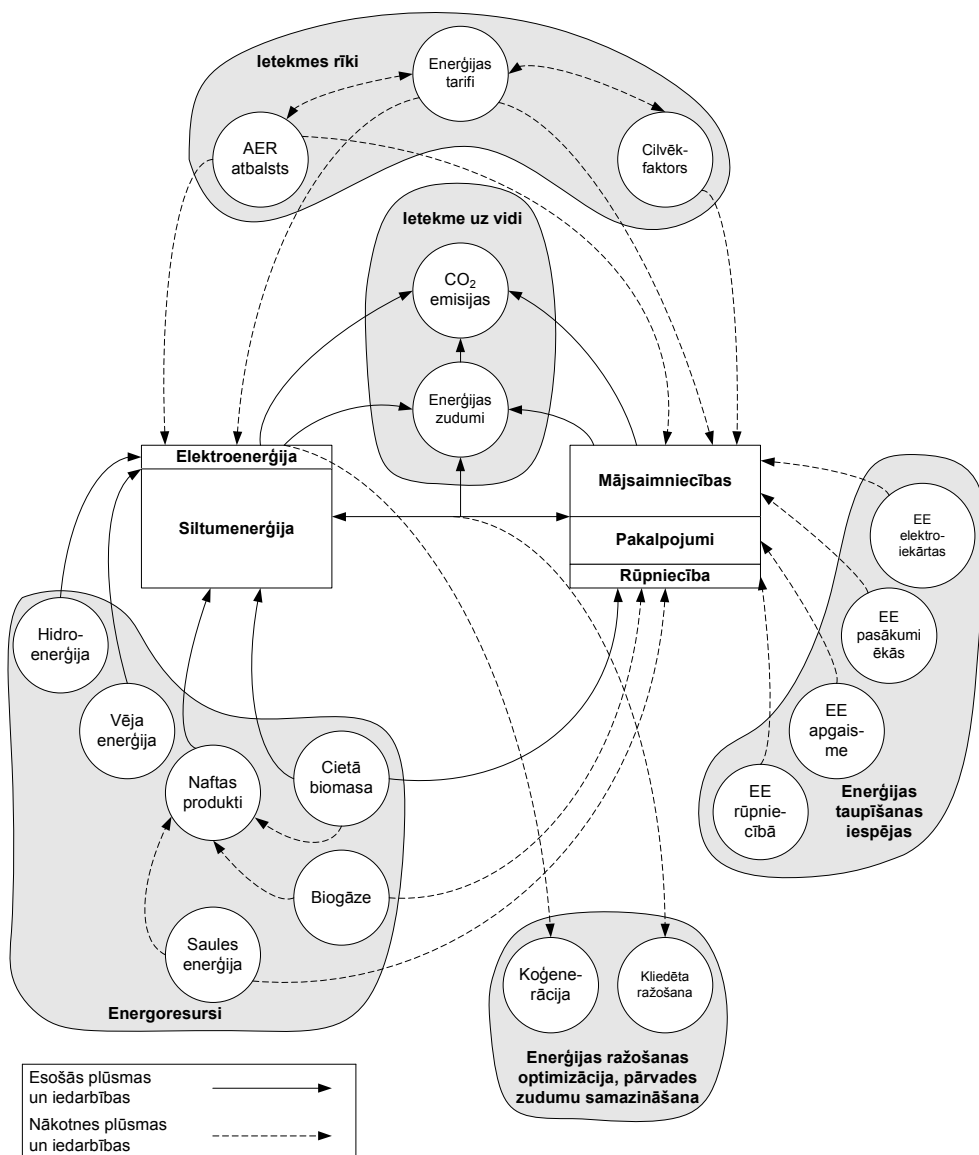
### 4.1. Modeļa aprobācija uz Limbažu rajona piemēra

#### 4.1.1. Limbažu rajona vispārīgs raksturojums

Limbažu rajona energosistēmā var izdalīt piecas ietekmes zonas (skat. 4.1.attēlu). Pirmā ietekmes zona ir pieejamie energoresursi. 4.1.attēlā redzamās nepārtrauktās līnijas bultas norāda esošās ietekmes un plūsmas jeb esošo energoresursu izmantojumu. Pārtrauktās līnijas bultas parāda nākotnes ietekmes, kur šobrīd izmantotais mazuts un dīzeļdegviela ir jāaizstāj ar atjaunojamajiem energoresursiem – cieta biomasu, biogāzi un saules enerģiju.

Nākamā ietekmes zona ir saistīta ar enerģijas ražošanas optimizāciju un enerģijas zudumu samazināšanu sadales sistēmās. Enerģijas ražošana koģenerācijā samazina enerģijas zudumus un veicina efektīvu pieejamo energoresursu

izmantošanu. Kļiedēta ražošana ļauj ražot enerģiju tuvu enerģijas gala patērētājam un tādējādi samazina zudumus enerģijas pārvadē.



4.1.att. Galvenie Limbažu rajona energosistēmas elementi

Trešā ietekmes zona ir enerģijas taupīšanas iespējas. Veicot šos energoefektivitātes pasākumus, tiek samazināti enerģijas zudumi neefektīvās elektroierīcēs, apgaismojuma sistēmās, rūpnieciskajās iekārtās un nepietiekami izolētās ēku konstrukcijās.

Pēdējās divas ietekmes zonas ir tiešā enerģijas ražošanas ietekme uz vidi un sadales un ietekmes rīku izmantošana šo tiešo vides ietekmju samazināšanai. CO<sub>2</sub>

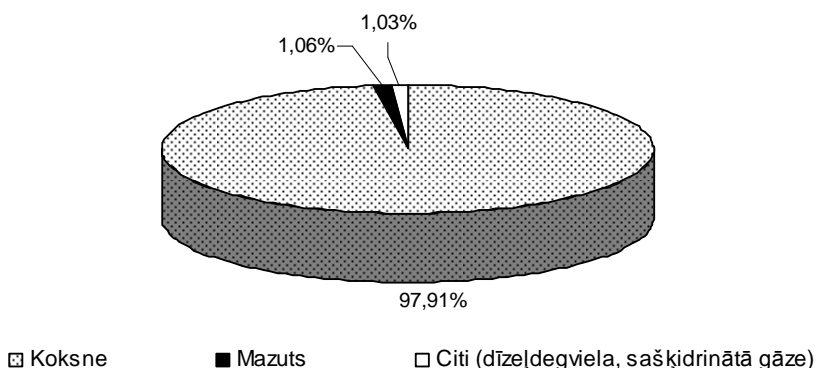
emisijas ir viens no galvenajiem indikatoriem, kas palīdz izvērtēt reģionālās enerģosistēmas ietekmi uz vidi. Vienlaikus tiek izmantoti rīki ietekmes uz vidi samazināšanai, kas ir atbalsta mehānismi atjaunojamās enerģijas ražošanai, enerģijas tarifi un cilvēku uzvedība un pieredze energoefektivitātes pasākumu ieviešanā.

Sākot ar 2009.gada 1.jūliju, Limbažu rajons ir iedalīts trīs novados: Alojas novads, Limbažu novads, Salacgrīvas novads. Limbažu rajona Lēdurgas pagasts tika apvienots ar Rīgas rajona Krimuldas pagastu un šobrīd ietilpst jaunizveidotajā Krimuldas novadā.

Bijušais Limbažu rajons atrodas Latvijas ziemeļu daļā, Rīgas jūras līča krastā un robežojas ar Rīgas rajonu D, Cēsu rajonu DA, Valmieras rajonu A un ar Igauniju Z. Rajona ģeogrāfiskais novietojums lielā mērā ir noteicis esošo enerģētikas infrastruktūru. Tā kā Limbažu rajonam ir izeja uz jūru, rajonā atrodas vairākas eksporta ostas (Skultes, Salacgrīvas), uz kurām tiek transportētas eksporta preces, tajā skaitā arī kurināmais, tādējādi nodrošinot regulāru energoresursu (pamatā koksnes) plūsmu caur reģionu. Skultes ostas kravu apgrozījumā 2008.gadā energoresursi veidoja 85,6% (69,7% kokmateriāli, 12,0% koksnes šķelda, 2,2% kūdra un 1,7% ogles) [69]. Salacgrīvas ostā pārkrauj un eksportē malku, šķeldu un kūdru. 30% eksportētās kūdras tiek vesti no Igaunijas [70].

Limbažu rajonā izmanto dažādus enerģijas avotus. Siltumenerģija tiek ražota gan centralizētās sistēmās, gan lokālos siltuma avotos, kā arī individuālās apkures sistēmās. Limbažu rajona lielākie siltuma avoti, to uzstādītā siltuma jauda un izmantotā kurināmā veids redzami 4.2.tabulā [67].

4.2.tabulā redzams, ka Limbažu rajonā ir daudz salīdzinoši mazas jaudas siltuma avotu, kuros kā kurināmo izmanto koksni. Arī individuālajā siltumapgādē pamata kurināmais ir koksne: malka, granulas, skaidu briketes. Izmantotās iekārtas vairumā gadījumu ir novecojušas, un kurināmā dedzināšana notiek ar zemu efektivitāti. Pētījumi līdzīgās Latvijas mazajās katlu mājās rāda, ka lietderības koeficients ir no 46 līdz 56% [71,72].



4.2.att. Kurināmā struktūra Limbažu rajonā 2009.gadā [67]

## Limbažu rajona lielākie siltuma avoti

Nr.	Atrašanās vieta	Nosaukums	Uzstādītā jauda, MW	Izmantotais kurināmais
1.	Limbaži	SIA „Latvia Timber International”	1,25	Koksne
2.	Limbaži	AS „Latvijas autoceļu uzturētājs”	0,45	Koksne
3.	Limbaži	Limbažu 18. arodvidusskola	1,60	Koksne
4.	Limbaži	SIA „Limbažu ceļi”	2,30	Mazuts
5.	Limbaži	SIA „Limbažu komunālserviss”	0,60	Koksne
6.	Limbaži	AS „Limbažu piens”	2,68	Mazuts
7.	Limbaži	SIA „Limbažu siltums”, Cēsu ielā 31	16,65	Koksne
8.	Limbaži	SIA „Limbažu siltums”, Jaunatnes 6	7,09	Koksne
9.	Limbaži	SIA „Limbažu Tīne”	0,76	Koksne
10.	Limbaži	SIA „Maksis MT”	0,20	Dīzeļdegviela
11.	Limbaži	SIA „Mozaīka”	1,40	Koksne
12.	Limbaži	SIA „Sleikas”	0,80	Koksne
13.	Ainaži	Psihoneiroloģiskā slimnīca „Ainaži”	0,44	Koksne
14.	Staiķes l.t.	Slimnīca „Ainaži”, 3.nodaļa	0,20	Koksne
15.	Aloja	SIA „Alojas komunālais dienests”	1,50	Koksne
16.	Alojas l.t.	SIA „Aloja-Starkelsen”	2,00	Dīzeļdegviela
17.	Lēdurga	Lēdurgas komunālais dienests	0,90	Koksne
18.	Salacgrīva	AS „Brīvais vilnis”	4,99	Mazuts
19.	Lēdurgas p.	KS „Druvas”	0,50	Koksne
20.	Vidrižu p.	SIA „Frip”	3,00	Koksne
21.	Ainaži	SIA „Grandeg”	0,39	Koksne
22.	Katvaru p.	Katvaru speciālā internātskola	0,20	Koksne
23.	Viļķenes p.	SIA „Kokapstrāde „Lielezers””	0,50	Koksne
24.	Ainaži	Kr. Valdemāra Ainažu pamatskola	1,14	Koksne
25.	Salacgrīva	SIA „Kubikmetrs”	1,30	Koksne
26.	Aloja	AS „Latvenergo”, ZET, Alojas ETR	0,62	Koksne
27.	Lēdurgas p.	SIA „Lauma koks”	2,00	Koksne
28.	Limbaži	SIA „Lielezers”	0,15	Dīzeļdegviela
29.	Liepupes p.	Liepupes pagasta padome	1,50	Koksne
30.	Salacgrīva	Salacgrīvas komunālie pakalpojumi	0,60	Koksne
31.	Salacgrīva	Salacgrīvas komunālie pakalpojumi	0,80	Koksne
32.	Kuiviži	Salacgrīvas komunālie pakalpojumi	0,20	Koksne
33.	Salacgrīva	Salacgrīvas domes KM, Sporta 8	1,40	Koksne
34.	Skultes pag.	Skultes pagasta padome	0,60	Koksne
35.	Staiķe	Staiķes pilsētas domes KM	0,34	Koksne
36.	Staiķe	Staiķes pilsētas KM Skolas ielā	0,40	Koksne
37.	Limbažu p.	SIA „Super Bebris”	0,93	Koksne
38.	Umurgas p.	Umurgas pašvaldības KM Sproģa ielā	0,50	Koksne
39.	Braslavas p.	Limbažu rajona pansionāts „Urgas”	0,40	Koksne
40.	Vidrižu p.	SIA „Vidrižu Atvari”	0,71	Koksne
41.	Salacgrīva	AS „Vidzemes ceļi”	0,60	Koksne
42.	Salacgrīva	DzĪKS Vidzemes nams 7 KM Tīrgus	1,10	Koksne
Kopējā uzstādītā jauda			65,69 MW	

4.2.attēlā raksturots procentuālais kurināmā sadalījums pa veidiem 2009.gadā Limbažu rajona lielākajos siltuma avotos.

4.2.attēlā redzams, ka lielākajos siltuma avotos siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošanai un tehnoloģisko procesu nodrošināšanai Limbažu rajonā dominē kurināmās koksnes izmantošana. Kurināmās koksnes īpatsvars kurināmā struktūrā 2009.gadā bija nepilni 98%. Pārējos divus procentus veidoja dīzeļdegvielas, mazuta, šķidrā kurināmā un sašķidrīnātās gāzes izmantošana. Viens no galvenajiem iemesliem, kādēļ tik plaši tiek izmantots koksnes kurināmais, ir tas, ka rajonam nav pieejas dabasgāzes vadam.

#### 4.1.2. Centralizētā siltumapgāde Limbažu rajonā

Centralizēta siltumapgādes sistēma Limbažu rajonā eksistē septiņās pašvaldībās: Limbažos, Alojā, Salacgrīvā, Umurgā, Pociemā (Katvaru pagastā), Liepupē un Ozolmuižā (Brīvzemnieku pagastā). Centralizētās siltumapgādes sistēmu siltuma avotu salīdzinošs raksturojums parādīts 4.3.tabulā.

4.3.tabula

Siltuma avotu salīdzinošs raksturojums

Atrašanās vieta	Katlu māja	Uzstādītā siltuma jauda, MW	Izmantotais kurināmais	Kurināmā patēriņš 2009.gadā, t
Limbaži	Cēsu ielā 31	16,65	Šķelda Koksne (skaidas) Malka	16 125 4 031 11
	Jaunatnes ielā 6	7,09	Šķelda Koksne (skaidas)	7 473 4 982
Salacgrīva	AS "Brīvais vilnis"	4,99	Šķelda Mazuts	5 213 5
	Salacgrīvas komunālie pakalpojumi	0,6	Malka	200,15
	Smilšu ielā 1	0,8	Malka	243,5
	Salacgrīvas komunālie pakalpojumi, Kuiviži	0,2	Granulas	86,05
	Sporta ielā 8	1,8	Šķidrā kurināmais	184,9
Umurgas pag.	Sproģa ielā	0,5	Koksne (skaidas)	1885,1
Liepupe	Liepupes pagasta padome	1,5	Malka	893
Skultes pag.	Skultes pagasta padome	0,6	Granulas	68
Staicele	Staiceles pilsētas dome	0,34	Granulas	137,3
Staicele	Staiceles pilsētas dome Skolas ielā	0,4	Granulas	142,4

Kā redzams no 4.3.tabulas datiem, centralizētajā siltumapgādē kā kurināmo pamatā izmanto dažādus kurināmās koksnes veidus: malku, šķeldu, granulas un skaidas. Daļā katlu māju izmanto šķidro kurināmo. Šajā gadījumā ir potenciāls kurināmā maiņas projektiem.

#### 4.1.3. Limbažu rajona energoapgādes sistēmas optimizācija

Kopā optimizācijas modelī tiek ievadīti dati par 42 Limbažu rajonā esošām iekārtām. Iekārtu raksturojums redzams 4.2.tabulā.

Limbažu rajona energoapgādes sistēmas optimizācijas modelī izdarīti šādi pieņēmumi:

- CO<sub>2</sub> emisijas faktors uz saražoto enerģiju:
  - koksnei  $R_{CO_2} = 0$  tCO<sub>2</sub>/MWh,
  - mazutam  $R_{CO_2} = 0,313$  tCO<sub>2</sub>/MWh,
  - dīzeļdegvielai  $R_{CO_2} = 0,299$  tCO<sub>2</sub>/MWh;
- darba stundu skaits  $\tau = 5000$  h/gadā;
- CO<sub>2</sub> samazinājuma izmaksu efektivitāte  $\xi_{ef,i}$  tiek izteikta ar formulā (3.19) aprakstīto sakarību.

Tehnoloģiskie aprēķini veikti visām 42 iekārtām, aprēķinot saražoto enerģijas daudzumu un faktisko CO<sub>2</sub> gada emisiju no katras iekārtas. Tehnoloģisko aprēķinu rezultāti redzami 4.4.tabulā.

4.4.tabula

Tehnoloģisko aprēķinu rezultātu piemērs Limbažu rajona energosistēmas optimizācijas modelī

Iekārta <i>i</i>	Saražotā enerģija $p_i$ , MWh	Faktiskā emisija $\overline{E}_{CO_2,i}$ , tCO <sub>2</sub>
SIA „Latvia Timber International”	6250	0
AS „Latvijas autoceļu uzturētājs”, Limbažu c.r.	2250	0
Limbažu 18.arodvidusskola	8000	0
SIA „Limbažu ceļi”	11500	3603
SIA „Limbažu komunālserviss”, dārzniecība	3000	0
AS „Limbažu piens”	13400	4199
SIA „Limbažu siltums” KM Cēsu ielā 31	83250	0
SIA „Limbažu siltums” KM Jaunatnes ielā 6	35450	0
SIA „Limbažu Tīne”	3800	0
SIA „Maksis MT”	1000	299
SIA „Mozaīka”	7000	0
SIA „Sleikas”	4000	0
Bērnu psihoneiroloģiskā slimnīca „Ainaži”	2200	0
Psihoneiroloģiskā slimnīca „Ainaži”, 3.nodaļa	1000	0
SIA „Alojas komunālais dienests”	7500	0
SIA „Aloja-Starkelsen”	10000	2993

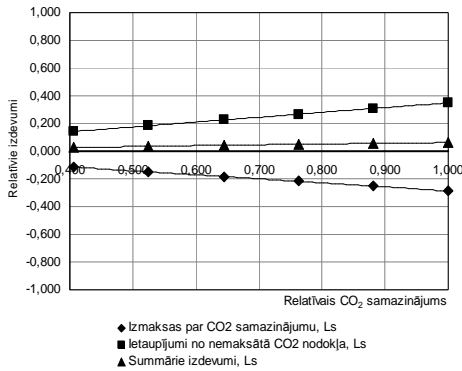
Iekārta $i$	Saražotā enerģija $p_i$ , MWh	Faktiskā emisija $\overline{E}_{CO_2i}$ , tCO <sub>2</sub>
BO SIA „Lēdurgas komunālais dienests”	4500	0
AS „Brīvais vilnis”	24950	7817
Koop. sabiedrība „Druvas”	2500	0
SIA „Frip”	15000	0
SIA „Grandeg”	1950	0
Katvaru speciālā internātskola	1000	0
SIA „Kokapstrāde „Lielezers””, cehs „Viļķene”	2500	0
Kr.Valdemāra Ainažu pamatskola	5700	0
SIA „Kubikmets”	6500	0
AS „Latvenergo”, ZET, Alojās ETR	3100	0
SIA „Lauma koks”	10000	0
SIA „Lielezers”	750	224
Liepupes pagasta padome	7500	0
Salacgrīvas komunālie pakalpojumi katlu māja	3000	0
Salacgrīvas komunālie pakalpojumi Smilšu 1	4000	0
Salacgrīvas komunālie pakalpojumi, Kuiviži	1000	0
Salacgrīvas domes katlu māja, Sporta 8	7000	0
Skultes pagasta padome	3000	0
Staiceles pilsētas domes KM	1700	0
Staiceles pilsētas domes KM Skolas ielā	2000	0
SIA „Super Bebris”	4645	0
Umurgas pagasta pašvaldības KM Sproģa ielā	2500	0
Limbažu rajona pansionāts „Urgas”	2000	0
SIA „Vidrižu Atvari”	3550	0
Vidzemes ceļi, Limbažu 19.CP, Salacgrīvas iec.	3000	0
DzĪKS „Vidzemes nams 7” KM Tīrgus ielā	5500	0

Klimata aprēķinu blokā optimizācijas modelēšanā tiek izmantotas līmeņatzīmju vērtības:  $L_{CO_2} = 0,1 \div 0,225$  ar soli 0,025.

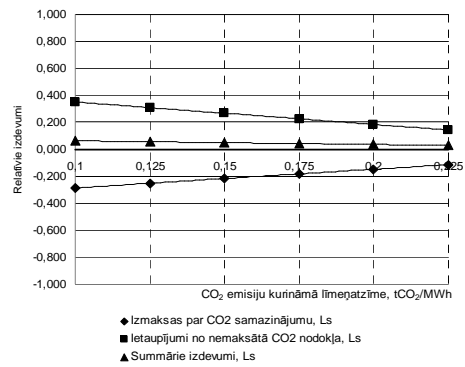
Ekonomisko aprēķinu blokā ieņēmumi par emisiju samazinājumu rēķināti pie nodokļa likmēm  $\xi_{nod.i} = 7, 10, 15$  un  $20$  Ls/tCO<sub>2</sub>.

#### 4.1.3.1.1.scenārijs. CO<sub>2</sub> nodokļa likme $\xi_{nod.i} = 7$ Ls/tCO<sub>2</sub>

Pie CO<sub>2</sub> nodokļa likmes 7 Ls/tCO<sub>2</sub> izmaksas, ietaupījumi un summārie izdevumi pie katras no izvēlētajām CO<sub>2</sub> emisijas faktora samazinājuma līmeņatzīmes vērtībām ir redzami 4.3. un 4.4.attēlos.



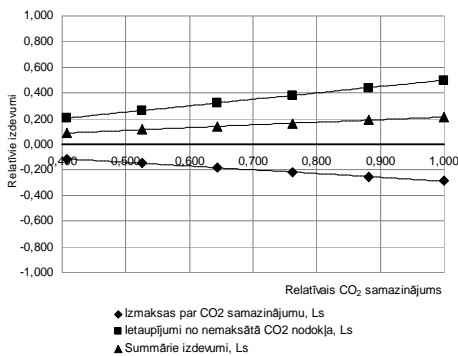
4.3.att. Pirmā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> samazinājuma



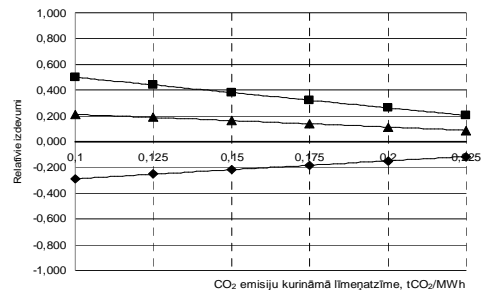
4.4.att. Pirmā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no līmeņatzīmēm

#### 4.1.3.2.2.scenārijs. CO<sub>2</sub> nodokļa likme $\xi_{nod.i} = 10 \text{ Ls/tCO}_2$

Pie CO<sub>2</sub> nodokļa likmes 10 Ls/tCO<sub>2</sub> izmaksas, ietaupījumi un summārie izdevumi pie katras no izvēlētajām CO<sub>2</sub> emisijas faktora samazinājuma līmeņatzīmes vērtībām ir redzami 4.5. un 4.6.attēlos.



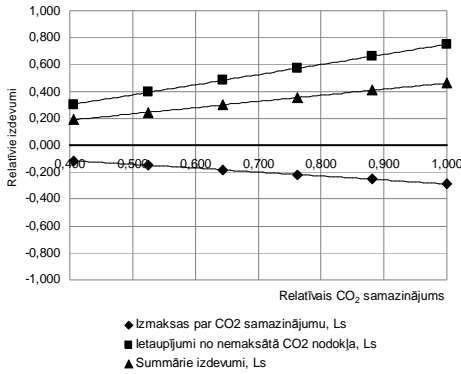
4.5.att. Otrā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> samazinājuma



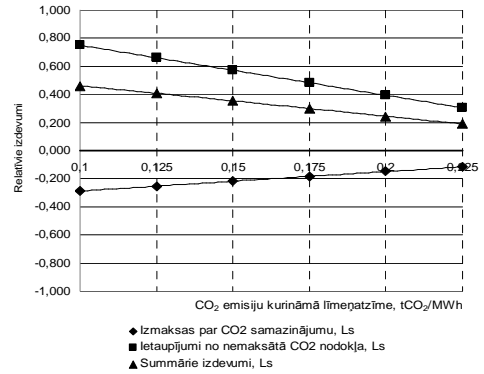
4.6.att. Otrā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no līmeņatzīmēm

#### 4.1.3.3.3.scenārijs. CO<sub>2</sub> nodokļa likme $\xi_{nod.i} = 15 \text{ Ls/tCO}_2$

Pie CO<sub>2</sub> nodokļa likmes 15 Ls/tCO<sub>2</sub> izmaksas, ietaupījumi un summārie izdevumi pie katras no izvēlētajām CO<sub>2</sub> emisijas faktora samazinājuma līmeņatzīmes vērtībām ir redzami 4.7. un 4.8.attēlos.



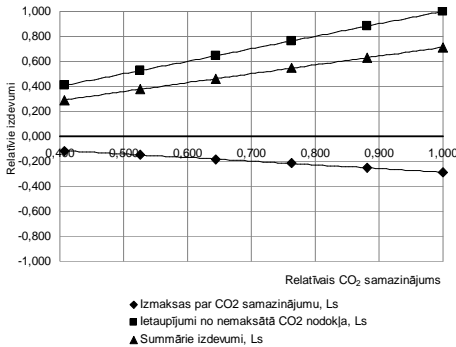
4.7.att. Trešā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> samazinājuma



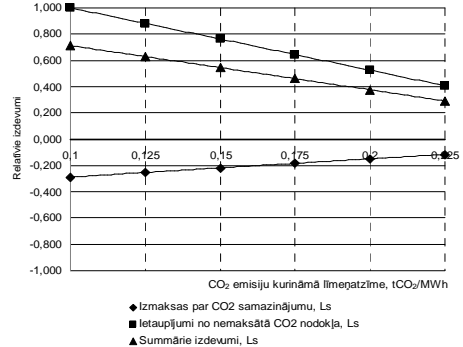
4.8.att. Trešā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no līmeņatzīmēm

#### 4.1.3.4.4.scenārijs. CO<sub>2</sub> nodokļa likme $\xi_{nod.i} = 20 \text{ Ls/tCO}_2$

Pie CO<sub>2</sub> nodokļa likmes 20 Ls/tCO<sub>2</sub> izmaksas, ietaupījumi un summārie izdevumi pie katras no izvēlētajām CO<sub>2</sub> emisijas faktora samazinājuma līmeņatzīmes vērtībām ir redzami 4.9. un 4.10.attēlos.



4.9.att. Ceturtā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> samazinājuma

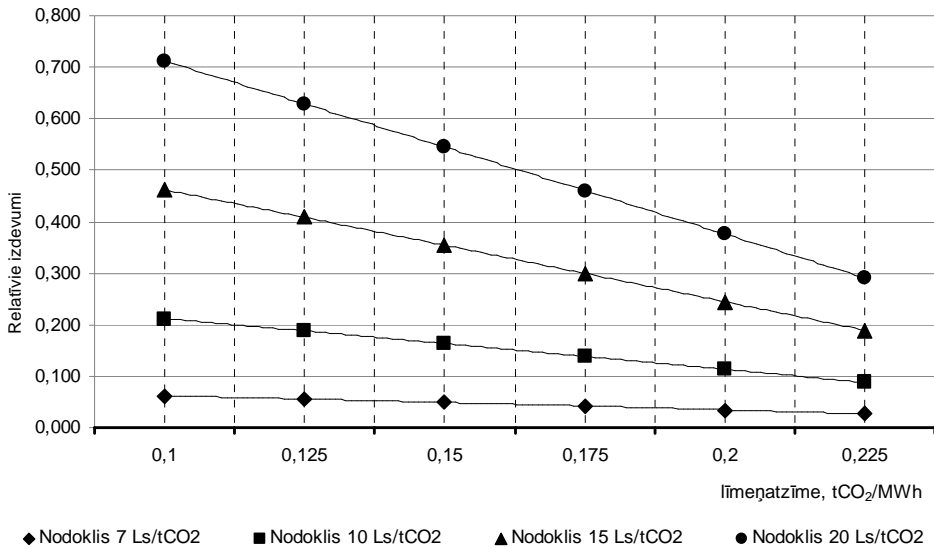


4.10.att. Ceturtā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no līmeņatzīmēm

Summārās izmaksas pie dažādām nodokļa likmēm atkarībā no līmeņatzīmes vērtības ir apkopotas 4.11.attēlā.

Limbažu rajona siltuma avotos pārsvarā izmanto koksnī, un tikai sešos siltuma avotos šķidro kurināmo – mazutu un dīzeļdegvielu. Tas nozīmē, ka rajona CO<sub>2</sub> emisijas veido minētie seši uzņēmumi un emisiju samazinājuma iespējas jāaplūko šajos avotos. Avotu jauda mainās no 0,15MW dīzeļdegvielu izmantojošajā SIA „Lielezers” siltuma avotā līdz 4,99MW AS „Brīvais vilnis” katlu mājā, kurā kā kurināmo izmanto mazutu. Iekārtu jaudas un izmantotais kurināmais nosaka faktiskās emisijas, kuras svārstās no 224 tCO<sub>2</sub> SIA „Lielezers” līdz 7817 tCO<sub>2</sub> AS „Brīvais vilnis”. Tas nozīmē, ka maksimālās CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma vērtības,

piemēram, pārejot uz koksni, atbilst uzrādītajiem emisiju daudzumiem, bet daļēja samazinājuma gadījumā tās būs mazākas.



4.11.att. Summāro izmaksu pie dažādām nodokļa likmēm izmaiņas atkarībā no Ļimeņatzīmes vērtības

CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma izmaksu aprēķinu pamatā ir izmaksu efektivitāte Ls/tCO<sub>2</sub>, kuras izmaiņas atkarībā no samazinājuma apjoma ir redzamas 3.13.attēlā. Redzams, ka izmaksu efektivitātes vērtība potenciālajā CO<sub>2</sub> samazinājuma diapazonā mainās no 5,73 Ls/tCO<sub>2</sub> līdz 6,78 Ls/tCO<sub>2</sub>. Aplūkojamajā CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma diapazonā izmaksu efektivitātes izmaiņas ir nelielas, un tās ir praktiski lineāras.

Ekonomisko aprēķinu blokā Limbažu rajona ieņēmumi un izmaksas par emisiju samazinājumu rēķināti četriem scenārijiem, kuri atbilst nodokļu likmēm 7, 10, 15 un 20 Ls/tCO<sub>2</sub>. Aprēķinu rezultāti relatīvu samazinājumu un ieņēmumu/izmaksu veidā apkopoti 4.5.–4.8.tabulā un grafiski attēloti 4.3.–4.10.attēlā. Aplūkoto scenāriju ieņēmumu izmaiņas atkarībā no Ļimeņatzīmes vērtības ir apkopotas 4.11.attēlā. Aprēķinu rezultātu analīze Limbažu rajonam rāda, ka:

- nav ieņēmumu optimuma, jo izmaiņas ir lineāras. Ieņēmumi samazinās, palielinoties rajonam piemērotās Ļimeņatzīmes vērtībai vai samazinoties CO<sub>2</sub> emisiju sadārdzinājuma vērtībai. Ieņēmumu izmaiņu lineārais raksturs skaidrojams ar lineārām izmaksu efektivitātes izmaiņām;
- visos aplūkotajos scenārijos rajona siltuma avotu kopējie ieņēmumi ir pozitīvi. Pieaugot nodokļa likmei, pieaug rajona ieņēmumi, kas saistīti ar CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu. Pat zemākās aplūkotās nodokļa likmes 7 Ls/tCO<sub>2</sub> gadījumā ir vērojams pozitīvs ekonomiskais efekts. Tas ir tāpēc, ka izmaksu efektivitāte Limbažu rajona gadījumā ir zemāka par minimālo aplūkoto nodokļa likmi;

- Limbažu rajona avotiem var ekonomiski pamatoti piemērot zemas CO<sub>2</sub> emisiju līmeņatzīmes. Viszemākā analizē aplūkotā līmeņatzīmes vērtība ir 0,1 tCO<sub>2</sub>/MWh.

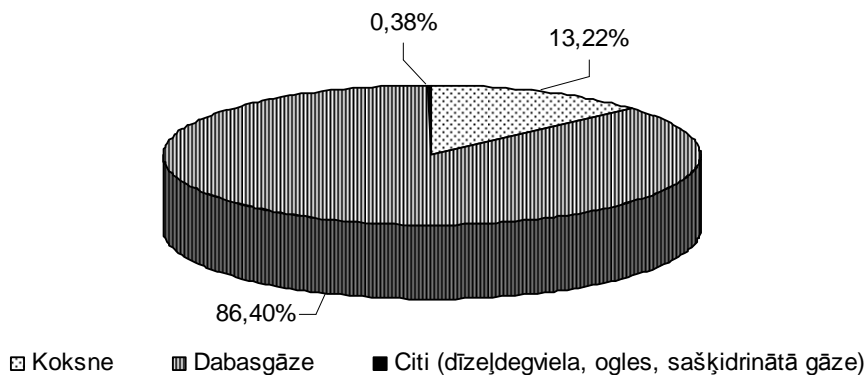
## 4.2. Modeļa aprobācija uz Ogres rajona piemēra

### 4.2.1. Ogres rajona vispārīgs raksturojums

Sākot ar 2009.gada 1.jūliju, Ogres rajons ir iedalīts četros novados: Ogres novads, Ikšķiles novads, Ķeguma novads, Lielvārdes novads. Bijušais Ogres rajons atrodas Latvijas centrālajā daļā un robežojas ar Rīgas rajonu ZR, Cēsu rajonu Z, Madonas rajonu A, Aizkraukles rajonu D un Bauskas rajonu DR. Ogres rajona administratīvais centrs ir Ogres pilsēta.

Ogres rajonā izmanto dažādus enerģijas avotus. Siltumenerģija tiek ražota gan centralizētās sistēmās, gan lokālos siltuma avotos, kā arī individuālās apkures sistēmās. Ogres rajona un Ogres pilsētas lielākie siltuma avoti, to uzstādītā siltuma jauda un izmantotā kurināmā veids redzams 4.9.tabulā [67].

4.12.attēlā raksturots procentuālais kurināmā sadalījums pa veidiem 2009.gadā Ogres rajona lielākajos siltuma avotos.



4.12.att. Kurināmā struktūra Ogres rajonā 2009.gadā [67]

4.12.attēlā redzams, ka kurināmā sadalījumā siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošanai un tehnoloģisko procesu nodrošināšanai lielākajos siltuma avotos Ogres rajonā dominē dabaspāze. Dabaspāzes īpatsvars kurināmā struktūrā 2009.gadā bija 86,40%. 13,22% veidoja kurināmā koksne, bet pārējo daļu – ogles, dīzeļdegviela, sašķidrinātā gāze u.c. resursi.

Plašais dabaspāzes lietojums skaidrojams ar maģistrālo dabaspāzes vadu novietojumu, kas nodrošina šī resursa pieejamību.

## Ogres rajona lielākie siltuma avoti

Nr.	Atrašanās vieta	Nosaukums	Uzstādītā jauda, MW	Izmantotais kurināmais
1.	Ogre	SIA „Akrons”	1,65	Koksne
2.	Ogre	SIA „Business Park Ogre”	0,99	Dabasgāze
3.	Ogre	SIA „D&F”	0,297	Dabasgāze
4.	Ogre	SIA „Elektrobizness” koģ. iekārta	3,71	Dabasgāze
5.	Ogre	SIA „Fazer maiznīcas”	2,773	Dabasgāze
6.	Ogre	SIA „Hanzas elektronika”	0,5	Dabasgāze
7.	Ogre	AS „Jauda-Koks”	1,5	Koksne
8.	Ogre	Katastrofu medicīnas centra katlu māja	0,14	Koksne
9.	Ogre	SIA „Kego” koģenerācijas stacija	0,5	Dabasgāze
10.	Ogre	SIA „KP Tehnoloģijas”	12,42	Dabasgāze
11.	Ogre	AS „Latvijas Gāze”, Ogres iecirknis	0,418	Dabasgāze
12.	Ogre	Ogres PA „Mālkalne” katlu māja	0,505	Dabasgāze
13.	Ogre	Ogres PA „Mālkalne” KM Akmentiņu	1,79	Dabasgāze
14.	Ogre	Ogres PA „Mālkalne” KM Brīvības	2,72	Dabasgāze
15.	Ogre	Ogres PA „Mālkalne” KM Celtnieku	0,353	Dabasgāze
16.	Ogre	Ogres PA „Mālkalne” KM Skolas ielā	10,87	Dabasgāze
17.	Ogre	Ogres PA „Mālkalne” KM Upes ielā	46,74	Dabasgāze
18.	Ogre	Ogres PA „Mālkalne” KM Doles ielā	0,206	Dabasgāze
19.	Ogre	SIA „Ogres Jumis”	0,314	Dabasgāze
20.	Ogre	SIA „Ogres Jumis”, veikals „Pārogre”	0,77	Dabasgāze
21.	Ogre	SIA „Ogres Prestižs”	2,28	Dabasgāze
22.	Ogre	Ogres raj. slimnīcas ambulatorā nodaļa	0,415	Dabasgāze
23.	Ogre	Ogres raj. slimnīcas katlu māja	1,894	Dabasgāze
24.	Ogre	Ogres rajona slimnīcas KM Turkalnes	0,6	Koksne
25.	Ogre	SIA „Ring Baltic”	0,18	Dabasgāze
26.	Ogre	SIA „Texoblock”	10,39	Dabasgāze
27.	Ogre	SIA „Tipogrāfija Ogrē”	0,2	Koksne
28.	Ogre	SIA „TMMetal Baltic”	0,36	Dabasgāze
29.	Lielvārde	SIA „Lielvārdes Remte”, Raiņa ielā 11a	0,02	Dabasgāze
30.	Madlienas p.	PU „Abza”	2,74	Koksne
31.	Birzgales p.	Birzgales pagasta padomes katlu māja	0,9	Koksne
32.	Birzgales p.	Birzgales pagasta pamatskolas KM	0,75	Cits <sup>2</sup>
33.	Rembates p.	SIA „Burtnieks-A”	0,25	Koksne
34.	Ikšķiles nov.	Tuberkulozes un plaušu slimību fil.	0,8	Koksne, ogles
35.	Lielvārde	E.Kauliņa Lielvārdes vidusskola	0,4	Dabasgāze
36.	Ogresgala p.	SIA „Galotne”, kokapstrāde	2,37	Koksne
37.	Lielvārde	SIA „Graužupe”	0,15	Koksne
38.	Ķeipenes nov.	Ķeipenes pagasta padome	1,38	Koksne
39.	Ikšķile	Ikšķiles novada PA „Līvi” katlu māja	5,14	Dabasgāze
40.	Jumprava	Jumpravas PA katlu māja „Lomaņi”	2,25	Koksne
41.	Lielvārdes l.t.	SIA „Lāčplēsis ZF”	0,45	Dabasgāze
42.	Ķegums	AS „Latvenergo”, Ķeguma HES KM	4	Koksne
43.	Lielvārde	AS „Latvenergo”, kabeļu mezgls	0,21	Dabasgāze
44.	Laubere	Lauberes pagasta padomes katlu māja	2	Koksne
45.	Lauberes pag.	KS „Lauko”	0	Dīzeldegviela

<sup>2</sup> Cits – sašķidrinātā gāze u.c. kurināmā veidi (“u.c.” kā norādīts “2-Gaiss” datu bāzē).

Nr.	Atrašanās vieta	Nosaukums	Uzstādītā jauda, MW	Izmantotais kurināmais
46.	Ikšķile	Lielrīgas reģ. lauksaimniecības pārvalde	0	Dabaszgāze
47.	Lielvārde	SIA „Lielvārdes meliorācija”	0,15	Koksne
48.	Lielvārde	Lielvārdes pamatskola	0,348	Dabaszgāze
49.	Lielvārde	SIA „Lielvārdes Remte” katlu māja	3,224	Dabaszgāze
50.	Lielvārde	SIA „Lielvārdes Remte” obj. Avotu ielā	3,2	Dabaszgāze
51.	Lielvārdes l.t.	SIA „Magrens”, kokapstrāde	0,2	Koksne
52.	Lielvārde	NBS Gaisa štābs, Atbalsta bāze	1,04	Ogles
53.	Ikšķiles l.t.	Ogres Meža tehnikums	0,9	Dabaszgāze
54.	Ogresgala p.	SIA „OSC”	0,2	Dabaszgāze
55.	Suntažu pag.	PU „Rosme”	1,05	Koksne
56.	Lauberes pag.	SIA „Vecpīrāgi”	2,28	Dīzeļdegviela
57.	Ikšķile	SIA „Vidzemes ledus”, ledus halle	0,72	Dabaszgāze
<b>Kopējā uzstādītā jauda</b>			<b>142,6</b>	

#### 4.2.2. Centralizētā siltumapgāde Ogres rajonā

Centralizēta siltumapgādes sistēma Ogres rajonā eksistē 10 pašvaldībās: Ogrē, Ikšķilē, Ķegumā, Lielvārdē, Birzgales pagastā, Jumpravas pagastā, Ķeipenes pagastā, Lauberes pagastā, Madlienas pagastā un Suntažu pagastā. Pagastu līmenī centralizēta siltumapgāde pieejama vien pagastu ciemu centros. Centralizētās siltumapgādes sistēmu siltuma avotu salīdzinošs raksturojums redzams 4.10.tabulā.

4.10.tabula

#### Ogres rajona siltuma avotu salīdzinošs raksturojums

Atrašanās vieta	Katlu māja	Uzstādītā siltuma jauda, MW	Izmantotais kurināmais	Kurināmā patēriņš 2009.gadā, tūkst.m <sup>3</sup> vai t (koksnei)
Lielvārde	Objekts Raiņa ielā 11a	0,02	Dabaszgāze	8,9
	Objekts Avotu ielā	3,2	Dabaszgāze	645,6
	Mēness ielā	0,1	Dabaszgāze	135550
	Lāčplēša ielā	0,164	Dabaszgāze	35550
	Raiņa ielā 9b	1	Dabaszgāze	409889
	E.Kauliņa ielā	1,86	Dabaszgāze	396,6
	Raiņa ielā 5	0,1	Dabaszgāze	44298
Ogre	Akmentiņu ielā	1,79	Dabaszgāze	270,9
	Brīvības ielā	2,72	Dabaszgāze	465,4
	Celtnieku ielā	0,353	Dabaszgāze	61,0
	Skolas ielā	10,87	Dabaszgāze	1784,9
	Upes ielā	46,74	Dabaszgāze	6138
	Doles ielā	0,206	Dabaszgāze	35,4
	PA „Mālkalne”	0,505	Dabaszgāze	44,2
Birzgales pag.	Birzgales pagasta padomes katlu māja	0,9	Malka	1313,0
Ķeipenes pag.	Ķeipenes pagasta padomes katlu māja	1,38	Granulas Malka	242,5 303,7

Atrašanās vieta	Katlu māja	Uzstādītā siltuma jauda, MW	Izmantotais kurināmais	Kurināmā patēriņš 2009.gadā, tūkst.m <sup>3</sup> vai t (koksnei)
Jumpravas pag.	PA „Lomaņi”	2,25	Šķelda	3590,4
Lauberes pag.	Lauberes pagasta padomes katlu māja	2	Malka	1322
Iksšķile	PA „Līvi”	5,14	Dabaspāze	988,3
Madlienas pag.	PU „Abza”	2,74	Šķelda Malka	2671 496
Suntažu pag.	PU „Rosme”	1,05	Šķelda	1584
Ķegums	AS „Latvenergo”, Ķeguma HES KM	4,0	Šķelda	3146,59

Kā redzams no 4.10.tabulas datiem, centralizētajā siltumapgādē kā kurināmo pamatā izmanto dabaspāzi, dažviet arī dažādus kurināmās koksnes veidus – malku, šķeldu, granulas, kā arī skaidas.

#### 4.2.3. Ogres rajona energoapgādes sistēmas optimizācija

Kopā optimizācijas modelī tiek ievadīti dati par 57 Ogres rajonā esošām iekārtām. Iekārtu raksturojums redzams 4.9.tabulā.

Ogres rajona energoapgādes sistēmas optimizācijas modelī izdarīti šādi pieņēmumi:

- CO<sub>2</sub> emisijas faktors uz saražoto enerģiju:
  - koksnei  $R_{CO_2} = 0 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$ ,
  - dabaspāzei  $R_{CO_2} = 0,229 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$ ,
  - dīzeļdegvielai  $R_{CO_2} = 0,299 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$ ,
  - oglēm  $R_{CO_2} = 0,443 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$ ;
- darba stundu skaits  $\tau = 5000 \text{ h/gadā}$ ;
- CO<sub>2</sub> samazinājuma izmaksu efektivitāte  $\xi_{ef.i}$  tiek izteikta ar formulā (3.19) aprakstīto sakarību.

Tehnoloģiskie aprēķini veikti visām 57 iekārtām, aprēķinot saražoto enerģijas daudzumu un faktisko CO<sub>2</sub> gada emisiju no katras iekārtas. Tehnoloģisko aprēķinu rezultāti parādīti 4.10.tabulā.

Klimata aprēķinu blokā optimizācijas modelēšanā tiek izmantotas līmeņatzīmju vērtības:  $L_{CO_2} = 0,1 \div 0,225$  ar soli 0,025.

Ekonomisko aprēķinu blokā ieņēmumi par emisiju samazinājumu rēķināti pie nodokļa likmēm  $\xi_{nod.i} = 7, 10, 15$  un  $20 \text{ Ls/tCO}_2$ .

4.10.tabula

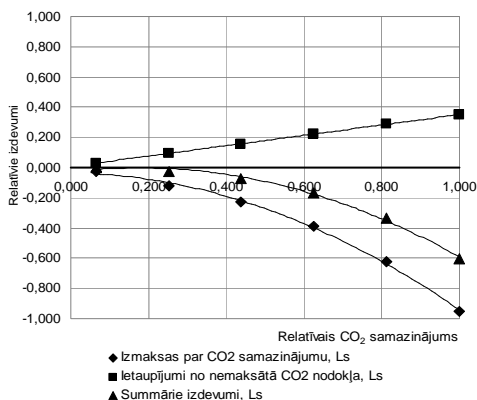
## Tehnoloģisko aprēķinu rezultāti Ogres rajona energosistēmas optimizācijas modelī

Iekārta <i>i</i>	Saražotā enerģija $p_i$ , MWh	Faktiskā emisija $\overline{E}_{CO_2,i}$ , tCO <sub>2</sub>
SIA „Akrons”	8250	0
SIA „Business Park Ogre”	4950	1134
SIA „D&F”	1485	340
SIA „Elektrobizness” koģenerācijas iekārta	18550	4250
SIA „Fazer maiznīcas”	13865	3177
SIA „Hanzas elektronika”	2500	573
AS „Jauda-Koks”	7500	0
Katastrofu medicīnas centra katlu māja	700	0
SIA „Kego” koģenerācijas stacija	2500	573
SIA „KP Tehnoloģijas”	62100	14229
AS „Latvijas Gāze”, Ogres iecirknis	2090	479
Ogres PA „Mālkalne” KM	2525	579
Ogres PA „Mālkalne” KM Akmentiņu ielā	8950	2051
Ogres PA „Mālkalne” KM Brīvības ielā	13600	3116
Ogres PA „Mālkalne” KM Celtnieku ielā	1765	404
Ogres PA „Mālkalne” KM Skolas ielā	54350	12453
Ogres PA „Mālkalne” KM Upes ielā	233700	53547
Ogres PA „Mālkalne” KM Doles ielā	1030	236
SIA „Ogres Jumis”	1570	360
SIA „Ogres Jumis”, lielveikals „Pārogre”	3850	882
SIA „Ogres Prestižs”, tirdzniecības centrs	11400	2612
Ogres rajona slimnīcas ambulatorās nodaļas KM	2075	475
Ogres rajona slimnīcas katlu māja	4500	0
Ogres rajona slimnīcas katlu māja	4970	1139
Ogres rajona slimnīcas katlu māja Turkalnes ielā	3000	0
SIA „Ring Baltic”	900	206
SIA „Texoblock”	51950	11903
SIA „Tipogrāfija Ogrē”	1000	0
SIA „TMMetal Baltic”	1800	539
SIA „Lielvārdes Remte”, Raiņa ielā 11a	100	23
PU „Abza”	13700	0
Birzgales pagasta padomes katlu māja	4500	0
SIA „Burtnieks-A”	1250	0
Tuberkulozes un plaušu slimību filiāle „Ceplīši”	3000	1328
Tuberkulozes un plaušu slimību filiāle „Ceplīši”	1000	0
E.Kauliņa Lielvārdes vidusskola	2000	458
SIA „Galotne”, kokapstrāde	11850	0
SIA „Graužupe”	750	0
Ķeipenes pagasta padome	6900	0
Ikšķiles novada pašvaldības aģentūras „Līvi” KM	25700	5889
Jumpravas pašvaldības aģentūras KM „Lomaņi”	11250	0
SIA „Lāčplēsis ZF”	2250	516
AS „Latvenergo”, Ķeguma HES katlu māja	20000	0
AS „Latvenergo”, maģistrālais kabeļu mezgls	1050	241

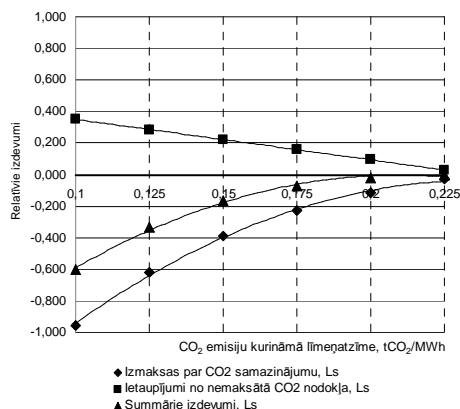
Iekārta $i$	Saražotā enerģija $p_i$ , MWh	Faktiskā emisija $\overline{E}_{CO_2i}$ , tCO <sub>2</sub>
Lauberes pagasta padomes katlu māja	10000	0
SIA „Lielvārdes meliorācija”	750	0
Lielvārdes pamatskola	1740	399
SIA „Lielvārdes Remte” katlu māja	16120	3694
SIA „Lielvārdes Remte” objekts Avotu ielā	16000	3666
SIA „Magrens”, kokapstrāde	1000	0
Nacionālo Bruņoto gaisa spēku Gaisa štābs	5200	2301
Ogres Meža tehnikums	4500	1031
SIA „OSC”	1000	229
Pašvaldības uzņēmums „Rosme”	5250	0
SIA „Vecpīrāgi”	11400	3412
SIA „Vidzemes ledus”, ledus halle „Vidzeme”	3600	825

#### 4.2.3.1.1.scenārijs. CO<sub>2</sub> nodokļa likme $\xi_{nod.i} = 7 \text{ Ls/tCO}_2$

Pie CO<sub>2</sub> nodokļa likmes 7 Ls/tCO<sub>2</sub> izmaksas, ietaupījumi un summārie izdevumi pie katras no izvēlētajām CO<sub>2</sub> emisijas faktora samazinājuma līmeņatzīmes vērtībām ir redzami 4.13. un 4.14.attēlos.



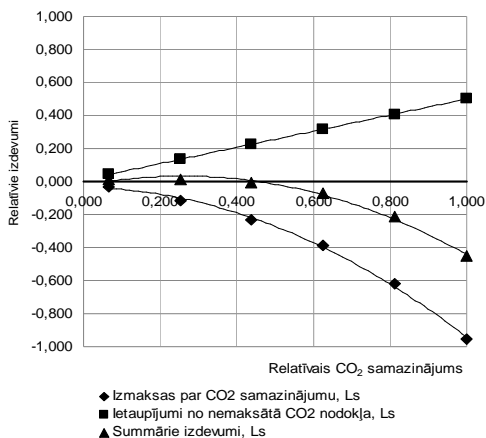
4.13.att. Pirmā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> samazinājuma



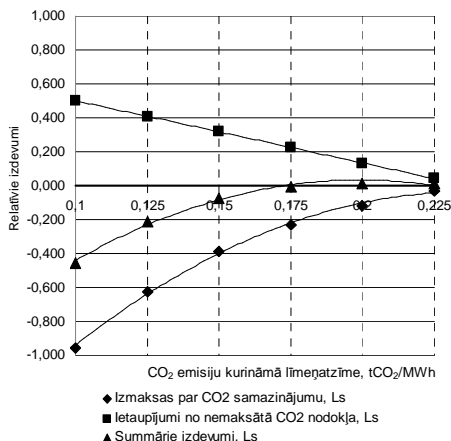
4.14.att. Pirmā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no līmeņatzīmēm

#### 4.2.3.2.2.scenārijs. CO<sub>2</sub> nodokļa likme $\xi_{nod.i} = 10 \text{ Ls/tCO}_2$

Pie CO<sub>2</sub> nodokļa likmes 10 Ls/tCO<sub>2</sub> izmaksas, ietaupījumi un summārie izdevumi pie katras no izvēlētajām CO<sub>2</sub> emisijas faktora samazinājuma līmeņatzīmes vērtībām ir redzami 4.15. un 4.16.attēlos.



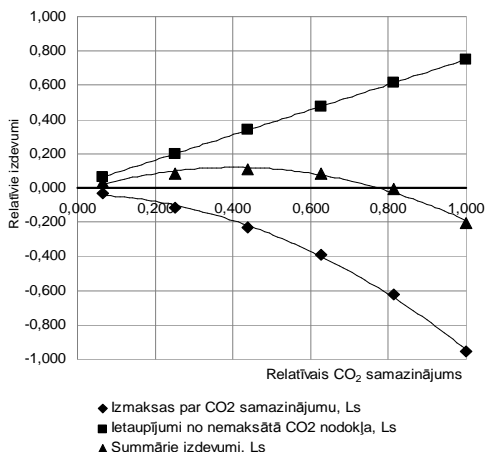
4.15.att. Otrā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> samazinājuma



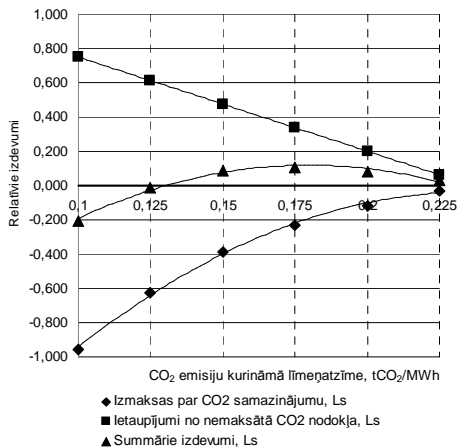
4.16.att. Otrā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no līmeņatzīmēm

#### 4.2.3.3.scenārijs. CO<sub>2</sub> nodokļa likme $\xi_{nod.i} = 15 \text{ Ls/tCO}_2$

Pie CO<sub>2</sub> nodokļa likmes 15 Ls/tCO<sub>2</sub> izmaksas, ietaupījumi un summārie izdevumi pie katras no izvēlētajām CO<sub>2</sub> emisijas faktora samazinājuma līmeņatzīmēs vērtībām ir redzami 4.17 un 4.18.attēlos.



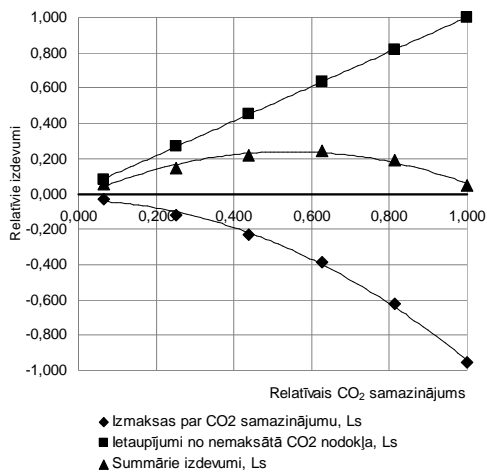
4.17.att. Trešā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> samazinājuma



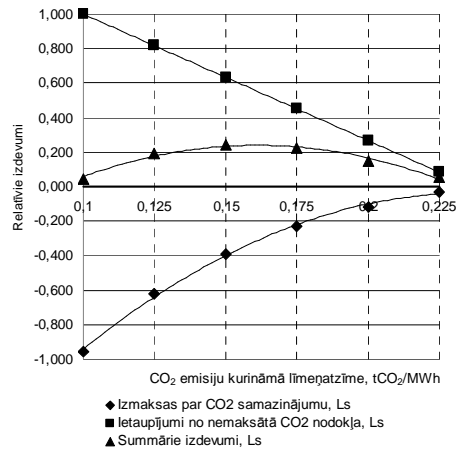
4.18.att. Trešā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no līmeņatzīmēm

#### 4.2.3.4.4.scenārijs. CO<sub>2</sub> nodokļa likme $\xi_{nod.i} = 20 \text{ Ls/tCO}_2$

Pie CO<sub>2</sub> nodokļa likmes 20 Ls/tCO<sub>2</sub> izmaksas, ietaupījumi un summārie izdevumi pie katras no izvēlētajām CO<sub>2</sub> emisijas faktora samazinājuma līmeņatzīmes vērtībām ir redzami 4.19. un 4.20.attēlos.

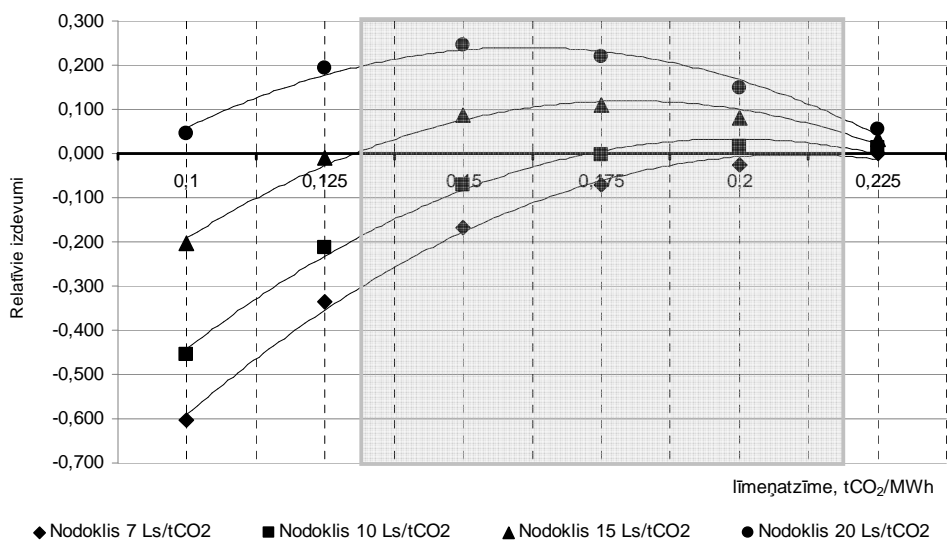


4.19.att. Ceturtā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no relatīvā CO<sub>2</sub> samazinājuma



4.20.att. Ceturtā scenārija ekonomiskie rādītāji atkarībā no līmeņatzīmēm

Summārās izmaksas pie dažādām nodokļa likmēm atkarībā no līmeņatzīmes vērtības ir apkopotas 4.21.attēlā.



4.21.att. Summāro izmaksu pie dažādām nodokļa likmēm izmaiņas atkarībā no līmeņatzīmes vērtības

Ogres rajona siltuma avoti atšķiras no Limbažu rajona siltuma avotiem ar to, ka tajos:

- vairāk izmanto fosilo kurināmo – dabasgāzi, dīzeļdegvielu un ogles;
- ir lielākas uzstādīto iekārtu jaudas (līdz 46,7 MW Ogres PA „Mālkalne” katlu mājā).

Tas nozīmē, ka, veicot CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma pasākumus rajonā, ir lielāks emisiju samazinājuma apjoms un tas svārstās avotos no 200 tCO<sub>2</sub> līdz 54000 tCO<sub>2</sub>. Pieaugot emisiju samazinājumam, pieaug arī izmaksu efektivitāte. Kā redzams 3.13.attēlā, avotu CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma apjomiem atbilstošās izmaksu emisijas mainās no 5,75 Ls/tCO<sub>2</sub> līdz 50 Ls/tCO<sub>2</sub>. Izmaksu izmaiņu raksturs ir izteikti nelineārs.

Ogres rajona ieņēmumi un izmaksas par emisiju samazinājumu rēķināti četriem scenārijiem, kuri atšķiras ar nodokļa likmi un atbilst vērtībām 7, 10, 15 un 20 Ls/tCO<sub>2</sub>. Aprēķinu rezultāti relatīvu CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu un ieņēmumu/izmaksu veidā apkopoti 4.11.–4.14.tabulā un parādīti grafiski 4.13.–4.20.attēlā. Scenāriju izmaksas pie dažādām nodokļa likmēm apkopojošs grafiks redzams 4.21.attēlā.

Analizējot apkopojošā grafika līknes 4.21.attēlā, redzams, ka Ogres rajona uzņēmumos kopumā realizētie pasākumi var būt ar zaudējumiem, ekonomiski neitrāli vai nodrošināt ienākumus. Tas nozīmē, ka eksistē noteikta robežvērtība, kuras gadījumā rajons kopumā necieš zaudējumus, lai arī negūst ienākumus, samazinot CO<sub>2</sub> emisijas. Šīs vērtības darbā identificētas ar līmeņatzīmju palīdzību.

Aplūkoto Ogres rajona scenāriju ekonomisko aprēķinu salīdzinājums un analīze ļauj secināt, ka:

- viszemākās nodokļa likmes gadījumā (7 Ls/tCO<sub>2</sub>), samazinot CO<sub>2</sub> emisijas, nevar gūt ienākumus. Tikai augstu līmeņatzīmju (mazu samazinājumu) gadījumā var izvairīties no zaudējumiem. Ekonomiski neitrāla situācija vērojama, ja līmeņatzīmju vērtība ir 0,21 tCO<sub>2</sub>/MWh un augstāka;
- pieaugot nodokļa likmei, rajona avotos samazinot emisijas, var gūt ienākumus. Emisiju samazinājuma apjomi, kuros panāk pozitīvu ekonomisko efektu, pieaugot nodokļa likmei, pieaug. Piemēram, ja nodokļa likme ir 10 Ls/tCO<sub>2</sub>, pozitīvs ekonomiskais efekts ir vērojams līmeņatzīmju robežās no 0,175 tCO<sub>2</sub>/MWh līdz 0,225 tCO<sub>2</sub>/MWh. Nodokļa likmes 20 Ls/tCO<sub>2</sub> gadījumā visā aplūkotā emisiju samazinājuma diapazonā ir vērojami rajona ieņēmumi;
- rajona ieņēmumu izmaiņām atkarībā no izvēlētās līmeņatzīmes vērtības ir nelineārs raksturs ar izteiktu maksimumu (optimālo vērtību). Salīdzinot aplūkotos scenārijus, ir redzams, ka, pieaugot nodokļa likmei, ieņēmumu maksimālās vērtības pārvietojas zemāku līmeņatzīmju vērtību (lielāku emisiju samazinājuma) virzienā. Piemēram, nodokļa likmes 10 Ls/tCO<sub>2</sub> gadījumā optimums atbilst 0,2 tCO<sub>2</sub>/MWh līmeņatzīmei, bet, ja nodokļa likme ir 20 Ls/tCO<sub>2</sub>, tad ieņēmumu optimums ir 0,15 tCO<sub>2</sub>/MWh. Ir vērojams, ka lielākas nodokļa likmes gadījumā ekonomiski pamatoti kļūst lielāka apjoma CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumi;

- piedāvātās optimizācijas metodikas lietojums Ogres rajona uzņēmumu CO<sub>2</sub> samazinājuma ekonomiskam novērtējumam liecina, ka ar tās palīdzību var noteikt samazinājuma optimālos scenārijus.

## SECINĀJUMI

Eiropas Savienība ar klimata un enerģijas paketi un to pavadošo normatīvo regulējumu realizē aktīvu enerģētikas politiku, uzstādot ambiciozus mērķus siltumnīcefekta gāzu emisiju apjomu samazināšanai un atjaunojamās enerģijas īpatsvara palielināšanai bruto enerģijas galapatēriņā. Latvija kā ES dalībvalsts ir uzņēmusies daļu saistību un veidojusi nacionālo enerģētikas politiku, kas paredz formālu mērķu izpildi. Tomēr pēdējos gados Rīgas Tehniskās universitātes speciālistu veiktie pētījumi parāda, ka, realizējot esošajā enerģētikas politikā paredzētos pasākumus, ne indikatīvais energoefektivitātes mērķis, ne atjaunojamo energoresursu mērķis netiks sasniegts. Lai šo situāciju labotu, ir jāpārskata esošā enerģētikas politika un jāievieš jauni, efektīvāki politikas instrumenti.

Latvijā līdz šim nebija veikta atjaunojamo energoresursu īpatsvara pieauguma modelēšana centralizētās siltumapgādes sistēmās un netika izvērtēta dažādu politikas instrumentu ietekme uz kurināmā struktūras izmaiņām centralizētās siltumapgādes sektorā.

Promocijas darbā veiktā siltumapgādes sektora kurināmā sadalījuma modelēšana parādīja, ka, izmantojot katru no trim apskatītajiem politikas instrumentiem atsevišķi, vislielāko ietekmi uz kurināmās koksnes īpatsvara palielināšanu dod politikas instruments, kas paredz subsīdijas dabasgāzes apkures iekārtu nomaiņai ar kurināmās koksnes iekārtām, tomēr pieaugums nav liels, salīdzinot ar gadījumu, kad kurināmās koksnes atbalstam netiek izmantots neviens politikas instruments. Lai kurināmās koksnes īpatsvars palielinātos straujāk un sasniegtu lielāku īpatsvaru kurināmā struktūrā, nepieciešama vairāku politikas instrumentu mijiedarbība. Īstenojot politikas atbalsta instrumentus, kas paredz subsīdijas iekārtu konversijai un sākotnējus pasākumus ar koksnes izmantošanu saistīto risku novēršanai, iespējams panākt strauju kurināmās koksnes īpatsvara pieaugumu un pilnīgu dominanci kurināmā struktūrā pēc 25 gadiem.

Attiecībā uz siltumenerģijas tarifu 25 gadu laikā modelis prognozē tarifa pieaugumu no dabasgāzes ražotai siltumenerģijai, savukārt no kurināmās koksnes ražotas siltumenerģijas tarifam raksturīga krītoša tendence. Uz kurināmās koksnes enerģijas tarifa samazināšanu visbūtiskāko ietekmi atstāj politikas instruments, kas paredz sākotnējus pasākumus ar kurināmās koksnes lietošanu saistīto risku kompensēšanai sabiedrībā.

Novērtējot modelī iekļauto politikas instrumentu ietekmi uz kurināmās koksnes īpatsvara palielināšanu centralizētās siltumapgādes sistēmās Latvijā, var secināt, ka kurināmās koksnes potenciāls netiek izmantots, jo trūkst mērķtiecīgas, aktīvas un ilgtspējīgas valsts atbalsta politikas kurināmās koksnes izmantošanas veicināšanai. Modelēšanas rezultāti rāda, ka, atrodot iespējas īstenot konkrētus atbalsta politikas instrumentus, kurināmās koksnes īpatsvaru centralizētās siltumapgādes sistēmās ir iespējams būtiski palielināt, tādējādi virzot valsti uz tās atjaunojamo energoresursu politikas mērķu sasniegšanu. Būtiski, ka kurināmās koksnes īpatsvara palielināšanās centralizētās siltumapgādes sistēmās pozitīvi ietekmē arī siltumenerģijas, kas ražota, izmantojot kurināmo koksnī, tarifu.

Latvijas siltumapgādes sektora kurināmā struktūras dinamikas modelēšanas rezultāti parādīja, ka Latvijā ir iespējams iztikt bez dabasgāzes, to aizstājot ar koksni. Ar apskatītajiem politikas instrumentiem ir iespējams nodrošināt, ka jau 2035.gadā Latvijas centralizētās siltumapgādes sistēmās ražotā siltumenerģija 100% tiek iegūta no atjaunojamajiem resursiem – enerģētiskās koksnes.

Ņemot vērā valsts līmeņa enerģētikas politikas izpētes rezultātus un darbā aplūkoto Dānijas pieredzi, kas uzsvēr pasākumu īstenošanas svarīgumu reģionu un pašvaldību līmenī, tika veikta reģionālās energosistēmas optimizācija, vērtējot klimata komponenti, t.i., optimizējot emisiju samazinājumu. Optimizācijas rezultāti rāda, ka, pieaugot nodokļa likmei, palielinās summāro ietaupījumu relatīvā vērtība, kā arī pieaug relatīvais samazinājums, pie kura tiek sasniegts summāro ietaupījumu maksimums. Tas nozīmē, ka, palielinoties nodokļa likmei, kļūst ekonomiski izdevīgi pasākumi, kas saistīti ar lielāku CO<sub>2</sub> samazinājumu. Savukārt, samazinoties nodokļa likmei, līmeņatzīmes vērtība pieaugs.

Veiktā izpēte liecina, ka, izmantojot optimizācijas modeli tehnoloģisko iekārtu grupai, var noteikt:

- CO<sub>2</sub> samazinājuma robežas, kurās pie noteiktās nodokļa likmes samazinājuma izmaksas nodrošina ieņēmumus;
- to CO<sub>2</sub> samazinājumu un nodokļa likmi, pie kuriem ieņēmumi būs maksimāli;
- iekārtām piemērojamo līmeņatzīmju diapazonu, kurā pie noteiktām nodokļa likmēm iekārtu grupa gūs ieņēmumus;
- iekārtu grupai piemērojamo līmeņatzīmi, pie kuras ieņēmumi būs maksimāli.

Optimizācijas metodika tika aprobēta uz divu Latvijas rajonu energosistēmu datiem. Limbažu rajona aprēķinu rezultātu analīze rāda, ka:

- nav ieņēmumu optimuma, jo izmaiņas ir lineāras. Ieņēmumi samazinās, palielinoties rajonam piemērotās līmeņatzīmes vērtībai vai samazinoties CO<sub>2</sub> emisiju sadārdzinājuma vērtībai. Ieņēmumu izmaiņu lineārais raksturs skaidrojams ar lineārām izmaksu efektivitātes izmaiņām;
- visos aplūkotajos scenārijos rajona siltuma avotu kopējie ieņēmumi ir pozitīvi. Pieaugot nodokļa likmei, pieaug rajona ieņēmumi, kas saistīti ar CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu. Pat viszemākās aplūkotās nodokļa likmes 7 Ls/tCO<sub>2</sub> gadījumā ir vērojams pozitīvs ekonomiskais efekts. Tas ir tāpēc, ka izmaksu efektivitāte Limbažu rajona gadījumā ir zemāka par minimālo aplūkoto nodokļa likmi;
- Limbažu rajona avotiem var ekonomiski pamatoti piemērot zemas CO<sub>2</sub> emisiju līmeņatzīmes. Viszemākā analīzē aplūkotā līmeņatzīmes vērtība ir 0,1 tCO<sub>2</sub>/MWh.

Ogres rajona scenāriju ekonomisko aprēķinu salīdzinājums un analīze ļauj secināt, ka:

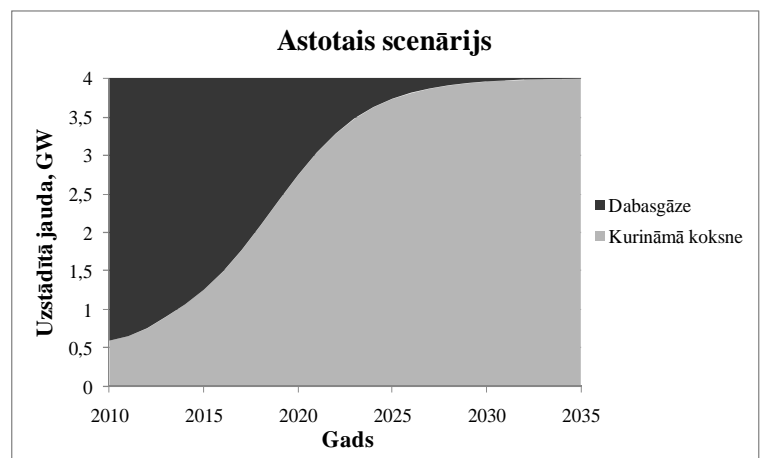
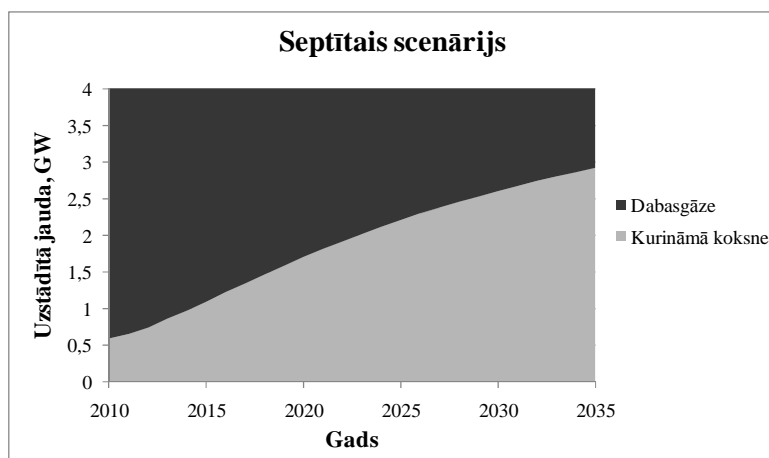
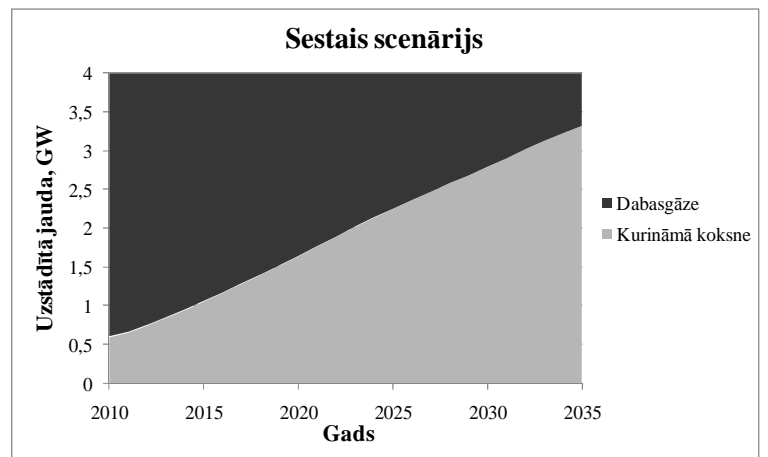
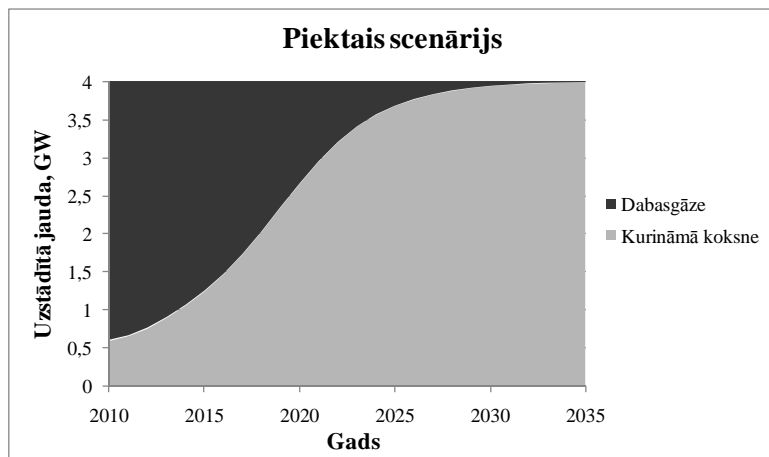
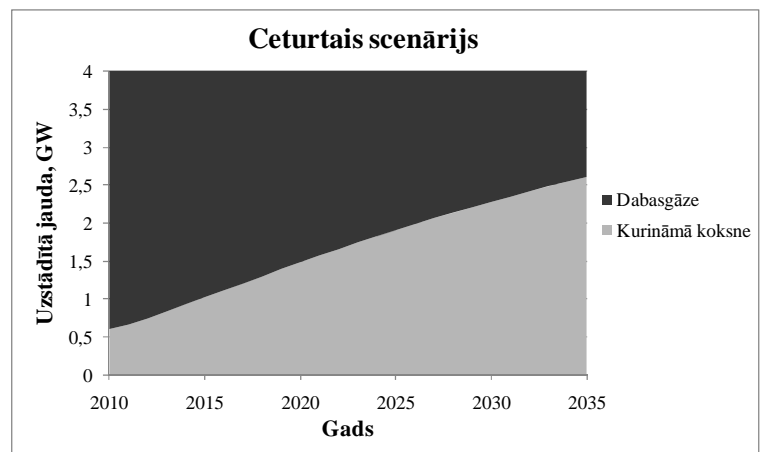
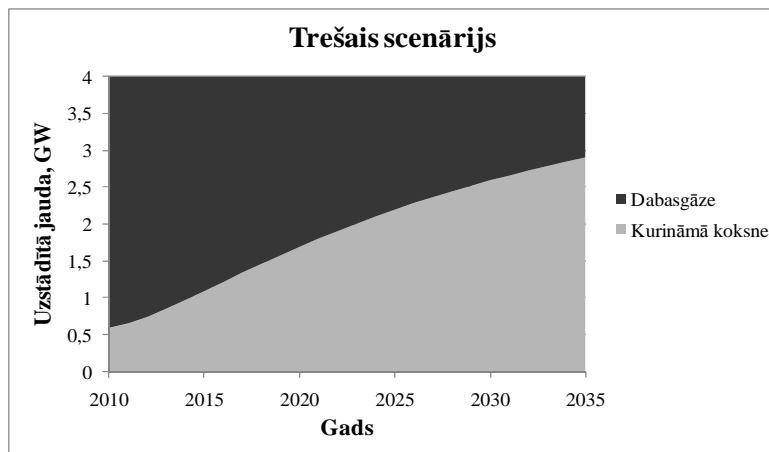
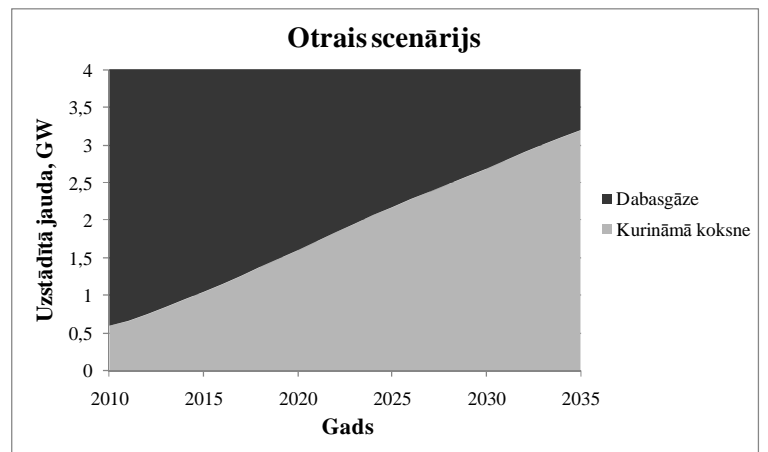
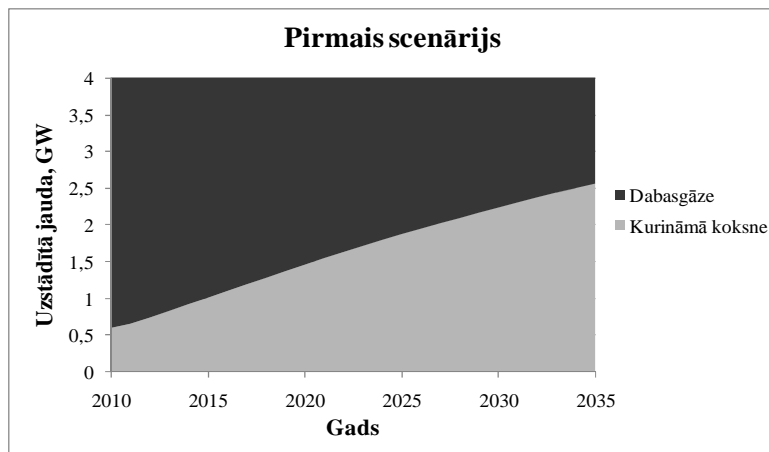
- viszemākās nodokļa likmes gadījumā (7 Ls/tCO<sub>2</sub>), samazinot CO<sub>2</sub> emisijas, nevar gūt ienākumus. Tikai augstu līmeņatzīmju (mazu samazinājumu) gadījumā var izvairīties no zaudējumiem. Ekonomiski

neitrāla situācija vērojama, ja līmeņatzīmju vērtība ir 0,21 tCO<sub>2</sub>/MWh un augstāka;

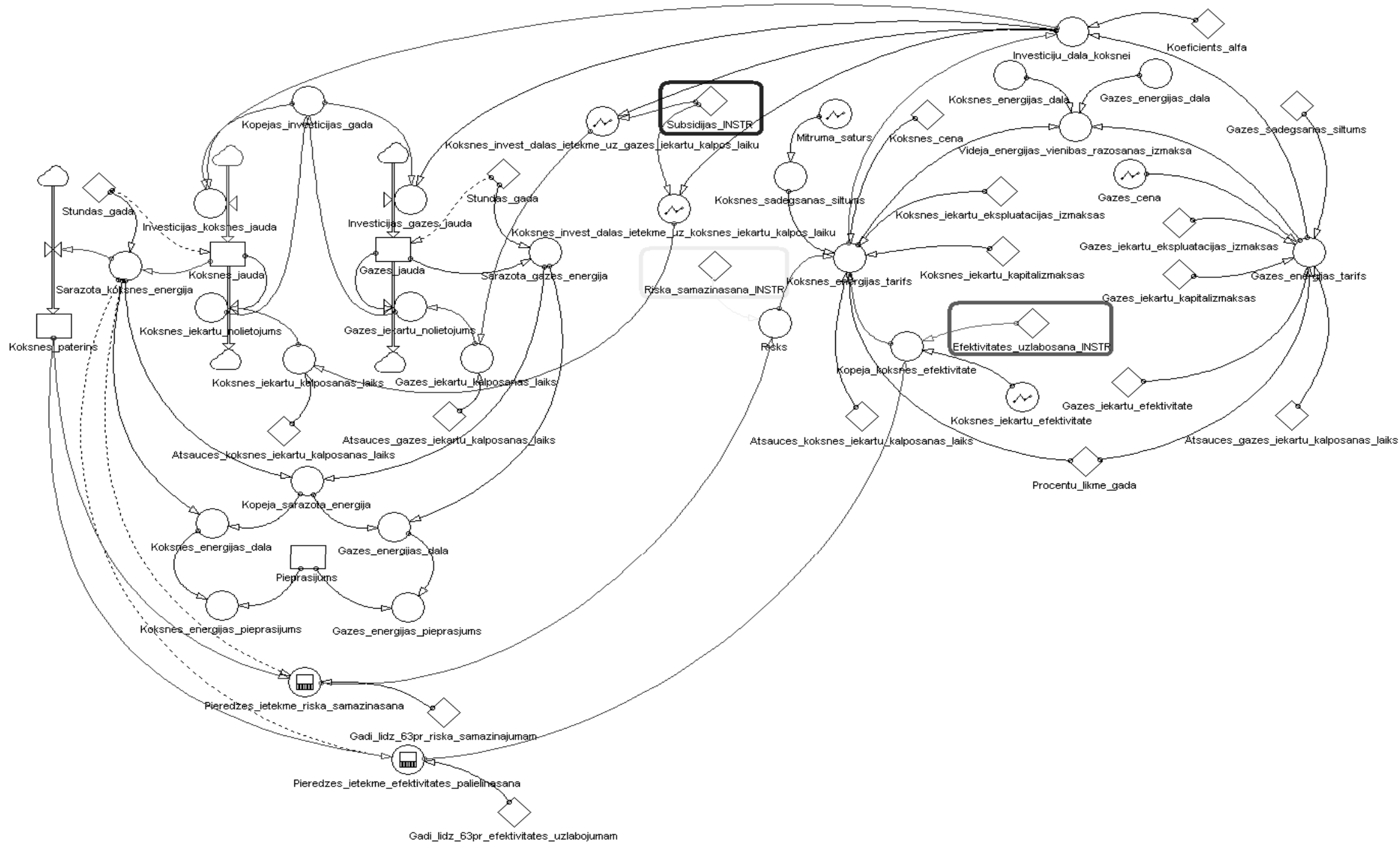
- pieaugot nodokļa likmei, rajona avotos samazinot emisijas, var gūt ienākumus. Emisiju samazinājuma apjomi, kuros panāk pozitīvu ekonomisko efektu, pieaugot nodokļa likmei, pieaug;
- rajona ieņēmumu izmaiņām atkarībā no izvēlētās līmeņatzīmes vērtības ir nelineārs raksturs ar izteiktu maksimumu (optimālo vērtību). Salīdzinot aplūkotos scenārijus, ir redzams, ka, pieaugot nodokļa likmei, ieņēmumu maksimālās vērtības pārvietojas zemāku līmeņatzīmju vērtību (lielāku emisiju samazinājuma) virzienā;
- piedāvātās optimizācijas metodikas lietojums Ogres rajona uzņēmumu CO<sub>2</sub> samazinājuma ekonomiskajam novērtējumam liecina, ka ar tās palīdzību var noteikt samazinājuma optimālos scenārijus.

# **PIELIKUMI**

1.pielikums. Kurināmā struktūras scenāriju salīdzinājums



2.pielikums. Atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanas sistēmu dinamikas modelis



## LITERATŪRA

1. Pachauri, R. K, Reisinger A. eds. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, p 104, 2007;
2. Enerģētikas attīstības pamatnostādnes 2006.–2016.gadam (grozījumi apstiprināti ar MK 2008.gada 8.maija rīkojumu Nr.246): LR politikas plānošanas dokuments // Valsts kancelejas politikas plānošanas dokumentu datu bāze;
3. Enerģētikas likums: LR likums // Latvijas Vēstnesis. – Nr. 273/275 (1334/1336) (1998., 22.septembris);
4. Atjaunojamo energoresursu izmantošanas pamatnostādnes 2006.–2013.gadam (MK 2006.gada 31.oktobra rīkojums Nr.835): LR politikas plānošanas dokuments // Valsts kancelejas politikas plānošanas dokumentu datu bāze;
5. Direktīva 2009/28/EK par atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu: Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva // Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis – Nr.140/16 (2009., 5.jūnijs);
6. Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģija 2030.gadam: LR politikas plānošanas dokuments // Valsts kancelejas politikas plānošanas dokumentu datu bāze;
7. Atjaunojamo energoresursu izmantošanas iespēju izvērtējums Latvijā līdz 2020.gadam: Līgumdarba atskaite/ A.Blumberga, D.Blumberga, G.Bažbauers u.c. – Rīga, VASSI, 2008.g.augusts – oktobris – 130 lpp.;
8. E.Vīgants. Latvijas Atjaunojamās enerģijas rīcības plāns – prezentācija Latvijas 4.Zaļās enerģijas forumā, 2011.gada 13.aprīlī, Zemkopības ministrijā, Rīgā;
9. LR Centrālās statistikas pārvaldes datu bāze – Energobalance, 2009;
10. Latvijas Republikas Pirmais energoefektivitātes rīcības plāns 2008.–2010.gadam (MK 2008.gada 20.maija rīkojums Nr.266): LR politikas plānošanas dokuments // Valsts kancelejas politikas plānošanas dokumentu datu bāze;

11. Direktīva 2002/91/EK par ēku energoefektivitāti: Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva // Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis – Nr.168, 12./2. sēj.;
12. Ēku energoefektivitātes likums: LR likums // Latvijas Vēstnesis. – Nr.43 (4235) (2010., 17.marts);
13. Sistēmdinamika vides inženierzinātņu studentiem. A.Blumbergas red. – RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, Rīga, 2010 – 318 lpp;
14. Assessment and optimisation of renewable energy support schemes in the European electricity market. Final report. OPTRES, February 2007;
15. Action plan for deriving dynamic RES-E policies, 2004;
16. Friedman S. The use of benchmarks to determine emissions additionality in the Clean Development Mechanism. NEDO/GISPRI (eds): CDM workshop - workshop on baseline for CDM 1999; 157-166;
17. Hagler-Bailly Inc. Evaluation of using benchmarks to satisfy the additionality criterion for Joint Implementation projects. Boulder 1998;
18. Michaelowa A. Project-specific, benchmark, top-down approaches for baselines and additionality: a comparison. Presentation for the UNFCCC Technical workshop on Mechanisms, Bonn 1999;
19. Michaelowa A. Baseline setting in the AIJ pilot phase. Bundesumweltministerium, Wuppertal-Institut (eds): Reports on AIJ projects and contributions to the discussion of the Kyoto Mechanisms, Berlin 1999; p.82-93;
20. M.Rošā. CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma mehānismu analīze sadedzināšanas iekārtām Latvijā. Promocijas darbs, 2006;
21. H. Lund, B.V. Mathiesen, Energy system analysis of 100% renewable energy systems – The case of Denmark in years 2030 and 2050, Energy;
22. H. Lund, Choice awareness: the development of technological and institutional choice in the public debate of Danish energy planning, J Environ Policy Planning 2 (2000), p. 249–259

23. H. Lund, Renewable energy strategies for sustainable development, *Energy* 32 (6) (2007), p. 912–919;
24. J. Stenlund, Nilsson, A.Martensson, Municipal energy-planning and development of local energy-systems, *Applied Energy*, Regional energy planning through SWOT analysis and strategic planning tools. Impact on renewables development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*;
25. Karl Sperling, Frede Hvelplund, Brian Vad Mathiesen, Centralisation and decentralisation in strategic municipal energy planning in Denmark, *Energy Policy*;
26. H. Lund, B.Moller, B.V. Mathiesen, A. Dyrelund, The role of district heating in future renewable energy systems, *Energy*;
27. Jakubes J., Helenova V. *Enviros. Guidelines for Planning Decentralized Energy Actions Within European Cohesion Policies. Project Energy 4 Cohesion. Deliverable 3.1., 2006, p. 24;*
28. Terrados J., Almonacid G., Hontoria L. *Regional Energy Planning Through SWOT Analysis and Strategic Planning Tools. Impact on Renewables Development. University of Jaen, Spain/ 2005, Elsevier. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007) 1275 – 1287;*
29. Indijas Zinātnes un tehnoloģijas ministrijas mājas lapa/ Internets - [http://www.nrdms.gov.in/energy\\_planning.asp](http://www.nrdms.gov.in/energy_planning.asp);
30. T.V. Ramachandra. RIEP: Regional integrated energy plan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, Issue 2, February 2009, Pages 285-317;
31. R.B. Hiremath, S. Shikha, N.H. Ravindranath. Decentralized energy planning; modeling and application – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 11, Issue 5, June 2007, p. 729-752;
32. Nakata T. *Energy – economic models and the environment // Progress in Energy and Combustion Science. – Nr.30 (2004), p. 417–475;*

33. Berglund C., Soderholm P. Modeling technical change in energy system analysis: analyzing the introduction of learning-by-doing in bottom-up energy models // *Energy Policy* – Nr.34 (2006), p. 1344–1356;
34. Scaramucci J. A., Perin C., Pulino P. Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: a computable general equilibrium model // *Energy Policy* – Nr.34 (2006), p. 986–992;
35. Arjan Lejour, Hugo Rojas-Romagosa, Gerard Verweij. Opening services markets within Europe: Modelling foreign establishments in a CGE framework. *Economic Modelling*, Volume 25, Issue 5, September 2008, p. 1022–1039;
36. Sergey Paltsev, John M. Reilly, Henry D. Jacoby, Jennifer F. Morris. The cost of climate policy in the United States. *Energy Economics*, Volume 31, Supplement 2, December 2009, p. S235-S243;
37. Frolova L. Optimizācijas teorija. Lekciju izdales materiāls 2004./2005.akad.gadam. 5.izdevums. – Rīga: SIA Izglītības soļi, 2004. – 120 lpp;
38. Krastiņš O. Ekonomterija. Mācību grāmata augstskolām. Rīga: Latvijas Republikas Centrālā statistikas pārvalde, 2003. – 201 lpp;
39. Zhao Y., Shang J., Chen Ch. u.c. Simulation and evaluation on the eco-industrial system of Changchun economic and technological development zone, China // *Environmental Monitoring and Assessment* – Sējums139 (2008), p. 339–349;
40. Meadows D. H. The Unavoidable A Priori. Elements of the System Dynamics Method, ed. J. Randers. – Waltham: Pegasus Communications, 1980. – p. 35;
41. Martin L. A. The First Step. System Dynamics in Education Project. – Massachusetts Institute of Technology, 1997. – p. 59;
42. Radzicki J. M., Taylor R. A. Introduction to System Dynamics. A Systems Approach to Understanding Complex Policy Issues. – U.S. Department of Energy's, 1997;
43. David Wheat. System Dynamics Workshop. Rīgas Tehniskā universitāte, 2009.g. 17.–19.septembris: prezentāciju materiāli;

44. Keating E. K. Everything You Ever Wanted to Know about How to Develop A System Dynamics Model, But Were Afraid to Ask. – Cambridge, Sloan School of Management. – p. 50;
45. Groff L., Shaffer R. Complex adaptive systems and futures thinking: theories, applications, and methods // Futures Research Quarterly. – Nr.2 (Vol.24), 2008, p. 5–38;
46. Shreckengost R. C. Dynamic simulation models: How valid are they? – 1984. – p. 13; Forrester J.W., Senge P. M. Tests for building confidence in System Dynamics models. – Cambridge, MIT System Dynamics Group, 1979. – p. 40;
47. Centrālā statistikas pārvalde. Enerģētika. Energobalance. Pārveidošanas sektors. Vispārējās lietošanas katlumājas un koģenerācijas stacijas;
48. U.S. Energy Information Administration, Independent Statistics and Analysis. Forecasts & Analysis. Natural Gas Prices. Annual Energy Outlook // <http://www.eia.doe.gov/oiaf/forecasting.html>;
49. AS “Latvijas Gāze” prognozes par dabasgāzes tarifu izmaiņām 2010.gadā. Dabasgāzes tarifu izmaiņas atkarībā no patēriņa grupas un datuma / Internets - [http://www.lg.lv/uploads/filedir/File/Jaunumi/Tarifu\\_prognozes.pdf](http://www.lg.lv/uploads/filedir/File/Jaunumi/Tarifu_prognozes.pdf);
50. Vashishthaa S., Ramachandranb M. Multicriteria evaluation of demand side management (DSM) implementation strategies in the Indian power sector. Energy 2006; 31:2210–2225;
51. Ove Arup and Partners. Planning for Renewable Energy a Companion Guide to PPS22. Office of the Deputy Prime Minister UK: Queen’s Printer and Controller of Her Majesty’s Stationery Office, 2004;
52. Yang M. Demand side management in Nepal. Energy 31 (2006) p. 2677–2698;
53. Foo D.C.Y, Tan R.R., Ng D.K.S. Carbon and footprint-constrained energy planning using cascade analysis technique. Energy 33 (2008) p. 1480–1488;
54. Fang Y., Zeng Y. Balancing energy and environment: The effect and perspective of management instruments in China. Energy 32 (2007) p. 2247–2261;

55. Atjaunojamo energoresursu potenciāls Latvijā. Atjaunojamā enerģija un tās attīstības iespējas nākotnē, BEMA, 2008. – 62 lpp.;
56. Faktiskās enerģētiskās koksnes plūsmas apzināšana, RTU, VASSI, 2008. – 132 lpp.;
57. Enerģētiskās koksnes plūsmas teorētiskā un eksperimentālā modeļa izstrāde un produktu kvalitātes prasību izvērtējums, MEKA, 2008. – 53 lpp.;
58. Biomasas izmantošanas ilgtspējības kritēriju pielietošana un pasākumu izstrāde, Vides projekti, 2009. – 174 lpp.;
59. Bioenerģijas potenciāls Latvijā, kas iegūstams bez papildus slodzes uz vidi, SIA „Arhitektūras konsultācijas”, 2006. – 106 lpp.;
60. Atjaunojamo energoresursu izmantošanas pamatnostādnes 2006.-2013.gadam Ekonomikas Ministrija, 2005;
61. Lauksaimniecības atkritumu enerģētiskās vērtības un izmantošanas perspektīvu analīze un alternatīvo kurināmo izveide, FEI, 2006. – 77 lpp.;
62. No atjaunojamiem resursiem iegūstama kurināmā (ARIK) izmantošanas intensifikācija Latvijā, SIA “E& IC”, 2006. – 117 lpp.;
63. Latvijas atjaunojamo energoresursu izmantošanas un energoefektivitātes paaugstināšanas modelis un rīcības plāns: Līgumdarba atskaite/ A.Blumberga, G.Bažbauers D.Blumberga, u.c. – Rīga, VASSI, 2009.g.janvāris – jūlijs – 246 lpp.;
64. P.M. Pardalos, M.G.C.Resende. Handbook of Applied Optimization. Oxford University Press, 2002;
65. T.Ostromsky, Z.Zlatev. Parallel and GRID implementation of a large scale air pollution model. Proceedings of the 6th international conference in Numerical methods and application, August 20–24, Borvets, Bulgaria, 2006;
66. T.Ladics. The analysis of the splitting error for advection – reaction problems in air pollution models. Journal of the Hungarian Meteorological service. Vol. 109, No.3, 2005, pp. 143–157.;
67. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūras datu bāze „Nr.2-Gaiss“ / Internets - <http://vdc2.vdc.lv:8998/gaiss.html>;

68. Līmeņatzīmes metode siltumnīcefekta gāzu emisiju ierobežošanai. M.Rošā, I.Dzene, C.Rochas u.c., VASSI, Rīga, 2008.g., 66 lpp;
69. Informācija par Skultes ostu/ Internets - <http://www.skulteport.lv>;
70. Informācija par Salacgrīvas ostu/ Internets - <http://www.salacgrivaport.lv/salacgrivas-osta/>
71. SIA “Ekodoma” Rojas pagasta katlu mājas energoaudits. Rīga, 2003.g. 34 lpp.;
72. SIA “Ekodoma” Allažu pamatskolas siltumapgādes sistēmas energoaudits. Rīga, 2003.g. 42 lpp.