

# Latvijas energosektora sistēmdinamikas prognozēšanas modeļa izstrāde

Valerijs Skribans, Riga Technical university

**Kopsavilkums** Viena no Latvijas ekonomikas problēmām ir saistīta ar enerģētikas sektoru. Risināt sektora problēmas ir nepieciešamas vispusīgi, gan enerģijas ražošanā, gan patēriņā. To palīdz kopējās sistēmas modelis, kurš ir izstrādāts, izmantojot sistēmdinamikas metodi. Raksta mērķis ir izstrādāt Latvijas enerģijas sektora sistēmdinamikas modeli. Raksta uzdevumi: atspoguļot modeļa blokus, pamatot modeļa pieņēmumus un iekļautās ekonomiskās sakarības; atspoguļot modeļa darbību tautsaimniecības kontekstā.

**Atslēgas vārdi:** energoefektivitāte, patēriņš, sistēmdinamika, modeļošana un imitācija, ēku siltināšana un renovācija, CO<sub>2</sub> emisijas un kvotas.

## I. IEVADS

Viena no aktuālākajām Latvijas tautsaimniecības problēmām ir saistīta ar enerģētikas sektoru. Enerģētikas sektora problēmas ir aktuālas visā pasaulē. Kopā ar pieaugošo enerģijas patēriņu veidojas tās ražošanas un vides piesārņojuma problēmas. Samazinās primāro neatjaunojamo energoresursu krājumi. Tāpēc šīs problēmas ir aktuālas visās valstīs, bet katrai valstij ir sava specifika enerģijas ražošanā un izmantošanā. Latvijā, salīdzinot ar pārējām ES valstīm, ir liels hidroenerģijas resursu īpatsvars enerģijas ražošanā. Salīdzinot enerģijas patēriņu, lielākā īpatnība ir saistīta ar maz efektīvo siltumenerģijas patēriņu mājāsaimniecībās, kas saistīts ar Latvijā esošo ēku vājo siltumizolāciju.

Saprotams, ka risināt enerģijas sektora problēmas ir nepieciešams vispusīgi, gan enerģijas ražošanā, gan patēriņā. Tāpēc ir nepieciešams veidot enerģijas sektora kopējo sistēmas modeli, lai būtu iespējams novērtēt ne tikai enerģijas patēriņa pieaugumu un to tieši ietekmējošos faktorus, bet arī sektora izmaiņas, ņemot vērā efektivitātes celšanu un daudzpusīgas atgriezeniskās saites. Visbiežāk enerģētikas sektoru Latvijā prognozē, izmantojot laika rindu prognozēšanas jeb trenda metodes. Diemžēl šīs metodes ņem vērā tikai vēsturiskos trendus, kuri varētu mainīties nākotnē. Līdz ar to šīs metodes der tikai īslaicīgai sektora prognozēšanai (līdz pusotram gadam). Labāka kvalitāte un nedaudz ilgāks prognozēšanas periods ir regresijas metodēm. Regresijas metodes veido prognozes, balstoties uz reāli ietekmējošajiem faktoriem, izmantojot statistiski noteiktas sakarības. Ar laiku vai ievērojot ārējās vides ietekmi, šīs sakarības varētu mainīties, ko neatspoguļo regresijas metodes. Rakstā atspoguļotais modelis ir izstrādāts, izmantojot sistēmdinamikas metodi. Šī metode tiek izvēlēta, tāpēc, ka tā ļauj novērt daudzpusīgas cēloņu - sekas sakarības, tostarp atgriezeniskās sakarības, kuras darbojas neatkarīgi no

apstākļiem, pielāgojot sistēmas uzvedību ārējās vides izmaiņām.

Izejot no minētās tēmas aktualitātes un izvēlētas metodes, raksta mērķis ir izstrādāt Latvijas enerģijas sektora sistēmdinamikas modeli. Mērķa sasniegšanai ir izvirzīti sekojoši uzdevumi:

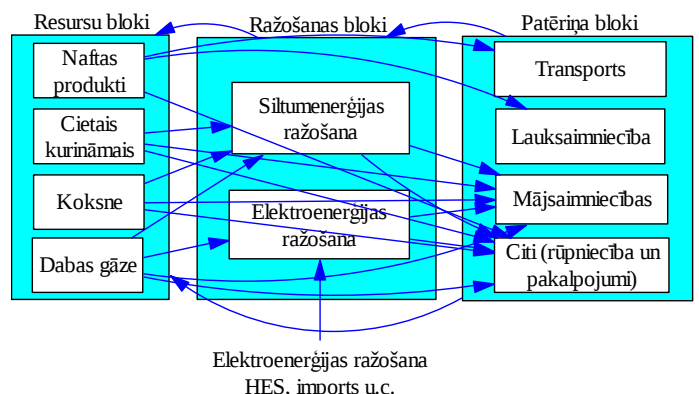
- atspoguļot modeļa blokus, pamatot modeļa pieņēmumus un iekļautās ekonomiskās sakarības;
- atspoguļot modeļa darbību tautsaimniecības kontekstā.

Rakstā analizējamie rādītāji ir ierobežoti ar Latvijas tautsaimniecību. Visi pārējie globāli ietekmējošie faktori – tādi kā energoresursu cenas, klimata izmaiņas, vidējā gaisa temperatūra, rakstā netiek apskatīti.

Rakstā atspoguļotais modelis ir izstrādāts pateicoties sadarbībai ar BO „Būvniecības attīstības stratēģiskā partnerība”. Pēc BASP pasūtījuma tiek izstrādāts būvniecības attīstības sistēmdinamikas prognozēšanas modelis, novērtēta ēku energoefektivitātes paaugstināšanas programmas ietekme uz Latvijas tautsaimniecību. Izmantojot lietišķā projekta gaitā iegūtos materiālus un darba pieredzi, tiek izstrādāts Latvijas enerģijas sektora sistēmdinamikas modelis. Modelis ļauj novērtēt valsts energoefektivitātes celšanas programmas efektus, prognozēt enerģijas sektora attīstību Latvijā un tās ietekmi uz tautsaimniecību kopumā.

## II. LATVIJAS ENERĢIJAS SEKTORA SISTĒMDINAMIKAS MODEĻA KOPĒJĀ SHĒMA

Latvijas enerģijas sektora modelis sastāv no dažādiem apakšmodeļiem (blokiem). To kopējā shēma un savstarpējās saistības ir atspoguļotas 1. attēlā.



1. att. Latvijas enerģijas sektora sistēmdinamikas modeļa kopējā shēma.

Ka redzams 1. attēlā, enerģijas sektora savstarpējie sakari ir plaši un daudzpusīgi. Modeļa bloki sagrupēti trīs daļās: resursu, ražošanas un patēriņa grupās. Atsevišķu vietu ieņem elektroenerģijas ražošana HES, elektroenerģijas tīrais imports un tam līdzīgie enerģijas iegūšanas veidi. Resursu bloku veido

galvenie primārie enerģijas resursu bloki: naftas produktu, cietā kurināmā, koksnes un gāzes resursu bloki. Primārie enerģijas resursi tiek pārstrādāti citas enerģijas veidos, t.i. siltumenerģijā vai elektroenerģijā. Tos apskata ražošanas bloki. Gan primārie energoresursi, gan pārstrādātā enerģija (un elektroenerģija, kas ģenerēta HES) nonāk līdz gala patērētājiem, kuri ir apvienoti patēriņa grupā. Tas sastāv no: transporta, lauksaimniecības, mājsaimniecību un citiem (rūpniecības un pakalpojumu nozaru) blokiem.

Modeļa sadale augstāk minētajos blokos ir balstīta uz Latvijas enerģētikas sektora specifiku, kura ir atspoguļota 1. un 2. tabulā.

Pirmajā tabulā apkopots primāro energoresursu patēriņš un enerģijas avoti Latvijā. Ir redzams, ka lielākais īpatsvars resursu patēriņā ir naftas produktiem, dabas gāzei un koksnai, tie kopumā veido 88% no visa energoresursu patēriņa Latvijā. Elektroenerģijas ražošana HES un imports kopā veido ap 10%. Cietā kurināmā patēriņa īpatsvars ir statistiski nenozīmīgs, bet šim kurināmā veidam ir būtiska nozīme vides piesārņojumā un CO<sub>2</sub> emisijās. Līdz ar to arī šim kurināmā veidam ir izveidots atsevišķs apakšmodelis. Elektrības ražošanai vēja turbīnās Latvijā ir tik mazs īpatsvars, ka tai nav veidots atsevišķs apakšmodelis. Elektrības imports, ražošana HES un vēja turbīnās ir apvienoti vienā apakšmodelī. 2. tabulā, tiek apskatīts enerģijas gala patēriņš Latvijā.

Kā redzams no 2. tabulas, lielākie enerģijas gala patērētāji Latvijā ir mājsaimniecības un transporta nozare. Uz pusi no tiem atpaliek rūpniecība un pakalpojumu nozares. Rūpniecības un pakalpojumu nozares ir apvienotas vienā apakšmodelī, jo to enerģijas patēriņš ir atkarīgs no viena faktora – ekonomikas attīstības. Tāpat nozaru funkcionēšanas saturs ir līdzīgs gan

rūpniecības, gan pakalpojumu sektoriem. Statistiski nenozīmīgu enerģijas patēriņu veido lauksaimniecība un pārējās nozares. Bet, ievērojot lauksaimniecības nozares svarīgumu Latvijas tautsaimniecībā, tā tiek uzskatīta par neatkarīgu patērētāju un tai ir izstrādāts atsevišķs apakšmodelis, kurš pēc sava satura būtiski atšķiras no pārējiem patēriņa apakšmodeļiem. 1. un 2. tabulās ir apskatīts energoresursu patēriņš sadalījumā pa tās veidiem un pamatpatērētājiem. Ir redzams, ka resursu izlietojums ir lielāks nekā patēriņš. Tas ir saprotams, jo noteikta enerģijas daļa tiek izmantota tehnoloģiskajās procesos gan sadalē, gan pārveidojot energoresursus citā enerģijas veidā. Enerģijas zudumu novērtēšanai nav nepieciešams atsevišķs apakšmodelis, jo enerģijas zudumi ir sadales un enerģijas pārveides tehnoloģiskā procesa īpatnības. Atbilstoši enerģijas zudumi var tikt apskatīti kopā ar enerģijas pārveides vai ražošanas procesu. Enerģijas ražošanas process modelī ir apskatīts divos apakšblokos: siltumenerģijas ražošana un elektroenerģijas ražošana.

Iepriekš tika apskatīti visi modeli veidojošie bloki. 1. attēlā ir redzams, ka daži modeļa bloki ir savstarpēji saistīti, bet daži nav. Apakšmodeļu savstarpējās sakarības ir noteiktas, ievērojot enerģētikas sektora loģiskos sakarus un energoresursu izlietojuma statistiku Latvijā. Loģiskie sakari ir saistīti ar atgriezeniskajām saitēm. Izejot no nepieciešamā enerģijas gala patēriņa (un tehnoloģiskiem zudumiem un tehnoloģiskiem ierobežojumiem), tiek izrēķināts, cik enerģijas ir nepieciešams saražot. Izejot no enerģijas gala patēriņa un ražošanai nepieciešamā energoresursu apjoma, tiek rēķināts kopējais nepieciešamais energoresursu apjoms. Energoresursu izlietojuma statistika Latvijā ir atspoguļota 3. tabulā.

1. TABULA

PRIMARO ENERGORESURSU AVOTI UN IZLIETOJUMS LATVIJĀ, TUKST. TOE [1]

|                                          | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Naftas produkti</b>                   | 1174 | 1241 | 1169 | 1294 | 1358 | 1382 | 1479 | 1622 | 1508 | 1275 |
| <b>Dabas gāze</b>                        | 1092 | 1270 | 1291 | 1347 | 1332 | 1358 | 1407 | 1360 | 1334 | 1226 |
| <b>Koksne</b>                            | 1191 | 1296 | 1259 | 1325 | 1459 | 1481 | 1434 | 1413 | n/d  | n/d  |
| <b>Elektrības tīrais imports</b>         | 154  | 162  | 202  | 226  | 180  | 185  | 216  | 258  | 217  | 148  |
| <b>Elektrības ražošana HES</b>           | 239  | 243  | 210  | 193  | 262  | 282  | 229  | 232  | 269  | 294  |
| <b>Cietais kurināmais</b>                | 135  | 124  | 100  | 89   | 68   | 82   | 87   | 106  | 99   | 85   |
| <b>Elektrības ražošana vēja turbīnās</b> | 0,3  | 0,3  | 0,9  | 4,1  | 4,2  | 4,0  | 3,9  | 4,5  | n/d  | n/d  |
| <b>Kopā</b>                              | 3986 | 4336 | 4232 | 4478 | 4663 | 4774 | 4856 | 4996 | n/d  | n/d  |

2. TABULA

ENERĢIJAS GALA PATĒRIŅŠ LATVIJĀ, TUKST. TOE [1]

|                        | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Mājsaimniecības</b> | 1 327 | 1 443 | 1 431 | 1 520 | 1 493 | 1 514 | 1 492 | 1 470 |
| <b>Transports</b>      | 747   | 874   | 899   | 959   | 1 012 | 1 066 | 1 179 | 1 333 |
| <b>Rūpniecība</b>      | 572   | 610   | 621   | 628   | 669   | 705   | 741   | 724   |
| <b>Pakalpojumi</b>     | 463   | 489   | 530   | 559   | 589   | 588   | 630   | 679   |
| <b>Lauksaimniecība</b> | 129   | 135   | 128   | 146   | 155   | 152   | 154   | 155   |
| <b>Citi</b>            | 2     | 3     | 4     | 2     | 3     | 5     | 4     | 3     |
| <b>Kopā</b>            | 3 240 | 3 554 | 3 613 | 3 814 | 3 921 | 4 030 | 4 200 | 4 364 |

3. TABULA

ENERGORESURSU IZLIETOJUMS LATVIJA 2007. GADA, % \*

|                           | Pārstrāde citā enerģijas veidā | Mājsaimniecības | Transports | Rūpniecība | Pakalpojumi | Lauksaimniecība | Kopā |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------|------------|------------|-------------|-----------------|------|
| <b>Naftas produkti</b>    | 2                              | 2               | 81         | 6          | 3           | 7               | 100  |
| <b>Dabas gāze</b>         | 61                             | 8               | 0,1        | 21         | 9           | 1               | 100  |
| <b>Elektrība</b>          | 0                              | 27              | 2          | 28         | 41          | 2               | 100  |
| <b>Cietais kurināmais</b> | 11                             | 18              | 0          | 48         | 22          | 1               | 100  |
| <b>Koksne</b>             | 14                             | 63              | 0,2        | 10         | 11          | 1               | 100  |
| <b>Siltumenerģija</b>     | 0                              | 74              | 0          | 2          | 24          | 0               | 100  |

\* Autora aprēķini uz Eiostat datiem.

Saprotams, ka ne visus primāros energoresursu veidus patērē katrs no patērētājiem. Tāpat ne katrs energoresursu veids tiek pielietots pārstrādes procesā, veidojot citu enerģijas veidu. 3. tabulā ir redzams, ka Latvijā enerģijas pārveidošanā visaktīvāk tiek pielietota dabas gāze (61% no dabas gāzes patēriņa kopējā apjoma). Tāpat enerģijas pārveidošanā nedaudz izmanto cietos kurināmos un koksni. Svarīgi atzīmēt, ka cietais kurināmais un koksne tiek izmantoti pārsvarā siltuma ražošanā, bet dabas gāze tiek izmantota arī elektroenerģijas ģenerēšanā. Naftas produktiem enerģijas pārveidošanas īpatsvars ir tikai 2%. Šis skaitlis ir tuvs statistiskajai kļūdai, tāpēc, pēc autora skatījuma, tam var neizstrādāt atsevišķu modeli.

Runājot par naftas produktu patēriņu, lielākais tās īpatsvars ir transportā (81%). No tā būtiski atpaliek rūpniecība un lauksaimniecība, atbilstoši 6% un 7%. Naftas produktu patēriņš pārejās sfērās ir nenozīmīgs un ir tuvs statistiskajai kļūdai. Izejot no ACB metodes, ir lietderīgi veidot naftas produktu patēriņa modeļus tikai trim lielākajām grupām. Izejot no sistēmdinamikas principiem, to ir lietderīgi darīt tikai tajā gadījumā, ja visās minētajās grupās patēriņa modeļi atšķiras viens no otra. Naftas produktu patēriņā tas arī ir. Naftas produktu patēriņš transportā ir saistīts ar autotransporta skaitu un tā izmantošanas intensitāti, rūpniecībā – ar valsts rūpniecisko attīstību, bet lauksaimniecībā – ar apstrādājamo zemes platību un veikto darbu veidiem. Detalizētāk minētie patēriņa veidi ir apskatīti vēlāk. Svarīgi piebilst, ka augstāk minētais energoresursu izlietojuma sadalījums varētu būt piemērots ne tikai resursu patēriņa prognozēšanai, bet arī piesārņojuma novērtēšanai. Tā, piemēram, naftas produktu patēriņa pieaugums transportā izraisīs gandrīz tieši proporcionālu CO<sub>2</sub> emisiju palielinājumu, bet rūpniecībā tas CO<sub>2</sub> emisiju nekādā veidā neietekmēs (jo modeļos ir pieņemts, ka naftas produkti rūpnieciskajā ražošanā tiek pārstrādāti citās ķīmiskajās vielās un preces ir bez būtiskas CO<sub>2</sub> emisijas).

Kā jau bija teikts iepriekš, dabas gāzes lielākais patēriņš ir saistīts ar pārstrādi citā enerģijas veidā. Tāpat gāzi pielieto rūpnieciskajā ražošanā (ķīmiskajā un farmaceitiskajā rūpniecībā), pakalpojumu sfērā un mājsaimniecību ikdienas dzīvē. Šajās četrās sfērās izmanto arī cieto kurināmo un koksni. Transportā un lauksaimniecības sfērās šos resursu veidus gandrīz nepielieto. Ievērojot atsevišķu datu statistiski maznozīmīgo lielumu, autors vienkārši tos atmet, bet arī šī

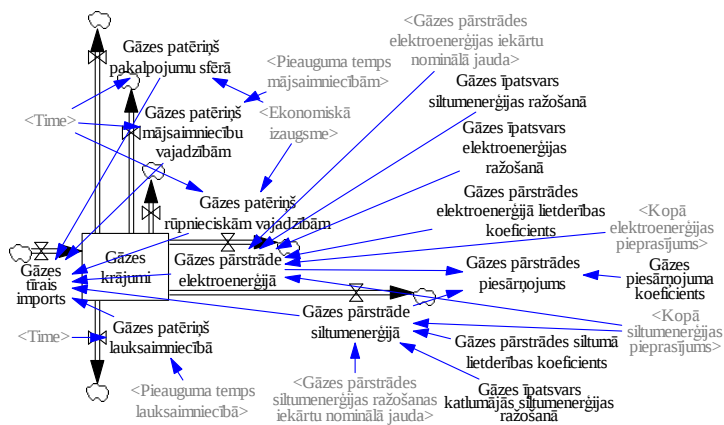
pieeja varētu būtiski uzlabot prognozēšanas kvalitāti Latvijas enerģētikas sektorā.

Elektroenerģijas patēriņš Latvijā pārsvarā ir saistīts ar pakalpojumu nozarēm, rūpniecību un mājsaimniecībām. Siltumenerģiju patērē tikai mājsaimniecības un pakalpojumu nozares.

Šajā apakšnodaļā tika apskatīta Latvijas enerģijas sektora sistēmdinamikas modeļa kopējā shēma, ir pamatoti tās savstarpēji sakari un sastāvdaļu veidošana. Tālāk detalizēti apskatīti atsevišķi apakšmodeļi.

### III. ENERGORESURSA APAKŠMODELIS

Ka bija minēts iepriekš, energoresursu grupa sastāv no četriem apakšmodeļiem (naftas produkti, dabas gāze, cietais kurināmais, koksne). Ievērojot, ka resursu patēriņa apakšmodeļi ir līdzīgi, ir lietderīgi apskatīt tikai vienu no tiem. 2. attēlā ir apskatīts gāzes patēriņa apakšmodelis, pēc kura piemēra analizēti arī visi pārējie resursu veidi.



kur:  $\Rightarrow$  atspoguļo fiziskās plūsmas;  $\rightarrow$  atspoguļo nemateriālās un informācijas plūsmas;  $\otimes$  fizisko plūsmu regulators;  $\text{☁}$  ārējā vide;  $\langle \text{Name A} \rangle$  rādītājs „Name A” no saistītā modeļa;  $\boxed{\text{A}}$  rezervuārs A. Modeļa attēli ir atspoguļoti atbilstoši vispārpieņemtiem sistēmdinamikas apzīmējumiem [2; 3].

2. att. Gāzes patēriņa apakšmodelis.

Kā redzams 2. attēlā, gāzes resursa apriti nosaka gāzes tīrais imports, gāzes patēriņš pakalpojumu sfērā, mājsaimniecību un rūpnieciskām vajadzībām, lauksaimniecībā un pārstrādājot gāzi siltum- un elektroenerģijā. Krātuve „gāzes krājumi” atspoguļo ienākošo un izejošo plūsmu bilanci. Modelī ir paredzēts, ka imports ir vienāds ar visu patēriņa veidu

kopsummu. Faktiski importa un patēriņa apjomi varētu nedaudz atšķirties.

2. attēlā ir atspoguļots unificētais modelis, dažas no apriti veidojošajām plūsmām nav lietderīgi piemērot gāzes patēriņa apakšmodelim, bet tie ir atspoguļoti, lai izskaidrotu pārējo resursu apakšmodeļus. Tā, piemēram, iepriekš bija teikts, ka gāzes patēriņš lauksamniecībā ir niecīgs, līdz ar to var neveidot atsevišķu plūsmu lauksaimniecībai. Bet uz tās piemēra ir parādīts, ka gāzes patēriņš lauksamniecībā ir atkarīgs no laika un pieauguma tempa lauksamniecībā, kurš ir rēķināts saistītajā lauksamniecības apakšmodelī. Analogiski naftas produktu patēriņa apakšmodelī naftas produktu patēriņš transportā ir atkarīgs no transporta attīstības, kura ir novērtēta transporta apakšmodelī. Energoresursu tīrā importa ienākošā plūsma var būt papildināta ar iekšējo ražošanas plūsmu.

Energoresursu patēriņš rūpniecības un pakalpojumu sfērās ir atkarīgs no kopējas ekonomiskās situācijas attīstības („ekonomiskā izaugsme”). Tāpēc tiem ir līdzīgi patēriņa modeļi. Bet tie nav apvienoti vienā, jo, kā bija teikts iepriekš, rūpniecībā energoresursus pārstrādā citās ķīmiskajās vielās un preces ir bez būtiskas CO<sub>2</sub> emisijas. Šo dalījumu vēlāk var piemērot vides piesārņojuma novērtēšanai.

Energoresursu patēriņš mājāsaimniecībā nav atkarīgs no ekonomiskās situācijas, bet ir atkarīgs no mājāsaimniecību skaita. Atsevišķos pētījumos tiek izmantots arī iedzīvotāju skaits. Mājāsaimniecību patēriņa pieaugums ir aprēķināts atsevišķā apakšmodelī.

Nākošās resursa patēriņa plūsmas ir saistītas ar primāro energoresursu pārstrādāšanu siltumenerģijā vai elektroenerģijā. Gāzes patēriņa apakšmodelis ir izvēlēts kā piemēra modelis, jo tieši gāzi Latvijā visvairāk pielieto gan siltuma, gan elektroenerģijas ražošanai no primārajiem energoresursiem. Citi primārie energoresursi gandrīz netiek izmantoti elektroenerģijas ģenerēšanai, bet aktīvi tiek izmantoti siltumenerģijas ražošanai.

2. attēlā ir redzams, ka gāzes patēriņš siltumenerģijas veidošanā ir atkarīgs no siltumenerģijas pieprasījuma, ar gāzi strādājošo katlumāju kopējās jaudas (abi rādītāji ir ņemti no saistītajiem apakšmodeļiem), lietderības koeficienta un ar gāzi strādājošo katlumāju īpatsvara siltumenerģijas ražošanā. Katlumājās gāzes sadedzināšanas lietderības koeficients ir tehniskais koeficients, kuru nevar aizvietot ar sistēmdinamikas sakarībām. Ar gāzi strādājošo katlumāju īpatsvars tālākajā perspektīvā ir mainīgs koeficients, bet īsos periodos tas nemainās. Līdz ar to pētījumā tas ir pieņemts kā nemainīgs. Šis pieņēmums arī ir saistīts ar modeļa izstrādāšanas mērķi – parādīt siltumenerģijas pieprasījumu neatkarīgi no tās veidošanās avota. Tāpēc, ja būtu pieejams finansējums pētījuma turpināšanai, attīstot modeli, šo koeficientu varētu aizvietot ar sistēmdinamikas sakarībām.

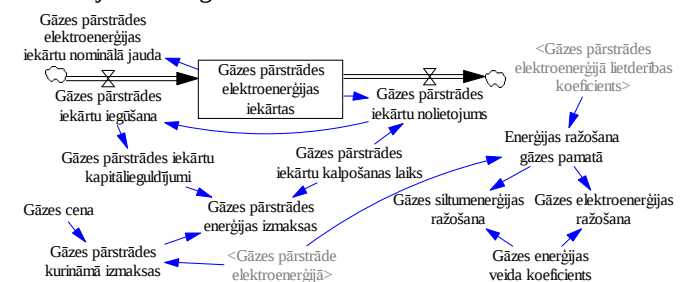
Gāzes izmantošanas elektroenerģijas ražošanai apakšmodelis ir līdzīgs siltuma ražošanas apakšmodelim. Tā atšķirība ir saistīta ar to, ka ar gāzi strādājošās elektrostacijas ražo arī siltumenerģiju. 2. attēlā ir redzams, ka gāzes patēriņš elektroenerģijas veidošanā papildus ir atkarīgs gan no gāzes īpatsvara elektroenerģijas ražošanā, gan no gāzes īpatsvara siltumenerģijas ražošanā.

Papildus resursu apakšmodelī ir redzams gāzes pārstrādes piesārņojuma rādītājs, kurš ir atkarīgs no gāzes patēriņa pārstrādei un piesārņojuma koeficienta. Piesārņojuma koeficients, t.i., tehniskais koeficients, ir saistīts ar energoresursu un pārstrādes procesa veidu, un tas nevar būt aprakstīts ar sistēmdinamikas instrumentiem.

Dabas gāzes piemērā ir aprakstīts energoresursa apakšmodelis. Veidojot masīvu no četriem primārajiem energoresursiem (naftas produkti, dabas gāze, cietais kurināmais, koksne), ir iespējams izveidot kopējo Latvijas energoresursu patēriņa modeli.

#### IV. ENERGORESURSU PĀRSTRĀDES APAKŠMODELIS

Energoresursu pārstrādes modelis apskata elektroenerģijas vai siltumenerģijas veidošanu no primārajiem energoresursiem. Atbilstoši četriem energoresursu veidiem ir iespējams izveidot masīvu ar četriem siltumenerģijas veidošanas apakšmodeļiem un vienu elektroenerģijas veidošanas apakšmodeļi (dabas gāzes pamatā). Visi šie apakšmodeļi būtu līdzīgi, nedaudz no tiem atšķirsies dabas gāzes pārstrādes apakšmodelis, kurā tiek ne tikai ģenerējas elektrība, bet arī veidojas siltumenerģija. Tāpēc no visiem apakšmodeļiem tiek apskatīts tikai koģenerācijas ražošanas process, elektroenerģijas un siltuma ražošana kā resursu izmantojot dabas gāzi.



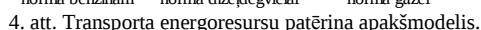
3. att. Koģenerācijas procesa apakšmodelis.

Kā redzams 3. attēlā, koģenerācijas procesā svarīgāko lomu ieņem ražošanas iekārtas. Statistiskajos avotos ir iespējams sameklēt informāciju par katlumāju un koģenerācijas procesa iekārtu skaitu un to jaudām [4]. Atbilstoši iekārtu jaudām notiek enerģijas ražošana. Nav iespējams saražot vairāk enerģijas, nekā to ļauj iekārtu jauda. 3. attēlā ir atspoguļota iekārtu uzskaites sistēma, kuru veido divas plūsmas: nolietojums un iepirkšana. Iekārtu nolietojums ir atkarīgs no to paredzētā kalpošanas laika. Iekārtu iepirkšana ir atkarīga no nolietojuma un kapitālieguldījumu apjomiem. Saprotais, ka kapitālieguldījumi nosaka iekārtu iepirkšanas apjomu, bet nolietojums nosaka, kādā apjomā jāatjauno iekārtas, lai nesamazinātu enerģijas izlaidi.

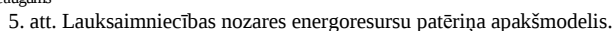
Iekārtu kapitālieguldījumi kopā ar patērētā resursa apjomu un cenu nosaka enerģijas ražošanas cenu, kas ir vēl viens svarīgs rādītājs, kuru ļauj prognozēt modelis.

Koģenerācijas procesā veidotā enerģija ir sadalīta divos veidos: siltumenerģija un elektroenerģija (3. attēls). Šis sadalījums ir balstīts uz fiksētu koeficientu, kas ir izstrādāts atbilstoši tehnoloģiskajam procesam. Sadalījums tiek piemērots tikai koģenerācijas procesam, katlumājās ražo tikai vienu enerģijas veidu – siltumenerģiju.

priekš aprakstītiem bloku grupām modeļi bija līdzīgi,  
 priņa apakšmodeļi būtiski atšķiras viens no otra. Tāpēc  
 ciešams apskatīt katru no tiem. 4. attēlā ir atspoguļots  
 ta energoresursu patēriņa apakšmodelis.

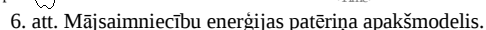


Nākošais energoresursu patēriņa apakšmodelis ir saistīts ar lauksamniecības nozari, un tas ir atspoguļots 5. attēlā.



Izstrādātais modelis paredz, ka, izejot no lauksamniecības zemes platības un tās sadalījuma aramzemēs un plavās, kā arī

Mājsaimniecību enerģijas patēriņa apakšmodelis ir atspoguļots 6. attēlā.



Mājsaimniecībās patērētā siltumenerģija ir atkarīga no iedzīvotāju skaita un dzīvojamo ēku īpatnībām. Ikdienā iedzīvotāji izmanto karsto ūdeni savām vajadzībām, un tā prognozēšana neizraisa grūtības. Siltumenerģijas patēriņš ēku siltināšanai nav atkarīgs no iedzīvotāju skaita vai no kāda cita parametra. Siltumenerģijas patēriņš būtiski nemainīsies pat ja daudzdzīvokļu mājas atsevišķi dzīvokļi netiks izmatoti. Atbilstoši siltumenerģijas patēriņu ēku siltināšanai var ņemt kā nemainīgu rādītāju, saistītu tikai ar ēku tehniskajām īpatnībām. 2009. gada aprīlī Latvijā ir uzsākta ēku energoefektivitātes paaugstināšanas programma, kuras rezultātā šis rādītājs varētu mainīties. Izstrādātais mājsaimniecību enerģijas patēriņa apakšmodelis (6. attēls) var izmantot ēku energoefektivitātes paaugstināšanas novērtēšanā.

Siltumenerģijas izmantošanas efektivitātes paaugstināšana ir saistīta ar ēku siltināšanu. Apakšmodelis novērtē izdevumus, ēku siltināšanai paredzētos kapitālieguldījumus un to veidoto efektu.

## VI. SECINĀJUMI

Modeļa galvenā loma ir prognozēt enerģijas patēriņu atsevišķās grupās kā pa patērētājiem, tā arī pa energoresursu grupām; novērtēt enerģētikas sektora ietekmi uz apkārtējo vidi.

Modeļa pirmā versija ir izstrādāta, lai novērtētu ēku siltumizolācijas programmas ietekmi uz Latvijas tautsaimniecību. Siltumizolācijas efekts ir novērtēts kā siltumizolācijas rezultātā veidotie ieņēmumi no neizmatoto CO<sub>2</sub> emisiju pārdošanas. Neizmatoto CO<sub>2</sub> emisiju apjoms ir iegūts ar modeļa palīdzību, un pamatots ar enerģijas, enerģijas resursu patēriņu un CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu pateicoties ēku energoefektivitātes pieaugumam. Neskatoties uz siltumizolācijas programmas realizēšanas zemo iedarbību uz tautsaimniecību, tai ir svarīga loma energoresursu saglabāšanā un apkārtējās vides uzlabošanā.

Šis pētījums ir tikai pirmais solis pie detalizēta Latvijas energosektora sistēmdinamikas modeļa izstrādāšanas. Autors izstrādāja daudz sistēmdinamikas modeļus dažādās sfērās [9-13]. Dotajā rakstā autors mēģina parādīt sistēmdinamikas metodes iespējas un priekšrocības enerģētikas sektora prognozēšanai. Līdz ar to pētījumu nevar uzskatīt par pilnībā pabeigtu un to ir nepieciešams turpināt.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Eurostat datu bāze. [Online]. Available: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>. [Accessed Mart 01, 2010].
- [2] V. Skribans, *Influence of Labor Migration on Latvia's Labor Market. The 27th International System Dynamics Conferences materials*, July 26-30, Albuquerque, USA, System Dynamics Society, 2009.
- [3] John D. Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. USA: Irwin/ McGraw-Hill. 2000.
- [4] LR Centrālās statistikas pārvaldes datu bāze. [Online]. Available: <http://www.csb.gov.lv/>. [Accessed Mart 01, 2010].
- [5] Современные интенсивные технологии и приёмы ведения сельскохозяйственных работ. [Online]. Available: <http://belagromech.basnet.by/guidelines/farming/autumn/>. [Accessed Mart 01, 2010].
- [6] Урок экономики на краю поля, или Сколько стоит посевная. [Online]. Available: [http://no-till.ru/view\\_articles.php?id=13](http://no-till.ru/view_articles.php?id=13). [Accessed Mart 01, 2010].

- [7] Mājsaimniecības tehnika. [Online]. Available: <http://www.dolceta.eu/latvija/Mod5/spip.php?rubrique65>. [Accessed Mart 01, 2010].
- [8] Piebalgs: Eiropieši novērtēs ekonomisko spuldžu priekšrocības. [Online]. Available: <http://www.diena.lv/lat/politics/sestdiena/esi-sveicinata-jauna-gaisma>. [Accessed Mart 01, 2010].
- [9] V. Skribans, *Būvnozares prognozēšanas modelis un tā izstrādāšanas metodika. Conferences materials No. Tradicionālais un novatoriskais sabiedrības ilgspejīgā attīstībā*, Rīga, 2002.
- [10] V. Skribans, *Jauna produkta ieviešanas tirgū modelēšana, izmantojot sistēmdinamikas metodi. RTU Zinātniskie raksti, Vol. Economy: Theory and Practice, No. Economics and Business*. Rīga, 2008.
- [11] V. Skribans, *Jaunā ekonomika un jaunie tirgi: pamatprincipi un veidošanās problēmas. Conference materials No. 21. gadsimta universitāte*. Rīga, 2001.
- [12] V. Skribans, *Krīzes un 2009. gada nodokļu politikas izmaiņu ietekme uz Latvijas ekonomiku. LU raksti No. 743. sējums*. Rīga, 2009.
- [13] Eiropas Kopienas komisijas lēmums par valsts siltumnīcefekta gāzu emisijas kvotu sadales plānu, ko paziņojusi Latvija saskaņā ar Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvu 2003/87/EK, Briselē, 29.11.2006
- [14] Elektroenerģijas cenu ietekmējošās komponentes. [Online]. Available: [http://www.latvenergo.lv/portal/page?\\_pageid=73,967464&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.latvenergo.lv/portal/page?_pageid=73,967464&_dad=portal&_schema=PORTAL). [Accessed Mart 01, 2010].
- [15] *Ēku energoefektivitātes paaugstināšana: Eiropas Savienības politika un labas prakses piemēri pašvaldībās*. Rīga: Jelgavas tipogrāfija, 2008.
- [16] Latvijai par CO<sub>2</sub> emisijām jau garantēti 200 miljoni eiro. [Online]. Available: <http://www.diena.lv/lat/business/hotnews/industry/latvijai-par-co2-emisijam-jau-garanteti-200-miljoni-eiro>. [Accessed Mart 01, 2010].
- [17] Pār Eiropas Komisijas izstrādāto emisijas kvotu sadales plānu no 2008. līdz 2012. gadam. [Online]. Available: <http://www.em.gov.lv/em/2nd/?id=15794&cat=621>. [Accessed Mart 01, 2010].



**Valerijs Skribans**, Dr.oec., 2006, Riga Technical university.  
Leading researcher, assistant professor of Riga Technical University; has experience of managing chair; more than ten years practical work in economist and financial officer positions. Specialist in system dynamic. Member of International System Dynamics Society, Society for the Study of Emerging Markets, Archive of The Munich Personal Research Papers in Economics, Russian System Dynamics Society, Imitation and Modeling Society (Latvia), Latvian Association of Econometrics.  
Meza Str. 1/7, room 107, Riga, LV1048, Latvia,  
Mob. +371 26429535,  
e-mail: [valerijs.skribans@rtu.lv](mailto:valerijs.skribans@rtu.lv)

### Valerijs Skribans. Development of the Latvian energy sector system dynamic model.

One of the most pressing problems in the Latvian economy is related to the energy sector. The most characteristic feature is coupled with the low efficiency of thermal energy consumption of households as a result of poor insulation of existing buildings in Latvia.

Solving energy sector problems requires a comprehensive decision, both in energy production and consumption. It is therefore necessary to develop energy sector model to be able to evaluate not only the energy consumption growth and the factors affecting it directly, but also the feedback caused by the increase of the efficiency growth. The model shown in the article has been developed using system dynamic method.

Latvian energy sector model consists of resources, production and consumption blocks. A separate place is taken by electricity generation hydroelectric power plants (HPP), net imports of electricity and so on. Resource blocks consist of primary energy resource blocks: petroleum products, solid fuel, wood and gas blocks. Primary energy resources are used for production of other energy forms, i.e. heat or electricity production, they are shown in the production blocks. Both the primary energy and produced energy (and electricity generated by HPP) are passed on to final consumers, who make consumer unit blocks. It consists of: transport, agriculture, households and other (industrial and services sectors) blocks.

The model key role is to forecast energy consumption by separate groups, both consumers and energy resources groups; to estimate energy sector impact on environment. The model has been developed to estimate the impact of buildings thermo insulation program on Latvian economy.

**Валерий Скрибан. Разработка модели системной динамики для энергетического сектора в Латвии.**

Одна из самых важных проблем в Латвийской экономике связана с энергетическим сектором. Особенность энергетического сектора в Латвии в сравнении с другими странами ЕС заключается в низкой эффективности потребления тепловой энергии домашними хозяйствами в результате плохой теплоизоляции жилых зданий.

Решать проблемы энергетического сектора необходимо всесторонне, как при производстве, так и в потреблении энергии. Поэтому необходимо разработать общую модель энергетического сектора, чтобы оценивать не только рост потребления энергии и факторы, влияющие непосредственно, но и обратные связи, вызванные повышением эффективности. Модель, показанная в статье, была разработана используя метод системной динамики.

Представленная модель энергетического сектора состоит из блоков ресурсов, производства и потребления. Отдельное место предоставлено производству электричества гидроэлектростанциями (ГЭС), чистому импорту электричества и т.п. Блок ресурсов формируют подмодели первичных энергоносителей: нефтепродукты, твердое топливо, древесина и газ. Первичные энергоносители используются для производства других форм энергии, т.е. для производства тепла или электричества, это отражено в производственном блоке. Как первичная энергия, так и произведенная энергия (и электричество, произведенное ГЭС) поступают к конечным потребителям, что рассматривается в блоке потребления. Блок потребления формируют подмодели транспорта, сельского хозяйства, домашних хозяйств и другие подмодели (промышленности и сферы услуг).

Модель предназначена для оценки потребления энергии по отдельными группам, как исходя из видов ресурсов, так и по потребителям; а так же для оценки влияния энергетического сектора на окружающую среду. Модель была разработана для оценки влияния программы повышения энергоэффективности зданий на Латвийскую экономику.