

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

**Elīna DĀCE**

Doktora studiju programmas „Vides zinātne” doktorante

**INTEGRĒTĀS PRIMĀRĀ IEPAKOJUMA  
ATKRITUMU APSAIMNIEKOŠANAS  
SISTĒMAS MODELIS**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskā vadītāja  
Dr. habil. sc. ing., profesore  
**D.BLUMBERGA**

**Rīga 2013**

UDK 628.4.04(043.2)  
Dā 050 i

Dāce E. Integrētās primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas modelis. Promocijas darba kopsavilkums. - Rīga: RTU, 2013. – 35 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta 2013.gada 14.jūnija lēmumu, protokols Nr.35

ISBN 978-9934-507-44-1

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU  
DOKTORA GRĀDA VIDES INŽENIERZINĀTNĒ IEGŪŠANAI  
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2013.g. 12.decembrī Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, 21. auditorijā.

**OFICIĀLIE RECENZENTI**

Dr.habil.chem., profesors Māris Kļaviņš  
Latvijas Universitāte

Dr.sc.ing., profesors Hanss Bjornsons  
Čalmeras Tehnoloģiju universitāte, Zviedrija

Dr.sc.ing., profesore Marika Rošā  
Rīgas Tehniskā universitāte

**APSTIPRINĀJUMS**

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Elīna Dāce .....

Datums: 12.12.2013.

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 3 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 68 attēlus, 8 tabulas un kopā 160 lappuses. Literatūras sarakstā ir 227 nosaukumi.

Sis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai» un Eiropas Ekonomikas zonas finanšu instrumenta un Norvēģijas valdības divpusējā finanšu instrumenta prioritāšu „Vides aizsardzība” un „Ilgtspējīgas attīstības veicināšana” programmas „Vides politikas integrācijas programma Latvijā” atbalstu projektā „Sistēmiskās domāšanas integrēšana vides politikā”.

## SATURA RĀDĪTĀJS

Darba aktualitāte .....	5
Darba mērķis un uzdevumi .....	5
Pētījuma metodika .....	6
Darba zinātniskā novitāte .....	7
Darba praktiskais lietojums .....	7
Darba aprobācija .....	8
Publikācijas .....	9
Darba struktūra un apjoms .....	10
1. Metodoloģija .....	11
1.1. Modeļa uzbūve .....	11
1.1.1. Tīrgus modulis .....	13
1.1.2. Patērētāju rīcības modulis .....	15
1.1.3. Atkritumu apsaimniekošanas modulis .....	17
1.1.4. Depozīta sistēmas modulis .....	19
1.2. Sistēmas cēlonisko cilpu diagramma .....	20
1.3. Sistēmu ietekmējošo politiku veidošana un scenāriju izstrāde .....	22
2. Rezultāti .....	27
Secinājumi .....	33

## **Darba aktualitāte**

Iepakojums veido fizisku barjeru, kas pasargā iepakoto produktu no mehāniskiem bojājumiem un baktēriju, ķīmisko vielu, smaržu u.c. pārnese, un informē patērētāju par iepakoto produktu, tāpēc tas ir ļoti nepieciešams un noderīgs no cilvēka veselības un drošības viedokļa. Tomēr pārmērīgi lielā izmantotā apjoma dēļ iepakojums ir kļuvis arī par vidi un resursu ilgtspējīgu izmantošanu apdraudošu produktu. Tāpēc izlietotā iepakojuma atkārtota izmantošana un pārstrāde ir kļuvusi par vienu no Eiropas Savienības (ES) prioritātēm. Vadošie principi ES atkritumu apsaimniekošanas politikā izstrādāti, lai samazinātu atkritumu daudzumu un nodrošinātu drošu to apsaimniekošanu. Galvenie ES atkritumu apsaimniekošanas politiskie mērķi ir veicināt atkritumu rašanās novēršanu un atkārtotu izmantošanu, pārstrādi un reģenerāciju. Savukārt kā ilgtermiņa mērķis ir noteikta ES kļūšana par pārstrādājošu un resursu efektīvu sabiedrību, kurā atkritumi tiek izmantoti kā resurss un tiek novērsta to rašanās.

Vairākās ES valstīs izveidotas efektīvas atkritumu apsaimniekošanas sistēmas, pateicoties specifisku ekonomisko, vides, administratīvo, pārvaldības u.c. mehānismu pielietošanai. Tomēr ir arī valstis, kurās nepareizi pielietotu mehānismu dēļ prasību izpilde nesokas tik veiksmīgi. Arī Latvijai kā ES dalībvalstij ir pienākums izpildīt ES direktīvās uzstādītos arvien pieaugošos iepakojuma reģenerācijas mērķus. Līdz šim to izdevies paveikt, galvenokārt pateicoties iepakojuma savākšanai un pārstrādei no tirdzniecības un rūpniecības sektoriem. Tomēr turpmāka mērķu sasniegšana var izrādīties sarežģīta, jo minētie sektori kļūst par arvien izsmeltāku savācāmā un pārstrādājamā iepakojuma kā resursa avotu. Iepakojuma dalītā savākšanā un pārstrādē ir nepieciešama aktīvāka mājsaimniecību iesaiste. Primārā iepakojuma patēriņš un radīto atkritumu apsaimniekošana uzskatāmi par vienotu kompleksu sistēmu. Lai izveidotu ilgtspējīgu primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmu, ir nepieciešams pilnībā izprast tās dinamisko uzvedību, kuru veido sistēmas dalībnieki un to mijiedarbība. Viens no sistēmdinamikas kā modelēšanas metodes mērķiem ir mentālo modeļu robežu paplašināšana, ļaujot saskatīt sistēmas pamatā esošo atgriezenisko struktūru uzvedību. Savukārt, izpratne par pieņemto lēmumu pilnu radīto ietekmi un atgriezeniskajām saitēm ir efektīvu politikas stratēģiju izveides pamatā.

## **Darba mērķis un uzdevumi**

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt modeli, ar kura palīdzību iespējams analizēt primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas

sistēmas (PIAAS) struktūru un dinamisko uzvedību un noteikt politikas instrumentu ietekmi uz tās efektivitāti pārstrādāto atkritumu īpatsvara ziņā.

Darba mērķa sasniegšanai izvirzītie uzdevumi ir sekojoši:

- 1) izpētīt PIAAS uzbūvi;
- 2) izpētīt PIAAS dalībnieku uzvedību un rīcību noteicošos faktoros;
- 3) izveidot sistēmdinamikas modeli, kurā ietverti PIAAS veidojošie elementi un matemātiski aprakstītas to savstarpējās sakarības;
- 4) aprakstīt PIAAS dinamisko uzvedību un prognozēt tās attīstību nākotnē;
- 5) atlasīt politikas instrumentus, kas potenciāli varētu paaugstināt pārstrādāto primārā iepakojuma atkritumu īpatsvaru, un novērtēt to efektivitāti pārstrādes mērķu sasniegšanā;
- 6) izstrādāt politikas stratēģijas pārstrādāto primārā iepakojuma atkritumu īpatsvara celšanai un novērtēt to ietekmi uz sistēmas ilgstpējību.

### **Pētījuma metodika**

Darbā izmantotas kvalitatīvās un kvantitatīvās pētījumu metodes.

PIAAS modeļa izstrādei izmantota sistēmdinamikas metode, kas izveidota kompleksu sistēmu dinamiskās uzvedības pētīšanas vajadzībām. Sistēmdinamikas modelis izstrādāts, izmantojot programmrīka *Powersim Studio 8* vidi. Modelis veidots saskaņā ar sistēmdinamikas teorijā noteiktajiem modelēšanas posmiem.

Savstarpējo sakarību atrašanai un aprakstīšanai starp sistēmas parametriem izmantotas matemātiskās statistikas metodes – korelācijas un regresijas analīze – un aprakstošās statistikas metodes, nosakot datu kopu vidējās, mediānas un standartnovirzes vērtības.

Novērsto siltumnīcas efekta gāzu aprēķināšanai izmantots simulācijas programmrīks *WAMPS 1.0*. Tas ir uz dzīves cikla analīzes pieeju balstīts rīks, kas izveidots kā lēmumu pieņemšanas atbalsta instruments atkritumu apsaimniekošanas sistēmu plānošanā Baltijas jūras reģionā. Ar tā palīdzību iespējams noteikt dažādu atkritumu apsaimniekošanas procesu, t.sk. iepakojuma atkritumu pārstrādes ietekmi uz apkārtējo vidi.

Kvalitatīvo metožu izmantošanas mērķis ir iegūt izpratni par to, kāpēc un kā noteiktos apstākļos novērojama kāda parādība. Darba ietvaros ar kvalitatīvo metožu palīdzību tika pētīta PIAAS darbība, analizēta sistēmas dalībnieku uzvedība un veikta zinātniskās literatūras, politikas dokumentu, ziņojumu un pārskatu kontentanalīze. Izmantojot elektronisko veidlapu, tika veikta aptauja Latvijas pašvaldībās. Izmantojot tiešo,

elektronisko un telefonsaziņu, tika veiktas vietējo un ārvalstu atkritumu apsaimniekošanas ekspertu intervijas.

### **Darba zinātniskā novitāte**

Promocijas darbā ir izstrādāts sistēmdinamikas modelis, ar kura palīdzību iespējams analizēt PIAAS struktūru un uzvedību un tai piemēroto politikas instrumentu efektivitāti. Izstrādātais modelis sniedz skaidrojumu par novērotajām parādībām PIAAS un ļauj aprakstīt sistēmai piemītošās atgriezeniskās saites. Modeļa pamatā ir ražotāja paplašinātās atbildības sistēma, un tas balstīts uz Latvijas situāciju. Modelī integrēti socio-ekonomiskie un vides faktori, kuru savstarpējās saites aprakstītas ar vairāk kā 500 matemātisko sakarību palīdzību. Izmainot atsevišķu parametru vērtības, modelis ir izmantojams PIAAS analīzei arī citās valstīs.

Darbā izstrādātais modelis ļauj integrēti analizēt dažādu PIAAS dalībnieku (patērētāju, iepakojuma ražotāju un atkritumu apsaimniekotāju) uzvedību. Tāpat ir iespējams atsevišķi analizēt primārā iepakojuma dalītās atkritumu vākšanas sistēmu un depoziņa sistēmu, kā arī kombinēto sistēmu, kurā dalītās atkritumu vākšanas un depoziņa sistēmas apvienotas. Modelis ļauj pārbaudīt alternatīvus politikas instrumentus, ar kuru palīdzību katru no sistēmām padarīt efektīvāku no mājsaimniecībām savākto un pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvara palielināšanā, iepakojuma atkritumu novēršanā un apglabātā apjoma samazināšanā. Modeļa adekvātums un iegūtie rezultāti pārbaudīti ar vairāku testu palīdzību, t.sk. ar jutības analīzi pēc Latīņu hiperkuba salīdzināšanas metodes.

Modeļa veidošanas un politikas simulāciju rezultātā ir identificēts pārstrādāto atkritumu īpatsvara pieauguma izraisītais atsietena efekts, radot materiālu patēriņa pieaugumu. Iepriekš pārstrādāto atkritumu īpatsvara radītā ietekme uz materiālu patēriņa izmaiņām nav aprakstīta, un šādā kontekstā darbā identificētais atsietena efekts tiek aprakstīts pirmo reizi.

### **Darba praktiskais lietojums**

Promocijas darbam ir liela praktiskā nozīme. Darbā izstrādātais modelis ļauj analizēt PIAAS struktūru un tās dalībnieku uzvedību, tāpēc var kalpot par lēmumu pieņemšanas atbalsta rīku, ar kura palīdzību noteikt dažādu politikas instrumentu efektivitāti un ietekmi uz sistēmas ilgtspējību. Darbā piedāvāti vairāki politikas instrumenti un ar modeļa palīdzību analizēta to ietekme uz PIAAS. Iegūtie rezultāti var tikt izmantoti atkritumu apsaimniekošanas politikas veidošanā. Izstrādāto modeli uzņēmējdarbības plānošanai un sasniedzamo rezultātu prognozēšanai var izmantot arī atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumi. Zinātnieki un pētnieki izstrādāto modeli var ne vien attīstīt tālāk, paplašinot modelētās sistēmas robežas,

iekļaujot jaunus sistēmas elementus un/vai analizējot jaunus politikas instrumentus, bet arī izmantot kā paraugu līdzīgu problēmu risināšanai. Visbeidzot darbā iegūtie rezultāti dod praktisku labumu sabiedrībai kopumā, jo sniedz informāciju par patērētāju nozīmīgo lomu PIAAS.

### **Darba aprobācija**

Par pētījuma rezultātiem ziņots, un tie ir apspriesti sekojošās konferencēs:

1. 53. RTU zinātniskā konference, sekcija „Vides un klimata tehnoloģijas” ar referātu „Evaluation of economic aspects of the deposit-refund system for packaging in Latvia” – 2012.gada 10. – 12.oktobrī, Rīgā, Latvijā.
2. 6. starptautiskā konference „Waste management 2012” ar referātu „Analysis of sustainability aspects of the deposit-refund system in Latvia” – 2012.gada 4. – 6.jūlijā, Nūforestā, Lielbritānijā.
3. 2. starptautiskā konference „Beyond consumption: Pathways to responsible living” ar referātu „Sustainable packaging as part of sustainable consumption: A consumer’s perspective” – 2012.gada 19. – 20.martā, Berlīnē, Vācijā.
4. Apvienotais pasaules latviešu zinātnieku 3.kongress un letonikas 4. kongress, sekcija „Vides kvalitāte Latvijā: esošais stāvoklis, izaicinājumi, risinājumi” ar referātu „No atkritumiem atgūtā kurināmā potenciāla noteikšana Latvijā” – 2011.gada 24.-27.oktobrī, Rīgā, Latvijā.
5. 52. RTU zinātniskā konference, sekcija „Vides un klimata tehnoloģijas” ar referātu „Assessment of refuse derived fuel potential in Latvia” – 2011.gada 12. – 13.oktobrī, Rīgā, Latvijā.
6. 7. starptautiskā konference „Natural Sciences and Technologies for Waste and Waste Water Treatment, Remediation, Emissions Related to Climate, Environmental and Economic Effects” ar referātu „Analysis of Waste Sorting Population in Latvia by Using System Dynamics Modeling” – 2010.gada 22. – 24. novembrī, Kalmarā, Zviedrijā.
7. 51. RTU zinātniskā konference, sekcija „Vides un klimata tehnoloģijas” ar referātu „Analysis of ecodesign implementation and solutions for packaging waste system by using system dynamics modeling” – 2010.gada 14. – 15.oktobrī, Rīgā, Latvijā.
8. 5. starptautiskā konference „Waste management 2010” ar referātu „System analysis for integration of landfill energy production in regional energy supply” – 2010.gada 12. – 14.jūlijā, Tallinā, Igaunijā.

9. 7. starptautiskā konference „Organic resources in the carbon economy” ar referātu „Optimization model of biogas use in landfills in Latvia” – 2010.gada 29.jūnijā – 3.jūlijā, Heraklionā, Grieķijā.
10. 50. RTU zinātniskā konference, sekcija „Vides un klimata tehnoloģijas” ar referātu „Modeling of installed capacity of landfill power station” – 2009.gada 14. – 15.oktobrī, Rīgā, Latvijā.

### **Publikācijas**

1. Dāce E., Bažbauers G., Bērziņa A., Davidsen P.I. System dynamics model for packaging ecodesign and waste management policy analysis// Resources, Conservation and Recycling. – 2013. – Article in press.
2. Dāce E., Pakere I., Blumberga D. Analysis of sustainability aspects of the deposit-refund system in Latvia// Sustainable Development and Planning VI, WIT Transactions on Ecology and the Environment. – 2013. – pp.729-740.
3. Dāce E., Pakere I., Blumberga D. Evaluation of economic aspects of the deposit-refund system for packaging in Latvia// Management of Environmental Quality: An International Journal. –2013.–Vol. 24 (3) – pp.311-329.
4. Dāce E., Bendere R. Landfill mining in Latvia: Status, problems and challenges// Proceedings of the 8th International Conference on Natural Sciences and Technologies for Waste and Wastewater Treatment, Remediation, Emissions Related to Climate, Environmental and Economic Effects. – Sweden, Kalmar, November 26-28, 2012. – pp.185-194.
5. Dāce E., Blumberga D. An assessment of the potential of refuse derived fuel in Latvia// Management of Environmental Quality: An International Journal. – 2012. – Vol.23 (5) – pp.503-516.
6. System Dynamics for Environmental Engineering Students. A.Blumberga (ed.), ISBN: 978-9934-8196-2-9 – Rīga: RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, 2011. – 351 lpp.
7. Sistēmdinamika vides inženierzinātņu studentiem. A.Blumbergas red., ISBN: 978-9934-8196-1-2 – Rīga: RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, 2010. – 318 lpp.
8. Sistēmiskas domāšanas integrēšana vides politikā. A.Blumbergas red., ISBN: 978-9934-8196-0-5 – Rīga: RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, 2010. – 225 lpp.
9. Kuplais Ģ., Blumberga D., Dāce E. System analysis for integration of landfill energy production in regional energy supply// Waste

Management and the Environment V, WIT Transactions on Ecology and the Environment. – 2010. – pp.21-30.

10. Dāce E., Bērziņa A., Bažbauers G. Analysis of waste sorting population in Latvia by using system dynamics modeling// Proceedings of the 7th International Conference on Natural Sciences and Technologies for Waste and Wastewater Treatment, Remediation, Emissions Related to Climate, Environmental and Economic Effects. – Zviedrija, Kalmara, 22.-24.novembris, 2010. – pp.485-494.
11. Bērziņa A., Dāce E., Bažbauers G. Analysis of ecodesign implementation and solutions for packaging waste system by using system dynamics modeling// RTU Scientific Journal of Riga Technical University „Environmental and Climate Technologies”. –2010. – Vol.13(4) – pp.22-28.
12. Blumberga D., Kuplais Ģ., Veidenbergs I., Dāce E. Benchmarking method for estimation of biogas upgrading schemes// Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2009. – Vol.46 (4). – pp.23-35.
13. Blumberga D., Kuplais Ģ., Veidenbergs I., Dāce E., Gušča J. Modelling of installed capacity of landfill power station// RTU Scientific Journal of Riga Technical University „Environmental and Climate Technologies”. –2009. – Vol.13(3) – pp.19-26.

### **Darba struktūra un apjoms**

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 3 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 68 attēlus, 8 tabulas un kopā 160 lappuses. Literatūras sarakstā ir 227 nosaukumi. Šajā kopsavilkumā netiek aplūkots promocijas darbā sniegtais literatūras apskats, kā arī netiek iekļauts literatūras saraksts.

# 1. METODOLOĢIJA

Darbā izstrādāts sistēmdinamikas modelis, ar kura palīdzību iespējams analizēt PIAAS dinamisko uzvedību un informēt par to lēmumu pieņēmējus. Modeļa mērķis ir iegūt skaidrojumu par novērotajām parādībām PIAAS, sniegt ieskatu sistēmai piemītošajā dinamiskajā uzvedībā un pārbaudīt alternatīvus politikas instrumentus, ar kuru palīdzību sistēmu padarīt efektīvāku no mājsaimniecībām savāktu un pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvara palielināšanai, atkritumu novēršanai un apglabātā apjoma samazināšanai. Modelis ietver izlietotā iepakojuma šķirošanas, savākšanas, atkārtotas izmantošanas, pārstrādes un apglabāšanas posmus, kā arī iepakojuma dizaina posmu atkarībā no atkritumu apsaimniekošanas procesu rezultātiem. Modelī simulēta patērētāju, atkritumu apsaimniekotāju un iepakojuma ražotāju rīcība un to mijiedarbība, kas nosaka sistēmas dinamisko uzvedību.

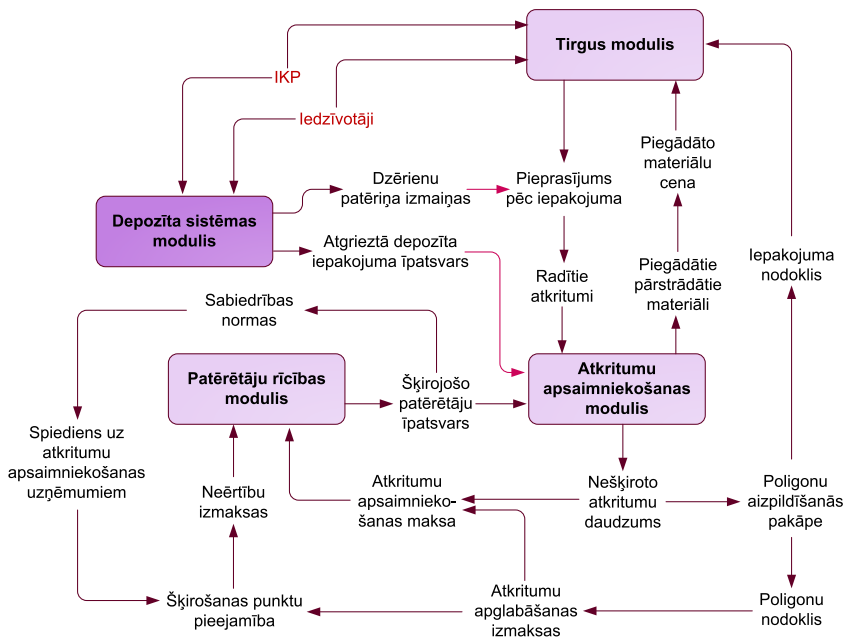
Modeļa pamatā ir dalītās atkritumu vākšanas sistēma ar ražotāja paplašinātās atbildības mehānismu, kas atbilst Latvijas situācijai. Modeli papildina dažādi politikas instrumenti, ar kuriem esošā sistēma var tikt izmainīta. Modelī tiek simulēta dažādu iepakojuma materiālu veidu (papīrs un kartons, plastmasa, metāls un stikls) apsaimniekošana. Modelī pieņemts sekojošs iepakojuma materiālu masas sadalījums: (i) papīrs un kartons – 39%; (ii) stikls – 32%; (iii) plastmasa – 22%, t.sk. PET – 40%; (iv) metāls – 7%, t.sk. alumīnijs – 50%.

Modelis izstrādāts, izmantojot sistēmdinamikas simulācijas rīka *Powersim Studio 8* vidi. Simulācijas periods ir 23 gadi, sākot ar 2007.gadu, kad laiks  $t=0$ . Simulācijas periods beidzas 2030.gadā, kas sakrīt ar stratēģijas „Latvija 2030” īstenošanas gala termiņu. Simulācijās izmantotais laika soļa garums ir 1,5 mēneši. Modeļa izveide balstīta uz zinātniskās literatūras analīzi, statistikas datiem par iepakojuma atkritumu radīšanas un noglabāšanas dinamiku, atkritumu reģenerācijas apjomiem, datiem par iekšzemes kopprodukta un iedzīvotāju skaita izmaiņu dinamiku, kā arī darba izstrādes gaitā veiktām aptaujām un sarunām ar ekspertiem.

## 1.1. Modeļa uzbūve

Modeļa sākuma posmā tiek noteikts iepakojuma apjoms tirgū, balstoties uz eksogēno mainīgo – iedzīvotāju skaita un iekšzemes kopprodukta – izmaiņām. Modeļa nākošajā posmā tiek modelēta patērētāju uzvedība atkarībā no iepakojuma šķirošanas/savākšanas punktu pieejamības, atkritumu apsaimniekošanas maksas apmēra, neērtību izmaksām u.c. faktoriem. Tālāk tiek noteikts pārstrādātā, atkārtoti izmantotā un apglabātā iepakojuma īpatsvars un tā izmaiņas. Visbeidzot tiek analizēts, kā izmainās tirgus pieprasījums pēc materiāliem. Izstrādātais

modelis sastāv no trīs galvenajām daļām jeb moduļiem: (1) tirgus moduļa, (2) patērētāju rīcības moduļa; un (3) atkritumu apsaimniekošanas moduļa (skat. 1. att.).



1. att. Izstrādātā modeļa uzbūves shēma

Aplūkojot 1. attēlā parādīto izveidotā sistēmdinamikas modeļa kopējās uzbūves shēmu, redzams, ka kopējais pieprasījums pēc iepakojuma, ko veido pieprasījums pēc pārstrādātajiem un jēlmateriāliem, tiek noteikts tirgus modulī. Radīto atkritumu apjoms ir vienāds ar kopējo saražoto iepakojuma apjomu. Tas kalpo par izejas lielumu atkritumu apsaimniekošanas modulī, kurā tiek noteikta poligonu aizpildīšanās pakāpe un pārstrādāto materiālu piegāde, kas, savukārt, ietekmē tirgus moduļa rezultātus. Poligona aizpildīšanās pakāpe un radītais atkritumu daudzums ietekmē arī šķirošanas punktu pieejamību un šķirojošo patērētāju īpatsvaru, tātad – šķirotu atkritumu apjomu, kas tiek izmantots par izejas lielumu atkritumu apsaimniekošanas modulī.

Sistēmai piemērojot politikas instrumentus, tiek izmainīta tās struktūra. Depozīta sistēmas ieviešana nozīmē pilnībā atšķirīgas PIAAS izveidi. Tādējādi tiek arī būtiski papildināta izveidotā sistēmdinamikas modeļa uzbūves shēma, izveidojot vēl vienu, depozīta sistēmas, moduli (skat. 1.att.).

### 1.1.1. Tirgus modulis

Tirgus modulis imitē tirgus mehānisma darbību, kurā iepakojuma ražotājs, reaģējot uz materiālu cenas izmaiņām tirgū, sava produkta ražošanā dārgāka izejmateriāla vietā izvēlas lētāku. Tirgus modulī tiek aprēķināts, kā mainās pieprasījums pēc iepakojuma materiāliem, mainoties šo materiālu cenai, un kā šis pieprasījums sadalās starp pārstrādātiem un jēlmateriāliem, ievērojot šo atsevišķo materiālu un vidējās tirgus cenas attiecību. Tirgus mehānisma raksturošanai tiek izmantoti tirgus elastības parametri – pieprasījuma cenas elastības koeficients ( $e_d$ ), materiālu aizvietošanas elastības koeficients ( $\varepsilon$ ) un cenas jutību pret pieprasījuma-piedāvājuma attiecību raksturojošs koeficients ( $\sigma$ ). Formula (1) parāda, kā, izmantojot  $\varepsilon$ , modelī tiek aprēķināts pieprasījums pēc jēlmateriāliem ( $P_j$ ).

$$P_j = P_j^{ref} \cdot \left( \frac{C'_j}{C_{vid}} \right)^{-\varepsilon} \quad (1)$$

kur  $P_j^{ref}$  – atsauces pieprasījums pēc jēlmateriāliem, kg;  
 $C'_j$  – uztvertā jēlmateriālu cena, EUR/kg;  
 $C_{vid}$  – vidējā materiālu cena, EUR/kg.

Līdzīgi, kā jēlmateriāliem, tiek noteikts arī pierasījums pēc pārstrādātiem materiāliem ( $P_r$ ), taču tiek ņemts vērā arī materiālu aizvietojamības rādītājs ( $\tau$ ):

$$P_r = P_r^{ref} \cdot \frac{1}{\tau} \cdot \left( \frac{C'_r}{C_{vid}} \right)^{-\varepsilon} \quad (2)$$

kur  $P_r^{ref}$  – atsauces pieprasījums pēc pārstrādātiem materiāliem, kg;  
 $C'_r$  – uztvertā pārstrādāto materiālu cena, EUR/kg.

Modelī tiek pieņemts, ka iepakojuma ražotājs nespēj uzreiz uztvert cenas pieaugumu un tam pielāgoties, mainot iepakojuma dizainu uz tādu, kurā izmantoti lētāki materiāli. Tas nozīmē, ka ražotājam nepieciešams laiks, lai uztvertu izmaiņas tirgū, apstrādātu jauniegūto informāciju un rīkotos. Tas rada informācijas novēlojumu. Modelī tas tiek izteikts ar uztverto materiālu cenu, kas tiek aprēķināta sekojoši:

$$C'_j = \int_{t=0}^{t=1} \left( \frac{C_j + T_i - C_j}{t'} \right) (t) \cdot dt + C_j^{init} \quad (3)$$

kur  $C_j$  – jēlmateriālu cena, EUR/kg;  
 $T_i$  – iepakojuma nodoklis, EUR/kg;  
 $t'$  – uztveršanas laiks, gadi;  
 $C_j^{init}$  – sākotnējā jēlmateriālu cena, EUR/kg.

Sākotnējā jēlmateriālu cena ir eksogēns mainīgais, jo modeļa darbība jeb uzvedība to neietekmē, savukārt uztvertā jēlmateriālu cena ir endogēns mainīgais, jo tā lielumu nosaka modeļa aprēķini. Integrējot tirgus moduli kopējā modelī (skat 1. att.), pieņemts, ka iepakojuma nodoklis mainās atkarībā no tā, kā mainās ietekme uz vidi, ko modelī raksturo poligonu aizpildīšanās pakāpe. Tā, savukārt, ir atkarīga no kopējā pieprasītā iepakojuma daudzuma un sašķiroto atkritumu īpatsvara. Līdz ar to uztvertā jēlmateriālu cena kļūst par endogēnu mainīgo, ko nosaka, saskaitot eksogēno mainīgo  $C_j$  ar endogēno mainīgo  $T_i$ .

Pārstrādāto materiālu cena ( $C_r$ ) ir endogēns mainīgais. To nosaka attiecība starp pārstrādāto materiālu pieprasījumu ( $P_r$ ) un piedāvājumu (piegādi) ( $S_r$ ) tirgū, kā arī iepakojuma nodoklis:

$$C'_r = \int_{t=0}^{t=1} \left( \frac{C_r \left( \frac{P_r}{S_r} \right)^\sigma + T_i - C'_r}{t'} \right) (t) \cdot dt + C_r^{init} \quad (4)$$

kur  $C_r^{init}$  – sākotnējā pārstrādāto materiālu cena, EUR/kg.

Pieprasījuma-piedāvājuma attiecību veido pieprasījums pēc pārstrādātiem materiāliem, dalīts ar pārstrādāto materiālu piegādi. Pieprasījums pēc pārstrādātiem materiāliem ir atkarīgs no uztvertās pārstrādāto materiālu cenas. Savukārt, pārstrādāto materiālu piegāde ir atkarīga no sašķiroto un pārstrādāto atkritumu apjoma, kas veidojas atkritumu apsaimniekošanas modulī, un pārstrādāto materiālu piegādes laika, kas parāda, cik ilgā laika posmā ir iespējams piegādāt pārstrādātos materiālus iepakojuma ražotājam.

Cenas uztveršanas laiks un koeficients  $\sigma$  raksturo tirgus dalībnieku uzvedību, tirgū zaudējot līdzsvara stāvokli, t.i. izmainoties pieprasījuma-piedāvājuma attiecībai.  $\sigma$  parāda, kā materiālu cena reaģē uz izmaiņām pieprasījuma-piedāvājuma attiecībā. Jo lielāka  $\sigma$  vērtība, jo straujāk mainās materiālu cena, mainoties pieprasījumam un piedāvājumam tirgū.

Vidējā materiālu cena tirgū ( $C_{vid}$ ) tiek noteikta, izmantojot uztvertās jēlmateriālu un pārstrādāto materiālu cenas, kā arī  $\varepsilon$  (skat. (5) formulu). Jo lielāka ir  $\varepsilon$  vērtība, jo lēnāks ir vidējās cenas pieaugums, augot kāda materiāla cenai. Tas atbilst situācijai, kad, pieaugot tirgus pieprasījumam pēc relatīvi lētāka materiāla, kas iespējams, palielinoties spējai dārgāku materiālu aizvietot ar lētāku, vidējās cenas pieaugums ir lēnāks nekā tad, ja  $\varepsilon$  būtu neliels.

$$C_{vid} = \left[ \frac{1}{2} \cdot (C'_j)^{(1-\varepsilon)} \cdot (C'_r)^{(1-\varepsilon)} \right]^{\frac{1}{(1-\varepsilon)}} \quad (5)$$

Tirgus modulis imitē situāciju materiālu tirgū, kurā iepakošanas ražotājs izvēlas lētāko no materiāliem, pieņemot, ka pārstrādāto un jēlmateriālu kvalitāte ir līdzvērtīga. Ja uztvertā jēlmateriālu cena ir augstāka, tad pieaug arī vidējā cena, bet pieprasījums pēc jēlmateriāliem samazinās. Turpretī pārstrādāto materiālu uztvertajai cenai paliekot zemākai par jēlmateriālu cenu un vidējai cenai augot, pārstrādātie materiāli kļūst relatīvi lētāki un pēc tiem palielinās pieprasījums, palielinot pieprasījuma-piedāvājuma attiecību. Kopējais pieprasītais iepakošanas apjoms kalpo par izejas lielumu radīto iepakošanas atkritumu apjomam atkritumu apsaimniekošanas modulī.

### *1.1.2. Patērētāju rīcības modulis*

Patērētāju rīcības modulī tiek simulēta patērētāju iesaistīšanās dinamika atkritumu šķirošanas aktivitātēs un tiek noteikts šķirojošo patērētāju īpatsvars. Patērētāja izvēli iesaistīties atkritumu šķirošanā nosaka vairāki iekšēji un ārēji faktori, kurus ņemot vērā visi patērētāji nosacīti ir iedalāmi četrās grupās: (1) „Vienaldzīgie” – patērētāji, kas atkritumus nešķiro un pagaidām arī nevēlas to darīt; (2) „Zaļie” – patērētāji, kurus satrauc apkārtējās vides stāvoklis un kuri vēlētos šķirot, bet kuriem vēl nav tādu iespēju, t.i. tiem nav piekļuves šķirošanas punktiem un/vai laukumiem; (3) „Zaļie šķirotāji” – patērētāji, kas šķiro atkritumus vides apsvērumu dēļ; (4) „Aprēķinātāji” – patērētāji, kas šķiro atkritumus ekonomisku apsvērumu dēļ.

Modelī tiek pieņemts, ka iesaistīšanos šķirošanā virza pamatā divu veidu faktori – apkārtējās vides stāvoklis un ekonomiskie apsvērumi. Par apkārtējās vides stāvokļa pasliktināšanos modelī signalizē poligonu aizpildīšanās pakāpe – jo lielāka tā ir, jo patērētāji vairāk uz to reaģē. Savukārt, maksa par nešķirotu atkritumu apsaimniekošanu un ar iesaistīšanos atkritumu šķirošanā saistītās neērtību izmaksas nosaka šķirošanas ekonomisko izdevīgumu – patērētāji izvērtē izmaksas un maksimizē savus ieguvumus, attiecīgi iesaistoties atkritumu šķirošanā vai turpinot atkritumus apglabāt poligonā.

To, cik ātri notiek pāreja uz vienu vai citu grupu, nosaka dažādi ātrumi, kurus, savukārt, ietekmē atšķirīgi faktori. Ātrums, ar kādu Vienaldzīgie kļūst par Zaļajiem ( $V_{V \rightarrow Z}$ ), atkarīgs no patērētāju daudzuma, kurus apkārtējās vides stāvoklis potenciāli varētu satraukt ( $Z$ ), un tiem patērētājiem, kurus vides problēmas jau satrauc un/vai kuri jau ir iesaistījušies atkritumu šķirošanā vides apsvērumu dēļ ( $S$ ) (skat. (6) formulu). Tiek pieņemts, ka indikatīvais potenciālo vides apsvērumu vadīto patērētāju daudzums ( $Z_{ind}$ ) sasniedz 70% visu patērētāju. Tādējādi 30% iedzīvotāju šķiros tikai tad, ja būs pietiekama ekonomiskā motivācija.

$$V_{V \rightarrow Z} = \frac{(Z_{Ind} - (Z + S))}{a - b \cdot L - c \cdot Z'_d} \quad (6)$$

Laiks, kas nepieciešams, lai patērētājs no Vienaldzīgo grupas pārietu uz Zaļo grupu, ir atkarīgs no uztvertā vides aizsardzības apsvērumu dēļ jau šķirojošo un šķirot izlēmušo patērētāju īpatsvara ( $Z'_d$ ) un vides problēmu apmēra, ko raksturo poligonu aizpildīšanās pakāpe ( $L$ ). Tiek pieņemts, ka pāriešanai no jebkuras patērētāju grupas uz citu kopumā ir nepieciešams viss simulācijas periods, t.i. 23 gadi. Formulā (6) tas tiek izteikts ar laika konstanti  $a$ . Dažādu faktoru ietekmē pārejas laiku ir iespējams saīsināt. Formulas (6) saucējs nosaka, ka laiku, kāds nepieciešams, lai Vienaldzīgie kļūtu par Zaļajiem, samazina to patērētāju pozitīvais piemērs, kuri jau šķiro vai arī grasās to darīt, lai aizsargātu vidi. Jo lielāka ir šādu patērētāju daļa, jo vairāk saīsinās laiks, un pieaug ātrums  $V_{V \rightarrow Z}$ . Tādējādi aprēķina izteiksme (6) parāda pozitīvā piemēra difūzijas ietekmi uz Zaļo patērētāju pieauguma ātrumu. Tiek ņemts vērā, ka, lai šo pozitīvo piemēru uztvertu, patērētājiem ir nepieciešams laiks, kas tiek izteikts ar informācijas novēlojumu. Tāpat ir sagaidāms, ka, saasinoties vides problēmām, proti, pieaugot  $L$ , palielināsies to patērētāju daļa, kas vides apsvērumu dēļ izlems šķirot, tādēļ laiku saīsina arī  $L$ . Laika konstantes  $a$ ,  $b$  un  $c$  ir pieņēmums, jo nav pieejamu pētījumu datu, kas parādītu šo skaitļu vērtības.

No tiem patērētājiem, kas izlēmuši šķirot un nonākuši Zaļo grupā, uzsākt šķirošanu var tikai tie, kuriem ir šķirošanas iespējas, t.i. ir pieejami šķirošanas punkti. Kopējais šo patērētāju daudzums sabiedrībā ir vienāds ar indikatīvā potenciālo vides apsvērumu vadīto patērētāju daudzuma,  $Z_{Ind}$ , un šķirošanas punktu pieejamības rādītāja reizinājumu. Ātrums, ar kādu notiek pārvietošanās no Zaļo grupas uz Zaļo šķirotāju grupu, tādējādi ir atkarīgs no jau šķirojošo patērētāju skaita un kopējā patērētāju skaita, kuram ir šķirošanas iespējas.

Modeļa izveidē tika pieņemts, ka lielai daļai patērētāju vides aizsardzības problēmas nebūtu motivējošas, lai iesaistītos atkritumu šķirošanā, un šo daļu motivētu ekonomiskie apsvērumi. Tas nozīmē, ka modelī šie patērētāji nekad nenonāk Zaļo grupā, bet gan paliek Vienaldzīgo grupā vai, uzsākot atkritumu šķirošanu, pievienojas Aprēķinātāju grupai. Ātrums, ar kādu notiek šī pāreja ( $V_{V \rightarrow A}$ ), atkarīgs no atkritumu apsaimniekošanas un neērtību izmaksu attiecības efekta ( $E_m$ ) un indikatīvā potenciālo ekonomisko apsvērumu vadīto patērētāju daudzuma ( $A_{Ind}$ ) (skat. (7) formulu). Pārejas laiks atkarīgs no šķirošanas punktu pieejamības ( $K_p$ ) un uztvertajām sabiedrības normām ( $N'_s$ ).

$$V_{V \rightarrow A} = \frac{(A_{Ind} - A) \cdot E_m}{a - b \cdot K_p - c \cdot N'_s} \quad (7)$$

Kā iepriekš minēts, nosakot atkritumu apsaimniekošanas izmaksas un patērētāju iesaistīšanos atkritumu šķirošanā, būtiska ir dalītās atkritumu vākšanas sistēmas pieejamība. Modelī tā tiek aprakstīta ar bezdimensionālu lielumu vērtībā no 0 līdz 1, kur 1 nozīmē simtprocentīgu nodrošinājumu ar šķirošanas punktiem. Parādoties iespējai atkritumus šķirot, patērētāji sāk apsvērt paradumu maiņu, līdz ar to mērķis ir panākt, ka šķirošanas punktu pieejamība ( $K_p$ ) sasniedz vērtību 1. Modelī tiek pieņemts, ka mērķa ( $K_p^*$ ) sasniegšanai dotais laiks ( $t^*$ ) ir līdz simulācijas perioda beigām, t.i. 23 gadi. Modelī  $K_p$  tiek aprēķināta pēc sakarības:

$$K_p = \int_{t=0}^{t=1} \left[ \frac{(K_p^* - K_p) \cdot (E_c + E_s + E_a + E_u)}{t^*} \right] (t) \cdot dt + K_p^{init} \quad (8)$$

kur  $E_c$  – savākto materiālu cenas efekts uz šķirošanas punktu pieejamību;

$E_s$  – šķiroto atkritumu savākšanas un apstrādes izmaksu efekts uz šķirošanas punktu pieejamību;

$E_a$  – atkritumu apglabāšanas maksas efekts uz šķirošanas punktu pieejamību;

$E_u$  – patērētāju pieprasījuma efekts uz šķirošanas punktu pieejamību;

$K_p^{init}$  – sākotnējā šķirošanas punktu pieejamība.

Dažādu faktoru ietekme uz šķirošanas punktu pieejamības palielināšanos ir raksturojama ar nelineāru sakarību palīdzību, kas (8) formulā definētas kā efekti.

### 1.1.3. Atkritumu apsaimniekošanas modulis

Atkritumu apsaimniekošanas modulī atkarībā no ikgadējā materiālu patēriņa, šķirojošo patērētāju īpatsvara un citiem lielumiem tiek aprēķinātas sašķirotās, pārstrādātās, atkārtoti izmantotās un poligonos apglabātās atkritumu plūsmas un poligonu aizpildīšanās pakāpe.

Tā kā primārais iepakojums ir produkts ar īsu lietderīgās izmantošanas laiku, tad tiek pieņemts, ka viss saražotais iepakojums mazāk kā viena gada laikā kļūst par izlietoto iepakojumu jeb atkritumiem. Līdz ar to tirgus modulī aprēķinātais kopējais pieprasītais iepakojuma apjoms atkritumu apsaimniekošanas modulī ir vienāds ar radīto iepakojuma atkritumu apjomu. Radītie atkritumi tiek apsaimniekoti, tos sašķirot un pārstrādājot vai apglabājot atkritumu apglabāšanas poligonā. Modelī tiek pieņemts, ka visi atkritumi, kas netiek atšķiroti tālākai pārstrādei, tiek apglabāti. Izņēmums ir stikla iepakojums, daļa no kura tiek izmantota atkārtoti.

Sašķirotu atkritumu daudzums ( $W_s$ ) ir atkarīgs no kopējā šķirojošo patērētāju īpatsvara ( $S_d$ ) un šķirošanas efektivitātes ( $\alpha$ ) un tiek aprēķināts sekojoši:

$$W_s = \frac{W_r^{kop} \cdot S_d \cdot \alpha}{t_s} \quad (9)$$

kur  $W_r^{kop}$  – kopējais radīto atkritumu daudzums, t;  
 $t_s$  – šķirošanas laiks, gadi.

Mājsaimniecībās sašķirotie iepakojuma materiāli pārsvarā ir ar piemaisījumiem, kas konkrētajā plūsmā nav pārstrādājami, tādēļ tiek apglabāti, piemēram, pārtikas paliekas, uzlīmes, etiķetes, korķi u.c. Šķirošanas efektivitātes koeficients  $\alpha$  raksturo sašķirotu materiālu tīrību un kvalitāti.

Kopējo sašķirotu atkritumu krājuma vērtība ( $W_s^{kop}$ ) ir vienāda ar tajā izejošās ik gadu sašķirotās atkritumu plūsmas ( $W_s$ ) un no tā izejošās pārstrādāto atkritumu plūsmas ( $W_p$ ) starpību (skat. (10) formulu).

$$W_s^{kop} = \int_{t=0}^{t=1} (W_s - W_p)(t) \cdot dt + W_s^{init} \quad (10)$$

Sākotnējais sašķirotu atkritumu daudzums ( $W_s^{init}$ ) ir vienāds ar sākotnējā radīto atkritumu daudzuma un sākotnējā šķirojošo patērētāju īpatsvara reizinājumu. Ik gadu pārstrādātais atkritumu daudzums tiek aprēķināts, reizinot kopējo sašķirotu atkritumu daudzumu ar pārstrādes efektivitātes koeficientu  $\beta$ , kas raksturo materiālu masas un kvalitātes zudumu (materiālu degradācija) pārstrādes rezultātā. Pārstrādātie materiāli tiek uzkrāti un pēc pieprasījuma ar noteiktu ātrumu piegādāti iepakojuma ražotājam.

Ik gadu pārstrādātais iepakojuma atkritumu daudzums tiek attiecināts pret ik gadu radīto iepakojuma atkritumu daudzumu, iegūstot pārstrādāto atkritumu īpatsvaru. Tas ir būtiskākais modeļa rezultāts, kuru izmantojot, iespējams novērtēt dažādu politikas instrumentu ietekmi uz iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmu un salīdzināt to efektivitāti attiecībā pret ES direktīvās un nacionālajos plānošanas dokumentos uzstādītajiem mērķiem.

Apglabātais iepakojuma atkritumu daudzums uzkrājas sadzīves atkritumu poligonos. Attiecinot kopējo apglabāto visu iepakojuma atkritumu daudzumu pret poligonu ietilpību, tiek iegūta poligonu aizpildīšanās pakāpe,  $L$ . Uzsākot simulāciju, sākotnējais poligonos apglabātais atkritumu daudzums ir 0t, tādējādi,  $L=0$ . Modelī pieņemts, ka  $L$  parāda, cik liela daļa atkritumu poligonu jau ir aizpildīta, un raksturo slodzi

uz vidi. Līdz ar to uz  $L$  pieaugumu sabiedrība reaģē, paaugstinot iepakojuma un poligonu nodokļus.

#### 1.1.4. Depozīta sistēmas modulis

Depozīta sistēmas modulis sastāv no vairākām daļām. Simulācijas sākuma posmā tiek noteikts depozīta iepakojuma apjoms tirgū, balstoties uz dzērienu patēriņu. Nākošajā posmā tiek modelēta patērētāju uzvedība depozīta sistēmā atkarībā no iepakojuma pieņemšanas punktu pieejamības, depozīta maksas apmēra un neērtību izmaksām tukšo iepakojumu atgriezt sistēmā. Visbeidzot tiek noteikts atgrieztā iepakojuma īpatsvars pārstrādei un atkārtotai izmantošanai. Moduļa pamata parametrus ietekmē eksogēnie mainīgie – iekšzemes kopprodukts un iedzīvotāju skaits.

Sākotnējā modeļa uzbūve tiek izmainīta, papildinot atkritumu apsaimniekošanas moduli tā, ka no kopējā radīto atkritumu krājuma ( $W_r^{kop}$ ) iziet vēl viena plūsma, kas raksturo depozīta sistēmā atgrieztā iepakojuma daudzumu. Nosakot ar depozīta sistēmas palīdzību ik gadu sašķīrotā iepakojuma daudzumu ( $W_s^{DS}$ ), tiek ņemts vērā atgrieztā iepakojuma īpatsvars ( $AI$ ), kas atkarīgs no patērētāju uzvedības (skat. (11) formulu).

$$W_s^{DS} = \frac{W_r^{kop} \cdot D_d \cdot AI}{t_s} \quad (11)$$

kur  $D_d$  – depozīta iepakojuma īpatsvars;

$t_s$  – šķirošanas laiks, gadi.

Depozīta sistēmas ieviešanas rezultātā mainās patērētāju paradumi. Tam par iemeslu ir dzērienu cenas paaugstināšanās, kas rodas, tiem pievienojot depozīta maksu. Pieaugot produktu cenai, daļa patērētāju izvēlētos produktu neiegādāties vai izvēlētos pielīdzināmu produktu, kas nav pievienots iepakojuma depozīta sistēmai. Šīs depozīta sistēmas modulī aprēķinātās dzērienu patēriņa izmaiņas tiek ievadītas tirgus modulī, nosakot kopējo atsauces pieprasījumu pēc iepakojuma materiāliem (skat. (12) formulu).

$$P^{DS} = P - P \cdot D_d \cdot \frac{\Delta Q}{Q_0} \quad (12)$$

kur  $P^{DS}$  – atsauces pieprasījums pēc primārā iepakojuma pēc depozīta sistēmas ieviešanas, kg;

$P$  – atsauces pieprasījums pēc primārā iepakojuma (pirms depozīta sistēmas ieviešanas), kg;

$\Delta Q$  – produkta pieprasījuma izmaiņas, vienības;

$Q_0$  – produktu patēriņš pirms cenas izmaiņām, vienības.

Izmainoties pieprasījumam pēc iepakojuma materiāliem, izmainās arī radīto iepakojuma atkritumu daudzums, kas tiek ievadīts atkritumu apsaimniekošanas modulī. Savukārt, depoziņa sistēmā atgriezta iepakojuma pārstrādes rezultātā izmainās arī kopējais pārstrādāto atkritumu īpatsvars.

Polietileraftalāts un alumīnijs pārstrādāto materiālu tirgū ir pieprasītākie, līdz ar to peļņu nesošākie materiāli. Ja no dalītās atkritumu vākšanas sistēmas šīs ienesīgās materiālu plūsmas tiek novirzītas, tad atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumiem mazinās interese pārējo šķiroto primāro iepakojumu savākt. Līdz ar to modelī tiek pieņemts, ka depoziņa sistēmas ieviešana mazina arī šķirošanas punktu ierīkošanas ātrumu dalītās atkritumu vākšanas sistēmā ((8) formulā efektu summai tiek pieskaitīts depoziņa sistēmas ieviešanas efekts uz šķirošanas punktu pieejamību, kura vērtība ir konstanta un vienāda ar  $-1$ ).

## **1.2. Sistēmas cēlonisko cilpu diagramma**

2. attēlā redzama darbā modelētās iepakojuma ražošanas un atkritumu apsaimniekošanas sistēmas cēlonisko cilpu diagramma, kas uzskatāmi parāda savstarpējo mijiedarbību starp modeļa daļām.

Atkarībā no pārstrādāto jēmmateriālu cenām un to attiecības pret vidējo materiālu cenu iepakojuma ražotājs izlemj, kādus materiālus un kādā apjomā tas izmantos ražošanā. Tas veido kopējo pieprasījumu pēc materiāliem, kam pieaugot, savukārt, palielinās radīto atkritumu daudzums un tādējādi arī poligonu aizpildīšanās pakāpe. Tā kā poligonu aizpildīšanās pakāpe norāda ietekmes uz vidi apmēru, tās pieaugums palielina sabiedrības informētību. Pateicoties sabiedrības informētībai, pieaug patērētāju skaits, kurus satrauc apkārtējās vides stāvoklis un kuri vēlētos uzsākt atkritumu šķirošanu (Zaļie). Sabiedrība uz pieaugošo vides piesārņojumu reaģē, paaugstinot iepakojuma nodokli, kas palielina materiālu cenu, tādējādi samazinot kopējo pieprasījumu pēc materiāliem, un poligonu nodokli, kas paaugstina atkritumu apglabāšanas izmaksas (un secīgi arī atkritumu apsaimniekošanas izmaksas). Izveidojas līdzsvarojošās cilpas (B1 un B2), kas palēnina atkritumu daudzuma pieaugumu. Tā kā atkritumu apglabāšana salīdzinājumā ar šķiroto iepakojuma materiālu savākšanu un pārdošanu kļūst neizdevīga, tad atkritumu apglabāšanas izmaksu pieaugums liek atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumiem ierīkot šķirošanas punktus. Līdz ar lielāku šķirošanas punktu pieejamību sarūk patērētāju neērtību izmaksas, kas saistītas ar iesaistīšanos atkritumu šķirošanā un pašu šķirošanas procesu. Kad atkritumu apsaimniekošanas izmaksas pārsniedz neērtību izmaksas, ekonomisko apsvērumu vadītie patērētāji kļūst ieinteresēti savas izmaksas samazināt, iesaistoties atkritumu šķirošanā (un kļūstot par Aprēķinātājiem). Šķirošanas punktu pieejamība ļauj arī Zaļajiem



šķirojošo patērētāju īpatsvara palielināšanos). Pieaugot kopējam šķirojošo patērētāju īpatsvaram, sarūk Vienaldzīgo skaits, samazinot arī ātrumu, ar kādu pieaug poligonu aizpildīšanās pakāpe. Izveidojas trešā līdzsvarojošā cilpa (B3), kas samazina ātrumu, ar kādu atkritumi tiek apglabāti poligonos. Savukārt, pārstrādāto materiālu piegāde tirgū pieaug, pazeminot pieprasījuma-piedāvājuma attiecību, kas izraisa pārstrādāto materiālu un vidējās cenas kritumu. Krītot materiālu vidējai cenai, kopējais pieprasījums pēc materiāliem pieaug, kas noved pie poligonu aizpildīšanās pakāpes pieauguma un tālāka šķirojošo patērētāju īpatsvara pieauguma. Rezultātā izveidojas pastiprinošā cilpa (R1), kas virza atkritumu daudzuma palielināšanos.

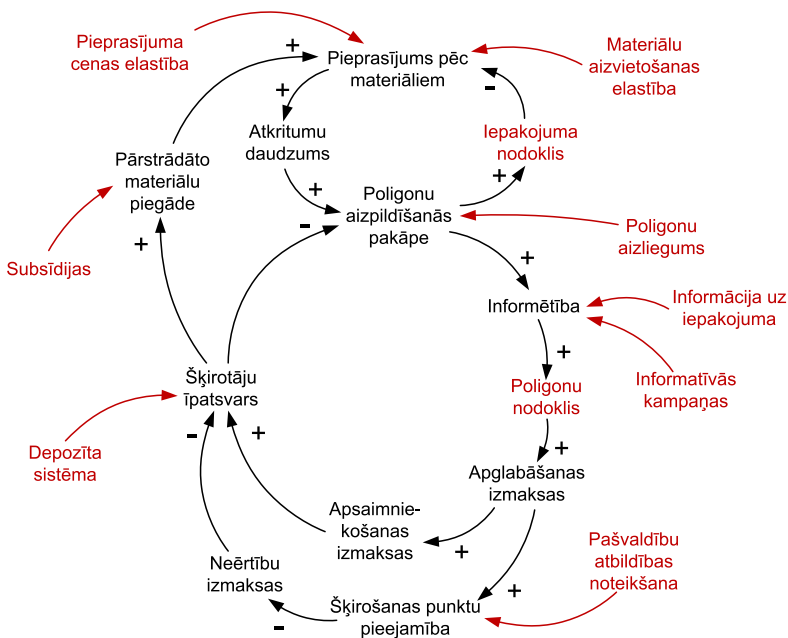
Modelētās sistēmas cēlonisko cilpu diagramma apraksta tā saucamo „atsitiena efektu”, kas rodas, palielinoties kopējam pieprasījumam pēc iepakojuma materiāliem lētāku (pārstrādāto) materiālu īpatsvara pieauguma rezultātā. Šajā darbā atsitiena efekts ir identificēts, analizējot atkritumu apsaimniekošanas sistēmu un tās ietekmi uz materiālu patēriņa izmaiņām, kas šādā kontekstā citu autoru pētījumos iepriekš nav aprakstīts.

### **1.3. Sistēmu ietekmējošo politiku veidošana un scenāriju izstrāde**

Esošo PIAAS iespējams izmainīt, pielietojot dažādas stratēģijas, kuru pamatā ir politiku veidošana. Veidojot politikas dizainu, tiek izsvērts, kādi jauni lēmumi, stratēģijas un struktūras varētu tikt ieviestas reālajā sistēmā.

Lai paaugstinātu PIAAS efektivitāti, ir nepieciešams izvēlēties dažādus politikas instrumentus. Darbā ir modelēti un analizēti ekonomiskie (fiskālie), regulējošie (administratīvie), informatīvie, infrastruktūras un ekodizaina instrumenti, lai noteiktu to individuālo un savstarpējo ietekmi uz sistēmas darbību (skat. 3.att.).

Politikas instrumenti izvēlēti tā, lai tiktu koriģēta noteiktu atkritumu apsaimniekošanas sistēmas posmu vai dalībnieku uzvedība. Politikas instrumentu ietekme uz PIAAS tika analizēta, izstrādājot vairākus scenārijus, kuros tika testētas instrumentu variācijas un kombinācijas. Izstrādāto scenāriju mērķis bija noteikt, kā PIAAS var tikt ietekmēta, lai paaugstinātu pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvaru un kavētu iepakojuma atkritumu uzkrāšanos sadzīves atkritumu apglabāšanas poligonos, kā arī uzlabotu citus sistēmas rezultatīvos rādītājus.



3.att. Sistēmas cēlonisko cilpu diagramma ar modelētajiem politikas instrumentiem

Vispirms tika izveidots bāzes scenārijs, kas parāda sistēmas potenciālo dinamiku, ja esošajā atkritumu apsaimniekošanas politikā nekas netiek mainīts, t.i. tika prognozēta PIAAS attīstība, izmantojot tos politikas instrumentus, kas ir bijuši spēkā laikā no 2007. – 2012.gadam ieskaitot (t.sk. atstājot nemainīgas arī iepakojuma un poligonu nodokļu likmes). Tālāk, izveidojot 17 scenārijus, tika testēts katrs politikas instruments atsevišķi, lai novērtētu, kādu ietekmi tie rada uz esošās sistēmas dinamisko uzvedību un vēlamo rezultātu sasniegšanu (skat. 1. tabulu). Visbeidzot tika izveidoti seši scenāriji, kuros politikas instrumenti tika kombinēti, veidojot politikas stratēģijas jeb dizainu un pārbaudot dažādu instrumentu pielietošanas kopējo ietekmi uz sistēmu (skat. 2. tabulu).



## Politikas stratēģiju scenāriji

Piemērotais politikas instruments	Scenārijs						
	Bāzes	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Depozīta sistēma	0	0	1	0	1	0	1
Depozīta maksa	-	-	1	-	1	-	1
Depozīta iepakojuma pieņemšanas punkti	-	-	1	-	1	-	1
Informatīvās kampaņas	-	-	1	-	12	-	1
Poligonu aizliegums	0	0	0	0	0	1	1
Poligonu nodoklis	0	10	10	0	1	0	1
Subsīdijas	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pašvaldību atbildības noteikšana	0	1	0	1	0	1	1
Informatīvās kampaņas	4	100	4	4	100	100	100
Informācija uz iepakojuma	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Iepakojuma nodoklis	0	10	1	10	1	10	1
Nodokļa atbrīvojums	0	0	0	0	0	0	0
Materiālu aizvietošanas elastība	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5
e <sub>d</sub> jēlmateriāliem	r.v.	r.v.	r.v.	2	r.v.	r.v.	r.v.
e <sub>d</sub> pārstrādātiem materiāliem	r.v.	r.v.	r.v.	2	r.v.	r.v.	r.v.

Scenārijā S1 tiek analizēta atkritumu dalītās savākšanas veicināšanas politika – bez tā, ka tiek ievērojami paaugstinātas iepakojuma un poligonu nodokļu likmes un subsīdiju apmērs, tiek noteikta arī pašvaldību atbildība par pārstrādes mērķu sasniegšanu tās teritorijā un veicināta sabiedrības informētība. Šī scenārija mērķis ir noteikt, vai bez tādu izmaksu ietilpīgu pasākumu, kā depozīta sistēmas vai poligonu aizlieguma ieviešanas iespējams panākt pārstrādāto atkritumu īpatsvara pieaugumu.

Scenārijā S2, tiek ieviesta depozīta sistēma, bet, lai patērētājos saglabātu motivāciju iesaistīties arī dalītās atkritumu vākšanas sistēmā, tiek ievērojami paaugstināts poligonu nodoklis. Ražotāji un atkritumu apsaimniekotāji tiek stimulēti ar mēreni pieaugošu iepakojuma nodokli un subsīdijām.

Scenārijs S3 palīdz saprast, kādu ietekmi uz sistēmu atstāj iepakojuma pārstrādi veicinoša politika caur paaugstinātu pieprasījumu pēc pārstrādātiem materiāliem no iepakojuma ražotāju puses. Tajā pašā laikā ar paaugstinātas iepakojuma nodokļa likmes un pieprasījuma cenas elastību

palīdzību tiek ierobežots kopējais iepakojuma materiālu patēriņš. Lai tiktu nodrošināta pārstrādāto materiālu piegāde, tiek noteikta pašvaldību atbildība, tādējādi stimulējot konteineru uzstādīšanu to teritorijā.

Scenārijā S4 liels uzsvars tiek likts uz sabiedrības informēšanu, lai redzētu, kāda ir sistēmas uzvedība situācijā ar salīdzinoši zemu šķirošanas infrastruktūras nodrošinājumu, bet augstu patērētāju zināšanu līmeni. Dalītās atkritumu vākšanas sistēmas attīstība tiek veicināta, mēreni paaugstinot iepakojuma un poligonu nodokļus. Bez tam, tiek ieviesta arī depozīta sistēma ar minimālo pieņemšanas punktu skaita pieauguma tendenci.

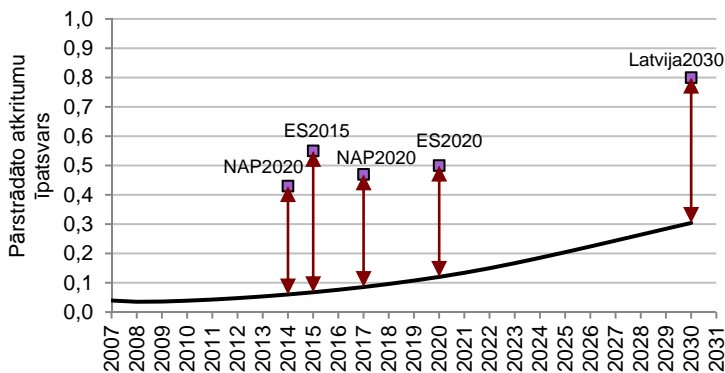
Scenārijā S5 tiek simulēts aizliegums poligonos apglabāt pārstrādājamos materiālus, nodrošinot to noietu ar iepakojuma ekodizaina veicināšanu. Vienlaikus tiek paaugstināts iepakojuma nodoklis, bet patērētāji tiek informēti par šķirošanas iespējām.

Visbeidzot scenārijā S6 tiek simulēta sistēmas dinamiskā attīstība, ja tiek ieviesti visi Atkritumu apsaimniekošanas valsts plānā 2013.-2020.gadam aplūkoti pasākumi papildus jau spēkā esošajiem.

## 2. REZULTĀTI

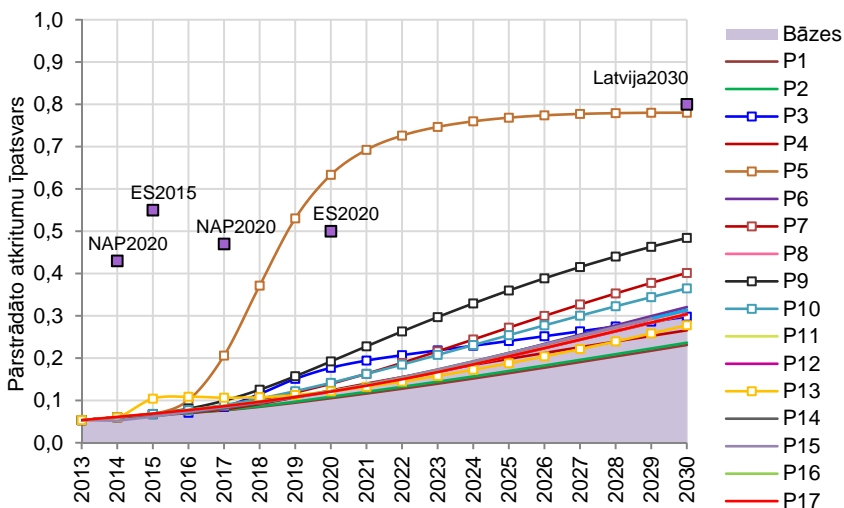
Ar izstrādātā sistēmdinamikas modeļa palīdzību iegūtie rezultāti izmantojami savstarpējo cēlonisko sakarību novērošanai starp sistēmas elementiem un sistēmas potenciālās attīstības prognozēšanai, ieviešot jaunu politikas stratēģiju.

Bāzes scenārijā iegūtie pārstrādāto atkritumu īpatsvara rezultāti parāda, ka ar spēkā esošo politiku nav iespējams sasniegt nevienu no ES direktīvā 2004/12/EK ar ko groza direktīvu 94/62/EK par iepakojumu un izlietoto iepakojumu (ES2015), ES direktīvā 2008/98/EK par atkritumiem (ES2020), Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģijā līdz 2030.gadam (Latvija2030) un Latvijas Nacionālajā attīstības plānā 2014.-2020.gadam (NAP2020) izvirzītajiem mērķiem (skat. 4.att.). Tāpēc ir nepieciešams noteikt, pielietojot kurus politikas instrumentus iespējams panākt pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvara pieaugumu pietiekamā ātrumā un apmērā.



4.att. Bāzes scenārijā iegūtā pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvara rezultāti attiecībā pret ES direktīvās un nacionālajos plānošanas dokumentos nospraustajiem mērķiem

Apkopojot politikas instrumentu testēšanas scenārijos P1 – P17 iegūtos pārstrādāto atkritumu īpatsvara dinamisko izmaiņu rezultātus laikā no 2013. – 2030.gadam, redzams, ka poligonu aizliegums ar savlaicīgi nodrošinātu šķirošanas punktu pieejamību, ir vienīgais politikas instruments, kuru ieviešot, teorētiski vēl iespējams panākt ES2020 nospraustā pārstrādes mērķa sasniegšanu (skat. 5.att.). Šī instrumenta rezultāts ir arī tuvu Latvija2030 mērķim. Savukārt, NAP2020 un ES2015 primārā iepakojuma atkritumu pārstrādes mērķu izpilde atlikušajā laikā vairs nav īstenojama.



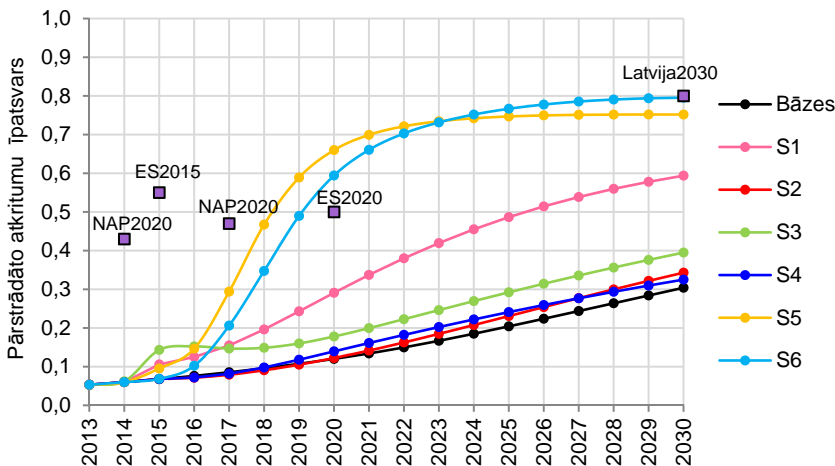
5. att. Pārstrādāto atkritumu īpatsvara rezultāti scenārijos P1 – P17

Kopumā vērtējot, primārā iepakojuma pārstrādes veicināšanai nepieciešams panākt patērētāju iesaistīšanos atkritumu šķirošanā. Lai to izdarītu, jāmazina/jākompensē patērētāju neērtību izmaksas, kas ar atkritumu šķirošanu saistītas. Visefektīvāk tās tiek mazinātas, nodrošinot šķirošanas punktu pieejamību. Līdz ar to jāpielieto tādi politikas instrumenti, kas veicina šķirošanas punktu vai, depozīta sistēmas gadījumā – iepakojuma pieņemšanas punktu, ierīkošanu. Arī instrumenti, kas ceļ sabiedrības informētības līmeni un vides apziņu kopumā, veicina atkritumu šķirošanu un pārstrādi. Atkritumu novēršanā efektīvākais instruments ir iepakojuma nodoklis. Savukārt, pārstrādāto materiālu īpatsvaru iepakojumā paaugstina ekodizaina instrumenti, kas vērsti uz materiālu aizvietošanu un jēlmateriālu izmantošanas mazināšanu.

Zinot politikas instrumentu ietekmi uz analizējamās sistēmas uzvedību, iespējams veidot politikas stratēģijas, kurās politikas instrumenti ir kombinēti. Scenārijos S1 – S6 izveidoto stratēģiju primārais mērķis ir paaugstināt pārstrādāto atkritumu īpatsvaru. Par papildu mērķiem kalpo poligona aizpildīšanās pakāpes ātruma mazināšana, atkritumu rašanās novēršana, pārstrādāto materiālu īpatsvara paaugstināšana produktos (iekājumā) u.c. rādītāji, kas liecina par sistēmas efektivitāti.

6. attēlā redzams, ka visaugstākie pārstrādāto atkritumu īpatsvara rezultāti tiek iegūti scenārijos S5 un S6, turklāt tie ir vienīgie scenāriji, kas ļauj izpildīt ES2020 pārstrādāto atkritumu īpatsvara mērķi. Abās stratēģijās

pārstrādi veicinošais instruments ir poligonu aizliegums, kā rezultātā patērētājiem tiek ātri nodrošināta pilnīga šķirošanas punktu pieejamība.

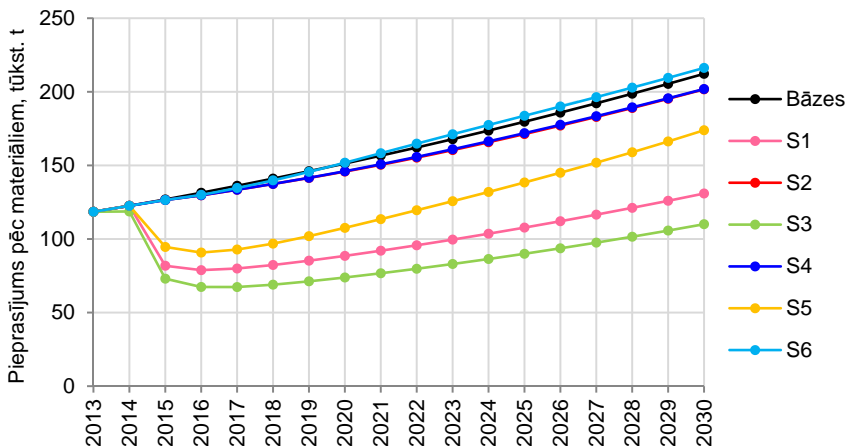


6. att. Pārstrādāto atkritumu īpatsvara rezultāti scenārijos S1 – S6

Zemāki pārstrādāto atkritumu īpatsvara rezultāti, turklāt ar krietni lēnāku pieaugumu, tiek panākti scenārijā S1, tomēr tas parāda, ka pastāvošo dalītās atkritumu vākšanas sistēmu bez krasām izmaiņām ir iespējams uzlabot tā, lai nepilnu 20 gadu laikā tiktu pārstrādāts gandrīz 60% radīto primārā iepakojuma atkritumu. Pārējos scenārijos iegūtie pārstrādāto atkritumu īpatsvara rezultāti no bāzes scenārijā iegūtā atšķiras salīdzinoši maz, tāpēc tajos simulētās politikas stratēģijas uzskatāmas par mazefektīvām situācijas uzlabošanai.

6. attēlā redzami rezultāti parāda, ka, lai arī atsevišķas izstrādātās stratēģijas krasi maina pastāvošo PIAAS, neviena no tām nepalīdz sasniegt ES2015 un NAP2020 uzstādītos pārstrādes mērķus. To sasniegšanai politikas kursa maiņai būtu bijis jānotiek ievērojami agrāk, kā simulētajā 2014./2015.gadā.

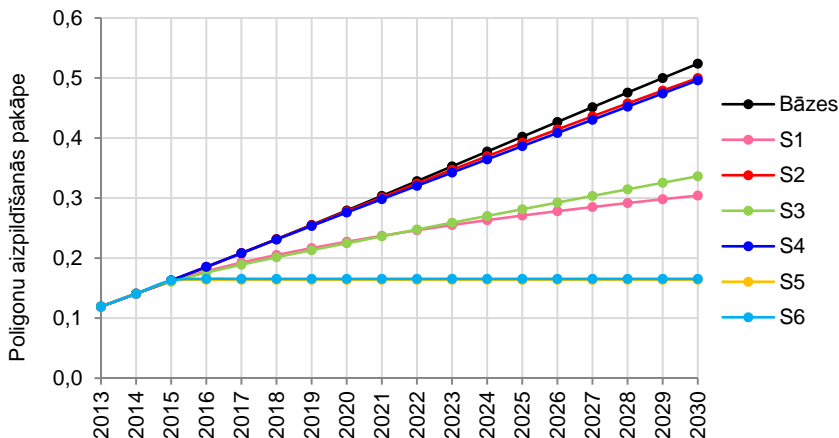
Aplūkojot iegūtos rezultātus, kas raksturo pieprasījumu pēc materiāliem, redzams, ka scenārijos S1, S3 un S5 tiek panākts ievērojams pieprasījuma kritums, kas pielīdzināms atkritumu novēršanai (skat. 7.att.). Visos minētajos scenārijos pieprasījuma samazināšanos izraisa strauja iepakojuma nodokļa likmes paaugstināšana. Vislielākais pieprasījuma kritums novērojams scenārijā S3, kur papildus tiek stimulēta arī ekodizaina instrumentu izmantošana, kas veicina iepakojuma materiālu ietilpības samazināšanu.



7. att. Pieprasījuma pēc iepakojuma materiāliem rezultāti scenārijos S1 – S6

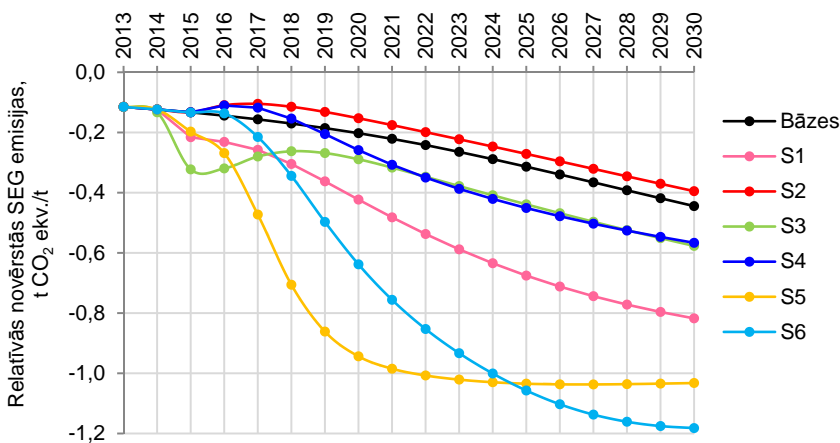
Materiālu patēriņa un atkritumu pārstrādes rezultāti skaidro poligonu aizpildīšanās pakāpes rezultātus. 8.attēlā redzams, ka scenārijos S2 un S4 poligonu aizpildīšanās ātrums ir tuvs bāzes scenārijā iegūtajam, turpretī pārējos scenārijos vērojama krasa poligonu aizpildīšanās ātruma palēnināšanās (scenārijos S1 un S3) vai pat apstāšanās (scenārijos S5 un S6). Palēnināšanās notiek patēriņa krituma iespaidā un, scenārija S1 gadījumā – arī pārstrādāto atkritumu īpatsvara pieauguma dēļ. Savukārt, poligonu aizpildīšanās pakāpes pieaugums apstājas līdz ar poligonu aizlieguma iedarbināšanu.

Lielākais pārstrādāto materiālu īpatsvara pieaugums tiek iegūts, izmantojot scenārijos S3 un S5 simulētās politikas stratēģijas, kuru pamatā ir ekodizainu veicinoši instrumenti – materiālu aizvietošanas elastības un iepakojuma nodokļa likmes paaugstināšana, bet scenārijā S3 – arī materiālu cenas elastības paaugstināšana. Salīdzinot ar bāzes scenāriju, augstāks pārstrādāto materiālu īpatsvars tiek iegūts arī scenārijā S1.



8. att. Poligonu aizpildīšanās pakāpes rezultāti scenārijos S1 – S6

Straujākais relatīvo novērsto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju daudzuma pieaugums uz tonnu pārstrādāto materiālu tiek iegūts scenārijā S5 (skat. 9.att.). Redzams, ka līdzīgi pārstrādāto atkritumu īpatsvaram (skat. 6. att.) arī relatīvo novērsto SEG emisiju daudzums pēc 2025.gada vairs praktiski nepieaug. Savukārt, scenārijā S6 relatīvo novērsto SEG emisiju daudzums saglabā pieaugošu tendenci visu simulācijas periodu un, sākot ar 2025.gadu, sasniedz lielāko novērsto daudzumu.



9. att. Relatīvo novērsto SEG emisiju daudzuma rezultāti scenārijos S1 – S6

Kopumā vērtējot, politikas stratēģijas, kas sniedz lielāko pozitīvo efektu uz sistēmas parametru izmaiņām, ir simulētas scenārijos S1, S3, S5 un S6. Scenārija S3 stratēģija pielietojama, ja politikas mērķi ir iepakojuma ekodizaina veicināšana un atkritumu novēršana, bet scenārija S6 stratēģija, ja mērķi ir iepakojuma atkritumu pārstrāde un apglabātā daudzuma samazināšana. Scenārijos S1 un S5 simulētās stratēģijas pielietojamas, ja visi minētie mērķi ir vienlīdz būtiski.

Politikas stratēģiju analīzes rezultāti liecina, ka politikas instrumentu kombinēšana nesniedz summāru, bet gan multiplikatīvu, sinerģisku efektu, ko lielā mērā nosaka dažādu instrumentu radītais atsitiens efekts jeb politikas pretestība, kas nozīmē, ka politikas instruments vai stratēģija tiek kavēta, ieviesta nemērķtiecīgi vai pat pilnībā sagrauta iepriekš neparedzētas reakcijas dēļ no sistēmas dalībnieku (elementu) puses. Politikas instrumentu un stratēģiju ietekme pēc laika var mazināties, līdz ar sabiedrības uzmanības atslābšanu vides stāvokļa relatīvas uzlabošanās (tālākas nepasliktināšanās) rezultātā. Tas, savukārt, var radīt atkārtotas vai jaunas vides piesārņojuma problēmas, tāpēc var būt nepieciešams pastiprināt ieviestos vai meklēt jaunus risinājumus (politikas instrumentus), ar kuru palīdzību tās novērst.

Darbā veiktās jutības analīzes rezultāti parāda, ka ieejas parametru nenoteiktība būtiski neietekmē pie bāzes vērtībām iegūtos politikas stratēģiju rezultātus, tātad to noturīgumu. Tādējādi var uzskatīt, ka iegūtie rezultāti ir ticami, bet izstrādātais modelis – pielietojams politikas instrumentu un stratēģiju testēšanā un analīzē.

## SECINĀJUMI

1. Darbā izstrādāts sistēmdinamikas modelis PIAAS uzvedības skaidrošanai un dinamiskās attīstības prognozēšanai. Ar izstrādātā modeļa palīdzību iespējams veikt dažādu politikas instrumentu un stratēģiju analīzi, nosakot to efektivitāti noteiktu mērķu sasniegšanā. Modelis ļauj iegūt un salīdzināt tādas PIAAS raksturojošus parametrus kā pārstrādāto atkritumu īpatsvars, radītais atkritumu daudzums, atkritumu šķirošanā iesaistīto patērētāju īpatsvars, poligonu aizpildīšanās ātrums u.c., tādējādi ļaujot izvērtēt politikas instrumentu ietekmi uz vairākiem sistēmas parametriem vienlaikus un izvēlēties konkrētiem apstākļiem piemērotākos politikas instrumentus. Modeļa testēšanas rezultātā iegūta pārlicība, ka modelī iekļauti būtiskākie reālās sistēmas dinamisko uzvedību noteicošie faktori un ka modelētās sistēmas robežas un detalizācijas pakāpe ļauj ticami aprakstīt reālo sistēmu, tāpēc ar modeļa palīdzību iegūtos simulāciju rezultātus var uzskatīt par ticamiem un reālo sistēmu skaidrojošiem. Modelis apbēts Latvijas apstākļiem.
2. Simulācijas rezultāti parāda, ka, esošajā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas politikā neko nemainot, nevar tikt sasniegti ES direktīvās un nacionālajos plānošanas dokumentos izvirzītie mērķi. Bāzes scenārijā iegūtais pārstrādāto primārā iepakojuma atkritumu īpatsvars 2020.gadā sasniedz vien 12% ES2020 noteikto 50% vietā, bet 2030.gadā – 30% stratēģijā „Latvija 2030” plānoto 80% vietā. Tas norāda uz nepieciešamību izstrādāt politikas stratēģiju, kas nospraustos mērķus ļautu sasniegt.
3. Darbā testēti desmit PIAAS piemērojami politikas instrumenti ar dažādām to ieviešanas variācijām, izveidojot kopumā 17 politikas instrumentu ietekmes analīzes scenārijus. Analīzes rezultāti parāda, ka visefektīvākais instruments pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvara celšanai un poligonu aizpildīšanās pakāpes pieauguma kavēšanai ir aizliegums poligonos apglabāt pārstrādājamus materiālus ar nosacījumu, ka mājāsaimniecībām tiek nodrošināta 100% dalītās atkritumu savākšanas sistēmas pieejamība, tādējādi mazinot vides piesārņojuma ar nelegāli izgāztiem atkritumiem risku. Izpildot minēto nosacījumu, poligonu aizliegums ir vienīgais instruments, kuru atsevišķi ieviešot iespējams panākt ES2020 nospraustā pārstrādes mērķa sasniegšanu. Šī instrumenta rezultāts ir arī tuvu stratēģijas „Latvija2030” mērķim.

4. Lai gan depozīta sistēma ir viens no efektīvākajiem patērētājus motivējošajiem instrumentiem, tās sniegtais piensums pārstrādāto atkritumu īpatsvarā ir pārāk mazs, lai to kopumā uzskatītu par efektīvu atkritumu apsaimniekošanas sistēmas uzlabošanas instrumentu. Depozīta iepakojuma īpatsvars kopējā iepakojuma atkritumu masā ir līdz 30%, līdz ar to pat, ja ar depozīta sistēmas palīdzību izdotos panākt, ka patērētāji atgriež atpakaļ sistēmā 100% depozīta iepakojuma, kopējais pārstrādāto atkritumu īpatsvars pieaugtu lielākais par 26%. Depozīta iepakojuma atgriešanu sistēmā visefektīvāk stimulē iepakojuma pieņemšanas punktu ērta pieejamība.
5. Izmantojot instrumentu ietekmes analīzes rezultātus, izstrādātas sešas politikas stratēģijas, kuru primārais mērķis ir pārstrādāto atkritumu īpatsvara paaugstināšana. Stratēģiju analīzes rezultāti parāda, ka visaugstākie pārstrādāto atkritumu īpatsvara rezultāti tiek iegūti scenārijos S5 un S6, turklāt tie ir vienīgie scenāriji, kas ļauj izpildīt ES2020 uzstādīto mērķi. Ar scenārijā S5 pielietoto politikas stratēģiju tiek panākts visstraujākais pārstrādes īpatsvara pieaugums, kas 2020.gadā ļauj pārstrādāt jau 66% radīto primārā iepakojuma atkritumu, bet ar scenārija S6 politikas stratēģiju 2030.gadā tiek panākts visaugstākais pārstrādāto atkritumu īpatsvars, izpildot arī nacionālās stratēģijas „Latvija 2030” mērķi. Papildus tam, scenārija S1 rezultāti parāda, ka pastāvošo dalītās atkritumu vākšanas sistēmu ir iespējams uzlabot, nepilnu 20 gadu laikā sasniedzot radīto primārā iepakojuma atkritumu pārstrādi 60% apmērā.
6. Rezultāti parāda, ka, lai arī atsevišķas izstrādātās stratēģijas krasi maina pastāvošo PIAAS, neviena no tām nepalīdz sasniegt ES2015 un NAP2020 uzstādītos atkritumu pārstrādes mērķus. To sasniegšanai politikas kursa maiņai būtu bijis jānotiek ievērojami agrāk, kā simulētajā 2014./2015.gadā.
7. Lielāko pozitīvo efektu uz sistēmas parametru izmaiņām sniedz scenārijos S1, S3, S5 un S6 simulētās stratēģijas. Scenārija S6 stratēģija pielietojama, ja politikas mērķi ir iepakojuma atkritumu pārstrāde un apglabātā daudzuma samazināšana, bet scenārija S3 stratēģija – ja politikas mērķi ir iepakojuma ekodizaina veicināšana un atkritumu novēršana. Scenārijos S1 un S5 simulētās stratēģijas pielietojamas, ja visi minētie mērķi ir vienlīdz būtiski. Iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka pārstrādāto primārā iepakojuma atkritumu īpatsvara celšanu un vienlaikus radīto atkritumu pieauguma novēršanu iespējams panākt ar

tāda politikas dizaina palīdzību, kas stimulē visas patērētāju grupas iesaistīties atkritumu šķirošanā un vienlaicīgi nodrošina, ka materiālu cenas vai to pieauguma temps nesamazinās.

8. Lai tiktu panākta patērētāju iesaistīšanās primārā iepakojuma atkritumu šķirošanā, nepieciešams mazināt/kompensēt patērētāju neērtību izmaksas, kas ar atkritumu šķirošanu saistītas. Visefektīvāk tās tiek mazinātas, nodrošinot ērtu dalītās atkritumu vākšanas sistēmas pieejamību, līdz ar to jāpielieto tādi politikas instrumenti, kas veicina šķirošanas punktu vai depozieta sistēmas gadījumā – iepakojuma pieņemšanas punktu ierīkošanu. Arī instrumenti, kas ceļ sabiedrības informētības līmeni un vides apziņu kopumā, veicina atkritumu šķirošanu un pārstrādi. Atkritumu novēršanā efektīvākais instruments ir iepakojuma nodoklis. Savukārt, pārstrādāto materiālu īpatsvaru iepakojumā paaugstina ekodizaina instrumenti, kas vērsti uz materiālu aizvietošanu un jēlmateriālu izmantošanas mazināšanu.
9. Politikas stratēģiju analīzes rezultāti liecina, ka politikas instrumentu kombinēšana nesniedz summāru, bet gan multiplikatīvu, sinerģisku efektu, ko lielā mērā nosaka dažādu politikas instrumentu radītais atsitiena efekts jeb politikas pretestība. Modelētajā sistēmā atsitiena efekts rodas, palielinoties kopējam pieprasījumam pēc iepakojuma materiāliem tirgū pieejamu lētāku (pārstrādāto) materiālu īpatsvara pieauguma rezultātā, ko rada pārstrādāto atkritumu īpatsvara palielināšanās. Literatūras analīze ļauj secināt, ka iepriekš veiktajos atkritumu apsaimniekošanas sistēmu pētījumos pārstrādāto atkritumu īpatsvara radītā ietekme uz materiālu patēriņa izmaiņām nav aprakstīta, līdz ar to šis ir pirmais pētījums, kurā atsitiena efekts tiek identificēts šādā kontekstā.