

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 darbs

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

Rīga 2013

UDK 628.4.04(043)

Dā 050 i

Dāce E. Integrētās primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas modelis. Promocijas darbs. - Rīga: RTU, 2013. – 160 lpp.

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

ISBN 978-9934-507-43-4

ANOTĀCIJA

Pārstrādājoša un resursu efektīva sabiedrība, kurā atkritumi tiek izmantoti kā resurss un tiek novērsta to rašanās, ir viens no Eiropas Savienības (ES) ilgtermiņa mērķiem. Vairākās ES valstīs iepakojuma atkritumu pārstrādes mērķu sasniegšanai izveidotas efektīvas atkritumu apsaimniekošanas sistēmas, tikmēr citās uzstādīto mērķu izpilde nesokas tik veiksmīgi. Latvijā līdz šim to izdevies paveikt galvenokārt pateicoties iepakojuma savākšanai un pārstrādei no tirdzniecības un rūpniecības sektoriem. Lai tiktu sasniegta arī turpmāka mērķu izpilde, ir nepieciešams panākt aktīvāku mājsaimniecību iesaisti. Mājsaimniecību primārā iepakojuma patēriņš un radīto atkritumu apsaimniekošana veido vienotu sistēmu. Efektīvu politikas stratēģiju izveides pamatā ir izpratne par ietekmējamās sistēmas struktūru un dinamisko uzvedību, kā arī potenciāli pieņemto lēmumu pilnu radīto ietekmi un atgriezeniskajām saitēm.

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt modeli, ar kura palīdzību iespējams analizēt primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas dinamisko uzvedību un noteikt politikas instrumentu ietekmi uz tās efektivitāti pārstrādāto atkritumu īpatsvara ziņā.

Darbā tika izstrādāts sistēmdinamikas modelis, ar kura palīdzību iespējams analizēt primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas dinamisko uzvedību un informēt par to lēmumu pieņēmējus. Modelis ļauj iegūt skaidrojumu par novērotajām parādībām primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmā un sniedz ieskatu sistēmai piemītošajā dinamiskajā uzvedībā. To izmantojot, iespējams pārbaudīt alternatīvus politikas instrumentus, ar kuru palīdzību sistēmu padarīt efektīvāku no mājsaimniecībām savāktā un pārstrādātā iepakojuma īpatsvara palielināšanai, iepakojuma atkritumu novēršanai un apglabātā atpakaļsamazināšanai.

Darbā iegūtie rezultāti paplašina zināšanas par primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas struktūru un uzvedību. Darbā izstrādāto modeli var izmantot lēmumu pieņēmēji, atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumi, zinātnieki un pētnieki.

ANNOTATION

One of the long-term objectives of the European Union (EU) is to become a recycling and resource-efficient society that seeks to avoid waste and uses waste as a resource. Some EU countries have developed successful waste management systems by applying specific economic, ecological, administrative and other mechanisms. But there are also countries struggling with meeting the recycling targets caused by an inappropriate choice of policy mechanisms. Latvia, as an EU member state, has to comply with the targets set by the EU Directives. Up until now Latvia has managed to reach the targets of the packaging recycling rates set in Directives primarily from the collection and recovery of packaging waste in commercial and industrial sectors. A further increase in recycling rates, though, becomes challenging, since both of the sectors become more and more exhausted as a source of packaging waste to recycle. Therefore, in order to secure further compliance to the Directives households have to be involved.

Consumption of primary packaging and its waste management are considered a single complex system. In order to develop a sustainable waste management system of the primary packaging it is necessary to understand the system's dynamic behaviour created by the system's actors and their interaction. One of the aims of system dynamics as a modelling method is expanding the borders of mental models. It allows seeing the complex feedback structure within the basis of the system under study. Whereas, a full understanding of the overall influence and feedbacks of the decisions made forms the basis of development of an effective policy strategy.

The aim of this doctoral thesis is to develop a model for analysing the structure and dynamic behaviour of an integrated waste management system of the primary packaging and for determining the influence of various policy instruments on the system's efficiency in terms of recycling rate.

In this thesis, a system dynamics model is developed for analysing the dynamic behaviour of the integrated waste management system of the primary packaging and informing decision makers about it. The developed model allows understanding the integrated waste management system of the primary packaging and describing the system's feedbacks. The model allows testing of alternative policy instruments aimed to increase the recycling and reuse rates of packaging waste.

Results obtained in this thesis extend knowledge of the structure and behaviour of the waste management system of primary packaging. The model developed in the thesis can be used by decision makers, waste management companies, academics and researchers.

PATEICĪBAS

Šī darba tapšana nebūtu iespējama bez tiem cilvēkiem, kas man bijuši blakus un palīdzējuši ar savām zināšanām, pieredzi, atbalstu un mīlestību. Vēlos izteikt visdziļāko pateicību darba zinātniskajai vadītājai profesorei Dagnijai Blumbergai par dalīšanos zināšanās un pieredzē, par uzstājību, kas mijās ar pacietību, par enerģiju, kas robežojās ar izturību. Mūsu kopīgais ceļš uz mērķi nav bijis viegls, tomēr vājā augušan kokam ir stipras saknes. Paldies profesorei par radītajām vēja brāzmām!

Vēlos pateikties profesoram Gatim Bažbaueram par neizmērojamo pacietību, izskaidrojot neskaidro, par sapratni un atvērtību un par patiesu iedziļināšanos un ieinteresētību zinātnisko jautājumu risināšanā.

Pateicos arī profesorei Andrai Blumbergai par sistēmiskās domāšanas teorijas un sistēmdinamikas metodes attīstīšanu RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūtā. Bez tā šī darba tapšana būtu neiespējama.

Ar dziļu mīlestību vēlos pateikties savai ģimenei, kuru šī darba izstrāde skāra vistiešāk. Paldies manai mammai Aijai par vienmēr sniegto atbalstu un iedrošinājumu spert nākamo soli un neapstāties pie sasniegtā! Paldies manam vīram Edgaram par radīto drošības sajūtu un spēju no lielākā skeptiķa pārtapt manā kvēlākajā atbalstītājā! Paldies manai meitai Elisai, kas visu šo laiku bija mans dzirkstošais prieks un kas šī darba pabeigšanu, šķiet, gaidīja visvairāk! Paldies Inītai un Egilam, Tomasam un Beātei! Paldies draugiem par sniegto uzmundrinājumu!

Pateicos esošajiem un bijušajiem kolēģiem no RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta, īpaši Ievai Pakerei un Alisei Bērziņai, kas palīdzēja risināt ar depozīta sistēmu un sistēmdinamiku saistīto izpēti. Paldies arī Dacei Eihvaldei par palīdzību oficiālo jautājumu kārtošanā!

Elīna Dāce

Promocijas 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”.



SATURS

IEVADS.....	8
1. LITERATŪRAS APSKATS.....	11
1.1. Ilgtspējīgas integrētās atkritumu apsaimniekošanas sistēmas jēdziens.....	11
1.2. Iepakojums un tā atkritumu apsaimniekšana.....	13
1.3. Atkritumu apsaimniekošanas sistēmas dalībnieku uzvedība.....	23
1.3.1. Patērētāju rīcība.....	23
1.3.2. Atkritumu apsaimniekotāju rīcība.....	28
1.3.3. Iepakojuma ražotāju rīcība.....	30
1.4. Situācijas raksturojums Latvijā.....	32
1.5. Iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas regulēšanā pielietotie politikas instrumenti un modelēšanas metodes.....	39
1.6. Sisēmiska domāšana un sistēmdinamikas metode.....	42
2. METODOLOĢIJA.....	48
2.1. Modeļa eksogēnie mainīgie.....	50
2.2. Modeļa uzbūve.....	51
2.2.1. Tirgus modulis.....	53
2.2.2. Patērētāju rīcības modulis.....	60
2.2.3. Atkritumu apsaimniekošanas modulis.....	71
2.3. Sistēmas cēlonisko cilpu diagramma.....	74
2.4. Sistēmu ietekmējošo politiku veidošana.....	76
2.4.1. Depozīta sistēma.....	78
2.4.2. Aizliegums poligonos apglabāt materiālus.....	95
2.4.3. Poligonu nodoklis.....	95
2.4.5. Pašvaldību atbildības noteikšana.....	97
2.4.6. Informatīvās kampaņas.....	97
2.4.7. Informācija uz iepakojuma.....	98
2.4.8. Iepakojuma nodoklis.....	99
2.4.9. Materiālu aizvietošanas elastība.....	100
2.4.10. Pieprasījuma cenas elastība.....	101
2.5. Siltumnīcas efekta gāzu emisiju aprēķināšana.....	101
2.6. Modeļa testēšana.....	103
2.7. Modeļa ierobežojumi.....	107
2.8. Scenāriju izstrāde.....	109

3. REZULTĀTI UN TO APSPRIEŠANA.....	113
3.1. Bāzes scenārija rezultāti	113
3.2. Politikas instrumentu ietekmes analīze	117
3.3. Politikas stratēģiju analīze.....	123
3.4. Politikas jutības analīze	128
SECINĀJUMI	132
PIELIKUMI	134
LITERATŪRA	151

IEVADS

Iepakojums veido fizisku barjeru, kas pasargā iepakoto produktu no mehāniskiem bojājumiem un baktēriju, ķīmisko vielu, smaržu u.c. pārneses, 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 pārstrādājamo 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 šie sektori kļūst par arvien izsmeltāku savācamā 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

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt modeli, ar kura palīdzību iespējams izprast primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas dinamisko uzvedību un noteikt politikas instrumentu ietekmi uz tās efektivitāti pārstrādāto atkritumu īpatsvara ziņā.

Darba mērķa sasniegšanai izvirzītie uzdevumi ir sekojoši:

- a) izpētīt primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas uzbūvi;
- b) izpētīt primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas dalībnieku uzvedību un rīcību noteicošos faktoros;
- c) izveidot sistēmdinamikas modeli, kurā ietverti primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmu veidojošie elementi un matemātiski aprakstītas to savstarpējās sakarības;
- d) aprakstīt primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas dinamisko uzvedību un prognozēt tās attīstību nākotnē;
- e) atlasīt politikas instrumentus, kas potenciāli varētu paaugstināt pārstrādāto primārā iepakojuma atkritumu īpatsvaru, un novērtēt to efektivitāti pārstrādes mērķu sasniegšanā;
- f) izstrādāt politikas stratēģijas pārstrādāto primārā iepakojuma atkritumu īpatsvara celšanai un novērtēt to ietekmi uz sistēmas ilgtspējību.

Izpētes metodika

Darbā izmantotas kvalitatīvās un kvantitatīvās pētījumu metodes.

Primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas 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 iepakojama atkritumu apsaimniekošanas sistēmas darbība, analizēta sistēmas dalībnieku uzvedība un veikta zinātniskās literatūras, politikas dokumentu, ziņojumu un pārskatu kontentanālizē. 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 primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas struktūru un uzvedību un tai piemēroto politikas instrumentu efektivitāti. Izstrādātais modelis sniedz skaidrojumu par novērotajām parādībām primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmā 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 primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas analīzei arī citās valstīs.

Darbā izstrādātais modelis ļauj integrēti analizēt dažādu primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas dalībnieku (patērētāju, iepakojuma ražotāju un atkritumu apsaimniekotāju) uzvedību. Tāpat ir iespējams atsevišķi analizēt primārā iepakojuma dalītās atkritumu vākšanas sistēmu un depozīta sistēmu, kā arī kombinēto sistēmu, kurā dalītās atkritumu vākšanas un depozīta sistēmas apvienotas. Modelis ļauj pārbaudīt alternatīvus politikas instrumentus, ar kuru palīdzību katru no sistēmām padarīt efektīvāku no mājaisaimniecībām 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 atsītiens efekts, radot materiālu patēriņa pieaugumu. Iepriekš pārstrādāto atkritumu īpatsvara radītā ietekme uz materiālu patēriņa

izmaiņām nav aprakstīta, un šādā kontekstā darbā identificētais atsītiens efekts tiek aprakstīts pirmo reizi.

Darba praktiskais izmantojums

Promocijas darbam ir liela praktiskā nozīme. Darbā izstrādātais modelis palīdz izprast iepakošanas atkritumu apsaimniekošanas sistēmas 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 izstrādātā modeļa palīdzību analizēta to ietekme uz primārā iepakošanas atkritumu apsaimniekošanas sistēmu. 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 sniedz praktisku labumu sabiedrībai kopumā, jo sniedz informāciju par patērētāju nozīmīgo lomu primārā iepakošanas atkritumu apsaimniekošanas sistēmā.

1. LITERATŪRAS APSKATS

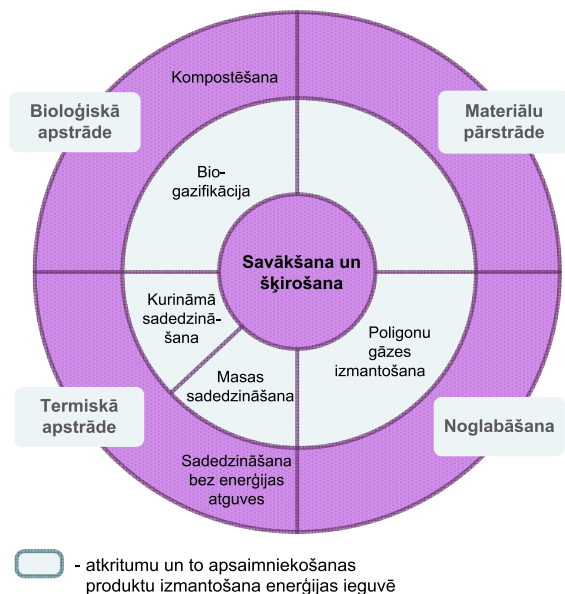
1.1. Ilgtspējīgas integrētās atkritumu apsaimniekošanas sistēmas jēdziens

Integrētā atkritumu apsaimniekošana tiek definēta kā atkritumu plūsmu, savākšanas un apstrādes metožu, vides ieguvumu, ekonomiskās optimizācijas un sabiedrības pieņemamības integrācija praktiskā sistēmā, kas pielāgojama jebkuram reģionam [1]. Integrētā atkritumu apsaimniekošana ietver dažādu apstrādes un apglabāšanas iespēju izmantošanu, tai skaitā, atkritumu samazināšanu, atkārtotu izmantošanu un pārstrādi, apglabāšanu atkritumu poligonā, kā arī alternatīvās iespējas – pirolīzi, gazifikāciju, kompostēšanu un anaerobo sadalīšanu. Tajā pašā laikā integrācija ietver arī principu, ka neviens no apstrādes un apglabāšanas veidiem nav labāks par citiem un ka katram no tiem ir sava loma, kā arī, ka izveidotā atkritumu apsaimniekošanas sistēma ir konkrētā reģiona videi vislabākā un ekonomiski ilgtspējīgākā kombinācija [2].

Vides ilgtspējība nozīmē, ka apstrādes un apglabāšanas veidiem un to integrācijai vajadzētu veidot tādu atkritumu apsaimniekošanas sistēmu, kas samazina atkritumu apsaimniekošanas kopējo ietekmi uz vidi, t.sk., samazinot enerģijas patēriņu, augsnes, gaisa un ūdens piesārņojumu un diskomfortu. Ekonomiskā ilgtspējība, savukārt, nozīmē, ka kopējām atkritumu apsaimniekošanas sistēmas izmaksām vajadzētu būt pieņemamām visām konkrētā reģiona iesaistītajām pusēm, t.sk., mājāsaimniecībām, uzņēmumiem, dažādām valsts, pašvaldību un privātajām iestādēm [1].

Lai noteiktu vides un ekonomiski ilgtspējīgāko sistēmu, ir nepieciešams izvērtēt jau esošo atkritumu apsaimniekošanas infrastruktūru, piemēram, atkritumu poligonu pieejamību, esošās šķirošanas un pārstrādes iekārtas, apstrādājamo atkritumu veidus, saražoto atkritumu daudzumu utt. 1.1.attēls parāda, ka integrētās atkritumu apsaimniekošanas sistēmas centrā ir atkritumu šķirošana un savākšana, jo no tā atkarīgas atkritumu tālākās apstrādes un apglabāšanas iespējas (pārstrāde, kompostēšana, izmantošana enerģijas atgūvē u.c.). Materiālu pārstrāde sekmē lietderīgo atkritummateriālu (papīrs, stikls, metāli u.c.) atdalīšanu jau pārstrādes rūpnīcā. Atlikušie atkritumi var tikt apstrādāti kā no atkritumiem iegūtais kurināmais (*angļu val. – refuse derived fuel (RDF)*) vai arī sadedzināti atkritumu sadedzināšanas iekārtās enerģijas atgūšanai. Atkritumi var tikt apglabāti atkritumu poligonā poligonu gāzes ražošanai, ko sadedzinot iespējams izmantot enerģijas atgūšanai. Vairumā gadījumu visu apstrādes veidu atlikumproduktiem kā beigu posms nepieciešama apglabāšana atkritumu poligonā. Integrētajai atkritumu apsaimniekošanas sistēmai vajadzētu iekļaut vienu vai visas augstāk minētās un 1.1.attēlā parādītās iespējas [1].

Integrētā atkritumu apsaimniekošana var tikt interpretēta arī kā dažādu avotu (tirdzniecības, mājāsaimniecības, rūpniecības u.c.), materiālu (metālu, papīra, kompozītu u.c.) vai ražošanas produktu (iepakojums, mājāsaimniecības iekārtas u.c.) atkritumu apsaimniekošanas integrācija. Tādi atkritumi kā būvgruži, notekūdeņu attīrīšanas dūņas, bīstamie, lauksaimniecības, rūpniecības un mājāsaimniecības atkritumi – visi ir iekļaujami integrētā atkritumu apsaimniekošanas sistēmā. Tomēr, tik dažādas atkritumu grupas rodas atšķirīgos daudzumos, to apsaimniekošana visbiežāk ir nodota dažādām atbildīgajām institūcijām, turklāt tās ir pakļautas dažādiem likumdošanas aktiem, līdz ar to tās ir ievērojami grūtāk integrējamas vienotā sistēmā, nekā, piemēram, mājāsaimniecības atkritumi [1].



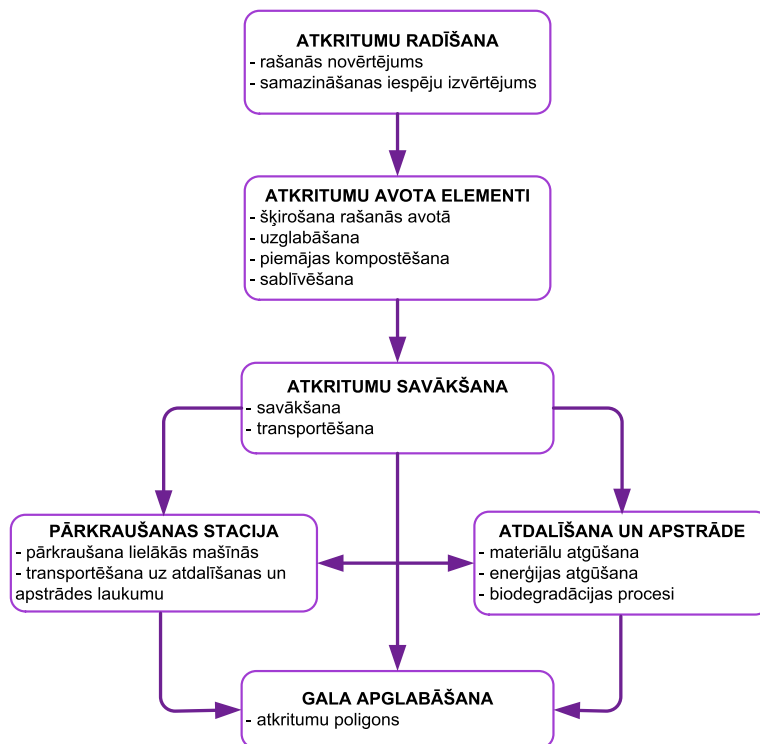
1.1. att. Integrētās atkritumu apsaimniekošanas sistēmas elementi [2]

Saskaņā ar Thobanoglosu [3], integrēto atkritumu apsaimniekošanu iespējams definēt arī kā sešu funkcionālo elementu integrāciju, kas ir sekojoši:

1. Atkritumu radīšana – atkritumu rašanās novērtējums un tās samazināšanas iespēju izvērtējums;
2. Atkritumu pirmapstrāde un atdalīšana, uzglabāšana un apstrāde to rašanās avotā – ietver darbības, kas saistītas ar atkritumu apsaimniekošanu līdz brīdim, kad tie tiek novietoti atkritumu konteinerā tālākai savākšanai. Tas var ietvert arī atkritumu dalīšanu pārstrādājamajos un nepārstrādājamajos atkritumos to rašanās avotā, piemēram, mājāsaimniecībā. Šī funkcionālā elementa daļa ir arī dzīvokļu atkritumu uzglabāšanas konteineru paredzēšana un nodrošināšana. Apstrāde ietver arī tādus procesus, kā sablīvēšana vai organisko atkritumu kompostēšana;
3. Savākšana – šis atkritumu apsaimniekošanas sistēmas elements ietver atkritumu savākšanu un transportēšanu uz vietu, kur savākšanas mašīna tiek iztukšota un kas var būt, piemēram, materiālu pārstrādes rūpnīca, atkritumu pārkraušanas stacija vai apglabāšanas poligons;
4. Atdalīšana, apstrāde un cieto atkritumu pārveidošana – atdalīto materiālu atgūšana, atkritumu komponentu atdalīšana un apstrāde, kā arī atkritumu pārveidošana ir elementi, kas galvenokārt norisinās vietās prom no atkritumu rašanās avota. Šī kategorija ietver atkritumu apstrādi materiālu pārstrādes rūpnīcās, atkritumu pārkraušanas staciju darbības, anaerobo sadalīšanu, kompostēšanu un sadedzināšanu ar enerģijas atgūvi;
5. Pārkraušana un transportēšana – šis elements ietver atkritumu pārkraušanu no mazākām savākšanas mašīnām uz lielāku transportēšanas aprīkojumu un tam sekojošu atkritumu transportēšanu, visbiežāk – lielos attālumos uz apstrādes rūpnīcu vai apglabāšanas poligonu. Pārkraušana tiek veikta atkritumu pārkraušanas stacijā;

6. Apglabāšana – avotā radušos atkritumu un atlikumu, kas radušies materiālu pārstrādes, atkritumu sadedzināšanas, kompostēšanas vai anaerobās sadalīšanas u.c. procesu rezultātā, apglabāšana poligonā.

1.2. attēlā parādīta minēto sešu integrētās atkritumu apsaimniekošanas sistēmas funkcionālo elementu savstarpējā saistība.



1.2. att. Integrētās cieto atkritumu apsaimniekošanas sistēmas funkcionālo elementu savstarpējās saistības shematisks attēlojums [3]

Thobanoglosa [3] aprakstītā integrētā atkritumu apsaimniekošana ietver funkcionālo elementu pielietojuma izvērtējumu, kā arī visu saskarsmes punktu un saikņu efektivitāti un ekonomiku integrētas atkritumu apsaimniekošanas sistēmas izveidei. Līdz ar to, integrētā atkritumu apsaimniekošana tiek definēta kā atbilstošu paņēmieni, tehnoloģiju un apsaimniekošanas programmu izvēle un pielietojums konkrētu atkritumu apsaimniekošanas mērķu un uzdevumu sasniegšanai.

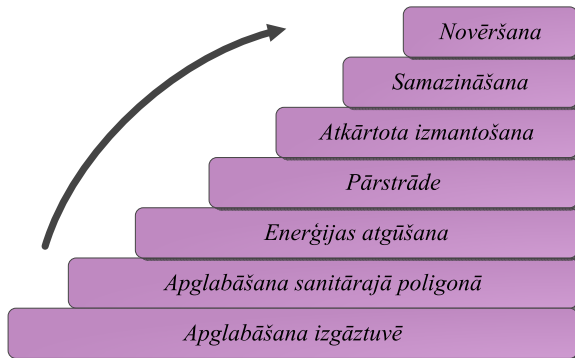
1.2. Iepakojums un tā atkritumu apsaimniekošana

Atbilstoši iepakojuma likumam „Iepakojums ir precēm pievienots izstrādājumu kopums, kas izgatavots no dažādiem materiāliem un ko izmanto, lai aizsargātu, saturētu, piegādātu, uzglabātu, ērti lietotu un realizētu izejvielas un gatavas preces, kā arī lai iepazīstinātu ar tām visā iepakojuma dzīves cikla laikā no ražotāja līdz patērētājam. Iepakojums tiek atdalīts no preces pirms patērēšanas vai patērēšanas laikā” [4]. Izšķir primāro, sekundāro un terciāro iepakojumu. Primārais jeb tirdzniecības iepakojums ir iepakojums, kas ir tiešā saskarē ar produktu un nonāk pie gala patērētāja tirdzniecības vietā

[5]. Saskaņā ar Europen veikto pētījumu [6] primārais iepakojums sastāda aptuveni 42% visas iepakojuma masas. 70% primārā iepakojuma sastāda pārtikas produktu iepakojums [7]. Sekundārais jeb grupas iepakojums paredzēts noteikta daudzuma tirdzniecībai paredzētu preču vai produktu vienību kopīgai iepakojšanai, un sastāda aptuveni 21% visas iepakojuma masas [5,6]. Savukārt, terciārais jeb transporta iepakojums tiek izmantots tirdzniecībai un ražošanai paredzēto produktu vai sekundārā iepakojuma vienību transportēšanai un paredzēts, lai izvairītos no produktu bojāšanas transportēšanas laikā [5]. Tas sastāda 36% visas iepakojuma masas [6].

Iepakojums kļūst par izlietoto iepakojumu jeb atkritumiem tiklīdz tā īpašnieks no tā atbrīvojas, ir nodomājis vai ir spiests atbrīvoties. Atkritumu veidošanās daudzumu un sastāvu ietekmē četri galvenie faktori: (i) socio-ekonomiskie rādītāji; (ii) patēriņa tendences; (iii) demogrāfiskās izmaiņas; un (iv) pasākumi atkritumu rašanās novēršanai [8]. Iepakojuma atkritumu stadija izbeidzas, ja tie tiek sagatavoti atkārtotai izmantošanai, pārstrādāti vai reģenerēti, t.i. tie tiek izmantoti sākotnējam vai jaunam nolūkam [9].

Kopš 20.gadsimta septiņdesmito gadu sākuma Eiropas Savienības (turpmāk – ES) vides politikas attīstību ir virzījušas vides rīcības programmas. ES atkritumu politikas pamatā ir atkritumu hierarhijas jēdziens jeb dabas resursu ilgtspējīgas izmantošanas un atkritumu apsaimniekošanas prioritārā kārtība (skat. 1.3. att.). Tas nozīmē, ka ideālā gadījumā atkritumu rašanās būtu jānovērš. Atkritumi, kuru rašanos novērst nav iespējams, ir pēc iespējas jāizmanto atkārtoti, jāpārstrādā un jāreģenerē, bet atkritumu apglabāšana poligonos jāsamazina līdz minimumam. Līdz ar to ES ir izvirzīts vispārējs mērķis virzīties uz pārstrādājamo sabiedrību ar augstu resursu efektivitātes līmeni. Tā kā mūsdienās tiek izmantoti milzīgi iepakojuma apjomi un tos ir salīdzinoši viegli atgriezt atpakaļ ciklā, tad iepakojuma atkārtota izmantošana un pārstrāde ir kļuvusi par vienu no ES prioritātēm.



1.3. att. Atkritumu apsaimniekošanas hierarhijas shēma [9]

Izveidotā hierarhija ir tikai atkritumu apsaimniekošanas sistēmas „mugurkauls” – lai to uzturētu, ir nepieciešama aktīva dalībvalstu un vietējo institūciju iesaistīšanās un rīcība. Vairums lēmumu attiecībā uz labākajiem risinājumiem mērķu sasniegšanā ir jāpieņem nacionālā, reģionālā un lokālā dalībvalstu līmenī, tādējādi izmantojot politikas instrumentus atbilstoši specifiskiem apstākļiem – ģeogrāfiskajai, pārvaldības un sociālajai situācijai, kā arī esošajai atkritumu apsaimniekošanas infrastruktūrai. Lai tiktu veicināta virzība augšup pa atkritumu apsaimniekošanas hierarhijas līmeņiem, ir nepieciešama ilgtspējīga un integrēta pieeja atkritumu apsaimniekošanas jautājumu risināšanā, kā arī sadarbība starp visām iesaistītajām pusēm.

ES dalībvalstis atšķiras ar pielietotajiem mehānismiem jeb izlietotā iepakojuma apsaimniekošanas sistēmām. Vairumā dalībvalstu, t.sk. Latvijā, izveidota dalītās atkritumu vākšanas sistēma. Tomēr vairākās valstīs izveidota arī depozīta sistēma dzērienu iepakojumam.

Atkritumu dalītā vākšana nozīmē atkritumu plūsmu nošķiršanu pēc atkritumu veida un īpašībām, lai tās varētu vieglāk apstrādāt. Dalītās atkritumu vākšanas sistēma palīdz to nodrošināt bieži vien ar īpašu konteineru palīdzību, kas izvietoti atkritumu rašanās avotu tuvumā – pie rūpniecības un tirdzniecības objektiem, kā arī dzīvojamajos rajonos. Dalītās atkritumu vākšanas sistēmas izveides pamatā ir ražotāja paplašinātās atbildības sistēma, kurā tiek noteikta (paplašināta) ražotāja atbildība (finansiāla vai fiziska) par tā ražoto produktu apsaimniekošanu līdz to aprites cikla beigām. Paplašinātās ražotāja atbildības mērķis ir novērst atkritumu rašanos avotā, veicināt videi draudzīgu produktu dizainu, kā arī atbalstīt uzstādīto pārstrādes un materiālu pārvaldības mērķu sasniegšanu [10]. Jebkuras ražotāja paplašinātās atbildības programmas pamatā ir prasība radīto atkritumu obligātai atpakaļpieņemšanai un apsaimniekošanai vai arī juridisks pienākums šīs darbības finansēt. Bez tam, tiek pieņemti arī noteikti pārstrādes mērķi, kā tas ir iepakojuma gadījumā. Lai izpildītu šīs prasības, no ražotāju puses tiek ieviesti dažādi risinājumi. Izmaksu samazināšanai uzņēmumi var dibināt t.s. ražotāju paplašinātās atbildības organizāciju, kas ir ražotāju pārvaldīta bezpeļņas organizācija. Tās pamata uzdevums ir uzstādīt un pārvaldīt atkritumu savākšanas un apstrādes infrastruktūru tās individuālo biedru vietā. Kritisks ražotāju paplašinātās atbildības sistēmas aspekts ir veids, kādā individuālie ražotāji finansē ražotāju paplašinātās atbildības organizācijas darbību. Iepakojuma gadījumā visbiežāk tiek noteikta līguma maksa atkarībā no materiāla veida un tā daudzuma [10,11].

Lai ražotāju paplašinātās atbildības shēmā novērstu t.s. bezbiļetnieku (*angļu val. – free riders*) problēmu, kad uzņēmumi obligātajā sistēmā nepiedalās, tiek piemērots iepakojuma nodoklis. Dažādiem iepakojuma materiāliem nodokļa likmes var atšķirties atkarībā no materiāla aprites cikla ietekmes uz vidi, tādējādi veicinot videi draudzīgāku materiālu izmantošanu iepakojuma ražošanā. Daudzās valstīs nodokļu likmes veidotas tā, lai veicinātu arī atkārtoti lietojamā iepakojuma īpatsvara pieaugumu.

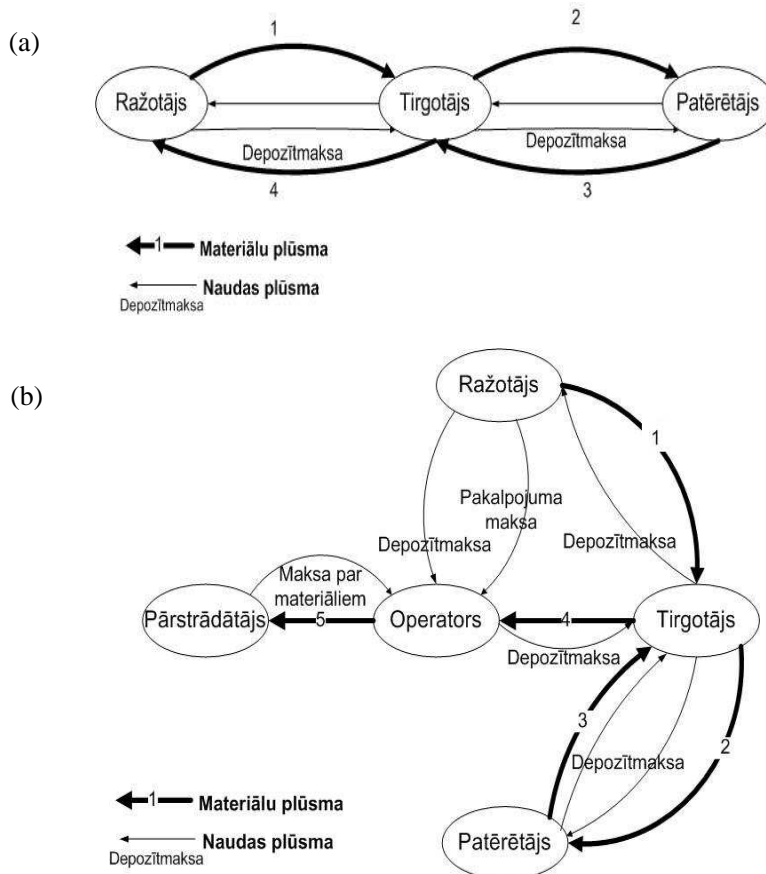
Būtiskākā dalītās atkritumu vākšanas sistēmas priekšrocība ir salīdzinoši plašais materiālu veidu klāsts, ko tajā iespējams apsaimniekot, tādējādi šādas sistēmas ieviešanas rezultātā iespējams šķirot gandrīz visu iepakojumu. Bez tam, dalītās atkritumu vākšanas sistēma tiek uzskatīta par vienu no lētākajām iepakojuma atkritumu šķirošanas sistēmām.

Jebkuras atkritumu dalītās savākšanas mērķis ir atgūt pēc iespējas vairāk augstas kvalitātes materiālu, kas var tikt izmantoti pārstrādei, atkārtotai izmantošanai vai citiem procesiem. Vērtējot atkritumu dalītās savākšanas efektivitāti, būtiski ir noteikt konkrētā atkritumu veida atgriešanas jeb savākšanas īpatsvaru. Tas parāda, cik daudz atkritumu tiek savākts no kopējā saražotā apjoma, izsakot kā daļu vai procentuālo daudzumu. Ibaneza et.al. [12] to nosaukusi par šķirošanas pakāpi (*angļu val. – degree of separation*) un definē kā attiecību starp dalītā savāktā materiāla daudzumu un kopējo šī materiāla daudzumu sadzīves atkritumu plūsmā. Tomēr ne viss atgrieztais/savāktais atkritumu daudzums tiek pārstrādāts, jo pastāv kāda atbirumu daļa, kas rodas, atbrīvojot materiālu no piemaisījumiem (etiķetes, vāciņi u.c.), vai nepareizas šķirošanas rezultātā. Līdz ar to atgriezto atkritumu īpatsvars vienmēr ir zemāks par pārstrādāto atkritumu īpatsvaru. Sašķīrotā materiāla zemā kvalitāte citu materiālu piemaisījumu un pārtikas atlieku piesārņojuma dēļ uzskatāma par dalītās atkritumu vākšanas būtiskāko trūkumu. Otrs būtiskākais trūkums ir tas, ka dalītās atkritumu vākšanas sistēma pati par sevi atkritumu

šķirošanā iesaistīties nemotivē, tāpēc nepieciešams pielietot papildu mehānismus patērētāju iesaistīšanai sistēmā.

Lai uzlabotu izlietotā primārā iepakojuma savākšanas un pārstrādes rādītājus, kā arī paaugstinātu mājsaimniecību iesaisti atkritumu šķirošanā, vairākās valstīs izveidota depozīta sistēma. Iepakojuma depozīta sistēma definējama kā kompleksa sistēma, kurā iesaistītas vairākas puses – patērētāji, tirgotāji, ražotāji un importētāji, sistēmas operators un valsts lēmējinstiucijas. Katram dalībniekam ir sava loma sistēmā, intereses, ieguvumi un izmaksas. Depozīta sistēmas pamata instruments ir depozīta maksa, kas ir dzēriena cenai pievienots maksājums par iepakojumu, kuru patērētājam ir iespējams atgūt, nododot tukšo iepakojumu taras pieņemšanas punktā vai automātā. Depozīta sistēmas darbības pamatprincipi atkārtoti un vienreiz lietojamam iepakojumam atšķiras (skat. 1.4.att.).

Atkārtoti lietojamā iepakojuma depozīta sistēmas gadījumā tirgotājs no ražotāja iegādājas produktu, kuram pievienota iepakojuma depozīta maksa. Pēc tam šis produkts tiek pārdots patērētājam, kurš samaksā iepakojuma depozīta maksu tirgotājam un samaksāto summu atgūst, izlietoto iepakojuma vienību tirgotājam atgriežot. Atgrieztais iepakojums tiek sašķirots, saskaitīts un uzglabāts. Par iepakojuma savākšanu tirgotājs saņem kompensāciju no ražotāja. Papildus tam ražotājs nodrošina transportu, lai tukšā tara tiktu nogādāta līdz uzņēmumam, kur tā tiek sagatavota atkārtotai izmantošanai [13,14].



1.4. att. Depozīta sistēmas darbības shēma: (a) atkārtoti lietojamam iepakojumam, (b) vienreiz lietojamam iepakojumam [14]

Tā kā ne visi patērētāji atgriež nopirkto iepakojumu, daļa samaksātās depoziņas maksas paliek pie ražotāja, kas par šo summu sedz radušos marķēšanas un savākšanas izdevumus, vai arī tiek novirzīta tirgotājam kā atlīdzība par iepakojuma savākšanu, šķirošanu un uzglabāšanu.

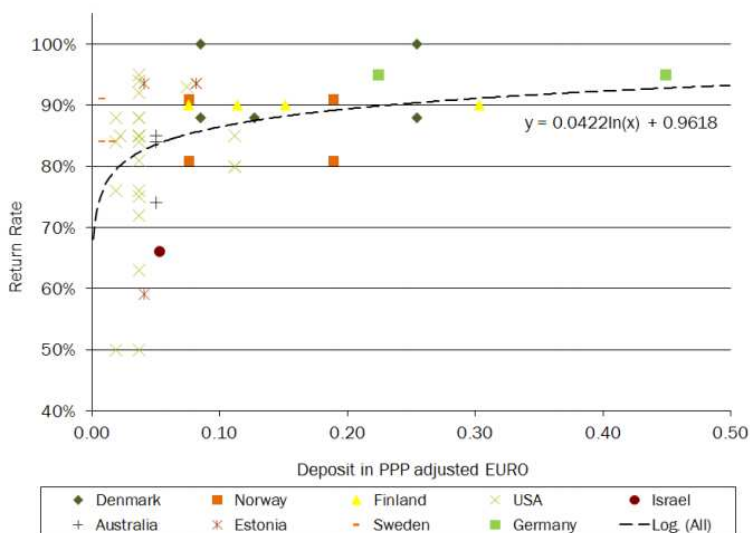
Depoziņas sistēma vienreiz lietojamam iepakojumam ir salīdzinoši sarežģītāka, jo savākto iepakojumu nevar izmantot jaunu produktu iepakojšanai tiešā veidā. Kā redzams 1.4.(b) attēlā, sistēmā ir pieci dalībnieki – ražotājs, tirgotājs, patērētājs, operators un pārstrādātājs. Ražotājs, kurš iepakoj savu produkciju depoziņas sistēmā reģistrētajā vienreiz lietojamajā depoziņas iepakojumā, maksā sistēmas operatoram depoziņas maksu par katru saražoto vienību. Samaksātā depoziņas maksa tiek atgūta brīdī, kad tirgotājs iegādājas produkciju no ražotāja. Patērētājs, iegādājoties depoziņas sistēmā iekļauto produktu, maksā depoziņas maksu, un tirgotājs atgūst iepriekš samaksāto. Patērētājs izlieto iepakojumu atgriež tirgotājam, kurš izmaksā depoziņas maksu patērētājam, iepakojumu saskaita, sašķiro, un uzglabā līdz operators iepakojumu piegādā pārstrādātājam. Operators par katru savākto vienību tirgotājam atgriež depoziņas maksu [11,13,14].

1.4.(b) attēlā redzams, ka visa samaksātā depoziņas maksa tiek atgūta, veidojot noslēgtu ciklu, tomēr papildus tam ir vēl divas naudas plūsmas – ražotāja pakalpojuma maksa operatoram un pārstrādātāja atlīdzība operatoram par piegādāto materiālu. Operatora pārziņā nonāk arī depoziņas maksa par iepakojumu, kuru patērētājs neatgriež tirgotājam. Lai depoziņas sistēma darbotos veiksmīgi, šiem līdzekļiem būtu jānosedz operatora administratīvie, transportēšanas un citi izdevumi. Tā kā depoziņas sistēmas operatora mērķis nav gūt peļņu, bet gan pārvaldīt sistēmas darbību, tad pāri palikusī neizmaksātā depoziņas maksa tiek novirzīta tālākā sistēmas attīstībā, patērētāju informēšanā u.c. Lai tiktu nodrošināta optimāla sistēmas darbība un kontrole, operatoru veido tirdzniecības un ražošanas uzņēmumu pārstāvji, taču tajā neiesaistās valsts pārvaldes institūcijas.

Obligātā depoziņas sistēma šobrīd ir ieviesta vairākās Eiropas valstīs, t.sk. Igaunijā, Zviedrijā, Norvēģijā, Dānijā, Vācijā, Horvātijā, Īslandē, Somijā, kurās vienlaicīgi darbojas arī dalītās atkritumu vākšanas sistēma [16,17]. Daudzās valstīs iepakojuma depoziņas sistēma nav obligāta, tomēr iepakojuma savākšana, patērētājiem izmaksājot atlīdzību par atgriezto iepakojumu, tiek nodrošināta brīvprātīgi pēc uzņēmumu iniciatīvas.

Augsts atgrieztā iepakojuma īpatsvars uzskatāms par vienu no depoziņas sistēmas priekšrocībām. Valstīs, kurās ieviesta dzērienu iepakojuma depoziņas sistēma, atgrieztā iepakojuma īpatsvars vidēji ir 80%, atsevišķās valstīs sasniedzot un pārsniedzot 95% [18]. Bez tam, pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvars šajās valstīs ir tuvs vai vienāds ar atgrieztā iepakojuma īpatsvaru (atkarībā no materiāla), jo piemaisījumu daudzums ir ievērojami mazāks kā dalītās atkritumu vākšanas sistēmā. Vācijā obligātā depoziņas sistēma uzrāda 96-99% materiālu savākšanu un 81 – 98% pārstrādi, savukārt ražotāju paplašinātās atbildības (Zaļā punkta) sistēmā atgrieztā iepakojuma īpatsvars svārstās robežās starp 43% un 54% PET vienreiz lietojamām pudelēm, 53% – dzērienu pakām (TetraPak, Elopak u.tml.) un 76 – 82% – vienreiz lietojamām stikla pudelēm [18].

Literatūrā atrodami dažādi atgrieztā iepakojuma īpatsvara noteikšanas modeļi, kas balstīti uz socio-ekonomiskiem, demogrāfiskiem, ģeogrāfiskiem (loģistikas) u.c. faktoriem (piemēram, [12,19,20]). Depoziņas sistēmas gadījumā atgrieztā iepakojuma īpatsvaru ietekmē depoziņas maksas apmērs. Analizējot dažādās valstīs iepakojumam piemērotās depoziņas maksas apmēru un sasniegtos atgriešanas rādītājus, Fletčers et.al. [21] ieguvuši regresijas vienādojumu atgrieztā iepakojuma īpatsvara noteikšanai atkarībā no depoziņas maksas apmēra (skat. 1.5.att.).



1.5. att. Atgrieztā iepakojuma īpatsvars atkarība no depozīta maksas apmēra [21]

Veicot regresijas analīzi, Fletčers et.al. depozīta maksu pielāgojuši analizēto valstu reālajai individuālā patēriņa pirktspējas paritātei pēc OECD datubāzes. Redzams, ka arvien vairāk pieaugot depozīta maksai, iegūtais palielinājums atgrieztā iepakojuma īpatsvarā sarūk.

Valstīs, kurās dzērienu iepakojuma depozīta sistēma ieviesta, depozīta maksa atšķiras atkarībā no vairākiem faktoriem: (i) iepakojuma veida – atkārtoti vai vienreiz lietojams; (ii) iepakojuma materiāla – stikls, polietilēraftalāts (PET), alumīnijs vai cits; (iii) iepakojuma tilpuma; un (iv) dzēriena veida (skat. 1.1. tabulu).

No 1.1. tabulas redzams, ka depozīta maksas apmērs vienādiem iepakojuma veidiem starp valstīm būtiski atšķiras. Piemēram, vienreiz lietojamam 1l PET iepakojumam piemērotā depozīta maksa svārstās robežās no 0,08 EUR/vien. līdz 0,40 EUR/vien. Izsakot depozīta maksu atbilstoši katras valsts pirktspējas paritātei (*angļu val. – purchasing power parities - PPP*) un attiecinot to pret iekšzemes kopproduktu uz iedzīvotāju, lai veiktu salīdzinājumu atbilstoši labklājības līmenim, redzams, ka depozīta maksai dažādās valstīs ir atšķirīgs ekonomiskais īpatsvars, t.i. ietekme uz ieinteresētajām pusēm – dzērienu ražotājiem un patērētājiem (skat. 1.6. att.).

Depozīta maksa Eiropas valstīs ar obligāto dzērienu iepakojuma depozīta sistēmu
(2012. gada dati), EUR/iepakojuma vienību¹

Valsts	Atkārtoti lietojamais iepakojums		Vienreiz lietojamais iepakojums			
	Stikls	PET	Stikls	PET	Alumīnijs	Citi
Austrija [22,23]		0,29 ²				
Čehija [24]	0,12					
Dānija [25]	0,20 ($\leq 0,51$) 0,40 ($> 0,51$)	0,20 (< 11) 0,40 (≥ 11)	0,13 (< 11) 0,40 (≥ 11)	0,20 (< 11) 0,40 (≥ 11)	0,13 (< 11) 0,40 (≥ 11)	
Horvātija [26]			0,07	0,07	0,07	0,07 ³
Igaunija [27]	0,08		0,08	0,04 ($\leq 0,51$) 0,08 ($> 0,51$)	0,08	
Lietuva [28,29]	0,07 ⁴					
Nīderlande [30]				0,25 (≥ 11) ⁵		
Norvēģija [31]				0,13 ($\leq 0,51$) 0,32 ($> 0,51$)	0,13	
Somija [32]	0,10		0,10	0,10 ($\leq 0,351$) 0,20 (0,35-11) 0,40 (≥ 11)	0,15	
Šveice [33]	0,24	0,24	0,008-0,08 ⁶			0,24 ⁷
Vācija [34]			0,25	0,25	0,25	0,25 ⁸
Zviedrija [35]				0,12 (≤ 11) 0,23 (> 11)	0,12	

¹ Nacionālo valūtu konvertācijai uz EUR izmantots Eurostat datubāzē publicētais kurss par 2011. gadu

² Depozīta maksa tiek piemērota visam atkārtoti lietojamam dzērienu plastmasas iepakojumam ar tilpumu līdz 5l, t.sk. no tādiem materiāliem kā polietilētaftalāts (PET), polipropilēns (PP), polietilēns (PE), polivinilhlorīds (PVC), polistirols (PS) un kompozītmateriāli.

³ Tērauda un alvas bundžas

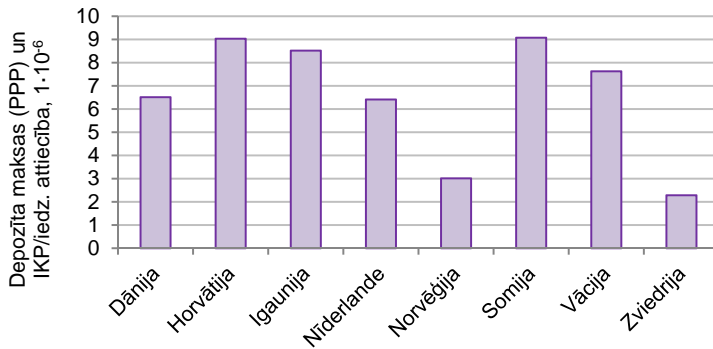
⁴ Tikai noteiktu vietējo ražotāju ražoto produktu (alus, kvass, ūdens, sidrs un mazalkoholie kokteiļi) iepakojumam

⁵ Tikai ūdens un atspirdzinošo dzērienu iepakojumam

⁶ Depozīta maksa tiek piemērota, ja netiek sasniegti dzērienu iepakojuma materiāla pārstrādes rādītāji vismaz 75% apmērā.

⁷ Polivinilhlorīda (PVC) iepakojums

⁸ Tērauda un kompozītmateriālu bundžas



1.6. att. PET 11 dzērienu iepakojuma depozīta maksas ekonomiskā īpatsvara salīdzinājums

1.6. attēls parāda, ka depozīta maksas ietekme, piemēram, uz Norvēģijas un Zviedrijas patērētājiem būs salīdzinoši zemāka, nekā uz pārējo valstu patērētājiem, t.i. depozīta maksa sastāda salīdzinoši mazāku daļu viņu ienākumu un izdevumu. Zinātniskajā literatūrā trūkst datu un informācijas par to, kas noteicis depozīta maksas apmēru dažādās valstīs. Visticamāk, depozīta maksa pārsvarā tiek noteikta atbilstoši kādiem tirdzniecības/rūpniecības faktoriem, piemēram, iepakojuma vienības aizvietošanas izmaksām, ja iepakojums netiek atgriezts.

Ieviešot depozīta sistēmu, ir būtiski noteikt visām ieinteresētajām pusēm pieņemamu depozīta maksu. D. Levī [36] norāda, ka depozīta maksai ir izšķiroša nozīme attiecībā uz depozīta sistēmas efektivitāti – augstāka depozīta maksa palielina atgrieztā iepakojuma īpatsvaru, tomēr pārlietu augsta maksa noved pie patēriņa samazinājuma zem sociālā optimuma līmeņa.

Atkarībā no iepakojuma veida atšķiras depozīta maksas piemērošanas nozīme. Vienreiz lietojamā iepakojuma gadījumā depozīta maksa ir mākslīgs iepakojuma vērtības palielinājums (tiek paaugstināta produkta cena), savukārt atkārtoti lietojamam iepakojumam depozīta maksa ir jauna iepakojuma iegādes alternatīvās izmaksas, kas nodrošina iepakojuma vērtības atgūšanu (produkta cena paaugstināta netiek). Līdz ar to, atkārtoti lietojamā iepakojuma gadījumā depozīta maksa kopā ar pilnām iepakojuma savākšanas izmaksām (atlīdzība tirgotājam, transportēšana) nedrīkst pārsniegt jauna iepakojuma iegādes izmaksas, jo tas var radīt motivāciju nevākt izlietoto iepakojumu vai radīt krāpšanās risku, nododot sistēmā ar depozīta maksu neapliktu iepakojumu [18].

Vairumā gadījumu, atgriežot iepakojumu, patērētājs saņem atlīdzību, kas ir vienāda ar produkta iegādes brīdī samaksāto depozīta maksu, tomēr Austrijā izveidotā depozīta sistēma paredz, ka patērētājs var nesaņemt pilnu atlīdzību, ja dzēriena ražotājs vai iepakotājs izlemj, ka daļu iepakojuma apsaimniekošanas izmaksu jāsedz patērētājam [23]. Šādas sistēmas ekonomisko pamatojumu saredz arī Tasaki et.al. [37]. Saskaņā ar viņu veikto depozīta sistēmas ekonomisko analīzi depozīta maksai vajadzētu tikt noteiktai tādā pašā apmērā kā ārējās robežizmaksas apkārtējās vides piegružošanai ar depozīta sistēmā iekļauto iepakojumu. Bet, ņemot vērā iepakojuma savākšanai un apstrādei nepieciešamos finansiālos resursus, atlīdzībai, ko patērētājs saņem, iepakojumu nododot, vajadzētu būt zemākai par depozīta maksu t.i. patērētājam būtu daļēji jāsedz nodotā iepakojuma apsaimniekošanas izmaksas.

Tas, cik daudz patērētāju vēlēšies iesaistīties depozīta sistēmā atkarīgs ne vien no depozīta maksas apmēra, bet arī no neērtību izmaksām, ko iepakojuma atgriešana sistēmā

patērētājiem rada. Neērtību izmaksu lielumu ietekmē iepakojuma pieņemšanas punktu skaits un līdz ar to pieejamība patērētājiem. Dažādās valstīs nosacījumi taras pieņemšanas punktu izveidei atšķiras, tādēļ to skaits atkarīgs no izstrādātajiem depozieta sistēmas noteikumiem. Visbiežāk pieņemšanas punkti tiek ierīkoti tirdzniecības vietās, kurās tiek tirgoti produkti depozieta iepakojumā, t.i. pārtikas un jaukta tipa veikalos. Jāņem vērā, ka ne visās tirdzniecības vietās iespējams izveidot taras pieņemšanas punktu vietas trūkuma vai tirdzniecības vietas profila dēļ. Vairumā gadījumu tiek paredzēts, ka šādas tirdzniecības vietas ir ar platību, kas mazāka par 200 m² (Lietuvā – 90m²). Tām ir tiesības neierīkot taras pieņemšanas punktu, norādot citu vietu tuvākajā apkārtnē, kur iepakojumu iespējams nodot (Igaunijas [38], Ungārijas [39], Horvātijas [26] pieredze).

Iepakojums var tikt savākts, izmantojot manuālās vai automātiskās savākšanas sistēmas. Manuālās savākšanas sistēmas gadījumā tiek izveidots taras pieņemšanas punkts, kurā darbinieks pieņem izlietoto iepakojumu, sašķiro to pēc materiāla, krāsas u.c. īpašībām un izmaksā patērētājam atlīdzību (iepriekš samaksāto depozieta maksu). Automātiskās savākšanas sistēmā tiek uzstādīti taras pieņemšanas automāti (*angļu val. – reverse vending machine*), kuros, patērētājam ievadot izlietoto iepakojuma vienību, atpakaļ tiek saņemta atlīdzība naudas vai kvīts izteiksmē. Jāatzīmē, ka, lai arī uzstādīšanā un uzturēšanā dārgāki, tomēr taras pieņemšanas automāti ļauj sasniegt ievērojami augstāku iepakojuma savākšanas un datu apstrādes efektivitāti. Salīdzinājumam, iepakojuma vienības apstrādes laiks automātā ir 5 – 15 reizes īsāks kā manuālajā sistēmā, turklāt tā apkalpošanai nepieciešama tikai puse apkalpojošā personāla slodzes, salīdzinot ar pilnu slodzi manuālajā sistēmā.

Pastāv dažādi taras pieņemšanas automātu risinājumi:

- a) atsevišķi stāvošie automāti, kas paredzēti maziem veikalos, kā arī gadījumos, kad ir ierobežota vieta;
- b) ar telpu savienotie automāti, t.i. automātā ievadītās iepakojuma vienības ar transportiera lentu tiek nogādātas glabāšanas telpā – piemēroti lieliem veikalos, kā arī pie lieliem iepakojuma apjomiem;
- c) taras automātiskās pieņemšanas centrs – vairāku kopā savienotu taras automātu sistēma, kas novietota, visbiežāk, atklātā vietā, kur ērti piebraukt ar automašīnu, piemēram, iepirkumu centra stāvlaukumā.

Taras pieņemšanas automātus iespējams izdalīt atkarībā no pieņemtā taras veida – universālie (pieņem visus taras veidus) un tikai vienu taras veidu (piemēram, stikla pudeles vai alumīnija skārdenes) pieņemošie automāti. Tāpat automāti var būt ar vai bez taras saspiešanas mehānisma jeb preses. Automāta veids nosaka tā iegādes un apkalpošanas izmaksas, novietojumu, nepieciešamo platību, darbības ātrumu, apkopi u.c. rādītājus.

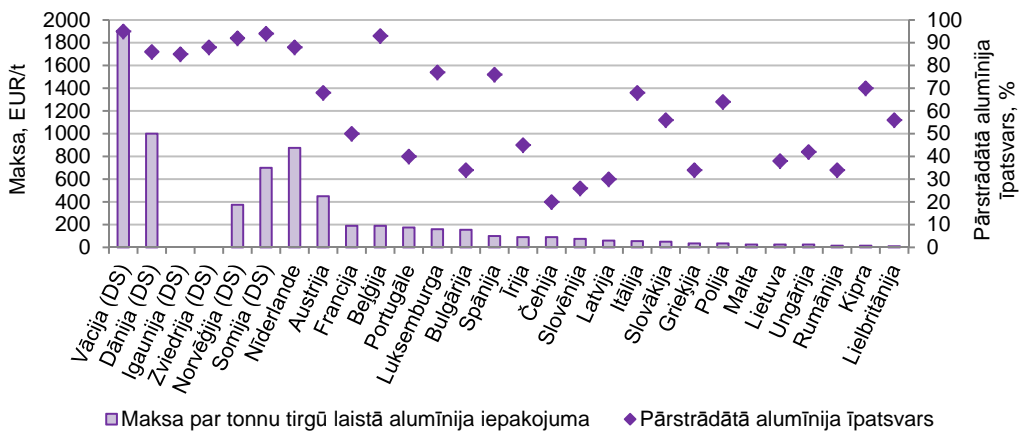
Depozieta sistēmas būtiskākā priekšrocība ir tā, ka tiek paaugstināta patērētāju motivācija nodot iepakojumu atkārtotai izmantošanai un pārstrādei, tādējādi paaugstinot atkārtoti izmantotā un pārstrādātā iepakojuma īpatsvaru. Tajā pašā laikā tiek mazināta apkārtējās vides piegružošana ar depozieta (dzērienu) iepakojumu. Starp sistēmas trūkumiem var atzīmēt to, ka depozieta iepakojums sastāda tikai nelielu daļu kopējā atkritumu daudzuma, līdz ar to pārstrādātā iepakojuma īpatsvara pieaugums nav liels. Tikmēr sistēmas ieviešana un uzturēšana prasa lielus finansiālus ieguldījumus, savukārt depozieta iepakojuma ražošanas izmaksas un pārdošanas cenas pieaug, samazinot depozieta iepakojumā iepakoto produktu patēriņu, kas ir galvenais pretarguments no ražotāju puses.

Saskaņā ar Vācijas pieredzi, kur paralēli darbojas gan depozieta sistēma, gan dalītās atkritumu vākšanas sistēma, majsaimniecībās radītā primārā iepakojuma savākšanas

izmaksas uz vienu iepakojuma vienību depoziņa sistēmā ir trīs reizes augstākas kā dalītās atkritumu vākšanas sistēmā [40]. Tomēr jāatzīst, ka maksa, kas dalītās atkritumu vākšanas sistēmas gadījumā tiek maksāta ražotāju paplašinātās atbildības organizācijām nav vienāda ar noteikta pārstrādes līmeņa sasniegšanas izmaksām, jo ražotāju paplašinātās atbildības organizācijas ne vienmēr sedz visas savākšanas un pārstrādes izmaksas vai izmaksas, kas saistītas ar nešķirotu atkritumu masā palikušās iepakojuma daļas apsaimniekošanu [41].

Precīzi dati par iepakojuma apsaimniekošanas izmaksām publiski nav pieejami. Saskaņā ar Hoga et.al. veikto analīzi [41], visprecīzākos izmaksu datus iespējams iegūt tām valstīm, kurās visas izmaksas tiek segtas caur vienu savākšanas sistēmu, t.i. depoziņa sistēmu vai atsevišķās valstīs (Beļģijā, Vācijā, Luksemburgā un Austrijā) – ražotāju paplašinātās atbildības shēmu, kur 100% attiecīgo izmaksu sedz produktu ražotāji vai iepakotāji. Tomēr arī šajā gadījumā izmaksas ir grūti attiecināt uz konkrēta iepakojuma veida apsaimniekošanu. Bez tam, arī depoziņa sistēmas gadījumā, kur tiek veikta precīza iepakojuma uzskaitē, ne vienmēr ir iespējams noteikt izmaksas, kas segtas no ražotāju puses, jo atsevišķos gadījumos izmaksu segšanai tiek izmantotas neizmaksātās atlīdzības, kas rodas, ja iepakojums netiek atgriezts sistēmā.

1.7. attēls parāda maksu par tirgū laisto alumīnija iepakojumu un tā pārstrādes rādītājus Eiropas valstīs. Kā redzams, valstīs, kur alumīnija iepakojumam tiek piemērota depoziņa sistēma, maksa ir salīdzinoši augstāka kā valstīs bez depoziņa sistēmas, tomēr arī pārstrādes rādītāji šajās valstīs ir salīdzinoši augstāki. Attēlā neparādās Igaunijā un Zviedrijā tirgū laistā alumīnija iepakojuma maksa, jo tā tiek segta no neizmaksātajām atlīdzībām, un tiek uzskatīts, ka ar tām ir pietiekami, lai segtu alumīnija iepakojuma apsaimniekošanas izmaksas. Jāatzīmē, ka šajā gadījumā dzērienu ražotāji un iepakotāji varētu būt ieinteresēti zemāka atgrieztā iepakojuma īpatsvara iegūšanā, jo, tam pieaugot, samazinātos neizmaksāto atlīdzību kopējā summa, kā rezultātā iepakojuma apsaimniekošanas izmaksas tiktu pārliktas uz ražotājiem. Līdz ar to, šajā konkrētajā gadījumā netiek īstenots „ražotāja paplašinātās atbildības” princips.



1.7. att. Alumīnija iepakojuma apsaimniekošanas maksa un pārstrādes rādītāji Eiropas valstīs (apzīmējums „DS” parāda valstis, kurās ieviesta depoziņa sistēma) [41]

1.7. attēlā redzams, ka Beļģijā, neskatoties uz depoziņa sistēmas nepiemērošanu iepakojumam un zemo iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas maksu, tiek sasniegts augsts pārstrādātā alumīnija īpatsvars (93%). Tas skaidrojams ar produktu vides nodokli,

kas tika ieviests 1996.gadā. No tā ir iespējams saņemt atbrīvojumu, ja produktam (izņemot vienreiz lietojamam dzērienu iepakojumam) tiek nodrošināta savākšana un pārstrāde, sasniedzot noteiktus rādītājus. Neskatoties uz to, Ekonomiskās sadarbības un attīstības organizācija (*angļu val. – Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD*) izdarījusi secinājumu, ka Beļģijā augstie iepakojuma pārstrādes rādītāji sasniegti, radot ievērojamas izmaksas sabiedrībai kopumā [42].

Izmantojot Hoga et.al. [41] publicētos datus, tika veikta korelācijas analīze sakarības noteikšanai starp ražotāju segto maksu par tirgū laisto alumīnija iepakojumu un sasniegto pārstrādātā alumīnija īpatsvaru. Tika iegūts, ka Pīrsona korelācijas koeficients $r=0,7$, kas pie brīvības pakāpju skaita $df=17^9$ un būtiskuma līmeņa $\alpha=0,05$ ir lielāks par kritisko vērtību $r_{\alpha,n}=0,456$. Līdz ar to, iegūtais korelācijas koeficients uzskatāms par ticamu, bet sakarība – par ciešu. No tā var secināt, ka pārstrādātā iepakojuma daudzums ir atkarīgs no apsaimniekošanas izmaksu segšanai piemērotās maksas, tomēr jāņem vērā, ka minētā sakarība tieši attiecināma tikai uz alumīnija iepakojumu, bet sakarību izveidošanai arī citiem iepakojuma materiāliem trūkst nepieciešamo datu.

1.3. Atkritumu apsaimniekošanas sistēmas dalībnieku uzvedība

Jebkurā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmā darbojas pamatā trīs cieši saistīti sistēmas dalībnieki – iepakojuma ražotājs, patērētājs un atkritumu apsaimniekotājs. Izšķiroša loma ir patērētājam, jo no tā uzvedības atkarīgs patērētā iepakojuma veids un daudzums un izlietotā iepakojuma tālākā apsaimniekošana. Savukārt, atkritumu apsaimniekotāja rīcība nosaka patērētāja rīcības izvēles iespējas, t.i. izlietoto iepakojumu šķirot vai ne. Iepakojuma ražotājs, balstoties uz patērētāja izvēli, tirgus situāciju u.c. apsvērumiem, nosaka iepakojuma dizainu, t.i. izvēlas materiāla veidu un daudzumu, ko konkrētā produkta iepakojuma ražošanā izmantot. Šai ziņā arī iepakojuma ražotāja izvēli var ietekmēt atkritumu apsaimniekotāja rīcība, jo tā nosaka pārstrādāto materiālu daudzumu tirgū, kas atbilstoši pieprasījuma un piedāvājuma attiecībai ietekmē materiālu cenu. Atkritumu apsaimniekotājs, ja to neierobežo stringri regulējošie normatīvie dokumenti, atbilstoši tirgus situācijai var izvēlēties veikt atkritumu dalīto savākšanu un pārdošanu pārstrādātājam vai arī nešķirotu atkritumu savākšanu un apglabāšanu atkritumu poligonā. Visi sistēmas dalībnieki savu individuālo rīcību balsta, izvērtējot personīgos ieguvumus un zaudējumus, ko konkrētā rīcība tiem var sniegt.

1.3.1. Patērētāju rīcība

Jebkuras iepakojuma savākšanas sistēmas gadījumā pastāv vairāki faktori, kas nosaka patērētāju rīcību [37]. Šie faktori ietver:

- a) izpratni par nepieciešamību izlietoto iepakojumu šķirot un nodot pārstrādei;
- b) attieksmi pret iepakojuma atgriešanu kā videi draudzīgu rīcību;
- c) ekonomisko motivāciju;
- d) izlietotā iepakojuma uzglabāšanas laiku un ar uzglabāšanu saistītās neērtības;
- e) izlietotā iepakojuma atgriešanas laiku un ar to saistītās neērtības;
- f) atgriežamā iepakojuma raksturojumu.

Minētos faktoros iespējams raksturot ar kvantitatīviem un kvalitatīviem parametriem (skat. 1.2. tabulu). Atšķirībā no kvantitatīvajiem kvalitatīvos parametrus ir ļoti

⁹ Tika izmantoti tikai to Eiropas valstu alumīnija pārstrādes rādītāji, kurās pieejami dati ar vidēju un augstu ticamības pakāpi

grūti novērtēt, un, lai tos izteiktu skaitliski, nepieciešams veikt plašus socioloģiskus pētījumus. Turpretī, patērētāju rīcību noteicošos faktoros raksturojošie kvantitatīvie parametri pamatā ir izsakāmi ar ekonomiskiem lielumiem. Līdz ar to, kur vien iespējams, kvalitatīvie parametri tiek izteikti kvantitatīvi, izmantojot neērtību izmaksas.

1.2. tabula

Patērētāju rīcību nosakošie faktori un tos raksturojošie parametri

Faktors [37]	Faktoru raksturojošie kvantitatīvie un kvalitatīvie parametri
Izpratne par nepieciešamību izlietoto iepakojumu šķirot un nodot pārstrādei	<ul style="list-style-type: none"> iespējas iegūt informāciju izpratne par jautājumiem, kas saistīti ar atkritumiem izpratne par iepakojuma atgriešanas būtību vides apziņa iekpojuma uztvertā vērtība informētība par iespēju iegūt atlīdzību par nodoto iepakojumu (depozīta sistēmas gadījumā)
Attieksme pret iepakojuma atgriešanu kā videi draudzīgu rīcību	<ul style="list-style-type: none"> izpratne par iepakojuma atgriešanas būtību iekpojuma atgriešanas paradumi attieksme pret iepakojuma neatgriešanu attieksme pret vides piegružošanu attiecības ar kaimiņiem (daudzdzīvokļu namu gadījumā) soda mēri pielāgošanās prasībām un noteikumiem
Ekonomiskā motivācija	<ul style="list-style-type: none"> atkritumu apsaimniekošanas maksa mājsaimniecības ienākumu apmērs iekpojuma vienības vērtība atlīdzības apmērs (depozīta sistēmas gadījumā)
Izlietotā iepakojuma uzglabāšanas laiks un ar uzglabāšanu saistītās neērtības	<ul style="list-style-type: none"> vietas pieejamība iepakojuma uzglabāšanai uzglabāšanas ērtums uzglabāšanas ilgums, lai sakrātu lielāku nododamā iepakojuma daudzumu šķirošanas ērtums – informācija uz iepakojuma un iespējas atšķirt iepakojuma materiālus smakas
Izlietotā iepakojuma atgriešanas laiks un ar to saistītās neērtības	<ul style="list-style-type: none"> transportēšanas ērtums attālums līdz savākšanas punktam savākšanas punktu skaits un izvietojums laiks iepakojuma nogādāšanai līdz savākšanas punktam ierobežojumi taras pieņemšanas punktu darba laikā (depozīta sistēmas gadījumā) iespējas apvienot darbības, piemēram, iepirkšanos un iepakojuma nodošanu
Atgriežamā iepakojuma raksturojums	<ul style="list-style-type: none"> izmešanas (iegādes) biežums – iepakojuma kopējais daudzums iekpojuma tilpums, svars, kompakturnums u.c. īpašības smakas

Patērētāji izvērtē piedāvāto sistēmu un maksimizē savus ieguvumus, atbilstoši rīkojoties. Patērētāju rīcību produkta iegādes posmā nosaka vēlēšanās maksāt (*angļu val. – willingness to pay*) – augstākā cena, ko indivīds ir ar mieru maksāt, lai iegūtu kādu preci vai pakalpojumu [43]. Savukārt, iepakojuma apsaimniekošanas posmā patērētāju rīcību nosaka izmaksas. Dalītās atkritumu vākšanas sistēmā patērētāja kopējās izmaksas nosaka neērtību izmaksas, kas rodas, šķirojot atkritumus, un atkritumu apsaimniekošanas maksa par nešķirotu atkritumu apsaimniekošanu, kā arī vērtība, ko patērētājs piešķir iepakojumam kā lietojamam produktam. Līdz ar to patērētāja izmaksas ir vienādas ar neērtību izmaksām, ja viņš nolemj iepakojumu šķirot, vai ar atkritumu apsaimniekošanas maksu, ja iepakojums tiek izmests kopā ar nešķirotiem sadzīves atkritumiem. Gadījumā, ja patērētājs nolemj iepakojumu paturēt sev, piešķirot tam vērtību, piemēram, izmantojot to atkārtoti produktu glabāšanai – ievārtījumiem, sulām u.tml., tad patērētājam nerodas izmaksas, bet gan ieguvumi, kas vienādi ar iepakojumam piešķirtās vērtības apmēru.

Depozīta sistēmas gadījumā, patērētāja izmaksas papildina arī produkta cenai pievienotā depozīta maksa, kas, iepakojumu neatgriežot, tiek zaudēta. Tādējādi, patērētāja izmaksas ir sekojošas:

- a) ja iepakojums tiek atdots pieņemšanas punktā, tad patērētāja izmaksas ir vienādas ar neērtību izmaksām;
- b) ja patērētājs izvēlas iepakojumu paturēt savām vajadzībām, tad viņa izmaksas ir vienādas ar depozīta maksas un iepakojuma vērtības starpību;
- c) ja iepakojums tiek izmests kopā ar nešķirotajiem atkritumiem, patērētāja izmaksas ir vienādas ar depozīta maksas un atkritumu apsaimniekošanas maksas summu.

Patērētājs tādējādi iepakojumu neatgriež, ja neērtību izmaksas būs lielākas par depozīta maksas un iepakojuma vērtības starpību vai ja neērtību izmaksas būs lielākas par depozīta maksas un atkritumu apsaimniekošanas maksas summu. Ja iepakojuma atgriešana tiek veicināta, pievienojot depozīta maksu, kas augstāka par iepakojuma vērtību jeb izmaksām, tad pastāv risks, ka pieprasījums pēc iepakotajiem produktiem no patērētāja puses samazināsies.

Līdz ar to atkarībā no uzvedības patērētājus dalītās atkritumu vākšanas sistēmā iespējams iedalīt vairākās grupās:

- a) patērētāji, kuri atkritumus šķiro ekonomisku apsvērumu dēļ, t.i. viņu neērtību izmaksas ir zemākas par nešķirotu atkritumu apsaimniekošanas maksu, tādēļ viņi izmaksu samazināšanas nolūkā iesaistās atkritumus šķirošanā;
- b) patērētāji, kuri atkritumus šķiro ne-ekonomisku motīvu vadīti, t.i. viņu neērtību izmaksas ir tik zemas vai arī ir pielīdzināmas nullei, ka viņiem nepastāv šķēršļu atkritumu šķirošanā iesaistīties (visbiežāk šo patērētāju motivāciju nosaka vides un ētikas apsvērumi);
- c) patērētāji, kas atkritumus nešķiro, jo viņu neērtību izmaksas, kas saistītas ar iesaistīšanos atkritumu šķirošanā, ir augstākas par citām ar atkritumu apsaimniekošanu saistītajām izmaksām.

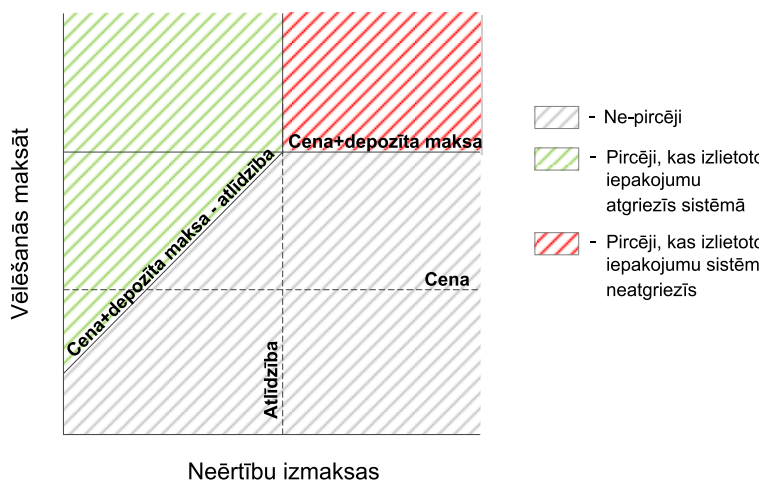
J.Mrozeks [44] izstrādājis matricu, kas raksturo patērētāju uzvedības maiņu, ieviešot depozīta sistēmu. Tajā visi patērētāji ir izklaidēti laukumā starp divām asīm – vēlēšanos maksāt un neērtību izmaksām (skat. 1.8. att.).

1.8. attēlā parādītā patērētāju uzvedības matrica raksturo depozīta sistēmas ieviešanas ietekmi uz patērētājiem. Pirms sistēmas ieviešanas produktam ir cena, pie kuras noteikts patērētāju daudzums ir ar mieru produktu iegādāties (laukums A+B+C+D virs

patērētājus ne-pircējos un pircējos, kuru ieguvumi no iepakojuma nodošanas pamudina tos precī iegādāties.

Tādējādi līdz ar depozīta sistēmas ieviešanu izveidojas trīs patērētāju grupas:

- ne-pircēji;
- pircēji, kas dzērienus depozīta iepakojumā iegādāsies un izlietoto iepakojumu atgriezīs sistēmā;
- pircēji, kas dzērienus depozīta iepakojumā iegādāsies, bet izlietoto iepakojumu sistēmā neatgriezīs (skat. 1.9. att.).



1.9. att. Iedzīvotāju sadalījums grupās depozīta sistēmā

Saskaņā ar ekonomikas teoriju patērētājiem ar augstāku ienākumu līmeni iesaistīšanās jebkurā no atkritumu šķirošanas sistēmām rada lielākas izmaksas, kas saistīts ar augstākām zaudētā laika izmaksām (*angļu val. – opportunity cost of time*). Tas nozīmē, ka teorētiski šiem patērētājiem atkritumu šķirošana tam patērētā laika ziņā izmaksā dārgāk. Tomēr praksē redzams, ka starp atkritumus šķirojošajiem patērētājiem ir patērētāji gan ar augstu, gan zemu ienākumu līmeni. Pētījumi parāda, ka patērētāji iesaistās atkritumu šķirošanā, ja viņi zina, kā atkritumi pareizi šķirojami, kā arī, ja viņi ir ziņoši par vides jautājumiem un viņiem ir būtiska apkārtējās vides kvalitāte [45]. Patērētāju rīcību ietekmē arī sabiedrības jeb sociālās normas. Sabiedrības normas raksturo sabiedrības izveidotos uzvedības standartus un iezīmē savstarpējo attiecību noteikumus, kuri nosaka uzvedību konkrētās situācijās [46]. Viens no būtiskākajiem sabiedrības normu uzdevumiem ir ierobežot tās individuālās intereses, kuras īstenojot nenotiek rēķināšanās ar pārējo sabiedrību. Individuālo interešu ierobežošana nepieciešama, lai radītu priekšnosacījumus kopējam sabiedriskajam labumam. Dž.Foresters to dēvē par neformālo politiku, kura izveidojas ieradumu, pakļaušanās, sociālā spiediena, sabiedrībā izstrādājušos mērķu, personīgo interešu u.c. ietekmē [47]. Dālstrands un Bīls [48] izvirza pieņēmumu, ka patērētājs izvēli par iesaistīšanos šķirošanā izdara tikai vienu reizi, t.i. tiklīdz patērētājs ir pieņēmis lēmumu šķirot atkritumus, viņš izstrādā jaunus ikdienas paradumus. Šo domu apstiprina arī Viskusi et.al. [49], apgalvojot, ka patērētāji atkritumus šķirot uzcītīgi vai arī nešķirot nemaz. Tādējādi var teikt, ka, atkritumu šķirošanai attīstoties kā sabiedrības normai, iespējams panākt lielākas sabiedrības daļas iesaistīšanos atkritumu šķirošanā.

1.3.2. Atkritumu apsaimniekotāju rīcība

Atkritumu apsaimniekotājs, ja to neierobežo stringri regulējoši normatīvie dokumenti, atbilstoši tirgus situācijai var izvēlēties veikt atkritumu dalīto savākšanu un pārdošanu pārstrādātājam, nešķirotu atkritumu savākšanu un apglabāšanu atkritumu poligonā vai abu paņēmieni kombināciju. Dalītās atkritumu vākšanas sistēmas pamatā ir izlietotā iepakojuma savākšana ar atkritumu konteineru palīdzību, kuros patērētāji atbilstoši materiāla veidam šķiro, uzkrāj un nodod pārstrādei iepakojumu. Ja atkritumu šķirošanas konteineri patērētājiem nav pieejami nelielā attālumā no dzīvesvietas, tad viņi atkritumus nešķiro [46,50,51], jo viņu neērtību izmaksas ir pārāk augstas. Savukārt, parādoties iespējai atkritumus šķirot, patērētāji sāk apsvērt paradumu maiņu. Šķirošanas konteineru uzstādīšanu pamatā ietekmē ekonomiskais izdevīgums, ko materiālu dalīta savākšana varētu radīt atkritumu apsaimniekotājam. Izdevīgums atkarīgs pamatā no šķirotu atkritumu savākšanas un apstrādes (pāršķirošana, kļīpošana, uzkrāšana u.c.) izmaksām, nešķirotu atkritumu apglabāšanas izmaksām un pārstrādājamo materiālu tirgus cenām. Šķirošanas konteiners tiks uzstādīts, ja cena, ko apsaimniekotājs iegūs no pārstrādājamo materiālu pārdošanas būs vienāda vai augstāka kā šķirotu atkritumu savākšanas un apglabāšanas izmaksu summa.

Atkritumu savākšanas izmaksas atkarīgas no teritorijas ģeogrāfiskā, demogrāfiskā, ekonomiskā un sociālā raksturojuma, kā arī kultūrāliem aspektiem, patēriņa rādītājiem un likumdošanas ietvara, kurā var tikt noteiktas specifiskas atkritumu apsaimniekošanas pakalpojumu un apstrādes tehnoloģijas [3]. Saskaņā ar Eunomia pētījumu [52] atkritumu savākšanas izmaksas atkarīgas no:

- a) iztukšoto konteineru skaita laika vienībā (jo lielāks skaits, jo zemākas izmaksas, turklāt tas nav saistīts tikai ar iedzīvotāju blīvumu, lai gan tam ir ietekme);
- b) veida, kādā atkritumi tiek savākti no patērētājiem (piemēram, ar konteineru, speciālo somu u.tml. palīdzību);
- c) savākto atkritumu daudzuma atšķirībām uz vienu savākšanas punktu, ko ietekmē: (i) atkritumu šķirošanas pakāpe; (ii) izmantoto konteineru veids; (iii) atkritumu veidi, ko patērētājiem atļauts konteineros ievietot;
- d) izmantoto transportlīdzekļu veida un to ietilpības (lielākas ietilpības mašīnas var palīdzēt samazināt izmaksas, ja vien tās atbilst savācamo atkritumu apjomam);
- e) darbaspēka izmaksām (var sastādīt līdz pat 50% savākšanas izmaksu);
- f) atkritumu savākšanas biežuma, kas atkarīgs no māsaimniecību veida, savākšanas mehānisma, klimata un citiem faktoriem;
- g) izmantotā aprīkojuma īpašībām, piemēram, vai mašīnas aprīkotas ar svēršanas sistēmu vai cita veida datorizētām ierīcēm, kas reģistrē konteineru iztukšošanu.

Kā norāda Lasaridi et.al. [53], atkritumu apsaimniekošana, īpaši savākšana un transportēšana, ir darbaspēka ietilpīga joma, tāpēc darbaspēka izmaksas ir būtisks faktors, nosakot atkritumu savākšanas un apstrādes izmaksas. Tomēr, ja salīdzināti tiek dažādi vienas valsts reģioni vai valstis ar līdzīgu iekšzemes kopproduktu, tad darbaspēka izmaksas būtiski neatšķiras, un citi faktori, piemēram, saražotais atkritumu apjoms, izmantotās tehnoloģijas, sniegto pakalpojumu kvalitāte un efektivitāte, kā arī ģeogrāfiskās un apbūvēto teritoriju īpašības kļūst par atkritumu apsaimniekošanas izmaksas noteicošajiem faktoriem.

Sašķirotos materiālus iespējams iedalīt trīs kategorijās: (i) materiāli, kuri var tikt savākti, apstrādāti un pārstrādāti, sniedzot vispārēju ekonomisku labumu; (ii) materiāli,

kuri var tikt pārstrādāti bez ekonomiskiem zaudējumiem, ja to savākšana un apstrāde tiek subsidēta; un (iii) materiāli, kuru pārstrāde pati par sevi ir ekonomiski neizdevīga [54]. Tas, pie kuras kategorijas savāktie materiāli pieskaitāmi, ir atkarīgs no pieejamās infrastruktūras un tehnoloģijām. Liela ietekme ir arī materiālu avotam, t.i., vai tie ir nākuši no mājsaimniecībām vai tirdzniecības un rūpniecības sektora. Tas saistīts ar avotu izvietojumu un savācamo materiālu kvalitāti un daudzumu uz avotu. Mājsaimniecību ir daudz, tās ir salīdzinoši nelielas un var būt stipri izkliedētas, tādēļ ievērojama materiālu apjoma savākšanai nepieciešams ieguldīt daudz finansu, laika un cilvēkresursu. Salīdzinājumam, rūpniecības un tirdzniecības uzņēmumi ir mazākā skaitā un tajos savāktie materiāli ir salīdzinoši lielā apjomā. No mājsaimniecībām savākto materiālu kvalitāte lielākoties ir ievērojami zemāka kā rūpniecības un tirdzniecības sektorā savāktajiem materiāliem, jo tie ir ar lielāku piemaisījumu daudzumu un zemu homogenitāti, tāpēc arī mazāk pievilcīgi materiālu pārstrādātājiem [54-56]. Līdz ar to, pārstrādājamo materiālu savākšanas un pāršķirošanas darbību ekonomiskais izdevīgums ir cieši saistīts ar pārstrādājamo materiālu: (i) kvalitāti (un cenu) un piesārņojuma dēļ pārstrādātāja atraidīto materiālu īpatsvaru; un (ii) kvantitāti attiecībā pret visu pieejamo materiālu daudzumu (atgriezta iepakojuma īpatsvars) un ar tā savākšanu saistītajām izmaksām.

Pastāv pieņēmums, ka ekonomiskās izaugsmes un atkritumu apsaimniekošanas politikas ietekmes rezultātā pieaugošais pārstrādājamo mājsaimniecības atkritumu daudzuma pieaugums un augstas kvalitātes pārstrādājamo rūpniecības atkritumu īpatsvara kritums tirgū var negatīvi ietekmēt atkritumu pārstrādes un pārstrādājamo materiālu nozari, kas izpaustos kā nekontrolējams izmaksu un cenu pieaugums [55]. Tajā pašā laikā, daļēti savākto materiālu veidu jeb plūsmu skaita pieaugums var paaugstināt savākto materiālu kvalitāti un samazināt to apstrādes izmaksas. Turpretī pieprasījums pēc pārstrādājamiem materiāliem no ražotāju puses var paaugstināt to cenu.

Kā iepriekš minēts, liela ietekme ir atkritumu apglabāšanas maksai. Eiropas Komisijas ziņojumā par ekonomisko instrumentu izmantošanu un atkritumu apsaimniekošanas sistēmu sniegumu [57] noteikts, ka starp atkritumu apglabāšanas maksu un pārstrādāto atkritumu īpatsvaru pastāv cieša sakarība. Tas saistīts ar atkritumu apsaimniekotāju izmaksām. Tiklīdz atkritumu apglabāšanas maksa sasniedz līmeni, pie kura tās un šķiroto atkritumu savākšanas izmaksu summa ir augstāka par ieņēmumiem, ko iespējams iegūt no pārstrādājamo materiālu pārdošanas, tā atkritumu apsaimniekotājs ir ieinteresēts pēc iespējas samazināt apglabājamo atkritumu un palielināt pārstrādājamo materiālu daudzumu. Eiropas Komisijas ziņojumā teikts, ka ES valstīs šis līmenis ir 100 EUR/t [57].

Ņemot vērā augstāk minēto, var teikt, ka atkritumu apsaimniekotāju rīcība ir atkarīga no trīs pamata faktoriem:

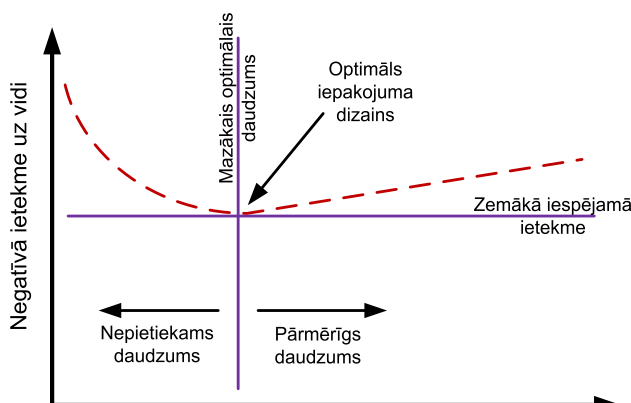
- a) tirgus esamības pārstrādājamiem materiāliem;
- b) sistēmas esamības pārstrādājamo materiālu savākšanai to rašanās avotos;
- c) atkritumu savākšanas un apglabāšanas izmaksām.

Tomēr līdzīgi kā patērētāju rīcības gadījumā, arī atkritumu apsaimniekotāju rīcība var tikt ietekmēta ar ne-ekonomiskiem faktoriem. Tāds faktors var būt, piemēram, stingri regulējoša atkritumu apsaimniekošanas politika, kas nosaka, ka atkritumu apsaimniekotājam šķirošanas konteineri jāuzstāda obligāti. Taču arī bez tās atkritumu apsaimniekotājs var konteinerus uzstādīt, piemēram, ja to pieprasa viņa klients – patērētājs. Iepriekš tika minēts, ka patērētājs var uzsākt šķirošanu sabiedrības normu ietekmē. Taču, ja patērētājam tādu iespēju nav šķirošanas konteineru trūkuma dēļ, tomēr viņš no sabiedrības puses izjūt spiedienu šķirošanā iesaistīties, viņš var atkritumu apsaimniekošanas

pakalpojuma sniedzējam konteineru uzstādīšanu pieprasīt. Konkurences apstākļos klienta zaudēšana atkritumu apsaimniekotājam var radīt lielākus zaudējumus kā pieprasīto šķirošanas konteineru uzstādīšana. Turklāt katra nākamā konteineru uzstādīšanas jeb marginālās izmaksas atkritumu apsaimniekotājam kļūst arvien mazākas. Līdz ar to, atkarībā no situācijas atkal tiek izvērtēti ieguvumi un zaudējumi un atbilstoši tiem seko atkritumu apsaimniekotāja rīcība.

1.3.3. Iepakojuma ražotāju rīcība

Iepakojuma dizains pat tā tradicionālajā izpratnē ir visai sarežģīts. Iepakojumam ne vien jāaizsargā produkts un jānodrošina tā transportēšana, bet arī jāsniedz patērētājam nepieciešamā informācija par produktu un jāizceļ tas plauktā starp citiem produktiem. Tajā pašā laikā patērētāju vidū arvien populārāks kļūst videi draudzīgs iepakojums. Iepakojuma ražotājiem tādējādi jāspēj izveidot tādu iepakojuma dizainu, kas ne vien nodrošina tā pamata funkciju izpildi, bet arī apmierina patērētāju vēlmēs un arvien pieaugošās vides prasības. Izvērtējot visus ieguvumus un zaudējumus, iepakojuma ražotājs izveido iepakojuma dizainu, t.sk. izvēlas materiāla veidu un daudzumu, ko konkrētā produkta iepakojuma ražošanā izmantot. Visbiežāk iepakojums tiek ražots no papīra un kartona, stikla, plastmasas un metāla, taču tiek izmantots arī koks, tekstils un dažādi kompozītmateriāli. Ņemot vērā materiālu cenu svārstības, kas, pieaugot globālajai ekonomikas izaugsmei un samazinoties pieejamajiem dabas resursiem, ilgtermiņā tomēr ir ar pieaugošu tendenci, iepakojuma ražotājs pieņem lēmumu par izmantojamā materiāla veidu. Izejmateriālu izmaksas var tikt samazinātas, izmantojot mazāku materiālu daudzumu uz iepakotā produkta vienību. Europei veiktajā pētījumā [6] noteikts, ka Eiropā primārā iepakojuma daudzums uz vienu produkta vienību sastāda vidēji 7,4% kopējās iepakota produkta masas, un dažādās valstīs svārstās robežās no aptuveni 70 – 90 g iepakojuma uz 1 kg iepakotā produkta. Iepakojuma daudzuma samazināšanas jeb dematerializācijas procesā jāņem vērā ne vien iepakojuma, bet arī iepakojamā produkta ietekme uz vidi. Nepietiekams iepakojuma daudzums var radīt produkta bojājumus, kuru ietekme ir negatīvāka, kā lielāka iepakojuma daudzuma izmantošanai, jo produktos ieguldīts daudz vairāk resursu un tiem ir augstāka vērtība kā to pasargāšanai izmantotajam iepakojumam (skat. 1.10.att.) [58].



1.10. att. Optimālā iepakojuma daudzuma noteikšana balstoties uz iepakojuma un produkta ietekmi uz vidi [59]

Vairāku starptautisku pētījumu gaitā ir izstrādātas iepakojuma dizaina procesu metodoloģijas un ceļveži, ar kuru palīdzību iespējams izveidot tādu iepakojuma dizainu, kas samazina ne vien iepakojuma, bet arī iepakotā produkta ietekmi uz vidi. Tas tiek panākts, samazinot produkta sabojāšanās varbūtību [60,61].

Iepakojuma ražotājam jāizdara izvēle arī starp pārstrādātu un jēlmateriālu izmantošanu. Par labu jēlmateriālu izvēlei kalpo pārbaudītās vērtības, t.i. ražotājam ir izstrādāta noteikta iepakojuma ražošanas un dizaina shēma, iestatīti ražošanas režīmi u.c., turklāt jēlmateriāli ir pārbaudīti lietošanā, tāpēc uzskatāmi par drošiem. Savukārt pārstrādāto materiālu izmantošana var ievērojami samazināt izejmateriālu izmaksas, kā arī ļauj celt uzņēmuma zaļo veidolu, taču pārstrādāto materiālu izmantošana var paaugstināt brāķa rašanās varbūtību. Bez tam, lai iegūtu kvalitāti, kas līdzvērtīga no jēlmateriāliem ražotam iepakojumam, var būt nepieciešams izmantot lielāku pārstrādāto materiālu daudzumu [62]. Līdzīgi, kā 1.10. attēlā parādītajā shēmā, arī pārstrādāto materiālu īpatsvara paaugstināšana var radīt lielāku kopējo negatīvo ietekmi uz vidi, kā jēlmateriālu izmantošana. Summāro efektu uz materiālu izvēli veido resursu taupīšanas iespējas un ekonomiskais izdevīgums, kas ir biežākais pārstrādāto materiālu izmantošanas stimuls. Ekonomisko izdevīgumu rada iespēja iegādāties lētākus (pārstrādātos) materiālus vai samazināt izmaksas, kas saistītas ar jēlmateriālu izmantošanas vai to atkritumu apsaimniekošanas radīto vides slodžu segšanu [54]. Šai ziņā arī iepakojuma ražotāja izvēli var ietekmēt atkritumu apsaimniekotāja rīcība, jo tā nosaka pārstrādāto materiālu daudzumu tirgū, kas atbilstoši pieprasījuma un piedāvājuma attiecībai ietekmē materiālu cenu.

Labi izstrādāts iepakojuma dizains ir tāds, kurš rada vismazāko ietekmi uz vides, sociālajiem un ekonomiskajiem faktoriem. Iepakojuma ražotājam ir būtiskākā loma, nosakot arī to, vai iepakojums tā dzīves cikla beigās būs pārstrādājams. Lai tas notiktu, iepakojuma dizaina izstrādes gaitā būtu jāņem vērā pieejamās materiālu atgūšanas tehnoloģijas, tādējādi veidojot noslēgta cikla (*angļu val. – closed loop*) materiālu sistēmas. Bez tam, iepakojuma dizainam materiālu pārstrāde būtu jāveicina, nevis jā kavē, piemēram, izveidojot efektīvu komunikāciju ar patērētājiem. Visaptveroša integrēta pieeja, kas ietver gan minētos faktorus, gan efektīvu iepakojuma dizainu, samazinot materiālu daudzumu un palielinot to pārstrādes iespējas, ir ilgtspējīga iepakojuma pamatā [63]. Ilgtspējīga iepakojuma koncepcija pēdējās desmitgades laikā ir strauji attīstījusies un balstās uz četriem pamata principiem:

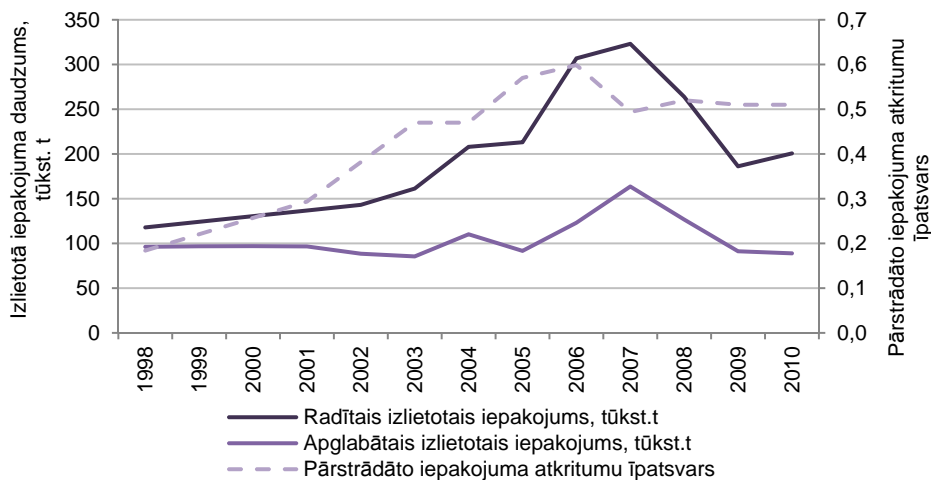
- a) efektivitāte – sabiedrība iegūst pievienoto vērtību, jo iepakojums kvalitatīvi saglabā un aizsargā produktu un informē patērētāju;
- b) taupīgums – iepakojums tiek veidots tā, lai izmantotu materiālus un enerģiju pēc iespējas derīgāk. Šis princips attiecas arī uz tādām atbalsta sistēmām kā uzglabāšana, transports un apstrāde;
- c) cikliskums – iepakojuma materiāli tiek atkārtoti atgriezti sistēmā, samazinot dabas resursu patēriņu;
- d) drošība – iepakojuma sastāvdaļas nenodara kaitējumu cilvēka veselībai un videi [64].

Ilgtspējīga iepakojuma principi labi saskan ar ekodizaina principiem, t.i. efektīva materiālu un enerģijas izmantošana un nekaitīgu materiālu izvēle [65]. Iepakojuma ilgtspēju ļauj izvērtēt iepakojuma materiālu izvēles, ražošanas procesu, lietošanas un atkritumu apsaimniekošanas darbību ietekmes uz vidi novērtējums ar metodēm, kas balstītas dzīves cikla analīzes pieejā [63]. Tā kā nepārtraukti tiek attīstīti jauni materiālu veidi un iepakojuma dizaina risinājumi, tad iepakojuma ilgtspējības nodrošināšana ir

nepārtraukts attīstības process, un pat nelieli jauninājumi var sniegt ievērojamas izmaiņas vides, ekonomisko un sociālo faktoru uzlabošanā.

1.4. Situācijas raksturojums Latvijā

Kopējais saražoto cieto sadzīves atkritumu daudzums Latvijā pēdējo desmit gadu laikā ir strauji pieaudzis. Aptuveni 20% cieto sadzīves atkritumu veido izlietotais iepakojums [66]. Salīdzinājumā ar Rietumeiropas valstīm, Latvijā izlietotā iepakojuma īpatsvars kopējā sadzīves atkritumu plūsmā ir aptuveni uz pusi mazāks [67]. No 2001.gada Latvijā darbojas dalītās atkritumu vākšanas sistēma, kas paredzēta tādu iepakojuma materiālu, kā stikls, papīrs un plastmasa (lielākoties PET) šķirošanai. Kopš 1998.gada pārstrādātā iepakojuma procentuālais apjoms pieaudzis par aptuveni 40%, 2010.gadā sasniedzot 51% [68]. Neskatoties uz to, ik gadu apglabātā izlietotā iepakojuma daudzums laikā no 1998. līdz 2007.gadam pieaudzis pusotru reizi (skat. 1.11.att.). Balstoties uz Eiropas Vides aģentūras publicētajiem datiem, 2008.gadā Latvija bija 2.vietā starp Eiropas Vides aģentūras dalībvalstīm procentuālā apglabāto atkritumu apjoma ziņā [69].



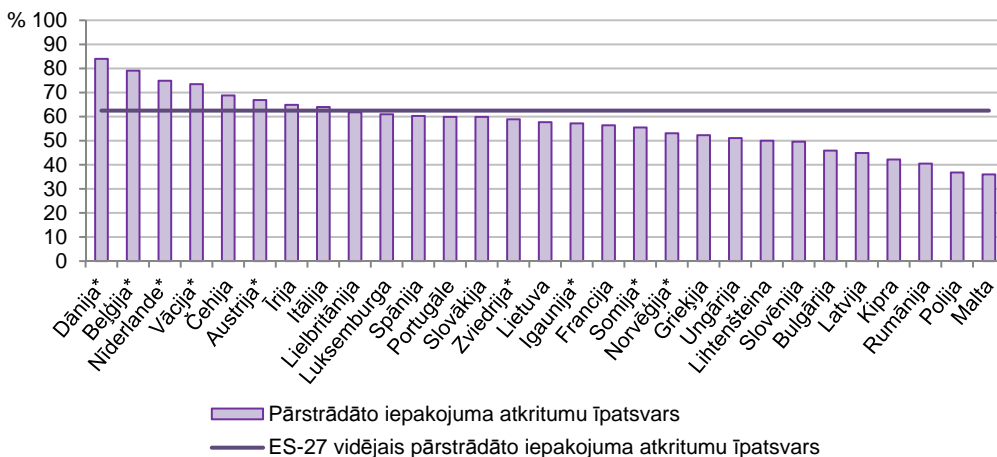
1.11. att. Radītā un apglabātā izlietotā iepakojuma daudzuma un procentuālā pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvara izmaiņas, 1998. – 2010.gads [70-76]

Kā redzams 1.11.attēlā, radītā izlietotā iepakojuma daudzums būtiski samazinājies 2008.-2009.gadā, kas skaidrojams ar ekonomisko lejupslīdi Latvijā un patēriņa samazinājumu, turpretī, ekonomiskajai situācijai uzlabojoties, 2010.gadā tas ir nedaudz pieaudzis. Jāatzīmē, ka dažādās datubāzēs pastāv salīdzinoši augsta datu nesakrītība un statistikas datu kvalitātes problēmas, ko atzinuši arī Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrijas pārstāvji [77,78]. 1.11. attēls parāda kopējā iepakojuma daudzuma rādītājus, savukārt dati par mājāsaimniecībās radītā jeb primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanu atsevišķi nav pieejami.

Saskaņā ar ikgada pārskatiem par saražotā, importētā un izlietotā iepakojuma veidiem un resursu atgūšanas apjomu [71-76], lielāko daļu radītā iepakojuma apjoma Latvijā veido papīra un kartona iepakojums, sastādot aptuveni 30% visa radītā iepakojuma masas. Aptuveni 25% kopējā iepakojuma daudzuma sastāda stikla un arī koka iepakojums. Atlikušos 20% iepakojuma masas veido plastmasas, metāla un citi iepakojuma materiāli. Ik

gadu pārstrādātā iepakojuma atkritumu daudzuma izmaiņu analīze parāda, ka visaugstākie pārstrādes rādītāji 2003.-2010.gadā bijuši papīram un kartonam. Pārstrādes rādītāju pieaugums vērojams stikla un metāla iepakojumam, savukārt kritums – koka iepakojumam. 2009.gadā visās materiālu grupās vērojams pārstrādātā apjoma kritums, kas saistīts ar ekonomiskajiem procesiem valstī un uzņēmējdarbībā.

Lai gan iepakojuma pārstrādes vispārējie rādītāji Latvijā ir ar pieaugošu tendenci, tie joprojām ir zem vidējā ES dalībvalstu līmeņa (skat. 1.12. att.). Pēc Eurostat statistikas datubāzes datiem Latvijā 2009.gadā tika pārstrādāti nepilni 45% radītā izlietotā iepakojuma apjoma, tomēr vidēji ES dalībvalstīs šis rādītājs bijis 62,5%. Jāatzīmē, ka Latvijas kaimiņvalstīs iepakojuma pārstrādes rādītāji ir bijuši augstāki – Igaunijā pārstrādāti 57,2%, bet Lietuvā – 57,7% radītā iepakojuma [79].



1.12.att. Izlietotā iepakojuma pārstrādes rādītāji ES dalībvalstīs, Norvēģijā un Lihtenšteinā 2009.gadā (ar * atzīmētas valstis, kurās ieviesta obligātā depozieta sistēma)

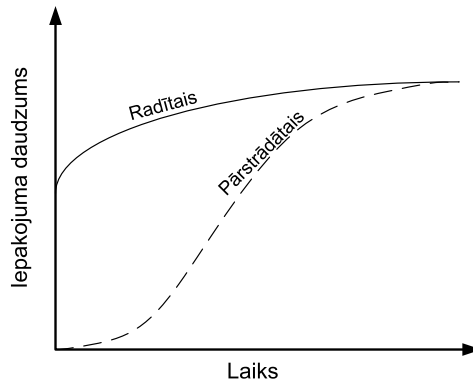
Latvijai kā ES dalībvalstij jāizpilda ES dokumentos ietvertās prasības. Kopienas atkritumu apsaimniekošanas stratēģija, kas ir paredzēta Padomes Rezolūcijā par politiku atkritumu jomā [80] un Padomes Direktīvā 75/442/EEK par atkritumiem [81] iepakojuma un izlietotā iepakojuma apsaimniekošanā nosaka, ka par pirmo prioritāti uzskatāma izlietotā iepakojuma rašanās novēršana un par papildu pamatprincipiem – iepakojuma atkārtota lietošana, pārstrāde un citi izlietotā iepakojuma reģenerācijas veidi, tādējādi samazinot šādu atkritumu galīgo apglabāšanu. Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvā 94/62/EK par iepakojumu un izlietoto iepakojumu [5] noteikti iepakojuma pārstrādes un reģenerācijas mērķi, kas jāsasniedz līdz noteiktam termiņam. Saskaņā ar Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvām 2004/12/EK un 2005/20/EK ar ko groza Direktīvu 94/62/EK [82,83] Latvijā kopējam pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvaram līdz 2015.gada nogalei jāsasniedz vismaz 55%. Bez tā tiek noteikti arī pārstrādes mērķi atsevišķiem iepakojuma materiālu veidiem – papīram, stiklam, metālam, plastmasai un kokam. Savukārt, direktīva 2008/98/EK par atkritumiem nosaka, ka 2020.gadā pārstrādei jāgatavo vismaz 50% mājsaimniecībās radīto papīra, metāla, plastmasas un stikla atkritumu [9]. Pārņemot šīs normas, Latvijā nacionālā līmenī izstrādāti vairāki likumdošanas akti. Ar vidi saistītajiem normatīviem par „jumta likumu” kalpo Vides aizsardzības likums [84], kas ievirza Dabas resursu nodokļa likumu [85], pēc kura īpaši

nosacījumi attiecībā uz iepakojumu tiek reglamentēti Iepakojuma likumā [4]. Izstrādāta arī virkne minētajiem dokumentiem pakārtotu Ministru kabineta noteikumu. Taču izstrādāti ir arī vairāki plānošanas dokumenti, kuros ietvertas idejas par ilgtspējīgu atkritumu apsaimniekošanu. Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģijā līdz 2030.gadam noteiktais mērķis ir pārstrādāto atkritumu īpatsvars vismaz 80% apmērā [86]. Tai pakārtoti, Latvijas Nacionālajā attīstības plānā 2014.-2020.gadam izvirzītie pārstrādāto atkritumu īpatsvara mērķi 2014.gadam un 2017.gadam attiecīgi ir 43% un 47% [87]. Bez tam, izstrādāts arī atkritumu apsaimniekošanas valsts plāns 2013.-2020.gadam, kas vērsts uz atkritumu novēršanas, šķirošanas un pārstrādes veicināšanu, izpildot augstāk minēto dokumentu uzstādītos mērķus.

ES atkritumu apsaimniekošanu reglamentējošie dokumenti dalībvalstīm ļauj pašām izvēlēties stratēģiju, ar kuras palīdzību uzstādītie mērķi tiks sasniegti. Pamata nosacījums ir, ka izveidotajām sistēmām ir jābūt atvērtām visām ieinteresētajām personām un izstrādātām tā, lai nediskriminētu importētos produktus, neradītu tirdzniecības barjeras vai konkurences izkropļojumus, kā arī, lai garantētu maksimālo iespējamo iepakojuma un izlietotā iepakojuma atgriešanu.

Kā viena no atkritumu apsaimniekošanas politikas stratēģijām Latvijā tiek īstenota ražotāja paplašinātās atbildības sistēma. Tās ietvaros iepakojams tiek aplikts ar dabas resursu nodokli (turpmāk – DRN). DRN likmes dažādiem iepakojuma materiāliem atšķiras atkarībā no materiāla aprites cikla ietekmes uz vidi, tādējādi veicinot videi draudzīgāku materiālu izmantošanu iepakojuma ražošanā. Bez tam, kopš 2006.gada DRN likmes ir ievērojami pieaugušas, tādējādi veicinot arī racionālu materiālu daudzuma izmantošanu iepakojumā [85]. Kā norādīts Atkritumu apsaimniekošanas valsts plānā 2013.-2020.gadam [88], DRN iepakojumam veidots kā motivējošs instruments gan radītā atkritumu apjoma, gan arī apglabājamo atkritumu apjoma samazināšanai. Ar nodokļa starpniecību tiek īstenots princips „piesārņotājs maksā”. Salīdzinājumā ar DRN likmēm, Latvijā ražotāju paplašinātās atbildības organizāciju līguma maksas ir ievērojami zemākas un dažādiem materiālu veidiem sastāda vien 7 – 28% no DRN likmes [85,89,90]. Līdz ar to, lai mazinātu izdevumus par saražotā iepakojuma apsaimniekošanu, uzņēmumi visbiežāk izvēlas slēgt līgumu ar kādu no organizācijām. Latvijā izlietotā iepakojuma īpatsvars, ko šīs organizācijas apsaimnieko, ievērojami pieaudzis no 64% 2004.gadā līdz 93% 2010.gadā [72-76].

Izveidotā ražotāju paplašinātās atbildības sistēma Latvijā veicina galvenokārt sekundārā un terciārā iepakojuma dalītu savākšanu. Lai gan datu trūkuma dēļ to nevar pilnīgi droši apgalvot, tomēr pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvars līdz šim sasniegts, galvenokārt pateicoties iepakojuma atkritumu savākšanai un atgūšanai no tirdzniecības un rūpniecības sektoriem. Galvenais iemesls tam ir savākto materiālu homogenitāte un tīrības pakāpe, kas prasa mazāk resursu to sagatavošanai pārstrādei. Taču, ņemot vērā, ka abi šie sektori kļūst arvien izsmeltāki no pārstrādājamo atkritumu kā resursa viedokļa, turpmāka pārstrādāto atkritumu īpatsvara paaugstināšana un ES direktīvu izvirzīto mērķu sasniegšana var kļūt apgrūtināta (skat. 1.13.att.).



1.13.att. Iepakojuma atkritumu kā pārstrādājama resursa izsmelšana tirdzniecības un rūpniecības sektoros

Lai noteiktu mājsaimniecībām nodrošināto atkritumu apsaimniekošanas pakalpojumu kvalitāti, darba ietvaros 2012.gada sākumā tika veikts atkritumu apsaimniekošanas infrastruktūras novērtējums Latvijas reģionos un pašvaldībās. Novērtējuma pamatā bija virtuāla aptauja, izmantojot elektroniski aizpildāmu veidlapu. Aptauja sastāvēja no 14 jautājumiem par atkritumu apsaimniekošanas sistēmu un tās efektivitāti pašvaldībās, kā arī par iedzīvotājus motivējošiem un kavējošiem faktoriem iesaistīties atkritumu apsaimniekošanas un šķirošanas sistēmā. Kopumā no 119 pašvaldībām aptaujā piedalījās 88 pašvaldības (81 novada un 7 republikas pilsētu pašvaldības).

Novērtējuma rezultāti liecina, ka, atsevišķos reģionos, īpaši Latvijas centrālajā un austrumu daļā, atkritumu apsaimniekošanas sistēma ir sadrumstalota un vāji attīstīta. Un, kaut arī dalītās atkritumu vākšanas sistēma Latvijā darbojas jau vairāk kā 10 gadu, 22% pašvaldību nav ieviests neviens no dalītās atkritumu vākšanas sistēmas infrastruktūras elementiem (šķirošanas laukumi un punkti) [77]. Tika izvirzītas vairākas hipotēzes par iemesliem, kas kavē dalītās atkritumu savākšanas sistēmas infrastruktūras attīstību.

Saskaņā ar Antonioli un Filipini pētījumu par atkritumu savākšanas sektora optimālo lielumu [91] visefektīvākā atkritumu savākšanas organizēšana tiek panākta, ja pastāv frančīzes monopols, nevis blakus pastāvoša konkurence. Tas pamatā ir saistīts ar blīvuma radīto ietaupījumu (*angļu val. - economies of density*), t.i. ražošanas jeb, šajā gadījumā – savākšanas, izmaksas samazinās, reģiona blīvumam pieaugot teritorijas ziņā un ražošanai pieaugot apjoma ziņā. Šajā gadījumā, ja dotās pašvaldības teritorijā darbojas viens atkritumu apsaimniekošanas uzņēmums, tad tā izmaksas uz vienu savākto atkritumu tonnu ir zemākas, nekā gadījumā, ja šajā pašā pašvaldībā darbojas divi un vairāk uzņēmumi. Izmaksām esot zemākām, pastāv iespēja veikt ieguldījumus savākšanas sistēmas attīstībā, piemēram, iegādājoties un uzstādot dalītās atkritumu vākšanas konteinerus.

Latvijā atkritumu savākšanas monopols pastāv 71% pašvaldību. 17% pašvaldību darbojas divi atkritumu savākšanas uzņēmumi, savukārt atlikušajās pašvaldībās – trīs un vairāk uzņēmumu. Kopumā 88 pašvaldībās, kas piedalījās aptaujā, 2012.gadā strādāja 46 atkritumu savākšanas uzņēmumi (skat. 1. pielikumu).

Novērtējuma rezultāti parāda, ka 52% uzņēmumu apkalpo tikai vienu pašvaldību. Vairumā gadījumu tā ir pašvaldības sabiedrība ar ierobežotu atbildību (SIA), pašvaldības

aģentūra vai pašvaldības komunālo pakalpojumu sniedzējs, kas bieži piedāvā arī citus komunālo pakalpojumu veidus, piemēram, ūdens un kanalizācija, siltumenerģija, nekustamo īpašumu apsaimniekošana, teritorijas sakopšanas un apzaļumošanas darbi u.c. 22% uzņēmumu apkalpo divas pašvaldības, 15% uzņēmumu – trīs pašvaldības, bet tikai 11% uzņēmumu – vairāk par trim pašvaldībām. Pēc aptaujas rezultātiem lielākie atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumi Latvijā ir SIA Ziemeļvidzemes atkritumu apsaimniekošanas organizācija, SIA L&T, SIA Eko Kurzeme, SIA Kurzemes ainava. Ja pieņem, ka katrs uzņēmums pašvaldībā apsaimnieko teritoriju, kas apgriezti proporcionāla kopējam pašvaldību apkalpojošo uzņēmumu skaitam, tad iegūtos rezultātus iespējams normalizēt. Piemēram, ja pašvaldību apkalpo trīs uzņēmumi, tad katrs no tiem apkalpo vienu trešo daļu pašvaldības teritorijas. Šādi summējot katra uzņēmuma apkalpoto pašvaldību normalizēto skaitu, tika iegūts, ka 61% uzņēmumu apkalpo ≤ 1 pašvaldību, 22% apkalpo 1-2 pašvaldības, bet atlikušie 17% apkalpo vairāk kā 2 pašvaldības. Var secināt, ka atkritumu savākšana Latvijā ir salīdzinoši vāji attīstīta, jo maziem lokāliem uzņēmumiem ir mazāk iespēju piesaistīt investīcijas vai attīstīt savu infrastruktūru, uzstādot papildu konteinerus atkritumu dalītās vākšanas nodrošināšanai vai iegādājoties jaunu, efektīvu aprīkojumu.

Dalītās atkritumu vākšanas sistēmas attīstību kavē arī pastāvošā kārtība, kādā tiek izvēlēts atkritumu apsaimniekošanas pakalpojumu sniedzējs. Pašvaldības izvēlas atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu, organizējot iepirkumu konkursu, kurā uzvar piedāvājums ar zemāko cenu. Tomēr, tās ne vienmēr atbilstoši novērtē savas vajadzības (piemēram, nepieciešamību uzstādīt atkritumu šķirošanas konteinerus), savukārt apsaimniekošanas uzņēmumi sagatavo piedāvājumu atbilstoši sagatavotajam konkursa nolikumam. Līdz ar to tiek sniegta iespējas konkursos uzvarēt uzņēmumiem, kas piedāvā zemāko cenu (atkritumu apsaimniekošanas maksu), bet ne politikas dokumentu mērķu izpildi.

Tajā pašā laikā arī patērētāju vājā informētība par atkritumu šķirošanas nepieciešamību un motivācijas trūkums atkritumu šķirošanā iesaistīties neveicina dalītās atkritumu vākšanas sistēmas attīstību. 2011.gadā veiktās Eurobarometer aptaujas [92] rezultāti liecina, ka atkritumus šķirojošo patērētāju īpatsvars Latvijā ir viens no zemākajiem ES – tikai 28% Latvijas iedzīvotāju šķiro mājsaimniecības atkritumus, kas ir trešais zemākais rādītājs Eiropā, kamēr vidējais atkritumus šķirojošo iedzīvotāju īpatsvars ES kopumā ir 66%. Minētajā aptaujā arī konstatēts, ka 76% aptaujāto Latvijas iedzīvotāju uzskata, ka atkritumu šķirošanu stimulētu papildu dalītās atkritumu vākšanas konteineru uzstādīšana. Atkritumu apsaimniekošanas valsts plānā 2013.-2020.gadam [88] norādīts, ka šķirot atkritumus iedzīvotājus motivē arī pareizi un pamatoti veidota maksa, kuras pamatā ir princips, ka atkritumu radītājam jāmaksā par faktiski radīto atkritumu apjomu (*angļu val. – Pay-As-You-Throw (PAYT) principle*), kas izriet no ES vadlīnijām un uzstādījumiem par atkritumu apsaimniekošanu un to izdevumu segšanu. No kopējiem mājsaimniecību patēriņa izdevumiem atkritumu apsaimniekošanas maksa Latvijā sastāda vidēji vien 0,7 %/iedz. [88], tāpēc var apgalvot, ka pagaidām tas ir vājš motivators atkritumu šķirošanā iesaistīties. Novērtējums gan parādīja, ka atkritumu apsaimniekošanas maksas ziņā valstī starp iedzīvotājiem pastāv liela nevienlīdzība (skat. 1.pielikumu). Maksas apmērs par sadzīves atkritumu apsaimniekošanas pakalpojumiem pašvaldībās lielā mērā svārstās atkarībā no atkritumu apsaimniekošanas reģiona, kurā tās atrodas un kuru raksturo dažādi socio-ekonomiskie, ģeogrāfiskie u.c. rādītāji. Liela ietekme ir poligonu tarifam, kurš dažādos reģionos svārstās no 9,65 LVL/t līdz pat 22,60 LVL/t. Tarifs tiek noteikts saskaņā ar Sadzīves atkritumu apglabāšanas pakalpojuma tarifa aprēķināšanas metodiku [93], attiecinot poligona darbības pilnās izmaksas pret apglabāto atkritumu daudzumu. Poligonos

atkritumu apjoms tiek noteikts tonnās un atbilstoši to apmēram atkritumu apglabāšanas maksai tiek pieskaitīts arī dabas resursu nodoklis, kas kopš tā ieviešanas būtiski pieaudzis ar mērķi samazināt poligonos apglabāto atkritumu daudzumu un veicināt to pārstrādi un reģenerāciju. Analizējot atkritumu apsaimniekošanas maksu viena reģiona dažādās pašvaldībās, var secināt, ka nepastāv noteiktas likumsakarības, uz ko balstītos atkritumu apsaimniekošanas maksa, kas to iedzīvotājiem tiek piemērota. Bez tam, augstākas maksas piemērošana negarantē, ka pašvaldībā tiek nodrošināta iepakošanas dalīta savākšana, kas daļēji varētu attaisnot lielāku maksu (skat. 1.pielikumu). Lai novērstu pastāvošo nevienlīdzību, būtu nepieciešams izstrādāt līmeņatzīmi, pēc kuras tiktu noteikta vienota atkritumu apsaimniekošanas maksa pie vienotiem nosacījumiem katram atkritumu apsaimniekošanas reģionam, nevis katrai tā pašvaldībai atsevišķi. Tas ļautu novadus nostādīt vienlīdzīgākās pozīcijās, bet atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu sniegtos pakalpojumus padarītu kvalitatīvākus. Iespējams, samazinātos arī pakalpojumus piedāvājošo uzņēmumu skaits, tirgū atstājot spēcīgākos, kas palīdzētu uzlabot atkritumu apsaimniekošanas sistēmas infrastruktūru kopumā.

Atkritumu apsaimniekošanas maksa Latvijā visbiežāk tiek izteikta latos uz kubikmetru (LVL/m³) vai latos uz iedzīvotāju (LVL/iedz), retāki ir gadījumi, kad maksa tiek izteikta latos uz apsaimniekojamā dzīvojamās platības kvadrātmetru (LVL/m²). Maksas izteikšanas LVL/iedz. nepilnība ir tā, ka nav zināms, kāds ir esošais saražoto atkritumu daudzums uz iedzīvotāju gadā dažādos reģionos, piemēram, republikas nozīmes pilsētās ar salīdzinoši augstu patēriņu un atkritumu ražošanas līmeni, mazpilsētās un lauku rajonos ar ievērojami zemākiem atkritumu ražošanas rādītājiem. Atsevišķos iepriekšējā plānošanas perioda atkritumu apsaimniekošanas reģionālajos plānos šie lielumi tika norādīti, tomēr tie atbilst vēsturiskajai, nevis esošajai situācijai. Savukārt, maksas, kas izteikta LVL/m³, trūkums ir tāds, ka maksa tiek piemērota par atkritumu konteineru, nevis savākto atkritumu tilpumu. Kā norādīts Hoga u.c. ziņojumā [94], uz tilpumu attiecinātā maksa uzrāda visvājākos rezultātus attiecībā uz atkritumu daudzuma samazināšanu un šķirošanu. Daļēji tas saistīts ar faktu, ka tiklīdz kā iegādāts/pasūtīts noteiktā izmēra konteiners, atkritumu daudzuma samazināšanas robežizmaksas ir pielīdzināmas nullei. No praktiskā viedokļa – atkritumu savākšanas konteineri ne vienmēr ir piepildīti, tomēr katrā savākšanas reizē tiek uzskaitīts konteineru kopējais tilpums, ja vien savākšanas mašīnai nav uzstādīta svēršanas sistēma, ar kuras palīdzību tiek noteikta konteinerā esošo atkritumu masa un, atbilstoši tai, piemērota savākšanas maksa. Līdz ar to, izmantojot jebkuru no abām minētajām maksas piemērošanas vienībām (kā arī gadījumus, kad maksa tiek piemērota LVL/m²), iedzīvotāji neizjūt atkritumu daudzuma samazināšanas ietekmi uz atkritumu apsaimniekošanas maksu, tāpēc tas nerada motivāciju iesaistīties šķirošanā.

Kā bija redzams 1.12.attēlā, valstīs ar obligāto depozieta sistēmu ir vieni no augstākajiem sasniegtajiem pārstrādāto atkritumu īpatsvara rezultātiem, tāpēc tā tiek uzskatīta par vienu no efektīvākajiem iepakošanas atkritumu apsaimniekošanas mehānismiem. Izlietotā iepakošanas savākšanas un pārstrādes rādītāju uzlabošanai un iedzīvotāju motivācijas un iesaistes atkritumu šķirošanā paaugstināšanai, Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija (VARAM) ir ierosinājusi no 2015.gada 1.janvāra obligāto depozieta sistēmu dzērienu iepakošanai ieviest arī Latvijā [95]. 2004.gadā Latvijā jau ieviesta brīvprātīgā atkārtoti lietojamā primārā un sekundārā iepakošanas depozieta sistēma, kurā izlietotās alus un minerālūdens stikla pudeles un plastmasas kastes ir iespējams nodot taras pieņemšanas punktos, saņemot atlīdzību [96]. Tomēr pēc VARAM Vides departamenta vadītājas R.Veseres [97] sacītā, realitātē šī sistēma nedarbojas, t.i. neviens dzērienu ražotājs oficiāli depozieta sistēmas ieviešanu nav

pieteicis. Neskatoties uz to, noteiktu veidu izlietoto iepakojumu (pamatā alus pudeles) nodot, saņemot atlīdzību 0,03 – 0,04 LVL (0,04 – 0,06 EUR) [98] apmērā, ir iespējams. Esošās sistēmas trūkums ir iepakojuma pieņemšanas punktu nevienmērīgais izvietojums. Pēc ZL uzņēmumu kataloga, kurā tiek apkopota informācija par lielāko daļu Latvijas uzņēmumu, datiem, meklējot atslēgvārdus „stikla taras pieņemšana” netika atrasts neviens uzņēmums tādās Latvijas pilsētās kā Liepāja, Ventspils, Preiļi, Krāslava, Rēzekne, Cēsis, Valmiera u.c. Lai gan iespējams, ka iepakojumu pret noteiktu atlīdzību šajās pilsētās ir iespējams apmainīt, taču viennozīmīgi redzams, ka lielākajā daļā gadījumu patērētājam būtu nepieciešams mērot lielāku vai mazāku attālumu, lai to izdarītu. Šāda situācija rada papildu transporta izdevumus un brīvā laika patēriņu, kas paaugstina risku, ka iepakojums tiks izmests kopā ar sadzīves atkritumiem vai pat nonāks apkārtējā vidē.

Ir veikti vairāki pētījumi, kuros analizēta obligātās depozīta sistēmas ieviešana Latvijā. Kā viens no pirmajiem 2008.gadā tika veikts Latvijas Vides aizsardzības fonda finansēts izvērtējums „*Iepakojuma depozīta sistēmas ieviešanas aspektu analīze un priekšnosacījumu izstrāde stikla pudelēm, PET pudelēm un skārdenēm*” [99]. Tajā analizēta depozīta sistēmas ieviešanas nepieciešamība, tās iespējamā darbības shēma, kā arī izmaksas un ieguvumi, ko sistēma varētu sniegt pirmo divu gadu laikā no tās ieviešanas. Tiek piedāvāta vienotas depozīta maksas piemērošana visiem iepakojuma veidiem, sakot, ka „depozīta maksa jānosaka tādā apmērā, lai motivētu patērētājus izlietoto iepakojumu nodot atpakaļ, bet vienlaikus neradītu nepieciešamību pēc būtiskiem papildus apgrozāmajiem līdzekļiem sistēmas dalībniekiem un minimizētu krāpšanās risku”, nosakot, ka depozīta maksa 0,03 LVL vai 0,04 LVL apmērā varētu atbilst šādiem kritērijiem.

2012.gadā veikts „*Depozīta sistēmas ieviešanas ekonomiskais novērtējums Latvijā*” [98], kas atšķirībā no iepriekš minētā nav vērst uz finanšu plūsmas izvērtējumu, bet gan kopējo depozīta sistēmas ieviešanas ekonomisko novērtējumu Latvijā, ar to papildinot esošo dalītās atkritumu vākšanas sistēmu. Novērtējumā secināts, ka depozīta sistēmas ieviešana nodrošinās lielākus vides ieguvumus un ka kopējie ieguvumi 10 gados sasniedz līmeni, kas pārsniedz sistēmas ieviešanas izmaksas. Novērtējumā analizēta depozīta maksa 0,04 LVL apmērā, nosakot, ka tādējādi varētu tikt sasniegts 80 – 92% atgrieztā iepakojuma īpatsvars, kā arī norādīts, ka, paaugstinot maksu līdz 0,08 LVL, atgrieztā iepakojuma īpatsvars sasniegtu 100%. Atšķirībā no pirmā pētījuma Brizga et.al. pieņēmumus par depozīta maksas apmēru izdarījuši, balstoties uz pieredzi par esošo situāciju un pieņēmumiem par tās izmaiņām, t.i. esošajā brīvprātīgajā depozīta sistēmā iedzīvotāji ir ieinteresēti atgriezt tukšo stikla taras vienību vidēji par 0,03 LVL, tādējādi depozīta maksa 0,04 LVL apmērā varētu vēl vairāk motivēt iedzīvotājus atgriezt iepakojumu. Šajā gadījumā depozīta maksas apmērs noteikts, balstoties uz intuitīviem apsvērumiem par patērētāju rīcību. Novērtējumā netiek aplūkoti citi iepakojuma atgriešanas rādītājus ietekmējoši faktori, piemēram, iedzīvotāju neērību izmaksas, kas saistītas ar dalību depozīta sistēmā u.c. Tomēr kopumā tas sniedz priekšstatu par aptuvenajām izmaksām un ieguvumiem katrai no sistēmā iesaistītajām pusēm.

2012.gadā veikts arī ekonomisko aspektu izvērtējums iepakojuma depozīta sistēmas ieviešanai [14] un depozīta sistēmas ilgtspējības aspektu analīze [77]. Pētījumos secināts, ka depozīta sistēmas ieviešanas izmaksas atkarīgas no tirgū izvietotā iepakojuma apjoma, kas, savukārt, atkarīgs no dzērienu patēriņa, ko ietekmē iekšzemes kopprodukts. Kaut arī tiktu panākts PET, stikla un alumīnija iepakojuma pārstrādātā īpatsvara pieaugums, depozīta sistēmas ieviešana un uzturēšana palielinātu dzērienu iepakojuma izmaksas. Līdz ar to, sasniegtos vides ieguvumus būtu nepieciešams sabalansēt ar sistēmas izmaksām, tomēr zemā dzērienu patēriņa dēļ Latvijā tas būtu grūti sasniedzams. Rezultātā

depozīta sistēmas ieviešanas vietā tiek ieteikts censties attīstīt esošo dalītās atkritumu vākšanas sistēmu.

Situācijas raksturojums valstī kopumā iezīmē vairākas problēmas:

- a) pastāv augsts apglabāto mājsaimniecībās radīto primārā iepakojuma atkritumu īpatsvars;
- b) dalītās atkritumu vākšanas sistēmas infrastruktūra mājsaimniecību līmenī ir vāji attīstīta;
- c) patērētāju iesaistes līmenis atkritumu šķirošanā un pārstrādē ir zems;
- d) trūkst motivējošo instrumentu, kas paaugstinātu patērētāju iesaistīšanos atkritumu šķirošanā;
- e) valsts mērogā netiek veikts datu apkopojums un analīze par primārā iepakojuma apjomu, tā atkritumu apsaimniekošanu un dalītās atkritumu vākšanas infrastruktūras stāvokli.

Lai uzskaitītās problēmas tiktu novērstas, nepieciešams izstrādāt uz mājsaimniecībās radīto atkritumu apsaimniekošanu vērstu ilgtspējīgas politikas stratēģiju. Tai ar noteiktu politikas instrumentu palīdzību ir jāveicina mājsaimniecībām ērti pieejamas iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas infrastruktūras attīstība un patērētāju motivācijas celšana. Tas ļaus veicināt primārā iepakojuma atkritumu savākšanu un pārstrādi un nodrošinās arī turpmāku kopējā pārstrādāto atkritumu īpatsvara pieaugumu un izvirzīto mērķu sasniegšanu.

1.5. Iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas regulēšanā pielietotie politikas instrumenti un modelēšanas metodes

Viens no ES vides politikas pamatdokumentiem ir vides rīcības programma, balstoties uz kuru nosprausto mērķu sasniegšanai tiek izstrādātas stratēģijas un regulējošie dokumenti. Vadošie principi atkritumu apsaimniekošanas politikā izstrādāti, lai samazinātu atkritumu daudzumu un nodrošinātu drošu to apsaimniekošanu. Tādējādi 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.

Sestās vides rīcības programmas novērtējumā tika secināts, ka, neskatoties uz vides jomā sasniegtajiem ieguvumiem, visās prioritārajās jomās, t.sk. dabas resursu ilgtspējīgas izmantošanas un atkritumu apsaimniekošanas jomā, joprojām saglabājas tendences, kas nav ilgtspējīgas [100]. Priekšlikumā par ES vides rīcības programmu līdz 2020.gadam [100] par pamatmērķi izvirzīta labklājīgas dzīves sasniegšana ar pieejamajiem planētas resursiem. Tikmēr Eiropas Komisijas izstrādātajā Ceļvedī par resursu efektīvu izmantošanu [101] par robežzīmi noteikta atkritumu kā resursa pārvaldīšanas sasniegšana līdz 2020.gadam. Tiek uzsvērts, ka, lai atkritumus pārvērstu par resursu, ir pilnībā jāsteno ES tiesību akti atkritumu jomā visā ES, pamatojoties uz atkritumu apsaimniekošanas hierarhijas stingru piemērošanu un ietverot dažādus atkritumu veidus.

Tiesību aktu īstenošanai iespējams pielietot dažādus politikas instrumentus, kurus atkarībā no to rakstura iespējams iedalīt vairākās kategorijās. Izplatītākais ir dalījums ekonomiskajos, administratīvajos un informatīvajos instrumentos [11,102,103], bet tiek arī minēti stratēģiskās plānošanas, infrastruktūras, savstarpējās vienošanās, tirgus u.c. politikas instrumenti [46,104,105]. J.Brizga [106] un S.Ulli-Bēra [46] savos darbos sniedz detalizētu skaidrojumu par instrumentu dalījumu un pazīmēm, tomēr arī norāda, ka visi minētie

instrumenti ir savstarpēji saistīti un noteikta mērķa sasniegšanu vislabāk nodrošina dažādu instrumentu kombinācijas. S.Ulli-Bēra arī norāda, ka politikas veidotāju lielākais izaicinājums ir tādas politikas stratēģijas izstrāde, kas rada jaunas vai izmaina jau esošās struktūras, mobilizējot resursus un ierosinot videi draudzīgas uzvedības un dzīves stila veidošanos. Lai uzvedības maiņa tiktu ierosināta, politikas veidotāji var ietekmēt kā iekšējās, tā ārējās struktūras. Individīda iekšējo struktūru (psiho-fizioloģiskie faktori un procesi) modificēšanai pielietojami informatīvie instrumenti un brīvprātīgās vienošanās shēmas, savukārt ārējās struktūras (dabiskie un kultūras faktori un procesi) var tikt izmainītas ar ekonomiskajiem, infrastruktūras un „pavēles un kontroles” (*angļu val. – command and control*) instrumentiem un brīvprātīgās vienošanās shēmām.

Iepakojuma atkritumu apsaimniekošanā izplatīta politikas stratēģija ir ražotāja paplašinātā atbildība. Tā ir preventīva vides aizsardzības stratēģija, kas nosaka, ka ražotājam ir pienākums sekot kaitējumam, ko videi nodara tā preces vai pakalpojumi visā to dzīves cikla laikā [107]. Šīs stratēģijas ieviešanas rezultātā ražotājs ir spiests domāt par ražošanas attīstību un izmaksu samazināšanu, lai būtu pēc iespējas mazāk izdevumu par radušos atkritumu apsaimniekošanu. Ir izstrādāti vairāki instrumenti, kas atbalsta ražotāja paplašinātās atbildības sistēmu:

- a) administratīvie instrumenti – prasība pieņemt atpakaļ izlietoto iepakojumu, atkārtotas izmantošanas vai pārstrādes nodrošināšana, noteiktu vides standartu izpilde, pārstrādāto materiālu minimālā daudzuma noteikšana iepakojumā u.c.;
- b) ekonomiskie instrumenti – materiālu nodokļi, paaugstināta maksa par noteiktu materiālu apglabāšanu, subsīdijas u.c.
- c) informatīvie instrumenti – iepakojuma marķēšana, informācija par iepakojuma materiālu veidu, informācija par pārstrādāto materiālu procentuālo daudzumu iepakojumā, informācija par ietekmi uz vidi, šķirošanu veicinošas informatīvās kampaņas un izglītojošie pasākumi u.c. [107]

Literatūrā atrodami vairāki pētījumi, kuros iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmai piemērotie politikas instrumenti analizēti. Kopumā šos pētījumus iespējams iedalīt divās grupās. Pirmajai pieskaitāmi pētījumi, kuros analizēta politikas instrumentu (pamatā ekonomisko) ietekme uz iepakojuma dizainu un ražošanu [108-113]. Pētījumu rezultāti kopumā parāda, ka ražotāja paplašinātajai atbildībai kā politikas stratēģijai ir maza ietekme uz iepakojuma vides sniegumu. Šis instruments pats par sevi nevirza uz tehnoloģiskām pārmaiņām vai procesu inovācijām, tomēr tas palīdz radīt tirgu, kas šīs pārmaiņas un inovācijas stimulē, samazinot izmaksas un radot konkurenci, tirgus spiedienu un spiedienu no tirgus dalībnieku un atbildīgo institūciju puses par to, lai tiktu izpildīti iepakojuma kvalitātes un pārtikas drošuma kritēriji tā lietošana laikā [112]. Kā norāda Røine un Lī [112] „iekpojuma dizains tiek veidots produkta aizsargāšanai, nevis pārstrādāšanai”. Ferara un Plurde [108], savukārt, uzskata, ka iepakojuma dizains nav atkarīgs no tirgus mehānismiem, bet gan no patērētāju izvēles, kas ir heterogēna, tāpēc nepakļaujas neviena politikas formulējuma teorētiskajai loģikai. Vorels un Sluisvelds [113] secina, ka ar ražotāja paplašinātās atbildības pieeju efektīva materiālu izmantošana iepakojuma ražošanā ir grūti sasniedzama, jo iepakojuma ražotāji var saņemt iepakojuma nodokļa atbrīvojumu. Brulē un Oltras pētījuma [114] rezultāti parāda, ka ražotāja paplašinātās atbildības sistēmā iepakojuma pārstrādājamības veicināšanu var nodrošināt tikai tāda maksa (tarifs), kas balstīta uz produktu individuālo pārstrādājamību, ņemot vērā pieejamās tehnoloģijas. Savukārt, Finvedens et.al. [115] secina, ka materiālu

pārstrādes kontrolēšanai/veicināšanai ražotāju pusē bez ražotāju paplašinātās atbildības citi instrumenti nepastāv. Paaugstināta pārstrādājāmība ir būtiska, jo uzlabo atkritumu apsaimniekošanas procesus.

Otrajā pētījumu grupā iekļaujami tie pētījumi, kuros analizēta politikas instrumentu ietekme uz iepakojuma atkritumu apsaimniekošanu un pārstrādi [51,67, 116-119]. Tiek uzsvērts, ka vēlāmā efekta panākšanai atkritumu apsaimniekošanas sistēmai ir jāpiemēro skaidra ilgtermiņa politika ar kvalitatīvu monitoringa sistēmu [67]. Viens no galvenajiem ieviestās politikas efektivitāti ietekmējošajiem faktoriem ir patērētāju motivācijas paaugstināšana iesaistīties atkritumu šķirošanā, piemēram, ieviešot nodokļa-subsidiju mehānismus (kā depozīta sistēma) vai nodrošinot ērtu un dzīvesvietai tuvu pārstrādājamo materiālu savākšanas pakalpojumu [118,120]. Kauto un Melanens [121] norāda, ka uzlabotas atkritumu apsaimniekošanas un ecoefektivitātes panākšanai ražošanas uzņēmumos piemērotākie ir ekonomiskie instrumenti. Tomēr, kā atzīmē Lukila un Rouceda [120], tāda ekonomiskā instrumenta kā iepakojuma nodokļa, kas tiek piemērots ražotājam pārstrādes stimulēšanai, būtiskākais trūkums ir patērētāju iesaistes atkritumu šķirošanā neveicināšana. Savukārt Dalēna et.al. [118] atklājusi, ka uz nešķirotu atkritumu svaru balstīta savākšanas un apsaimniekošanas maksa nepaaugstina šķirotu atkritumu daudzumu, bet gan samazina kopējo savākto atkritumu daudzumu. Finvedens et.al. [115] dalītās atkritumu vākšanas rādītāju paaugstināšanai patērētāju pusē iesaka ekonomisko, informācijas, atbalstošās infrastruktūras u.c. instrumentu vienlaicīgu izmantošanu. Kā uzsver Banars et.al. [116], veidojot iepakojuma pārstrādes sistēmu, nepieciešams ņemt vērā visus parametrus, kas varētu tikt ietekmēti, piemēram, investīciju izmaksas, izmaiņas patērētāju uzvedībā, pārstrādāto materiālu rašanās avotā radītais piesārņojums un pārstrādāto materiālu cenas izmaiņas. Bez tam, veidojot politiku (un pēc tam to arī izvērtējot), nepieciešams izvērtēt konkrētās vietas, valsts, reģiona specifiskos apstākļus, kas ietekmē atkritumu rašanos un atkritumu šķirošanas paradumus.

Minētie pētījumi uzsver nepieciešamību pilnībā izprast tās sistēmas uzvedību, kurai noteiktu politiku un politikas instrumentu kopumu plānots piemērot. Pretējā gadījumā politikas mērķi var netikt sasniegti. Līdz ar to var teikt, ka veiksmīgas iepakojuma politikas izveidei un ieviešanai nepieciešama integrēta pieeja, kurā apvienoti ilgtspējīgu iepakojuma dizainu, ražošanu, izmantošanu un atkritumu apsaimniekošanu veicinoši instrumenti. Tas nozīmē, ka jāizstrādā tāda politikas stratēģija, kas ietver visu iepakojuma dzīves ciklu un rada stimulus katram tā posmam un iesaistītajam dalībniekam.

Jau kopš pagājušā gadsimta 60.-to gadu beigām, lai risinātu ar atkritumu apsaimniekošanu saistītas problēmas, plaši pielietoti dažādi sistēmu inženieranalīzes modeļi un novērtēšanas instrumenti [122]. Galvenais modeļu mērķis ir palīdzēt lēmumu pieņēmējiem, kas ikdienā saskaras ar kompleksu uzdevumu risināšanu, efektīvi apsaimniekot atkritumus gan no vides, gan ekonomiskā viedokļa [122]. Tas attiecināms arī uz iepakojuma atkritumu apsaimniekošanu. Balstoties uz A. Piresas et.al. veikto pārskatu [17], šādi modeļi un instrumenti pārsvarā tikuši izmantoti dažādu iepakojuma materiālu apsaimniekošanas risinājumu rašanai, atsevišķu sistēmas posmu (savākšana, apstrāde, apglabāšana) analīzei vai dažādu iepakojuma pārstrādes mērķu sasniegšanas pieeju analīzei. Tomēr, kā liecina A. Morisejas un J.Brauna [123] secinātais, atkritumu apsaimniekošanas modeļi pārsvarā neņem vērā visus trīs ilgtspējīgas attīstības stūrakmeņus, t.i. ekonomiskos, vides un sociālos aspektus. Pēc viņu domām vairums atkritumu apsaimniekošanas modeļu ir iedalāmi trīs kategorijās, t.i. modeļi, kuru pamatā ir: (i) izmaksu un ieguvumu analīze (angļu val. – *cost-benefit analysis*); (ii) aprītes cikla analīze; un (iii) multi-kritēriju pieeja. G.Finvedens et.al. [115] uzskaita vēl vairākas citas

metodes un pieejas, kas var tikt izmantotas ar atkritumu apsaimniekošanu saistītu jautājumu risināšanai, t.i. ietekmes uz vidi novērtējums, stratēģiskais vides novērtējums, izmaksu efektivitātes analīze (*angļu val. – cost-effectiveness analysis*), aprites cikla izmaksu analīze (*angļu val. – life-cycle costing*), riska novērtējums, materiālu plūsmas uzskaitē, vielu plūsmas analīze, ekserģijas analīze, entropijas analīze, vides pārvaldības sistēmas un vides audits. Minētās metodes ietver gan procedurālas, gan analītiskas metodes. Tomēr kopumā tās visas var tikt raksturotas kā sistēmu analīzes metodes. Pēdējos gados pastiprināta uzmanība tiek pievērsta sistēmiskai domāšanai akritumu apsaimniekošanā, ko arī apstiprina Eiropas Komisijas tematiskā stratēģija atkritumiem, kur liels uzsvars tiek likts uz aprites cikla analīzi un aprites cikla domāšanu [125].

Atkritumu apsaimniekošanas sistēmu modelēšanā politikas instrumentu novērtējums pielietots salīdzinoši reti – pamatā izmantoti tikai tādi sistēmu novērtēšanas rīki kā stratēģiskais vides novērtējums, kas sastāv no jebkuras stratēģiskas darbības (politikas, plāna, programmas) novērtējuma attiecībā pret vidi, un socioekonomiskais novērtējums, kas ir datorizētas pieejas piemērošana integrētai tirgus un/vai politikas prasību novērtēšanai [17]. Iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmu regulēšanai piemēroto politikas instrumentu modelēšana veikta vien atsevišķos pētījumos ar sistēmu novērtēšanas rīkiem [126,127] vai sistēminženierijas modeļiem [128]. Daudzi izstrādātie modeļi spējuši sniegt samērā precīzus politiskajiem lēmumiem atbilstošus un ar tiem savienojamus rezultātus, tomēr ir arī skaidrs, ka tie allaž būs atvērti kritikai, jo ir reālās situācijas vienkāršojums, kas ietver pieņēmumus. Tā ir kopīga iezīme visām sistēmu analīzes metodēm un modeļiem.

1.6. Sistēmiska domāšana un sistēmdinamikas metode

Moderno problēmu risināšanā lineārās un mehāniskās domāšanas pielietojums kļūst arvien neefektīvāks. Iemesls tam ir tāds, ka mūsdienās lielākā daļa jautājumu ir savstarpēji saistīti veidos, kas nepakļaujas lineārām cēloņsakarībām. Gluži pretēji – cirkulāras cēloņsakarības, kur mainīgais ir gan cēlonis, gan sekas citam mainīgajam, ir kļuvušas par ikdienas normu. Pasaulē viss kļūst arvien ciešāk saistīts savā starpā, un ārējas atgriezeniskās cēloņsakarību cilpas pārņem dominanci pār mainīgo uzvedību sociālās un ekonomiskās sistēmās. Lai izprastu moderno problēmu cēloņus un risinājumus, nepieciešams pielietot nelineāru un organisku domāšanu, kas plašāk zināma kā sistēmiska domāšana – domāšanas veids, kurā tiek atzīts kopainas pārākums [129]. B. Ričmonds [130] sistēmisku domāšanu definējis kā „mākslu un zinātņi, kurā struktūra tiek savienota ar sniegumu un sniegums tiek savienots ar struktūru – bieži vien ar mērķi mainīt struktūru snieguma uzlabošanai”. Tas parāda veidu, kādā tiek uztverta realitāte – uzsverot saiknes starp atsevišķām sistēmas daļām, nevis pašu atsevišķo daļu īpašības [129].

Viens no sistēmiskas domāšanas atzariem ir sistēmdinamika. Sistēmdinamika ir domāšanas modelis un modelēšanas metode, kas izveidota kompleksu sistēmu dinamiskās uzvedības pētīšanas vajadzībām [129]. Kompleksa sistēma ir no daudziem savstarpēji nelineāri saistītiem elementiem sastāvoša sistēma, kas uzrāda vienotu uzvedību un, pateicoties informācijas un/vai enerģijas apmaiņai ar apkārtējo vidi, spēj viegli modificēt savu iekšējo struktūru un rīcības modeli [131]. Sistēmdinamika kā modelēšanas metode ļauj veikt kompleksu sistēmu datorsimulācijas un izmantot tās efektīvu stratēģiju un scenāriju attīstīšanai [132]. Modelēšana pati par sevi ir reālās sistēmas vienkāršota attēlošana. Modeļi tiek izmantoti, kad vienkāršāk ir strādāt ar sistēmas aizvietotāju nekā ar reālo sistēmu. Matemātiskie modeļi bieži tiek iedalīti statistiskajos un dinamiskajos modeļos.

Statistiskie modeļi ļauj saprast sistēmas uzvedību noteiktā laika punktā, savukārt dinamiskie modeļi ļauj apskatīt sistēmas izmaiņas laikā. Pieaugums, kritums un svārstības ir sistēmu dinamisko izmaiņu pamatā. Sistēmdinamikas modeļi ļauj saprast pieauguma, krituma un svārstību cēloņus aplūkotojā sistēmā. Līdz ar to sistēmdinamikas modeļu mērķis ir viecināt izpratni par sistēmas uzvedību, nevis prognozēt konkrētus sistēmas mainīgo lielumus [133]. Jāatzīmē, ka neviens matemātiskais modelis, t.sk. sistēmdinamikas modeļi, nespēj sniegt prognozējamo parametru precīzas vērtības. Sistēmdinamika ļauj novērtēt dažādu politikas instrumentu un stratēģiju ietekmi uz kompleksu sistēmu dinamiku. „Tas var šķist paradoksāli, bet kvantitatīva sistēmdinamikas pētījuma rezultāti ir kvalitatīvs ieskats sistēmā” [134]. Ar sistēmdinamikas modeļu palīdzību iespējams ne vien pārbaudīt pētāmās sistēmas dinamiskās izmaiņas, bet arī gūt priekšstatu par to, kā sistēmas mainīgie ir savā starpā saistīti un kā sistēmas kopējā uzvedība var tikt mainīta, izmantojot mainīgo savstarpējo ietekmi [132].

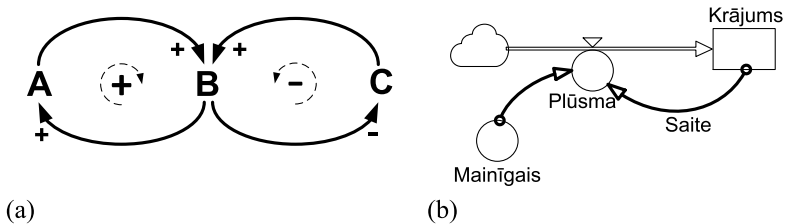
Sistēmdinamikas pamatidejas 1950.-os gados ir attīstījis Džejs Vraits Foresters. Sākotnēji Dž.Foresters [135] sistēmdinamiku definēja kā „(pārvaldīto) sistēmu informācijas atgriezenisko saišu raksturīpašību izpēti un modeļu izmantošanu uzlabotas organizatoriskās formas un pārvaldības politikas iegūšanai”. Forestera pētījumu lokā bija tādu sistēmu dinamiskās uzvedības modelēšana kā iedzīvotāju skaits pilsētās un industriālo piegāžu ķēdes. Viņš apgalvoja, ka tādu sistēmu uzvedības pamatā ir plūsmas, novēlojumi, informācija un atgriezeniskās saites. Sistēmu uzvedības rezultāti uzrādīja pieaugumu, kritumu un svārstības jeb haotisku uzvedību, kas bieži bija pretēja iepriekš prognozētajai. Forestera pieejas pamatā bija dažādu sistēmas komponentu attiecību modelēšana, tās izsakot ar diferenciālvienādojumiem un veicot datorsimulācijas [136]. Sistēmdinamika sākotnēji tika izstrādāta, lai uzņēmumu vadītājiem palīdzētu uzlabot izpratni par ražošanas procesiem, taču pašlaik tās pielietojums ir ievērojami plašāks [137]. Sistēmdinamiku iespējams izmantot dažādās jomās, t.sk.:

- a) uzņēmumu plānošanas un stratēģijas izstrāde;
- b) sabiedrības pārvaldība un politika;
- c) enerģijas un vides modelēšana;
- d) teoriju izstrāde dabas un sociālajās zinātnēs;
- e) dinamisku lēmumu pieņemšana;
- f) kompleksu nelineāru dinamikas problēmu risināšana;
- g) bioloģiskā un medicīniskā modelēšana [138].

Sistēmdinamikas modeļi var tikt attēloti pamatā divos veidos, t.i. izmantojot cēlonisko cilpu diagrammu (*angļu val. – causal loop diagram*) un krājumu-plūsmu diagrammu (*angļu val. – stock-flow diagram*). Tās tiek attīstītas dažādos modelēšanas procesa posmos, tāpēc ir pielietojamas atšķirīgiem mērķiem. Cēlonisko cilpu diagramma tiek izmantota būtiskākās informācijas attēlošanai, tādēļ to var uzskatīt par analizējamās sistēmas konceptuālo modeli. Cēlonisko cilpu diagrammu var izmantot arī secinājumu izdarīšanai par attiecībām starp sistēmas uzbūvi un tās dinamisko uzvedību un šo attiecību attēlošanai [137]. Savukārt, krājumu-plūsmu diagramma tiek izveidota ar datorsimulācijas rīka palīdzību, balstoties uz cēlonisko cilpu diagrammu. Faktiski, abu veidu diagrammas vienu sistēmu attēlo dažādos veidos. Lielākā atšķirība ir tā, ka krājumu-plūsmu diagramma ir konceptuālā sistēmas modeļa detalizēts attēlojums, kas ļauj veikt kvantitatīvu simulāciju un analīzi [139].

Visbiežāk abu veidu diagrammas tiek attēlotas ar atšķirīgu apzīmējumu palīdzību (skat. 1.14. att.). Cēlonisko cilpu diagramma parāda būtiskākās atgriezeniskās saites un sastāv no sistēmas elementiem un apzīmētām saitēm (bultām), kas tos savieno. Bultu

apzīmējumi sastāv no „+” un „-” zīmēm, kuras sniedz informāciju par attiecībām starp elementiem. Pozitīva saikne ir starp elementiem, kas mainās vienā virzienā, t.i. viena elementa izmaiņas izraisa tāda paša veida izmaiņas otrā elementā. Piemēram, ja A pieaugs, pieaugs arī B, bet, ja A samazināsies, samazināsies arī B (skat. 1.14. att.). Negatīva saite norāda, ka elementi mainīsies pretējos virzienos. Piemēram, pieaugot B, C samazināsies, un otrādi.



1.14. att. Sistēmdinamikā pielietoto diagrammu attēlojums:
(a) cēlonisko cilpu diagramma; (b) krājumu-plūsmu diagramma

Ne vien bultām ir zīmes, bet arī noslēgtai atgriezenisko saišu cilpai (lokam) tiek piešķirta zīme. Ar pozitīvu zīmi apzīmē virzošo jeb pastiprinošo cilpu, kurā sākotnējā iejaukšanās noved pie tālākām izmaiņām, t.i. izmaiņas vienā virzienā izraisa vēl vairāk izmaiņu tajā pašā virzienā, novedot pie eksponenciāla pieauguma vai sabrukuma. Negatīvai jeb līdzsvarojošai (balansējošai) cilpai piemīt stabilizējoša vai uz mērķi virzīta uzvedība – pēc iejaukšanās sistēma tiecas iegūt līdzsvara stāvokli. Kad virzošās un līdzsvarojošās cilpas tiek apvienotas, parādās sistēmas kompleksā uzvedība. Savā ziņā, cēlonisko cilpu diagrammas ir kā vienkāršotas kartes, kas attēlo slēgta loka sistēmas cēloņu un seku attiecību savienojumus.

Lai radītu kvantitatīvu sistēmdinamikas modeli, ir nepieciešams „uzbūvēt” krājumu-plūsmu diagrammu. Krājumu-plūsmu diagramma tiek būvēta ar četru pamata komponentu palīdzību (skat. 1.14. att.):

- krājumi, kas raksturo vērtību uzkrāšanos;
- plūsmas, kas raksturo vērtību apjoma plūsmas uz, no vai starp krājumiem;
- mainīgie parametri, kas ir algebriski, grafiski vai konstanti lielumi, kas raksturo attiecības starp sistēmas elementiem;
- informācijas saites, kas kalpo kā savienojošie posmi starp elementiem un attēlo informācijas pārvadi [137,139].

Krājumu-plūsmu diagramma tiek pārveidota par diferenciālvienādojumu sistēmu, kas tālāk tiek atrisināta ar simulācijas palīdzību, ko mūsdienās atbalsta augstas kvalitātes grafiskās simulācijas programmatūras rīki. No tiem kā populārākos iespējams minēt *iThink/Stella*, *Powersim*, *Vensim*, *Dynamo* un *Madonna*. Pastāv arī vairākas citas modelēšanas un simulēšanas vides, kas spēj nodrošināt atbalsta mehānismus sistēmdinamikas modeļu būvēšanai, piemēram, *Simile*, *AnyLogic*, *Exposé*, *MyStrategy*, *TRUE*, *Modelmaker*, *Matlab/Simulink* u.c. Tāpat ir iespējams veidot sistēmdinamikas modeļus, izmantojot izklājlapas un programmēšanas valodas, tomēr tas lielākoties ir nepraktiski.

Vēsturiski pirmā sistēmdinamikas problēmu modelēšanai radītā datorprogramma ir *Dynamo*, kas komerciāli bija pieejama jau 60.-to gadu sākumā [140]. 1985.gadā tika radīta *iThink/Stella* programma, kurā krājumu un plūsmu diagrammas ir papildinātas ar virkni instrumentu, kas atbalsta modeļa veidošanu. 80.-to gadu vidū, tika uzsākta Norvēģijas

valdības atbalstīta pētniecība ar mērķi uzlabot augstskolu izglītības līmeni, izmantojot sistēmdinamikas modeļus. Pēc projekta īstenošanas 1992.gadā tika attīstīta *Powersim* programma. *Powersim* un *iThink/Stella* sistēmdinamikas modelēšanas valodas ir līdzīgas, jo balstās uz sistēmdinamikas teorijas pamatlicēja Dž.Forestera plūsmu diagrammām. Turklāt *Powersim* ir ļoti līdzīgs gan darbībā, gan sintaksē tā priekšgājējam – *iThink*, tomēr ne tieša tā kopija [140,141]. 80.-to gadu vidū tika izstrādāta arī *Vensim* programma, kas ir integrēta vide sistēmdinamikas modelēšanai un analīzei. Sākotnēji tā tika izmantota tikai konsultāciju projektos, bet komerciāli pieejama tā ir kopš 1992.gada [141]. Minētie programmatūras rīki viens no otra ievērojami atšķiras. *Dynamo* ir balstīts uz vienādojumu rakstīšanu, izmantojot teksta redaktoru. *iThink/Stella* un *Powersim* ir pielāgotas simbolisku ikonu izmantošanai, lai zīmētu krājumu-plūsmu diagrammas, no kurām daži vienādojumi tiek uzrakstīti automātiski. *Vensim* lielā mērā atšķiras no iepriekš minētajiem rīkiem ar to, ka ir atvasināts no teksta redaktora pieejas, atbalstot arī uz ikonām balstītu modelēšanu.

Visas programmu paketes ir salīdzinoši labi aprīkotas ar iebūvētām funkcijām, tomēr tās nav aprīkotas vienādi. Visas programmu paketes, izņemot vienu, balstītas uz pamata elementiem – krājumiem, plūsmām, mainīgajiem un informācijas saitēm. Izņēmums ir *Vensim*, kas tā teksta redaktorā atpazīst tikai krājumus un mainīgos, atļaujot plūsmu ikonu izmantošanu tā grafiskajā rīkā. *iThink*, *Powersim* un *Vensim* programmām ir grafiskā lietotāja saskarne, kas ļauj uz ekrāna zīmēt diagrammas pirms vienādojumu ievadīšanas. *Powersim* un *Vensim* atšķirībā no citiem rīkiem nodrošina arī cēlonisko cilpu diagrammu zīmēšanu. Visās programmu paketēs iespējams veikt mijiedarbības eksperimentus, kur lietotājs pēc nepieciešamības var mainīt ievadītos parametrus un atkārtoti iedarbināt modeli simulācijai. Šajā ziņā programmu paketes savā starpā daudz neatšķiras. Tomēr, piemēram, *Powersim* ļauj mainīt parametrus modeļa simulācijas laikā. Visas programmas nodrošina modeļa eksperimentu rezultātu saglabāšanu. Visas programmu paketes ļauj salīdzinoši vienkārši veikt eksperimentus – neviena no tām nekavē lietotāja intuīcijas un domu attīstību, līdz ar to tām visām piemīt labas atšķirīgu scenāriju veidošanas iespējas.

Sistēmdinamika ir labi attīstīta metode izpratnes iegūšanai par sarežģītām, dinamiskām situācijām un to pretestību pret pielietotajām stratēģijām un politikas instrumentiem. Sistēmdinamikas modelēšanas process sastāv no pieciem posmiem jeb soļiem:

- 1) Problēmas definēšana (robežu izvēle) – šajā posmā tiek definēta problēma, galvenie mainīgie un laiks; bez tam tiek analizēta problēmas vēsturiskā attīstība un uzvedība un pētīta iespējamā pamatelementu uzvedība nākotnē;
- 2) Dinamiskās hipotēzes formulēšana – vispirms tiek aplūkotas esošās teorijas par problemātisko uzvedību; tad tiek izvirzīta dinamiskā hipotēze par to, kas izraisa izmaiņas struktūras uzvedībā un to, kā krājumu un plūsmu struktūra var radīt sākotnēji izveidoto sistēmas atsauces uzvedības struktūru; visbeidzot tiek izveidotas cēlonisko cilpu diagrammas, izskaidrojot dinamisko hipotēzi;
- 3) Simulācijas modeļa izveide – tiek noteikti parametri un tos saistošie vienādojumi, sākotnējie apstākļi u.c.; izmantojot modelēšanas programmatūras rīku, dinamiskā hipotēze tiek pārveidota datormdelī, kas imitē pētāmās sistēmas uzvedību;
- 4) Modeļa testēšana jeb verifikācija – šajā posmā tiek iegūta pārliecība par modeļa pareizību, tiek veikti modeļa verifikācijas testi. Sistēmdinamikas modeļu verifikācijas testus iespējams iedalīt trīs grupās: (i) struktūras verifikācijas testi, kas vērtē modeļa struktūru un elementus, neanalizējot

savstarpējās attiecības starp sistēmas struktūru un tās uzvedību; (ii) uzvedības verifikācijas testi, kas vērtē modeļa struktūras adekvātumu, analizējot sistēmas radīto uzvedību; (iii) politikas ietekmes novērtējuma testi;

- 5) Politikas un/vai stratēģijas izstrāde un analīze – tiek analizēti dažādi scenāriji, pielietojamie politikas instrumenti un to savstarpējā ietekme, kā arī novērtēts politikas jutīgums dažādu scenāriju gadījumā [132,137,138].

Sistēmu dinamika ļauj modelēt un analizēt kompleksu sistēmu uzvedību laikā [129,137,142]. Sistēmdinamikas pielietošanas mērķis ir noteikt, kā sistēma rada identificēto problemātisko uzvedību, un noteikt politiku, kas sistēmu pārvalda. Tādējādi var tikt identificētas un dzīvīvi ieviestas izmaiņas sistēmas struktūrā un politikā, kas sniedz vēlāmāku uzvedību, t.i. rast risinājumu [143]. Tā kā sistēmdinamika ir īpaši piemērota kompleksu sistēmu modelēšanai [136], tad tā ir labi pielietojama arī atkritumu apsaimniekošanas sistēmu modelēšanai.

Sistēmdinamika ir pielietota virknei atkritumu apsaimniekošanas sistēmu pētījumu:

- a) atkritumu apsaimniekošanas sistēmas modelēšana [144-147];
- b) radītā sadzīves atkritumu daudzuma prognozēšana [148-150];
- c) slimnīcu atkritumu apsaimniekošana [151];
- d) plastmasas atkritumu apsaimniekošana [152];
- e) būvniecības un ēku nojaukšanas darbu atkritumu apsaimniekošana [153-155];
- f) elektrību patērējošo un elektronikas atkritumu apsaimniekošana [156-158];
- g) metāna emisiju modelēšana sadzīves atkritumu apglabāšanas poligonā [159];
- h) enerģijas ražošanas modelēšana atkritumu sadedzināšanas procesos [160] u.c.

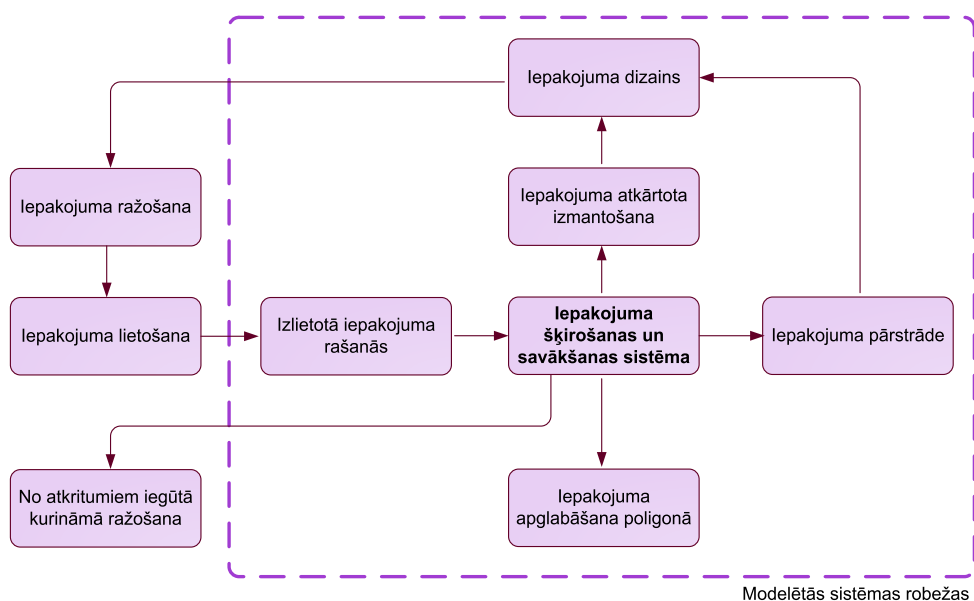
Tomēr trūkst pētījumu, kuros sistēmdinamikas metode būtu pielietota iepakošanas atkritumu apsaimniekošanas sistēmas modelēšanā. Viens no visaptverošākajiem ir Ingelsa un Dulerta pētījums [145], kurā sistēmdinamikas metode ir izmantota sadzīves atkritumu apsaimniekošanas sistēmas modeļa izveidei, kas balstīts uz vēsturiskajiem datiem un dinamiskajām saiknēm starp sistēmas mainīgajiem. Modelis ietver atkritumu savākšanu, novēršanu, atkārtotu izmantošanu, pārstrādi un apglabāšanu. Modelis izmantots politikas scenāriju izvērtēšanai Flandrijā, Eiropas reģionā, tomēr tas aplūko visu atkritumu apsaimniekošanas sistēmu kopumā un izlietoto iepakošanu – kā tās daļu. Vāģera un Hiltija [152], kā arī Longa et.al. [161] pētījumos analizēta plastmasas atkritumu apsaimniekošana, daļa no kuriem ir iepakošanas plastmasa. Tomēr nevienā no pētījumiem plastmasas iepakošanas atkritumi nav analizēti sīkāk kā produkts ar īsu lietderīgās izmantošanas mūžu. Georgiadis un Vlačoss [162] izveidojuši sistēmdinamikas modeli vispārīga produkta slēgta cikla piegādes ķēdes analīzei, lai novērtētu zaļā veidola (*angļu val. – green image*) ietekmi uz pieprasījumu un atkritumu apsaimniekošanas politiku paaugstinātai produkta reģenerācijai. Teorētiski, izveidotais modelis var būt pielietojams iepakošanai kā produktam, kas tiek savākts un atkārtoti izmantots vai apglabāts poligonā, bet ne pārstrādāts. Tādējādi, modeļa pielietojamība tiek sašaurināta līdz atkārtoti lietojamam iepakošanai. Vēlāk Georgiadis [163] modeli ir attīstījis tālāk pārstrādes jaudu plānošanai papīra rūpniecībā. Modelis var tikt pielietots arī citās rūpniecības nozarēs. Ar modeļa palīdzību tiek analizēti lēmumi par jaudas palielināšanu, lai atrastu efektīvāko risinājumu no uzņēmuma peļņas viedokļa. Modelī tiek pieņemts, ka pārstrādes jaudu izmantošana tiek nodrošināta ar pasūtījumu izdarīšanu atkritumu savākšanas centriem vai trešās puses

piegādātājiem. Modeļa lietotājam nav iespēju analizēt, kā varētu tikt veicināta atkritumu šķirošana avotā, lai veiktie pasūtījumi tiktu izpildīti. Gluži pretēji, Silviya Ulli-Bēra ar kolēģiem [46,164-168] sistēmdinamikas metodi ir izmantojuši patērētāju šķirošanas uzvedības (*angļu val. – recycling behaviour*) analizēšanai, kurā patērētāji reaģē uz politikas ieviešanu/izmaiņām sistēmā. Modelī ietverta patērētāja rīcība kā „sistēmas dalībnieka iekšējās struktūras un rīcības konteksta struktūras nepārtrauktas mijiedarbības rezultāts, kur uztveres un rīcības procesi kalpo par abu struktūru starpnieku” [167]. Izveidotais modelis ietver mikro- (iedzīvotāju izvēle un priekšroka) un makro- (sociālā sistēma) procesus un palīdz izprast tos procesus un faktorus, kas vada atkritumu apsaimniekošanas sistēmas uzvedību Šveicē. Salīdzinoši liels uzsvars ir likts uz videi draudzīgu iedzīvotāju rīcību un, balstoties uz to – veikta politikas instrumentu kombināciju analīze. Pēcāk modelis ir attīstīts tālāk un izmantots, lai labāk izprastu dažādas cenu noteikšanas sistēmas cieto sadzīves atkritumu apsaimniekošanā, kas veicinātu šķirošanas uzvedību, vienlaicīgi nosedzot vietējās atkritumu apsaimniekošanas sistēmas izmaksas. Tiek parādīts, ka mērena samaksa par radīto atkritumu daudzumu un iepriekšapmaksāts nodoklis (*angļu val. – prepaid tax*) var apmierināt minētā uzstādītā uzdevuma nosacījumus. Tiek uzsvērts, ka būtiskākais izaicinājums, ar kuru sastopas lēmumu pieņēmēji, ir uzvedības maiņas ierosināšana kopējā atkritumu apsaimniekošanas sistēmā, līdz ar to ir nepieciešama dziļa izpratne par sistēmas dinamisko uzvedību. Ulli-Bēras modelis nav vērsts tieši uz iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmu, tomēr tas uzskatāmi parāda šķirošanas uzvedības sarežģīto uzbūvi, kas balstās uz kopējo vispārējo un personīgo faktoru mijiedarbību, kas ir spēcīgs arī iepakojuma atkritumu gadījumā.

Tā kā sistēmdinamikas metode tiek uzskatīta par vienu no piemērotākajiem paņēmieniem sociālajās un dabiskajās vidēs pastāvošu sarežģītu problēmu risināšanai [169], bet iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēma atbilst kompleksu sistēmu raksturojumam, t.i. tā ietver apkārtējās vides, ekonomikas, sociālās, tehnoloģiju un informācijas sistēmu elementus, tad sistēmdinamikas metode iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmu modelēšanai un analīzei ir ļoti piemērojama.

2. METODOLOĢIJA

Darbā izstrādāts sistēmdinamikas modelis, ar kura palīdzību iespējams analizēt primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas dinamisko uzvedību un informēt par to lēmumu pieņēmējus. Modeļa mērķis ir iegūt skaidrojumu par novērotajām parādībām primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmā, sniegt ieskatu sistēmai piemītošajā dinamiskajā uzvedībā un pārbaudīt alternatīvus politikas instrumentus, ar kuru palīdzību sistēmu padarīt efektīvāku no mājsaimniecībām savāktā un pārstrādātā iepakojuma īpatsvara palielināšanai, iepakojuma 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 (skat. 2.1. att.). Modelis neietver iepakojuma ražošanas un lietošanas procesus, kā arī izlietotā iepakojuma izmantošanu no atkritumiem iegūtā kurināmā ražošanai. Modelī simulēta patērētāju, atkritumu apsaimniekotāju un iepakojuma ražotāju rīcība un to mijiedarbība, kas nosaka sistēmas dinamisko uzvedību.



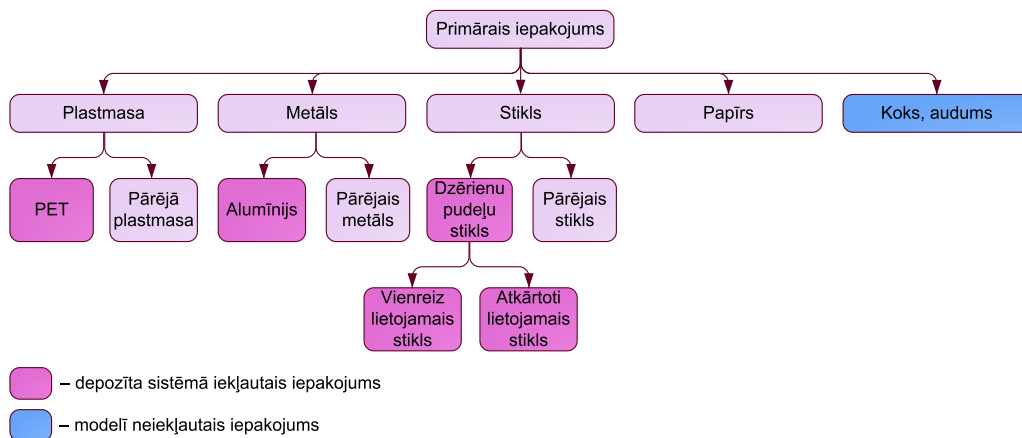
2.1.att. Modelētās sistēmas daļas un robežas

Iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas efektivitāte pamatā atkarīga no iepakojuma šķirošanas un savākšanas posma rezultātiem, tāpēc tas ir modeļa pamatā. Pārējie procesi modelī kalpo kā palīgposmi, kas atbalsta pamatposmu – šķirošanas un savākšanas procesus.

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. Apjomīgākais no tiem – pilnībā atšķirīgas izlietotā iepakojuma apsaimniekošanas sistēmas, depozīta sistēmas, ieviešana.

Modelī tiek simulēta dažādu iepakojuma materiālu veidu apsaimniekošana. Viss iepakojums tiek izdalīts ne vien pēc materiālu veida, bet arī pēc tā apsaimniekošanas

iespējām dažādās sistēmās. Modelī tiek pieņemts, ka dalītās atkritumu vākšanas sistēmā iespējama visu iepakojuma izstrādājumu apsaimniekošana, izņemot iepakojumu no koka un auduma, savukārt depoziā sistēmā iespējama tikai noteikta veida dzērienu iepakojuma apsaimniekošana (skat. 2.2.att.). Koka un auduma iepakojuma atkritumi modelī netiek analizēti, jo to daļa primārajā iepakojumā ir necīga un to galvenie rašanās avoti ir rūpniecības un tirdzniecības sektori. Bez tam to galvenais reģenerācijas veids ir sadedzināšana ar enerģijas atgūšanu, kas modelī netiek analizēta.



2.2. att. Modelī iekļautie iepakojuma materiālu veidi

Tiek pieņemts, ka sākotnēji viss primārais iepakojums tiek apsaimniekots dalītās atkritumu vākšanas sistēmā. Ieviešot depoziā sistēmu, noteikta veida dzērienu iepakojums – polietilētaftalāta (PET) un stikla pudeles un alumīnija skārdenes – tiek nodalīts no dalītās atkritumu vākšanas sistēmas, tādējādi samazinot tajā apsaimniekotā iepakojuma apjomu. Ņemot vērā Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra apkopotos datus [170] un veicot pārrēķinu atbilstoši primārā iepakojuma sastāvam, modelī pieņemts sekojošs iepakojuma materiālu masas sadalījums:

- a) papīrs un kartons – 39%;
- b) stikls – 32%;
- c) plastmasa – 22%, no tās PET – 40%, pārējā plastmasa – 60%;
- d) metāls – 7%, no tā alumīnijs – 50%, pārējais metāls – 50%.

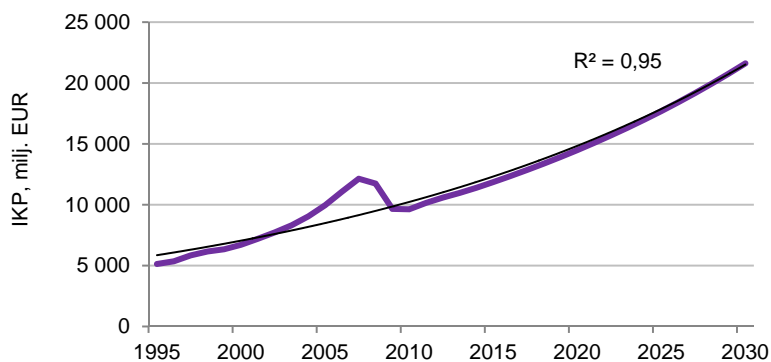
Tiek pieņemts, ka modelētajā sistēmā nav materiālu masas zudumu, t.i. visi pārstrādei un atkārtotai izmantošanai novirzītie materiāli var būt izmantojami bezgalīgi, ja vien to nodrošina sistēmas dalībnieku rīcība.

Modelis tika 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. Saskaņā ar Dž.Stermanu [132] simulācijās jāizvēlas laika solis, kas ir vienāds ar $1/4 - 1/10$ no modeļa mazākās laika konstantes. Tā kā modelī mazākā laika konstante ir seši mēneši (0,5 gadi), tad simulācijās izmantotais laika solis ir $1/8$ daļa gada, t.i. 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.

2.1. Modeļa eksogēnie mainīgie

Modeļa pamata parametrus ietekmē eksogēnie mainīgie – iekšzemes kopprodukts (turpmāk – IKP) un iedzīvotāju skaits. Modeļa eksogēnie mainīgie ir parametri, kuru lielumu neietekmē modelī ietvertie lielumi, bet gan ārpus modelētās sistēmas robežām esoši faktori. Modelī netiek veikta sīka analīze par eksogēnos mainīgos ietekmējošiem faktoriem. Tā vietā visbiežāk tiek izmantoti statistikas dati par eksogēno mainīgo vēsturiskajām izmaiņām [132].

Pēdējās dekādēs Latvijā piedzīvotas krasas IKP izmaiņas. No 1995. līdz 2011.gadam IKP pieaudzis par 45% (2000. gada salīdzināmās cenās). Ekonomiskās krīzes apstākļos, 2009.gadā, IKP samazinājums pret iepriekšējo gadu bija 18%. No 2011.gada Latvijas ekonomiskā situācija uzlabojas un saskaņā ar Latvijas nacionālo reformu programmu "ES 2020" stratēģijas īstenošanai [171] līdz 2015.gadam prognozējams ikgadējs 4% IKP pieaugums (salīdzināmās cenās). Arī *Eurostat* [172] prognozē ekonomisko izaugsmi, IKP pieaugumu novērtējot 3,6% apmērā 2013.gadā un 3,9% apmērā 2014.gadā. Lai prognozētu IKP apjomu līdz 2030.gadam, darbā tiek pieņemts, ka arī pēc 2015.gada ikgadējais IKP pieaugums saglabāsies 4% robežās. Līdz ar to, ilgtermiņā IKP izmaiņas iespējams aprakstīt ar eksponenciālu sakarību, ignorējot īslaicīgus straujākas izaugsmes un kritumu periodus ekonomisko pacēlumu un krīžu dēļ [173] (skat. 2.3. att.).



2.3. att. IKP 2000.gada salīdzināmās cenās – prognoze līdz 2030.gadam (izmantoti CSB [174] dati)

Sistēmdinamikas modelī IKP prognozēšanai izmantots sekojošs regresijas vienādojums:

$$IKP = 5642,8 \cdot e^{0,0372 \cdot (G-1994)} \quad (2.1)$$

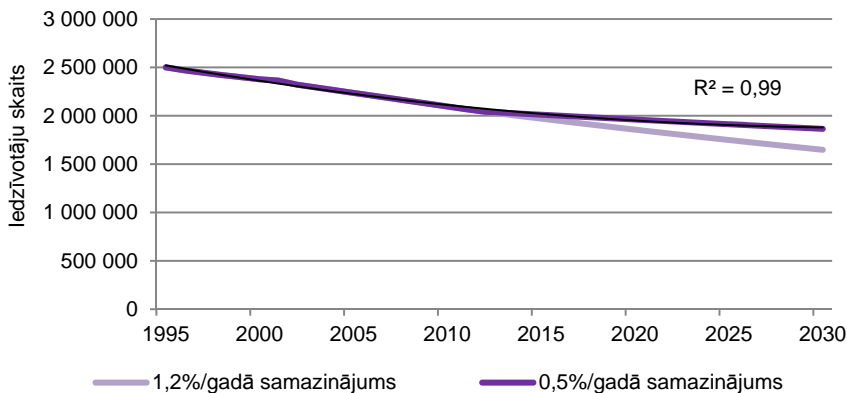
kur IKP – iekšzemes kopprodukts, 2000.gada salīdzināmās cenās, milj.EUR;

e – matemātiskā konstante (~2,7183);

G – gads, kuram IKP tiek aprēķināts.

Dažādu demogrāfisko procesu (migrācija, dabiskais pieaugums u.c.) rezultātā iedzīvotāju skaits Latvijā ievērojami samazinājies. Pēdējās Tautas skaitīšanas dati parāda, ka 2011.gadā Latvijā dzīvoja 2 070 371 iedzīvotājs [175], kas ir par 13 % mazāk kā 2000.gada Tautas skaitīšanas laikā. Vidējais ikgadējais iedzīvotāju skaita samazinājums šajā laikā bijis aptuveni 1,2% gadā.

Saskaņā ar Eurostat [176] prognozēm iedzīvotāju skaits Latvijā līdz 2030.gadam varētu samazināties vēl par aptuveni 10% jeb 0,5% gadā. Veicot aprēķinus, izmantojot kā vēsturisko, tā arī Eurostat prognozēto procentuālo iedzīvotāju skaita samazinājumu, tika iegūts, ka 2030.gadā iedzīvotāju skaits Latvijā varētu būt attiecīgi aptuveni 1,65 milj. vai 1,85 milj. (skat. 2.4. att.).



2.4. att. Iedzīvotāju skaits – prognoze līdz 2030.gadam (izmantoti CSB [177] dati)

Darbā tiek pieņemts, ka, pieaugot labklājībai nākotnē, iedzīvotāju skaita samazinājums nebūs tik krass, kā 2001.-2011.gadā. Līdz ar to sistēmdinamikas modelī tiek izmantots vienādojums, kas iegūts, aprēķinos izmantojot 0,5%/gadā samazinājumu:

$$i = 2208567 \cdot e^{-0,005 \cdot (G-2006)} \quad (2.2)$$

kur i – iedzīvotāju skaits, iedzīvotāji;

e – matemātiskā konstante (~2,7183);

G – gads, kuram iedzīvotāju skaits tiek aprēķināts.

2.2. Modeļa uzbūve

Modeļa sākuma posmā tiek noteikts iepakošanas apjoms tirgū, balstoties uz iedzīvotāju skaita izmaiņām un IKP. Modeļa nākošajā posmā tiek modelēta patērētāju uzvedība atkarībā no iepakošanas šķirošanas/savākšanas punktu pieejamības, atkritumu apsaimniekošanas maksas apmēra, neērtību izmaksām u.c. faktoriem. Tālāk tiek noteikts pārstrādātā, atkārtoti izmantotā un apglabātā iepakošanas īpatsvars un tā izmaiņas. Un visbeidzot tiek analizēts, kā izmaiņas tirgus pieprasījums pēc materiāliem.

Palielinoties IKP, pieaug kopējais produktu patēriņš, un atbilstoši iepakošanas materiālu daudzumam uz produkta vienību izmaiņas arī pieprasījums pēc iepakošanas materiāliem. Augot pieprasījumam pēc iepakošanas materiāliem, pieaug arī ik gadu radīto atkritumu daudzums. Daļa tiek dalīti savākta (sašķirota) un pārstrādāta, bet daļa tiek apglabāta sadzīves atkritumu apglabāšanas poligonos, palielinot to aizpildīšanās pakāpi. Veidojot modeli, tiek pieņemts, ka poligonu aizpildīšanās pakāpe ir signāls par ietekmi uz vidi. Tas saasina sabiedrības uzmanību un mudina ietekmēt iepakošanas ražošanas un atkritumu apsaimniekošanas sistēmu, lai, pirmkārt, mazinātu materiālu patēriņu, un, otrkārt, samazinātu poligonos nonākošo atkritumu apjomu. Instruments, ar kuru iespējams mazināt pieprasījumu pēc materiāliem, ir dabas resursu nodoklis, ar kuru tiek aplikti iepakošanas materiāli (turpmāk – iepakošanas nodoklis). Tiek pieņemts, ka iepakošanas

nodoklis pieaug atkarībā no vides problēmu saasināšanās, t.i., no poligonu aizpildīšanās ātruma jeb pakāpes pieauguma. Iepakojuma nodoklis palielina materiālu cenu. Tirgus ekonomikas apstākļos cenu pieaugumam vajadzētu samazināt pieprasījumu pēc materiāliem, tādēļ modelī tika izveidota daļa, kas imitē minēto tirgus mehānismu darbību un aprēķina pieprasījuma izmaiņas, mainoties materiālu cenai. Modelī ir ņemts vērā, ka iepakojuma ražošanai iespējams izmantot kā jēlmateriālus, tā arī pārstrādātos materiālus. Pastāvot iespējai produktā jēlmateriālus aizvietot ar pārstrādātiem materiāliem, notiks šo materiālu savstarpēja aizvietošana atkarībā no to cenām.

Poligonos nonāk iepakojuma atkritumi, kas netiek pārstrādāti. Savukārt, sašķirotais iepakojums tiek atdalīts no apglabājamās plūsmas un pārstrādāts. Pārstrādātie materiāli tiek atgriezti ciklā un izmantoti jauna iepakojuma ražošanai. To, cik daudz atkritumu tiks sašķiroti, nosaka patērētāju daļa, kas iesaistījies atkritumu šķirošanā, t.i. šķirojošo patērētāju īpatsvars. Tādēļ otras modeļa daļas uzdevums ir aprēķināt poligonu aizpildīšanās pakāpi atkarībā no šķirojošo patērētāju īpatsvara un ik gadu radīto atkritumu daudzuma.

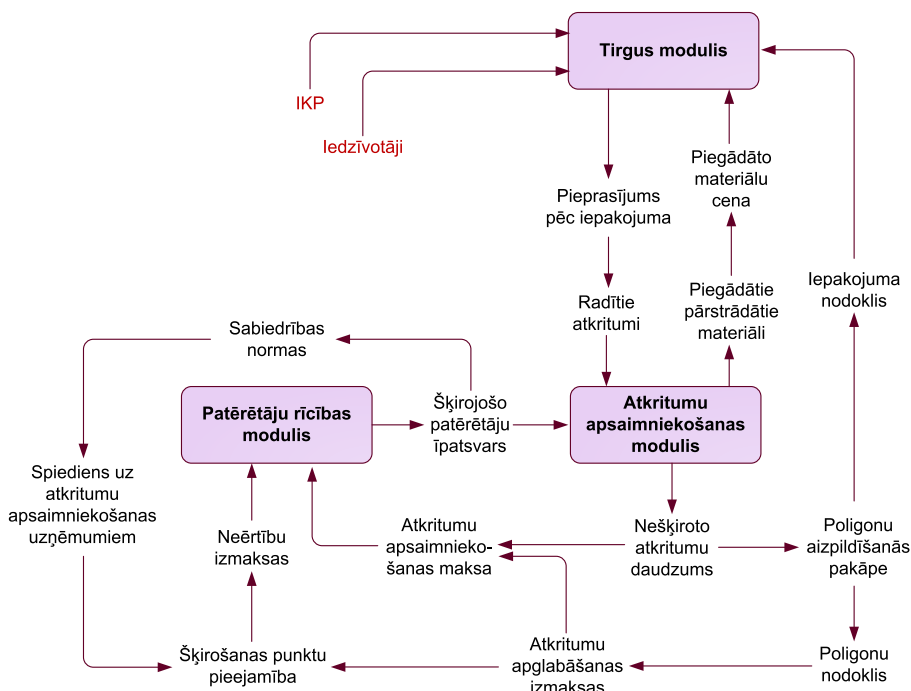
Izstrādājot modeli, kas spētu imitēt patērētāju rīcību jeb šķirošanas uzvedību, tika izteikta hipotēze, ka daļa patērētāju uzsāks atkritumu šķirošanu, pieaugot satraukumam par vides problēmām. Taču otra daļa patērētāju uzsāks šķirošanu tikai tad, ja tam būs ekonomisks pamatojums, t.i. būs iespējams ietaupīt naudu. Ņemot vērā, ka dalīti savāktu atkritumu izvešanai netiek piemērota atkritumu apsaimniekošanas maksa, savukārt par pārējo mājsaimniecības atkritumu izvešanu ir jāmaksā saskaņā ar pašvaldības apstiprināto tarifu, tad šis ir instruments, kuru iespējams izmantot šķirošanas veicināšanai. Politikas instruments, kas var izmainīt atkritumu apglabāšanas izmaksas ir dabas resursu nodoklis par atkritumu apglabāšanu (turpmāk – poligonu nodoklis). Modelī tiek pieņemts, ka poligonu nodokļa pieaugums ir atkarīgs no vides problēmu apmēra, t.i. no poligonu aizpildīšanās pakāpes. Atkritumu apsaimniekošanas izmaksas ir atkarīgas no radīto nešķirotu atkritumu daudzuma un atkritumu apglabāšanas izmaksām. Tomēr patērētājiem ir arī sevis noteiktas neērtību izmaksas, lai iesaistītos šķirošanā. Atkritumu apsaimniekošanas izmaksām tuvojoties un sasniedzot neērtību izmaksu sliekšni, patērētāji arvien aktīvāk iesaistīsies atkritumu šķirošanā, palielinot kopējo šķirojošo patērētāju īpatsvaru. Pieaugot šķirojošo patērētāju īpatsvaram, palielinās sabiedrības normas un tiek pieņemts, ka tas pastiprinās spiedienu uz atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumiem uzstādīt dalītās savākšanas punktus, tādējādi palielinot šķirošanas iespējas patērētājiem un samazinot viņu neērtību izmaksas. Pieaugot šķirojošo patērētāju īpatsvaram, palielināsies pārstrādāto materiālu piegāde tirgū un samazināsies poligonu aizpildīšanās ātrums.

Balstoties uz izteiktajām hipotēzēm un izdarītajiem pieņēmumiem par iespējamo sistēmas uzbūvi, ir izstrādāts modelis, kas sastāv no trīs galvenajām daļām jeb moduļiem (skat. 2.5. att.):

1. Tirgus modulis, kas imitē tirgus mehānisma darbību, kurā vienu materiālu, reaģējot uz tā cenas pieaugumu, ir iespējams aizvietot ar citu un kur cenas izmaiņas ietekmē pieprasījumu un piedāvājumu, bet pieprasījuma un piedāvājuma attiecība, savukārt, nosaka materiālu cenas;
2. Patērētāju rīcības modulis, kurā tiek simulēta patērētāju iesaistīšanās dinamika atkritumu šķirošanas aktivitātēs un noteikts šķirojošo patērētāju īpatsvars;
3. Atkritumu apsaimniekošanas modulis, kurā tiek aprēķinātas atkritumu plūsmas (šķirotās, pārstrādātās, atkārtoti izmantotās un poligonos

apglabātās) un poligona aizpildīšanās pakāpe atkarībā no ikgadējā materiālu patēriņa, šķirojošo patērētāju īpatsvara un citiem lielumiem.

Aplūkojot 2.5. attēlā parādīto izveidotā sistēmdinamikas modeļa kopējās uzbūves shēmu, redzams, ka kopējais pieprasījums pēc iepakojuma, ko veido pieprasījums pēc pārstrādātajiem un jēlmateriāliem, balstoties uz jau minētajiem eksogēniem mainīgajiem, 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 poligona 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 šķiroto atkritumu apjomu, kas tiek izmantots par izejas lielumu atkritumu apsaimniekošanas modulī.



2.5. att. Izstrādātā modeļa uzbūves shēma (eksogēnie mainīgie apzīmēti ar sarkanu krāsu)

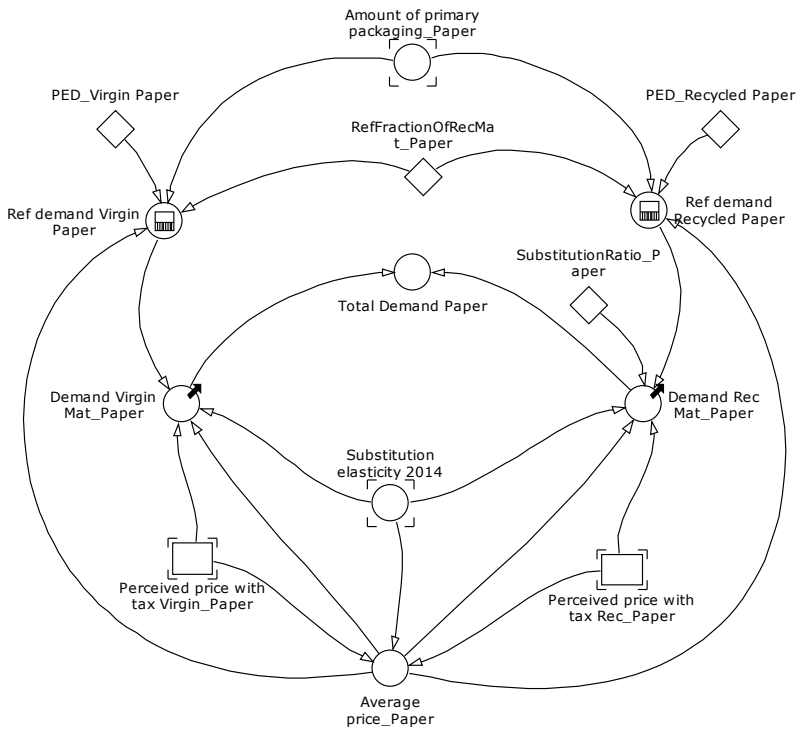
Modeļa pilnā krājumu-plūsmu diagramma un izkārtojums *Powersim Studio 8* simulācijas rīka vidē parādīti 2. pielikumā. Turpmākajās nodaļās katra moduļa uzbūve un dinamika aprakstīta sīkāk ar matemātisko izteiksmju palīdzību.

2.2.1. 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 noteikts kopējais pieprasījums pēc iepakojuma materiāliem un to sadalījums starp pārstrādātajiem un jēlmateriāliem (skat. 2.6. att.).

Tiek pieņemts, ka tirgū darbojas viens iepakojuma ražotājs, kas reprezentē visu tirgū esošo iepakojuma ražotāju kopumu un kura rīcības rezultātā iepakojums var tikt

ražots no 100% jēlmateriāla vai no jēlmateriālu un pārstrādātu materiālu maisījuma (attiecīgi $v=1$ vai $v<1$, kur v – jēlmateriālu īpatsvars produktā). Bez tam, tiek pieņemts, ka jēlmateriālu aizvietošanai ar pārstrādātiem materiāliem nepastāv ierobežojumu, t.i., ja nepieciešams, viss iepakojums var būt ražots no pārstrādāta materiāla. Tomēr tiek ņemts vērā materiālu aizvietojamības rādītājs (*angļu val. – substitution ratio*), kas nosaka, ka jēlmateriālam līdzvērtīgu īpašību iegūšanai produkta ražošanā atkarībā no materiāla veida var būt nepieciešams izmantot masas ziņā lielāku daudzumu pārstrādātā materiāla [62]. Tiek izdarīts arī pieņēmums, ka produkta ražotājs savu rīcību balsta uz materiālu cenām laika vienībā t , t.i. modelis neparedz stabilu, nemainīgu ilgtermiņa cenu, kas varētu mazināt ražotāja riskus, izvēloties pārstrādāto materiālu izmantošanu. Līdz ar to pārstrādāto materiālu cenas nenoteiktības rezultātā ražotāja rīcība var mainīties neskaitāmu reižu skaitu.



2.6.att. Tirgus moduļa krājumu-plūsmu diagramma

Tirgus modulī sākotnējais jeb atsaucēs (references) pieprasījums pēc iepakojuma materiāliem tiek aprēķināts, balstoties uz ekosogēnajiem izejas lielumiem. Patēriņa un, līdz ar to, atkritumu ražošanas apjoma prognozēšanai visbiežāk tiek izmantoti tādi rādītāji kā iedzīvotāju skaits un/vai IKP. M. Rouva un E.Vorrells [67] noteikuši, ka iedzīvotāju skaits ir visprecīzākais no indikatoriem, pēc kura noteikt iepakojuma patēriņu Eiropas Savienības 15 dalībvalstīs (ES-15) ($R^2=0,99$), savukārt IKP uzrāda tikai nedaudz vājāku saistību ($R^2=0,97$). Regresijas analīzes rezultāti parāda, ka Latvijā saražotais kopējais iepakojuma atkritumu daudzums ir ļoti aproksimējams ar IKP un iedzīvotāju skaitu, un to ir iespējams aprakstīt ar sekojošu regresijas vienādojumu:

$$K = 0,033 \cdot IKP + 0,116 \cdot i - 368004,04 \quad (2.3)$$

kur K – kopējais radītais iepakojuma atkritumu daudzums, t;
 IKP – iekšzemes kopprodukts, tūkst. EUR;
 i – iedzīvotāju skaits.

Regresijas vienādojuma determinācijas koeficients $R^2=0,95$, līdz ar to, var teikt, ka 95% radītā iepakojuma atkritumu daudzuma var tikt noteikti pēc IKP un iedzīvotāju skaita. Bez tam, kopš 2001.gada Latvijā novērojama relatīva ekonomiskās izaugsmes atsaiste no dabas resursu patēriņa, bet absolūtā atsaiste nav vērojama [106], kas nozīmē, ka atšķirībā no attīstītajām valstīm patēriņš un atkritumu ražošana ir cieši saistīta ar IKP rādītājiem. Līdz ar to iepakojuma apjoma noteikšanai modelī IKP un iedzīvotāju skaits tiek izmantoti kā modeļa eksogēnie izejas lielumi.

Jāatzīmē, ka, prognozējot sākotnējo pieprasījumu pēc iepakojuma, netiek ņemti vērā atkritumu novēršanas pasākumi, kas varētu mazināt kopējo radīto iepakojuma atkritumu daudzumu. Tāpēc reālais radītais iepakojuma atkritumu daudzums nākotnē var atšķirties no šajā darbā prognozētā. Atkritumu apsaimniekošanas valsts plānā 2013.-2020.gadam [88] ietverta Latvijas Iepakojuma asociācijas sniegtā prognoze kas parāda, ka iepakojuma atkritumu daudzums līdz 2020.gadam pieaugs vidēji par 2,5% gadā. Tomēr, tā kā netiek paskaidrots, uz kādiem pieņēmumiem prognoze balstīta, tad šajā darbā tā nav izmantota un ar regresijas vienādojumu (2.3) iegūtie iepakojuma atkritumu apjomi no Latvijas Iepakojuma asociācijas sniegtajiem atšķiras.

Latvijā nav pieejamu datu par primārā iepakojuma īpatsvaru kopējā iepakojuma plūsmā. Tāpēc, balstoties uz Eiropas Iepakojuma un vides organizācijas EUROOPEN 2009.gada ziņojumu par iepakojuma daudzumu un sastāvu vairākās Eiropas Savienības valstīs [6], tika izdarīts pieņēmums, ka primārā iepakojuma īpatsvars Latvijā ir vienāds ar vidējo primārā iepakojuma īpatsvaru Eiropā un sastāda 42%.

Kad modelī noteikts kopējais atsaucis pieprasījums pēc primārā iepakojuma materiāliem, tas tiek sadalīts atbilstoši dažādiem materiālu veidiem (stikls, plastmasa, metāls, papīrs) un to procentuālajam daudzumam (skat. 2.2. att.). Tālākā modelēšanas procesā atsaucis pieprasījums pēc konkrētā materiāla tiek sadalīts starp pārstrādājamiem un jēlmateriāliem. Nosakot pieprasījuma sadalījumu, tiek izmantota K. Kampmana [178] izstrādātā pieeja, kas lietota eksperimentālai tirgus uzvedības izpētei. Balstoties uz to, tiek aprēķināts, kā mainās pieprasījums pēc iepakojuma materiāliem, mainoties šo materiālu cenai, un kā šis pieprasījums sadalās starp reciklētiem materiāliem un jēlmateriāliem, ievērojot šo atsevišķo materiālu un vidējās tirgus cenas attiecību. Tirgus mehānisma raksturošanai tiek izmantoti tirgus elastības parametri – pieprasījuma cenas elastības koeficients, materiālu aizvietošanas elastības koeficients un cenas jutību pret pieprasījuma-piedāvājuma attiecību raksturojošs koeficients.

Elastība ir viena mainīgā atkarīgā lieluma reakcijas mērs uz cita mainīgā neatkarīgā lieluma izmaiņām, t.i. elastība raksturo ietekmējošā lieluma iedarbības pakāpi. Pieprasījuma elastība parāda, kā, mainoties produkta cenai, izmainās pieprasītā produkta daudzums. Pieprasījuma elastības koeficients parāda pieprasījuma relatīvo izmaiņu attiecību pret apskatāmā ietekmējošā lieluma relatīvajām pārmaiņām [179]:

$$e_d = \frac{\text{Pieprasījuma maiņa par } z \%}{\text{Ietekmējošā lieluma relatīvā maiņa par } 1\%} \quad (2.4)$$

Pieprasījuma cenas elastības koeficients parāda, par cik procentiem mainīsies pieprasījums pēc produkta, ja tā cena mainīsies par 1 %. Lai aprēķinātu pieprasījuma izmaiņas pieaugot cenai, tiek izmantots sekojošs vienādojums [180]:

$$|e_d| = \frac{\Delta Q}{\Delta P} = \frac{p \cdot dQ}{q \cdot dP} = \frac{Q_1 - Q_0}{Q_0} \cdot \frac{P_0}{P_1 - P_0} \quad (2.5)$$

kur e_d – pieprasījuma cenas elastības koeficients;
 Q_1 – produktu patēriņš pēc cenas izmaiņām, vienības;
 Q_0 – produktu patēriņš pirms cenas izmaiņām, vienības;
 P_0 – cena pirms izmaiņām, EUR/vien;
 P_1 – cena pēc izmaiņām, EUR/vien.

Modelī, balstoties uz K. Kampmana [178] izstrādāto pieeju, atsaucis pieprasījums pēc jēlmateriāliem tiek noteikts sekojoši:

$$P_j^{ref} = P \cdot v \cdot \left(\frac{C_{vid}}{C_{vid}^{init}} \right)^{e_d^j} \quad (2.6)$$

kur P_j^{ref} – atsaucis pieprasījums pēc jēlmateriāliem, kg;
 P – atsaucis pieprasījums pēc primārā iepakojuma, kg;
 v – jēlmateriālu īpatsvars iepakojumā;
 C_{vid} – vidējā materiālu cena, EUR/kg;
 C_{vid}^{init} – sākotnējā vidējā materiālu cena, EUR/kg;
 e_d^j – jēlmateriālu pieprasījuma cenas elastības koeficients.

Pieprasījuma cenas elastības koeficients, kas modelī ir pieņemts kā konstants, eksogēns lielums, raksturo, cik elastīgi pieprasījums reaģē uz vidējās cenas izmaiņām, t.i. cik strauji samazinās pieprasījums, ja vidējā cena pieaug, un otrādi. Jo lielāka ir elastības koeficienta absolūtā vērtība, jo straujāk pieprasījums reaģē uz vidējās cenas izmaiņām. Formulas (2.6) beigu daļa nosaka cenas ietekmi uz pieprasījumu, izmantojot pieprasījuma cenas elastības koeficientu. Dažādiem materiālu veidiem e_d vērtības ir atšķirīgas, kas arī nosaka atšķirīgās materiālu pieprasījuma izmaiņas atbilstoši to cenas izmaiņām. 2.1.tabulā parādītas tirgus modulī izmantotās e_d un citu konstanšu un parametru vērtības.

Atsaucis pieprasījums pēc jēlmateriāliem tiek noteikts, atbilstoši to īpatsvaram iepakojumā, t.i. kāda ir jēlmateriālu un pārstrādāto materiālu attiecība kopējā iepakojuma materiāla masā. Uzsākot simulāciju tiek pieņemts, ka jēlmateriālu īpatsvars sastāda 100%. Simulācijas tālākajā gaitā īpatsvars sadalās atbilstoši pieprasījumam pēc materiāliem, kas, savukārt, atkarīgs no materiālu cenām, vidējās cenas un materiālu aizvietošanas elastības koeficienta, ε , kas raksturo iepakojuma ražotāju spēju aizvietot vienu materiālu ar citu. Jo lielāka ir ε absolūtā vērtība (modelī tā ir konstanta), jo straujāk samazinās pieprasījums pēc materiāla, kura cena aug attiecībā pret vidējo cenu, un palielinās pieprasījums pēc aizvietotāja materiāla. H.Bartelingsa [194] norāda, ka ε vērtība starp pārstrādātiem un jēlmateriāliem ir vienāda ar bezgalību, jo tie viens otru spēj pilnībā aizvietot. N.R.Flemings [195] secina, ka, jo vieglāk materiālu ir aizvietot (jo augstāka ε vērtība), jo stabilāka būs tā cena – pieaugot jēlmateriālu cenai, ražotāji tos aizvieto ar pārstrādātiem materiāliem, tādējādi samazinot pieprasījumu pēc jēlmateriāliem un to cenu, un otrādi. K.Kampmans [178] savos aprēķinos ir pieņēmis, ka $\varepsilon = 2,5$. Savukārt, šajā darbā izstrādātajā modelī tiek pieņemts, ka ε bāzes vērtība ir 0,5, jo, lai arī iepakojuma ražotājiem teorētiski pastāv iespējas jēlmateriālus aizstāt ar pārstrādātiem materiāliem, tas darīts netiek tādu apsvērumu

dēļ, kas ir ārpus modelētās sistēmas robežām. Tajā pašā laikā nav tā, ka pārstrādātie materiāli iepakojuma ražošanā netiktu izmantoti nemaz (kas nozīmētu, ka $\varepsilon = 0$), tāpēc modelī pieņemtā bāzes vērtība varētu būt ticama. (2.7) formula parāda, kā, izmantojot ε , modelī tiek aprēķināts pieprasījums pēc jēlmateriāliem.

2.1.tabula

Modeļa aprēķinos izmantotās pieprasījuma cenas elastības, pārstrādāto materiālu īpatsvara un materiālu cenas vērtības

Materiāla veids	Pieprasījuma cenas elastības koeficients [181]		Pārstrādāto materiālu īpatsvars	Aizvietojamības rādītājs	Materiāla cena, EUR/kg	
	Jēlmateriāli	Pārstrādāti materiāli			Jēlmateriāli	Pārstrādāti materiāli
Papīrs	-0,463	-0,16	0,51 [182]	0,833 [183]	0,57 [184]	0,1 [185]
Stikls	-1,0	-0,5	0,65 [186]	1 [62]	0,14	0,01 [185]
PET	-1,2	-0,1	0,35 [187]	0,625 [188]	0,63 [189]	0,33 [185]
Pārējā plastmasa (HDPE)	-1,2	-0,1	0,1 [186]	0,8 [190]	0,90 [189]	0,40 [185]
Alumīnijs	-1,4	-0,805	0,5 [191]	1 [62]	1,70 [192]	1,01 [185]
Pārējais metāls (skārds)	-0,63	-0,63	0,5 [193]	1 [62]	0,63 [192]	0,16 [185]

$$P_j = P_j^{ref} \cdot \left(\frac{C_j^I}{C_{vid}} \right)^{-\varepsilon} \quad (2.7)$$

kur P_j – pieprasījums pēc jēlmateriāliem, kg;

P_j^{ref} – atsaucis pieprasījums pēc jēlmateriāliem, kg;

C_j^I – uztvertā jēlmateriālu cena, EUR/kg;

C_{vid} – vidējā materiālu cena, EUR/kg;

ε – materiālu aizvietošanas elastības koeficients.

Līdzīgi, kā jēlmateriāliem, tiek noteikts arī atsaucis pierasījums pēc pārstrādātiem materiāliem, savukārt pieprasījuma aprēķināšanā tiek ņemts vērā arī materiālu aizvietojamības rādītājs:

$$P_r = P_r^{ref} \cdot \frac{1}{\tau} \cdot \left(\frac{C_r^I}{C_{vid}} \right)^{-\varepsilon} \quad (2.8)$$

kur P_r – pieprasījums pēc pārstrādātiem materiāliem, kg;

P_r^{ref} – atsaucis pieprasījums pēc pārstrādātiem materiāliem, kg;

τ – materiālu aizvietojamības rādītājs;

C_r^I – uztvertā pārstrādāto materiālu cena, EUR/kg;

C_{vid} – vidējā materiālu cena, EUR/kg;

ε – materiālu aizvietošanas elastības koeficients.

Materiālu aizvietojamības rādītājs, τ , nosaka, cik daudz pārstrādātā materiāla ir nepieciešams 1 kg jēlmateriāla aizvietošanai, lai iegūtu produktu ar līdzvērtīgām īpašībām un kvalitāti [62]. Bieži, veicot aprites cikla analīzi, materiālu modelēšana tiek veikta noslēgta cikla sistēmās, pieņemot, ka materiālu aizvietojamība ir 1:1. Tomēr realitātē materiāli tiek pārstrādāti atvērtā ciklā, kas bieži nozīmē materiālu kvalitātes zudumu lietošanas (piemēra, UV degradācija, nodilums), šķirošanas (piesārņojums un/vai piemaisījumi) vai pārstrādes (masas zudums) procesu rezultātā [190]. Balstoties uz literatūras analīzi, modelī tiek pieņemts, ka stikls un metāls ir materiāli, kas pārstrādes rezultātā kvalitāti nezaudē, tāpēc pilnībā spēj aizvietot jēlmateriālus ($\tau=1$). Savukārt pārstrādātā papīra un plastmasas kvalitāte ir zemāka par jēlmateriālu kvalitāti, tāpēc šiem materiāliem $\tau < 1$ (skat. 2.1. tabulu).

Ņemot vērā materiālu īpašības, pielietojamību, pieejamību, pieprasījumu u.c. faktorus, tiek noteikta materiālu cena. Materiālu cenu nosaka arī to izejvielu cena tirgū, piemēram, plastmasas cena atkarīga no naftas cenas. Modelī par materiālu sākotnējām cenām tiek izmantotas 2010.-2013.gada ikmēneša cenu mediānas vērtības. Turpmākajā simulācijas gaitā šīs cenas pieaug vidēji par 4% gadā. Bez tam, materiālu cenu ietekmē arī iepakojuma nodoklis. 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:

$$C'_j = \int_{t=0}^{t=1} \left(\frac{C_j + T_i - C'_j}{t'} \right) (t) \cdot dt + C_j^{init} \quad (2.9)$$

kur C'_j – uztvertā jēlmateriālu cena, EUR/kg;
 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 2.5. 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 sašķīroto 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 ir endogēns mainīgais. To nosaka attiecība starp pārstrādāto materiālu pieprasījumu un piedāvājumu (piegādi) tirgū, kā arī iepakojuma nodoklis:

$$C'_r = \int_{t=0}^{t=1} \left(\frac{C_r \cdot \left(\frac{P_r}{S_r} \right)^\sigma + T_i - C'_r}{t'} \right) (t) \cdot dt + C_r^{init} \quad (2.10)$$

kur C'_r – uztvertā pārstrādāto materiālu cena, EUR/kg;
 C_r – pārstrādāto materiālu cena, EUR/kg;
 P_r – pieprasījums pēc pārstrādātiem materiāliem, kg;

- S_r – pārstrādāto materiālu piedāvājums (piegāde), kg;
 σ – koeficients, kas raksturo cenas jutību pret pieprasījuma-piedāvājuma attiecību;
 T_i – iepakojuma nodoklis, EUR/kg;
 t' – uztveršanas laiks, gadi;
 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 sašķirotu 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. Ja pieprasījums pārsniedz piedāvājumu, materiāla cena aug. Cena pieaug eksponenciāli tik ilgi, kamēr pieprasījums pārsniedz piedāvājumu. Kad pieprasījums ir zemāks par piedāvājumu, cena krīt.

Cenas uztveršanas laiks un koeficients σ raksturo tirgus dalībnieku uzvedību, tirgū zaudējot līdzsvara stāvokli, t.i. izmainoties pieprasījuma-piedāvājuma attiecībai [132]. σ parāda, kā materiālu cena reaģē uz izmaiņām pieprasījuma-piedāvājuma attiecībā. Jo lielāka σ vērtība, jo straujāk mainās materiālu cena, mainoties pieprasījumam un piedāvājumam tirgū. Realitātē σ vērtība varētu tikt noteikta, izvērtējot datus par cenas izmaiņām atkarībā no pasūtījumu un to izpildes relatīvā lieluma tirgū vai pasūtījumu apjoma un jaudas uzņēmumā [132]. Tā kā šādi dati kopējās iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas simulācijas vajadzībām nav pieejami, tad σ vērtība modelī tiek pieņemta kā konstants, eksogēns lielums, kas lielāks par 0.

Vidējā materiālu cena tirgū tiek noteikta, izmantojot uztvertās jēlmateriālu un pārstrādāto materiālu cenas, kā arī materiālu aizvietošanas elastības koeficientu, ε (skat. (2.11) formulu). Jo lielāka ir ε 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 ε būtu neliels.

$$C_{vid} = \left[\frac{1}{2} \cdot (C_j')^{(1-\varepsilon)} \cdot (C_r')^{(1-\varepsilon)} \right]^{\frac{1}{(1-\varepsilon)}} \quad (2.11)$$

- kur C_{vid} – vidējā materiālu cena, EUR/kg;
 C_j' – uztvertā jēlmateriālu cena, EUR/kg;
 C_r' – uztvertā pārstrādāto materiālu cena, EUR/kg;
 ε – materiālu aizvietošanas elastības koeficients.

Tirgus modulis imitē situāciju materiālu tirgū, kurā iepakojuma ražotājs izvēlas lētāko no materiāliem, pieņemot, ka pārstrādāto un jēlmateriālu kvalitāte ir līdzvērtīga. Ja abu materiālu cenas būtu vienādas, tad kopējais pieprasījums pēc materiāliem sadalītos vienādās daļās starp abiem materiāliem un vidējā materiālu cena būtu vienāda ar abu materiālu uztverto cenu. 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. Ja pārstrādāto materiālu piegādes apjoms (piedāvājums tirgū) paliek

nemainīgs, tad, augot pieprasījumam, ar zināmu laika novēlojumu uz to reaģē tirgus un pieaug pārstrādāto materiālu cena. Augot uztvertajai pārstrādāto materiālu cenai, pieaug arī vidējā materiālu cena. Līdz ar to pieprasījuma pieaugums pēc pārstrādātiem materiāliem palēninās, jo samazinās to priekšrocība, t.i. palielinās uztvertās pārstrādāto materiālu cenas un vidējās materiālu cenas attiecība. Vienlaikus, pieaugot vidējai cenai, samazinās starpība starp uztverto jēlmateriālu cenu un vidējo cenu, palielinot jēlmateriālu relatīvo cenas priekšrocību, un pieprasījums pēc tiem sāk pieaugt. Vidējās cenas pieaugums samazina atsaucis pieprasījuma pieaugumu, kas samazina pieprasījuma pieauguma tempu gan pēc pārstrādātiem, gan pēc jēlmateriāliem. Sistēmas līdzsvara stāvoklis tiek sasniegts ar vidējo materiālu cenu, kas ir augstāka nekā sākotnējā, un kopējā pieprasījuma pieauguma ātrumu, kas ir mazāks nekā sākotnējais.

Uz pārstrādāto materiālu cenas pieaugumu reaģē pārstrādāto materiālu piegādātāji, piedāvājot tirgū vairāk pārstrādāto materiālu. Savukārt, kopējais pieprasītais iepakojuma apjoms kalpo par izejas lielumu radīto iepakojuma atkritumu apjomam atkritumu apsaimniekošanas modulī.

2.2.2. Patērētāju rīcības modulis

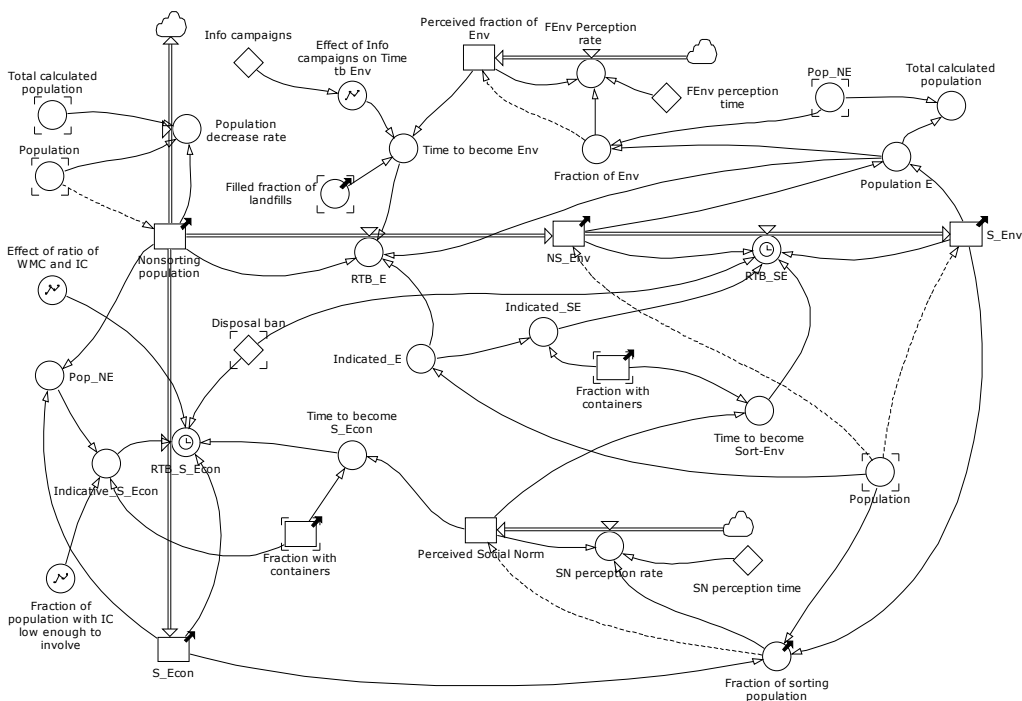
Patērētāju iesaistīšana atkritumu šķirošanā ir viens no būtiskākajiem soļiem virzībā uz pārstrādājošu sabiedrību ar augstu resursu efektivitātes līmeni, kas ir viens no ES mērķiem [9]. Patērētāju rīcības modulis imitē patērētāju uzvedību atkritumu apsaimniekošanas sistēmā, kas tiek raksturota ar patērētāja izvēli iesaistīties vai neiesaistīties iepakojuma atkritumu šķirošanā. Patērētāja izvēli nosaka vairāki iekšēji un ārēji faktori. Piemēram, pie iekšējiem faktoriem minama motivācija, kas liek patērētājam iesaistīties šķirošanā. Savukārt, ārējie faktori ir apstākļi jeb iespējas atkritumus šķirot un stimuli (politikas instrumenti), kas liek atkritumu šķirošanā iesaistīties. Ņemot to vērā, tiek pieņemts, ka 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.

Uzsākot simulāciju, visi patērētāji, kuri atkritumus nešķiro tiek ietverti Vienaldzīgo grupā. Tiek pieņemts, ka tādi ir 85% visu patērētāju. Atlikušie 15% ir sadalījušies pārējās grupās. Simulācijas gaitā, iedarbojoties vienam vai vairākiem faktoriem, patērētāji no Vienaldzīgo grupas pāriet uz kādu no pārējām grupām (skat. 2.7.att.).

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. Modeļa izveidē tika pieņemts, ka starp atkritumus šķirojošajiem patērētājiem būs daļa tādu, kuri to darīs, jo tiem rūp apkārtējās vides aizsardzība (Zaļie šķirotāji), bet daļa to darīs tikai

tad, ja tādā veidā būs iespējams samazināt ar atkritumu apsaimniekošanu saistītos izdevumus (Aprēķinātāji).



2.7. att. Patērētāju rīcības moduļa krājumu-plūsmu diagramma

Ne visiem vides apsvērumu motivētajiem patērētājiem uzreiz izdosies kļūt par šķirotājiem, jo to ierobežo atkritumu šķirošanas punktu trūkums. Tāpēc modelī daļa patērētāju uz laiku „iestrēgst” Zaļo grupā. Tiklīdz šķirošanas punkti tiek nodrošināti, tā Zaļie var kļūt par Zaļajiem šķirotājiem.

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, atkarīgs no patērētāju daudzuma, kurus apkārtējās vides stāvoklis potenciāli varētu satraukt, un tiem patērētājiem, kurus vides problēmas jau satrauc un/vai kuri jau ir iesaistījušies atkritumu šķirošanā vides apsvērumu dēļ (Zaļo un Zaļo šķirotāju summa) (skat. (2.12) formulu). Tiek pieņemts, ka indikatīvais potenciālo vides apsvērumu vadīto patērētāju daudzums sasniedz 70% visu patērētāju. Šis pieņēmums nozīmē, ka 30% iedzīvotāju šķiros tikai tad, ja būs pietiekama ekonomiskā motivācija.

$$V_{V \rightarrow Z} = \frac{(Z_{Ind} - (Z + S))}{a - b \cdot L - c \cdot Z'_d} \quad (2.12)$$

kur $V_{V \rightarrow Z}$ – pārejas ātrums no Vienaldzīgajiem uz Zaļajiem, patērētāji/gadā;

Z_{Ind} – indikatīvais potenciālo vides apsvērumu vadīto patērētāju daudzums, patērētāji;

Z – Zaļo grupā esošo patērētāju daudzums, patērētāji;

S – Zaļo šķirotāju grupā esošo patērētāju daudzums, patērētāji;

L – poligonu aizpildīšanās pakāpe;

Z'_d – uztvertais vides aizsardzības apsvērumu dēļ šķirojošo un šķirot izlēmušo patērētāju īpatsvars;
 a, b, c – laika konstantes, gadi.

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 un vides problēmu apmēra, ko raksturo poligону aizpildīšanās pakāpe. Tiek pieņemts, ka pāriešanai no jebkuras patērētāju grupas uz citu kopumā ir nepieciešams viss simulācijas periods, t.i. 23 gadi (no 2007. līdz 2030.gadam). Formulā (2.12) tas tiek izteikts ar laika konstanti a . Dažādu faktoru ietekmē pārejas laiku ir iespējams saīsināt. Formulas (2.12) 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 (2.12) 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 (skat. (2.13) formulu). Tāpat ir sagaidāms, ka, saasinoties vides problēmām, proti, pieaugot poligону aizpildīšanās pakāpei, palielināsies to patērētāju daļa, kas vides apsvērumu dēļ izlems šķirot, tādēļ laiku saīsina arī poligону aizpildīšanās pakāpe. Laika konstantes a, b un c ir pieņēmums, jo nav pieejamu pētījumu datu, kas parādītu šo skaitļu vērtības. Šajā gadījumā svarīgāka par konkrētu skaitlisku vērtību izmantošanu ir minētā difūzijas efekta iekļaušana modelētajā sistēmā, lai analizētu, kādu efektu uz Zaļo patērētāju pieaugumu atstāj jau šķirojošo vai šķirot izlēmušo patērētāju daļa un atkritumu poligону aizpildīšanās pakāpe.

$$Z'_d = \int_{t=0}^{t=1} \left(\frac{Z_d - Z'_d}{t'} \right) (t) \cdot dt + Z_d^{init} \quad (2.13)$$

kur Z'_d – uztvertais vides aizsardzības apsvērumu dēļ šķirojošo un šķirot izlēmušo patērētāju īpatsvars;

Z_d – vides aizsardzības apsvērumu dēļ šķirojošo un šķirot izlēmušo patērētāju īpatsvars;

t' – uztveršanas laiks, gadi;

Z_d^{init} – sākotnējais vides aizsardzības apsvērumu dēļ šķirojošo un šķirot izlēmušo patērētāju īpatsvars.

Vides aizsardzības apsvērumu dēļ šķirojošo un šķirot izlēmušo patērētāju īpatsvars tiek noteikts pēc sakarības:

$$Z_d = \frac{(Z+S)}{(Z+S+V+A)} \quad (2.14)$$

kur Z – Zaļo grupā esošo patērētāju daudzums, patērētāji;

S – Zaļo šķirotāju grupā esošo patērētāju daudzums, patērētāji;

V – Vienaldzīgo grupā esošo patērētāju daudzums, patērētāji;

A – Aprēķinātāju grupā esošo patērētāju daudzums, patērētāji.

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 šķīrotāju grupu, tādējādi ir atkarīgs no jau šķīrojošo patērētāju skaita un kopējā patērētāju skaita, kuram ir šķīrošanas iespējas (skat. (2.15) formulu).

$$V_{Z \rightarrow S} = \frac{(Z_{Ind} \cdot K_p - S)}{a - b \cdot K_p - c \cdot N'_s} \quad (2.15)$$

kur $V_{Z \rightarrow S}$ – pārejas ātrums no Zaļajiem uz Zaļajiem šķīrotājiem, patērētāji/gadā;
 Z_{Ind} – indikatīvais potenciālo vides apsvērumu vadīto patērētāju daudzums, patērētāji;
 K_p – šķīrošanas punktu pieejamība;
 S – Zaļo šķīrotāju grupā esošo patērētāju daudzums, patērētāji;
 N'_s – uztvertās sabiedrības normas;
 a, b, c – laika konstantes, gadi.

Laiks patērētāja pārejai no Zaļo grupas uz Zaļo šķīrotāju grupu atkarīgs no šķīrošanas punktu pieejamības un uztvertajām sabiedrības normām. Šī darba ietvaros tiek pieņemts, ka sabiedrības normas veido atkritumu šķīrošana, t.i. pieaugot kopējam šķīrojošo patērētāju īpatsvaram, palielinās sabiedrības normas. Lai patērētāji uztvertu sabiedrības normas, nepieciešams laiks (skat. (2.16) formulu). Savukārt, jo lielākas ir uztvertās sabiedrības normas, jo vairāk pieaug ātrums $V_{Z \rightarrow S}$.

$$N'_s = \int_{t=0}^{t=1} \left(\frac{S_d - N'_s}{t'} \right) (t) \cdot dt + S_d^{init} \quad (2.16)$$

kur N'_s – uztvertās sabiedrības normas;
 S_d – kopējais šķīrojošo patērētāju īpatsvars;
 t' – uztveršanas laiks, gadi;
 S_d^{init} – sākotnējais šķīrojošo patērētāju īpatsvars.

Modeļa izveidē tika pieņemts, ka lielai daļai patērētāju vides aizsardzības problēmas nebūtu motivējošas, lai iesaistītos atkritumu šķīrošanā, un šo daļu motivētu ekonomiskie apsvērumi. Tas nozīmē, ka modelī šie patērētāji nekad nenonāk Zaļo grupā, bet gan paliek Vienaldzīgo grupā vai, uzsākot atkritumu šķīrošanu, pievienojas Aprēķinātāju grupai. Ātrums, ar kādu notiek šī pāreja, atkarīgs no atkritumu apsaimniekošanas un neērtību izmaksu attiecības efekta un indikatīvā potenciālo ekonomisko apsvērumu vadīto patērētāju daudzuma (skat. (2.17) formulu). Pārejas laiks atkarīgs no šķīrošanas punktu pieejamības un uztvertās sabiedrības normas.

$$V_{V \rightarrow A} = \frac{(A_{Ind} - A) \cdot E_m}{a - b \cdot K_p - c \cdot N'_s} \quad (2.17)$$

kur $V_{V \rightarrow A}$ – pārejas ātrums no Vienaldzīgajiem uz Aprēķinātājiem, patērētāji/gadā;
 A_{Ind} – indikatīvais potenciālo ekonomisko apsvērumu vadīto šķīrojošo patērētāju daudzums, patērētāji;
 E_m – atkritumu apsaimniekošanas un neērtību izmaksu attiecības efekts uz pārejas ātrumu no Vienaldzīgo grupas uz Aprēķinātāju grupu;
 K_p – šķīrošanas punktu pieejamība;
 N'_s – uztvertās sabiedrības normas;
 a, b, c – laika konstantes, gadi.

Indikatīvais potenciālo ekonomisko apsvērumu vadīto šķirojošo patērētāju daudzums tiek noteikts sekojoši:

$$A_{Ind} = V \cdot A_d \cdot K_p \quad (2.18)$$

kur A_{Ind} – indikatīvais potenciālo ekonomisko apsvērumu vadīto šķirojošo patērētāju daudzums, patērētāji;

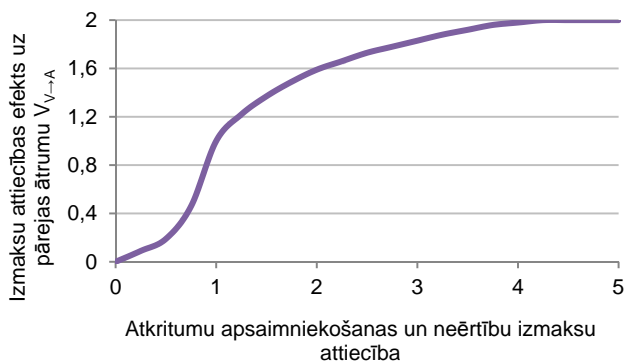
V – Vienaldzīgo grupā esošo patērētāju daudzums, patērētāji;

A_d – Aprēķinātāju īpatsvars, kuru neērtību izmaksas ir sasniegušas viņu maksimālo neērtību izmaksu līmeni;

K_p – šķirošanas punktu pieejamība.

Formula (2.18) parāda, ka ekonomisku apsvērumu motivētie patērētāji potenciāli varētu uzsākt atkritumu šķirošanu tikai tad, kad tiem būs pieejami atkritumu šķirošanas punkti un uztvertās neērtību izmaksas būs zemākas par viņu maksimālo neērtību izmaksu sliekšni. Neērtību izmaksas naudas izteiksmē raksturo šķēršļus, kas patērētājam traucē iesaistīties atkritumu šķirošanā. Tās parāda, cik lielu naudas summu patērētājs būtu ar mieru maksāt, lai viņam nebūtu jāiesaistās atkritumu šķirošanā. Ne visiem patērētājiem neērtību izmaksas ir vienādas, un tiek pieņemts, ka patērētāji sadalās atbilstoši normālā sadalījuma funkcijai. Modelī tiek pieņemts, ka neviens ekonomisko apsvērumu vadītais patērētājs nevēlēšies šķirot atkritumus, ja uztvertās neērtību izmaksas būs vienādas ar maksimālajām neērtību izmaksām. Neērtību izmaksām esot zem maksimālā līmeņa, atbilstoši normālā sadalījuma funkcijai, palielinās arī patērētāju skaits, kas vēlas šķirot atkritumus. Modelī tiek pieņemts, ka maksimālo neērtību izmaksu līmenis ir vienāds ar sākotnējo atkritumu apsaimniekošanas maksas lielumu desmitkārtīgā apmērā. Atkritumu apsaimniekošanas maksa patērētājam atkarīga no nešķirotu, apglabājamo atkritumu apjoma. Darba ietvaros veiktajā atkritumu apsaimniekošanas infrastruktūras novērtējumā tika noteikts, ka vidējā atkritumu apsaimniekošanas maksa Latvijā 2012.gadā bija 8,53 LVL/m³. No tās vairāk kā pusi sastādīja poligonu tarifs un poligonu nodoklis. Tika pieņemts, ka 1m³ no mājsaimniecībām savāktu, nesablīvētu atkritumu masa ir aptuveni 200kg. Zinot ik gadu apglabāto atkritumu daudzumu un iedzīvotāju skaitu, modelī tiek noteikta atkritumu apsaimniekošanas maksa uz iedzīvotāju.

Atkritumu apsaimniekošanas un uztverto neērtību izmaksu attiecības efekts E_m ietekmē pārejas ātrumu $V_{V \rightarrow A}$. Tā ir nelineāra sakarība, kas nosaka, ka atkritumu apsaimniekošanas izmaksām arvien vairāk tuvojoties uztverto neērtību izmaksu apmēram, pāreja no Vienaldzīgajiem uz Aprēķinātājiem paātrinās (skat. 2.8. att.). Kad atkritumu apsaimniekošanas izmaksas pārsniegušas neērtību izmaksas, tad paātrinājums samazinās un pie noteiktas izmaksu attiecības izlīdzinās. Tas raksturo patērētāju sākotnējo satraukumu par izmaksu pieaugumu (līdz attiecībai 1:1), tomēr, kad tie ir adaptējušies un pieraduši pie izmaksu pieauguma, tad iesaistīšanās šķirošanā notiek lēnāk.



2.8. att. Atkritumu apsaimniekošanas un neērtību izmaksu attiecības efekts uz pārejas ātrumu no Vienaldzīgajiem uz Aprēķinātājiem

Tā kā neērtību izmaksas ir laikā mainīgs lielums, kas atkarīgs no dažādiem faktoriem, tad patērētājs nespēj uzreiz uztvert izmaiņas neērtību izmaksu lielumā, tāpēc veidojas novēlojums. Patērētājs tikai pēc laika saprot, ka viņa neērtību izmaksas ir mainījušās. Modelī starp maksimālajām neērtību izmaksām un uztvertajām neērtību izmaksām ir pirmās pakāpes informācijas novēlojums (skat. (2.19) formulu).

$$IC' = \int_{t=0}^{t=1} \left(\frac{IC \cdot E_k \cdot E_i - IC'}{t'} \right) (t) \cdot dt + IC^{init} \quad (2.19)$$

kur IC' – uztvertās neērtību izmaksas, EUR/iedz.;

IC – neērtību izmaksas, EUR/iedz.;

E_k – šķirošanas punktu pieejamības efekts uz neērtību izmaksām;

E_i – informētības efekts uz neērtību izmaksām;

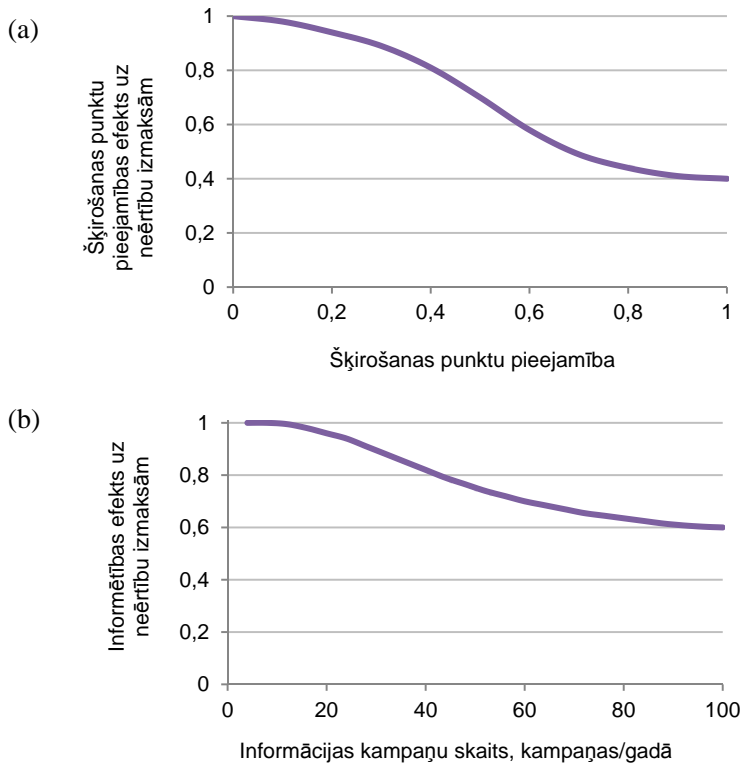
t' – uztveršanas laiks, gadi;

IC^{init} – sākotnējās neērtību izmaksas, EUR/iedz.

Ar atkritumu šķirošanu saistītās neērtību izmaksas var mazināt šķirošanas punktu pieejamības un informatīvo pasākumu skaita palielināšanās, t.i., pieaugot iespējai ērti nodot šķirotos atkritumus un/vai pieaugot informētībai sabiedrībā, mazinās ar atkritumu šķirošanu saistītās neērtību izmaksas. Modelī tas tiek parādīts ar nelineāru sakarību, efektu E_k un E_i , palīdzību (skat. 2.9. att.).

Šķirošanas punktu pieejamības efekts uz neērtību izmaksām, E_k , nosaka, ka, pieaugot šķirošanas punktu skaitam un, līdz ar to, šķirošanas pakalpojumam kļūstot pieejamākam, samazinās ar atkritumu šķirošanu saistīto neērtību izmaksu līmenis. Tomēr šķirošanas punktu pieejamība vien nespēj pilnībā novērst visas neērtību izmaksas. Saskaņā ar Eurobarometer 2011.gada ziņojuma rezultātiem [196] patērētājiem būtiskas neērtības sagādā arī atkritumu šķirošana mājāsaimniecībās (visbiežāk tas saistīts ar vietas trūkumu vairāku atkritumu urnu novietošanai) – dažādās ES valstīs šo neērtību mazināšanos kā motivējošu faktoru, lai iesaistītos šķirošanā vai šķirotu vairāk atkritumu, norādījuši 35 – 90% aptaujāto (Latvijā – 70%). Arī neērtību mazināšanās, kas saistīta ar informācijas ieguvu par to, kur un kā pareizi šķirot atkritumus, norādīta, kā šķirošanu motivējošs faktors aptuveni 30 – 84% dažādu ES valstu iedzīvotājiem (Latvijā – vairāk kā 55%) [196]. Līdz ar to pat, ja šķirošanas punkti kļūtu pieejami simtprocentīgi visiem patērētājiem, tas nespētu novērst citas ar atkritumu šķirošanu saistītās neērtības un to izmaksas. Tāpēc šķirošanas punktu pieejamības efekta E_k vērtība nesasniedz 0 (skat. 2.9.(a) att.). Līdzīgi ir arī

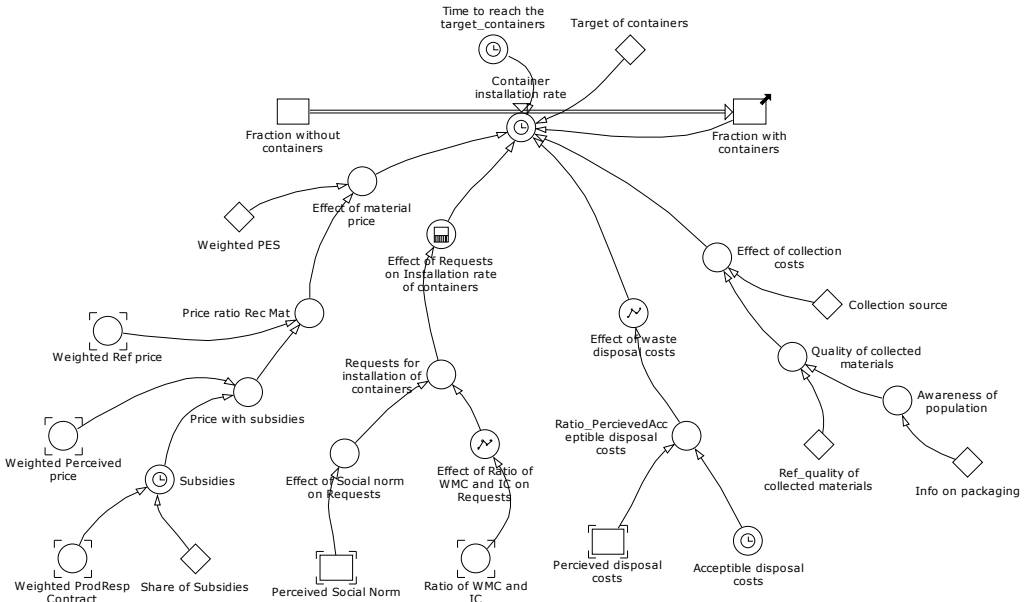
informētības efekta E_i gadījumā. Spēkā esošajā Latvijas likumdošanā ir noteikts minimālais izglītošanas pasākumu skaits, kas jānodrošina dalītās atkritumu vākšanas sistēmā funkcionējošajām ražotāja paplašinātās atbildības organizācijām [197]. Šo skaitu palielinot, būtu iespējams panākt neērtību izmaksu mazināšanos, tomēr tās nebūtu iespējams mazināt pilnībā.



2.9. att. Šķirošanas punktu pieejamības (a) un informētības (b) efekts uz neērtību izmaksām

Dalītās atkritumu vākšanas sistēmas pamatā ir izlietotā iepakojuma savākšana ar atkritumu konteineru palīdzību, kuros patērētāji atbilstoši materiāla veidam šķiro, uzkrāj un nodod pārstrādei iepakojumu. Dalītās atkritumu vākšanas sistēmas konteineri var tikt novietoti tuvu dzīvojamām mājām, tirdzniecības vietām vai administratīvām ēkām, veidojot punktus. Iepakojuma dalītā savākšana var tikt realizēta arī ar speciāli izbūvētu atkritumu šķirošanas laukumu palīdzību. Būtiskākā atšķirība starp punktu un laukumu ir pieņemto atkritumu veidu skaits un attālums, kas patērētājiem jāveic līdz atkritumu savākšanas vietai. Teorētiski abi minētie lielumi raksturo dalītās atkritumu vākšanas sistēmas pieejamību, kas ir būtisks faktors, nosakot atkritumu apsaimniekošanas izmaksas un patērētāju iesaistīšanos atkritumu dalītā savākšanā (šķirošanā). Modelī pieejamība tiek aprakstīta ar bezdimensionālu lielumu vērtībā no 0 līdz 1, kur 1 nozīmē simtprocentīgu nodrošinājumu ar dalītās atkritumu vākšanas sistēmas punktiem un laukumiem (turpmāk – šķirošanas punkti). Modelī tiek pieņemts, ka visiem materiālu veidiem dalītās vākšanas konteineri un šķirošanas punkti ir pieejami vienādā apmērā, t.i. vienā šķirošanas punktā iespējams dalīti savākt/nodot visus materiālu veidus.

Ja atkritumu šķirošanas punkti patērētājiem nav pieejami nelielā attālumā no dzīvesvietas, tad viņi atkritumus nešķiros [46,50,51]. Savukārt, parādoties iespējai atkritumus šķirot, patērētāji sāk apsvērt paradumu maiņu. Līdz ar to mērķis ir panākt, ka šķirošanas punktu pieejamība sasniedz vērtību 1 (skat. 2.10.att.). Modelī tiek pieņemts, ka mērķa sasniegšanai dotais laiks ir līdz simulācijas perioda beigām, t.i. 23 gadi.



2.10.att. Šķirošanas punktu pieejamības noteikšanas attēlojums krājumu-plūsmu diagrammā

2.10.attēls parāda, ka šķirošanas punktu pieejamība modelēta ar divu krājumu palīdzību, kur viens raksturo ar šķirošanas punktiem nenodrošināto patērētāju daļu, bet otrs – nodrošināto. Šķirošanas punktu pieejamības palielināšanos ietekmē dažādi ekonomiskie un sociālie faktori. Modelī tiek pieņemts, ka šķirošanas punktu izveidi nodrošina atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumi, balstoties uz ekonomisko izdevīgumu. Patērētājiem par šķirotu atkritumu izvešanu netiek piemērota maksa, savukārt atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumiem ir jāspēj segt šķirotu atkritumu savākšanas un priekšapstrādes izmaksas no cenas, ko atkarībā no šķirošanas kvalitātes un materiālu tīrības par tiem iespējams iegūt no materiālu pārstrādātājiem. Šķirotu atkritumu savākšana un nodošana pārstrādei tiek arī subsidēta, papildinot uzņēmumu ieņēmumus. Savukārt, par nešķirotajiem atkritumiem, kas tiek nogādāti poligonā, uzņēmumiem ir jāsedz atkritumu apglabāšanas maksa. Izvērtējot visas izmaksas un ieņēmumus, uzņēmēji pieņem lēmumu, vai ierīkot atkritumu šķirošanas punktu. Tiek pieņemts, ka šķirošanas punkts tiks ierīkots, ja

$$\text{Pārstrādājamo materiālu cena} + \text{Subsīdijas} \geq \text{Savākšanas izmaksas} + \text{Apglabāšanas izmaksas}$$

Modelī tiek pieņemts, ka arī patērētāji var uzņēmumiem pieprasīt punktu uzstādīšanu, pamatojoties uz savu ekonomisko izdevīgumu un sabiedrības uzliktajām normām. Tas ir, ja patērētāja atkritumu apsaimniekošanas maksa pārsniedz viņa neērtību izmaksas, viņš, lai samazinātu savus izdevumus, pieprasīs šķirošanas punkta ierīkošanu. Tāpat, punkta ierīkošana var tikt pieprasīta, palielinoties sabiedrības normām – patērētājs

izjūt sabiedrības spiedienu uzsākt šķirošanu, tāpēc atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumam pieprasa punkta ierīkošanu, lai atbilstu sabiedrības uzliktajiem standartiem.

Modelī šķirošanas punktu pieejamība tiek aprēķināta pēc sakarības:

$$K_p = \int_{t=0}^{t=1} \left[\frac{(K_p^* - K_p) \cdot (E_c + E_s + E_a + E_u)}{t^*} \right] (t) \cdot dt + K_p^{init} \quad (2.20)$$

kur K_p – šķirošanas punktu pieejamība;

K_p^* – šķirošanas punktu pieejamības mērķis;

E_c – savākto materiālu cenas efekts uz šķirošanas punktu pieejamību;

E_s – šķirotu 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;

t^* – laiks šķirošanas punktu pieejamības mērķa sasniegšanai, gadi;

K_p^{init} – sākotnējā šķirošanas punktu pieejamība.

Dažādu faktoru ietekme uz šķirošanas punktu pieejamības palielināšanos ir raksturojama ar nelineāru sakarību palīdzību, kas formulā (2.20) formulētas kā efekti. Izmantojot summāro efektu, tiek pieņemts, ka visu faktoru ietekmes ir strikti nodalāmas, t.i. izmaiņas kādā no faktoriem nav atkarīgas no citu faktoru vērtībām [132].

Tirgus modulī atbilstoši pieprasījuma-piedāvājuma attiecībai tiek noteikta uztvertā pārstrādāto materiālu cena, kuru par savāktajiem materiāliem saņem atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumi. Bez tās atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumi par savāktajiem materiāliem saņem arī subsīdijas kā daļu no iepakojuma ražotāja segtās ražotāja paplašinātās atbildības organizāciju līguma maksas. Attiecinot uztverto materiālu cenu un subsīdijas pret sākotnējo materiālu cenu un ņemot vērā piedāvājuma cenas elastību, tiek noteikts savākto materiālu cenas efekts uz šķirošanas punktu pieejamību (skat. (2.21) formulu).

$$E_c = \left(\frac{C_r' + s}{C_r^{init}} \right)^{e_s} \quad (2.21)$$

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

C_r' – uztvertā pārstrādāto materiālu cena, EUR/kg;

s – subsīdiju apmērs, EUR/kg;

C_r^{init} – sākotnējā pārstrādāto materiālu cena, EUR/kg;

e_s – pārstrādāto materiālu piedāvājuma cenas elastība.

Efekts E_c nosaka, ka, palielinoties uztvertās un sākotnējās cenas attiecībai, palielināsies atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu interese savākt un piedāvāt tirgū pārstrādātos materiālus. Līdz ar to, tiks ierīkots vairāk šķirošanas punktu.

Tomēr šķirošanas punktu ierīkošanu var kavēt augstas materiālu savākšanas un apstrādes izmaksas, kas atkarīgas no savākto materiālu avota. Šķirotu atkritumu savākšanas un apstrādes izmaksu efekts uz šķirošanas punktu pieejamību tiek noteikts sekojoši:

$$E_s = 0,172 \cdot e^{0,0644 \cdot (q+w \cdot (1-q))} \cdot e^{-h} \quad (2.22)$$

kur E_s – šķirotu atkritumu savākšanas un apstrādes izmaksu efekts uz šķirošanas punktu pieejamību;

e – matemātiskā konstante (~2,7183);

- q – savākto materiālu kvalitātes konstante;
- w – konstante, kas raksturo patērētāju zināšanu līmeni par atkritumu šķirošanu;
- h – konstante, kas raksturo materiālu savākšanas izmaksas atkarībā no to avota.

Formulā (2.22) ietvertās konstantes raksturo kvalitatīvos rādītājus. Konstante q raksturo savākto materiālu kvalitāti atkarībā no to homogenitātes un piemaisījumu daudzuma. Kvalitāte var variēt no zemas līdz augstai, tāpēc tiek pieņemts, ka $q \in (0; 1)$, kur $q=0$, ja kvalitāte ir zema; $q=1$, ja kvalitāte augsta. No mājsaimniecībām savākto materiālu kvalitāte atkarībā no savācamā materiāla veida ir viduvēja līdz augsta [55]. Modelī tiek pieņemts, ka kvalitāte ir laba ($q=0,5$).

Konstante w raksturo patērētāju zināšanas par to, kā iepakojums pareizi šķirojams. Tiek pieņemts, ka visi patērētāji pēc zināšanām atkritumu šķirošanas jautājumos sadalās atbilstoši normālā sadalījuma līknei. Patērētāju zināšanas šajā gadījumā nosaka informācijas apjoms uz iepakojuma. Konstantes w vērtība var būt robežās no 0 līdz 1, kur $w=0$, ja zināšanu nav; $w=1$, ja zināšanu līmenis augsts. Modelī tiek pieņemts, ka sākotnēji informācijas apjoms uz iepakojuma ir zems (0,1 skalā no 0 līdz 1), līdz ar to zems ir arī patērētāju zināšanu līmenis ($w \approx 0,11$).

Konstante h raksturo materiālu savākšanas izmaksas atkarībā no to rašanās avota. Izmaksas var būt zemas ($h=0,33$), vidējas ($h=0,66$) vai augstas ($h=1$). Modelī tiek pieņemts, ka materiālu savākšanas izmaksas no mājsaimniecībām ir augstas [55].

Uz šķirošanas punktu ierīkošanas ātrumu liela ietekme ir atkritumu apglabāšanas maksai. To veido poligonu tarifs un poligonu nodoklis. Dažādās ES dalībvalstīs poligonu tarifs svārstās ļoti plašā diapazonā un ir vidēji no aptuveni 4 EUR/t līdz pat 150 EUR/t [57]. Latvijā poligonu tarifs dažādos poligonos 2012.gadā bija no 13,73 EUR/t līdz 32,16 EUR/t (bez PVN) [88], kas tiek noteikts, attiecinot poligona darbības pilnās izmaksas pret apglabājamo sadzīves atkritumu daudzumu [93]. Apglabājamo atkritumu daudzums atkarīgs pamatā no konkrētajā reģionā dzīvojošo iedzīvotāju skaita un to patēriņa un atkritumu ražošanas tendencēm. Līdz ar to reģionos ar lielāku iedzīvotāju skaitu un radīto kopējo atkritumu daudzumu, poligonu tarifs ir zemāks. Modelī tiek pieņemts, ka poligonu tarifs ik gadu pieaug par 4%.

Atbilstoši apglabāto atkritumu daudzumam tiek piemērots poligonu nodoklis. Tā mērķis ir samazināt poligonos apglabāto atkritumu daudzumu un veicināt to pārstrādi un reģenerāciju. Poligonu nodoklis sadzīves atkritumu apglabāšanai ieviests 19 no 27 ES valstīm, t.sk. Latvijā. Nodokļa apmērs dažādās ES valstīs svārstās no 3,00 EUR/t Bulgārijā līdz 107 EUR/t Nīderlandē [57]. Latvijā kopš 2012.gada tas ir 7 LVL/t jeb aptuveni 10 EUR/t [85].

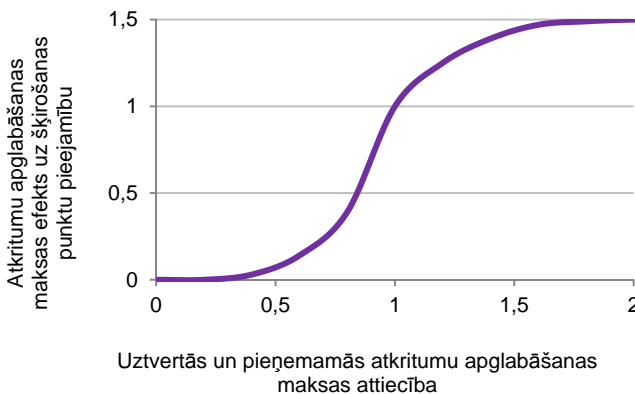
Ir noteikts, ka starp atkritumu apglabāšanas maksu un pārstrādāto atkritumu īpatsvaru pastāv cieša sakarība, līdz ar to var teikt, ka augstāka atkritumu apglabāšanas maksa veicina atkritumu pārstrādi. Eiropas Komisijas ziņojumā par ekonomisko instrumentu izmantošanu un atkritumu apsaimniekošanas sistēmu sniegumu [57] noteikts, ka ES dalībvalstis visticamāk sasniegs 50% pārstrādes mērķi, atkritumu apglabāšanas maksai pietuvojoties 100 EUR/t līmenim. Modelī šis lielums izmantots, lai raksturotu pieņemamo atkritumu apglabāšanas maksas līmeni – maksimālo atkritumu apglabāšanas maksu, kuru atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumi uzskata par pieņemamu un ir ar mieru maksāt par atkritumu apglabāšanu poligonā. Tiek pieņemts, ka maksimālā pieņemamā maksa pieaug par 2% gadā.

Atkritumu apglabāšanas maksas efekts uz šķirošanas punktu pieejamību, E_a , ir funkcija no uztvertās un pieņemamās atkritumu apglabāšanas maksas attiecības (skat. 2.11.att.). Uztvertā atkritumu apglabāšanas maksa tiek noteikta pēc sakarības:

$$M'_a = \int_{t=0}^{t=1} \left(\frac{M_a - M'_a}{t'} \right) (t) \cdot dt + M_a^{init} \quad (2.23)$$

kur M'_a – uztvertā atkritumu apglabāšanas maksa, EUR/t;
 M_a – atkritumu apglabāšanas maksa, EUR/t;
 t' – uztveršanas laiks, gadi;
 M_a^{init} – sākotnējā atkritumu apglabāšanas maksa, EUR/t.

2.11. attēlā parādītais atkritumu apglabāšanas maksas efekts E_a ir nelineāra sakarība, kas nosaka, ka, uztvertajai maksai arvien pietuvojoties pieņemamajai maksai, pieaug atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu interese samazināt apglabājamo atkritumu apjomu. Lai to panāktu, uzņēmumi ierīko šķirošanas punktus, tādējādi palielinot to pieejamību patērētājiem un panākot lielāku atšķirotu materiālu daudzumu un mazākus izdevumus par atkritumu apglabāšanu. Tādējādi maksas attiecības vērtībai tuvojoties 1, paātrinās šķirošanas punktu pieejamības palielināšanās. Kad uztvertā maksa pārsniegusi pieņemamo maksu (attiecība > 1), paātrinājums samazinās un pie noteiktas maksas attiecības izlīdzinās.



2.11.att. Atkritumu apglabāšanas maksas efekts uz šķirošanas punktu pieejamību

Bez atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu ekonomiskajiem apsvērumiem, šķirošanas punktu ierīkošanu var veicināt arī patērētāju pieprasījums. Patērētāju pieprasījuma efekts uz šķirošanas punktu pieejamību, E_u , nosaka, ka, pieaugot pieprasījumam pēc šķirošanas punktu ierīkošanas, atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumi uz to atbild, palielinot šķirošanas punktu pieejamību. Efekts E_u ir nelineāra sakarība, kas tiek noteikta, attiecinot patērētāju relatīvo pieprasījumu laikā t pret sākotnējo relatīvo patērētāju pieprasījumu un šo attiecību kāpinot pakāpē j , kas raksturo šķirošanas punktu ierīkošanas ātruma jutību pret patērētāju relatīvo pieprasījumu. Tā kā reālais patērētāju pieprasījumu skaits nav zināms, tad tiek pieņemts, ka sākotnējo pieprasījumu var izteikt ar relatīvu lielumu, kas vienāds ar 1. Pieprasījumam mainoties laikā atkarībā no sabiedrības normu izmaiņām un izmaiņām atkritumu apsaimniekošanas un neērtību izmaksu attiecībā, tiek iegūts relatīvais pieprasījums laikā t . Pieprasījums atkarībā no sabiedrības normām mainās atbilstoši normālā sadalījuma funkcijai. Sabiedrības normām esot zemām, tikai

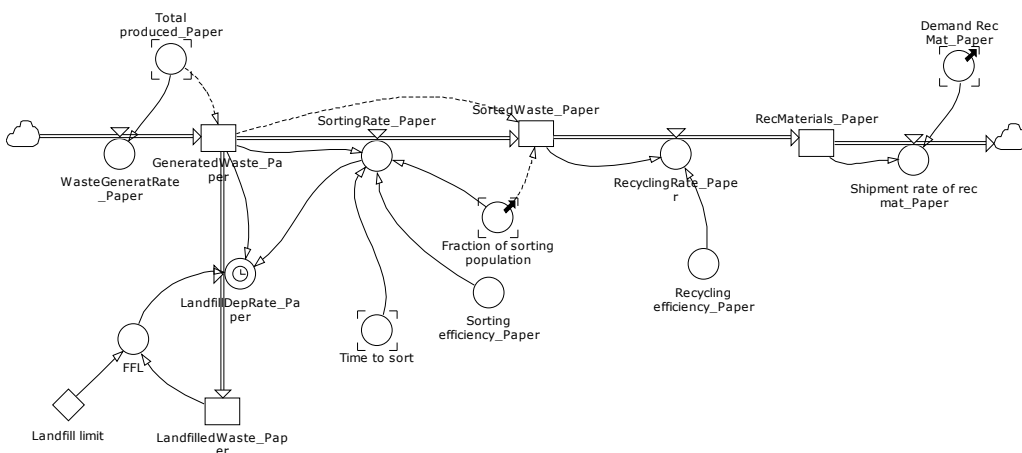
neliela daļa patērētāju izvēlēsies pieprasīt šķirošanas punktu ierīkošanu. Sabiedrības normām pieaugot, pieaug arī patērētāju pieprasījums, un tikai neliela daļa patērētāju pieprasīs šķirošanas punktu ierīkošanu pie augsta sabiedrības normu līmeņa. Savukārt, izmaksu attiecībai tuvojoties vērtībai 1, arvien vairāk patērētāju pieprasīs šķirošanas punktu ierīkošanu. Attiecībai pārsniedzot vērtību 1, pieprasījumu daudzums arvien vēl pieaugs līdz sasniegs noteiktu līmeni (līdzīgi kā 2.11.attēlā parādītais uztvertās un pieņemamās atkritumu apglabāšanas maksas attiecības efekts). Tiek pieņemts, ka sabiedrības normas un izmaksu attiecība pieprasījumu pēc šķirošanas punktiem ietekmē vienlīdz spēcīgi.

Kā minēts iepriekš, šķirošanas punktu pieejamībai ir liela nozīme kopējā atkritumus šķirojošo patērētāju īpatsvara noteikšanā, kas, savukārt, tiek izmantots kā viens no noteicošajiem lielumiem atkritumu apsaimniekošanas modulī.

2.2.3. 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. Tas nozīmē, ka ik gadu radīto atkritumu plūsmas ātrums ir vienāds ar ikgadējo pieprasīto materiālu apjomu, kura sākotnējā vērtība ir arī kopējo radīto atkritumu krājuma sākotnējā vērtība (skat. 2.12.att.).



2.12.att. Atkritumu apsaimniekošanas moduļa attēlojums krājumu-plūsmu diagrammā

Tiek pieņemts, ka sistēmā darbojas viens atkritumu apsaimniekošanas uzņēmums, kas reprezentē visu tirgū esošo atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu kopumu un kura rīcības rezultātā visi radītie iepakojuma atkritumi var tikt apglabāti atkritumu poligonā vai arī pārstrādāti ar noteiktu šķirošanas un pārstrādes efektivitātes koeficientu (attiecīgi $p=1$ vai $p<1$, kur p – poligonā apglabātais iepakojuma atkritumu īpatsvars). Līdz ar to radītie atkritumi tiek apsaimniekojami, 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.

Sašķīroto atkritumu daudzums ir atkarīgs no kopējā šķirojošo patērētāju īpatsvara un šķirošanas efektivitātes un tiek aprēķināts sekojoši:

$$W_s = \frac{W_r^{kop} \cdot S_d \cdot \alpha}{t_s} \quad (2.24)$$

kur W_s – sašķīrotais atkritumu daudzums, t gadā;
 W_r^{kop} – kopējais radīto atkritumu daudzums, t;
 S_d – kopējais šķirojošo patērētāju īpatsvars;
 α – šķirošanas efektivitātes koeficients;
 t_s – šķirošanas laiks, gadi.

Mājsaimniecībās sašķīrotie iepakojuma materiāli pārsvārā ir ar piemaisījumiem, kas konkrētajā plūsmā nav pārstrādājami, tādēļ tiek apglabāti, piemēram, pārtikas paliekas, uzlīmes, etiķetes, korķi u.c. Šķirošanas efektivitātes koeficients α raksturo sašķīroto materiālu tīrību un kvalitāti. Koeficients α dažādiem materiāliem atšķiras (skat. 2.2.tabulu).

2.2.tabula

Modeļa aprēķinos izmantotās α un β vērtības [198]

Materiāla veids	α	β
Papīrs	0,86	1,0
Stikls	0,94	1,0
Plastmasa, t.sk. PET	0,80	0,74
Alumīnijs	0,95	0,93
Pārējais metāls (skārds)	0,80	0,84

Kopējo radīto atkritumu krājuma vērtība ir vienāda ar tajā ieejošās ik gadu radīto atkritumu plūsmas un no tā izejošo sašķīroto un apglabāto atkritumu plūsmu starpību (skat. (2.25) formulu).

$$W_r^{kop} = \int_{t=0}^{t=1} (W_r - W_s - W_a)(t) \cdot dt + W_r^{init} \quad (2.25)$$

kur W_r^{kop} – kopējais radīto atkritumu daudzums, t;
 W_r – radītais atkritumu daudzums, t gadā;
 W_s – sašķīrotais atkritumu daudzums, t gadā;
 W_a – apglabātais atkritumu daudzums, t gadā;
 W_r^{init} – sākotnējais radīto atkritumu daudzums, t.

Stikla iepakojuma gadījumā no kopējā radīto atkritumu krājuma iziet trīs plūsmas – sašķīrotais, atkārtoti izmantotais un apglabātais iepakojums, un formula (2.25) tiek papildināta ar atgrieztā atkārtoti izmantojamā iepakojuma plūsmu. Saskaņā ar J.Brizgas et.al. [98] veiktā pētījuma datiem, atgriezti atpakaļ tiek aptuveni 60% dzērienu stikla iepakojuma. Darbā tiek pieņemts, ka atkārtoti lietojamā dzērienu stikla iepakojuma īpatsvars ir 45% visa primārā stikla iepakojuma, līdz ar to atkārtoti tiek izmantots aptuveni 27% stikla iepakojuma. No kopējā radīto iepakojuma atkritumu daudzuma tas sastāda

nepilnus 9%. Precīzāku datu par atkārtoti izmantotā iepakojuma daudzumu un iepakojuma atkārtotas lietošanas paradumiem trūkst, tomēr pilnībā iepakojuma atkārtoto izmantošanu ignorēt nedrīkst. Tāpēc modelī tiek pieņemts, ka sākotnēji atgrieztā atkārtoti izmantotā stikla iepakojuma īpatsvars ir 60%, bet ar laiku tas pieaug atkarībā no šķirojošo patērētāju īpatsvara. Atgrieztā atkārtoti izmantojamā iepakojuma plūsma tiek aprēķināta sekojoši:

$$W_u = \frac{W_r^{kop} \cdot \vartheta \cdot (AI + (1 - AI) \cdot S_d)}{t_u} \quad (2.26)$$

kur W_u – atgrieztā atkārtoti izmantojamā stikla iepakojuma daudzums, t gadā;

W_r^{kop} – kopējais radīto atkritumu daudzums, t;

ϑ – atkārtoti izmantojamā stikla iepakojuma īpatsvars;

AI – atgrieztā iepakojuma īpatsvars;

S_d – kopējais šķirojošo patērētāju īpatsvars;

t_u – atgriešanas laiks, gadi.

Apglabātais iepakojuma atkritumu daudzums uzkrājas sadzīves atkritumu poligonos. Darba ietvaros tika veikts Latvijas 11 poligonu kopējās ietilpības novērtējums. Pieņemot, ka apglabājot atkritumi tiek sablīvēti līdz 1 t/m^3 blīvumam, kopējā aprēķinātā poligonu ietilpība sastāda aptuveni 23,5 milj.t. (aprēķinā netiek ņemta vērā ikdienas pārklājumu masa, kas arī aizņem daļu poligona tilpuma). Ņemot vērā līdz 2007.gadam (simulācijas perioda sākums) ekspluatācijā nodotajos poligonos apglabāto atkritumu daudzumu un attiecinot to pret iepakojuma atkritumu īpatsvaru kopējā sadzīves atkritumu masā, tika iegūta iepakojuma atkritumiem nosacīti paredzētā poligonu ietilpība. Iepakojuma atkritumi sastāda aptuveni 20% kopējā atkritumu daudzuma, tādējādi aprēķinātā poligonu ietilpība ir 4,56 milj.t. Modelī tiek pieņemts, ka poligonu ietilpība palielināta netiks, kas saskan ar Atkritumu apsaimniekošanas valsts plānā 2013.-2020.gadam noteikto [88].

Attiecinot kopējo apglabāto visu iepakojuma materiālu (atkritumu) daudzumu pret poligonu ietilpību, tiek iegūta poligonu aizpildīšanās pakāpe. Uzsākot simulāciju, sākotnējais poligonos apglabātais atkritumu daudzums ir 0 t, tādējādi, poligonu aizpildīšanās pakāpe ir vienāda ar nulli. Modelī pieņemts, ka poligonu aizpildīšanās pakāpe parāda, cik liela daļa atkritumu poligonu jau ir aizpildīta, un raksturo slodzi uz vidi. Līdz ar to uz poligonu aizpildīšanās pakāpes pieaugumu sabiedrība reaģē, paaugstinot iepakojuma un poligonu nodokļus.

Līdzīgi, kā kopējo radīto atkritumu krājuma gadījumā, tiek aprēķināta arī sašķirotu atkritumu krājuma vērtība (skat. (2.27) formulu).

$$W_s^{kop} = \int_{t=0}^{t=1} (W_s - W_p)(t) \cdot dt + W_s^{init} \quad (2.27)$$

kur W_s^{kop} – kopējais sašķirotu atkritumu daudzums, t;

W_s – sašķirotais atkritumu daudzums, t gadā;

W_p – pārstrādātais atkritumu daudzums, t gadā;

W_s^{init} – sākotnējais sašķirotu atkritumu daudzums, t.

Sākotnējais sašķirotu atkritumu daudzums 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 β , kas raksturo materiālu masas un kvalitātes zudumu (materiālu degradācija) pārstrādes rezultātā. Pārstrādes efektivitātes koeficients dažādiem

materiāliem atšķiras (skat. 2.2.tabulu). Pārstrādātie materiāli tiek uzkrāti un pēc pieprasījuma ar noteiktu ātrumu piegādāti iepakojuma ražotājam. Pārstrādāto materiālu uzkrājums tiek aprēķināts pēc sakarības:

$$W_p^{kop} = \int_{t=0}^{t=1} \left(\frac{W_s^{kop} \cdot \beta}{t_p} - S_p \right) (t) \cdot dt + W_p^{init} \quad (2.28)$$

kur W_p^{kop} – kopējais uzkrātais pārstrādāto materiālu daudzums, t;

W_s^{kop} – kopējais sašķirotu atkritumu daudzums, t;

β – pārstrādes efektivitātes koeficients;

t_p – pārstrādes laiks, gadi;

S_p – iepakojuma ražotājam piegādātais pārstrādāto materiālu daudzums, t gadā;

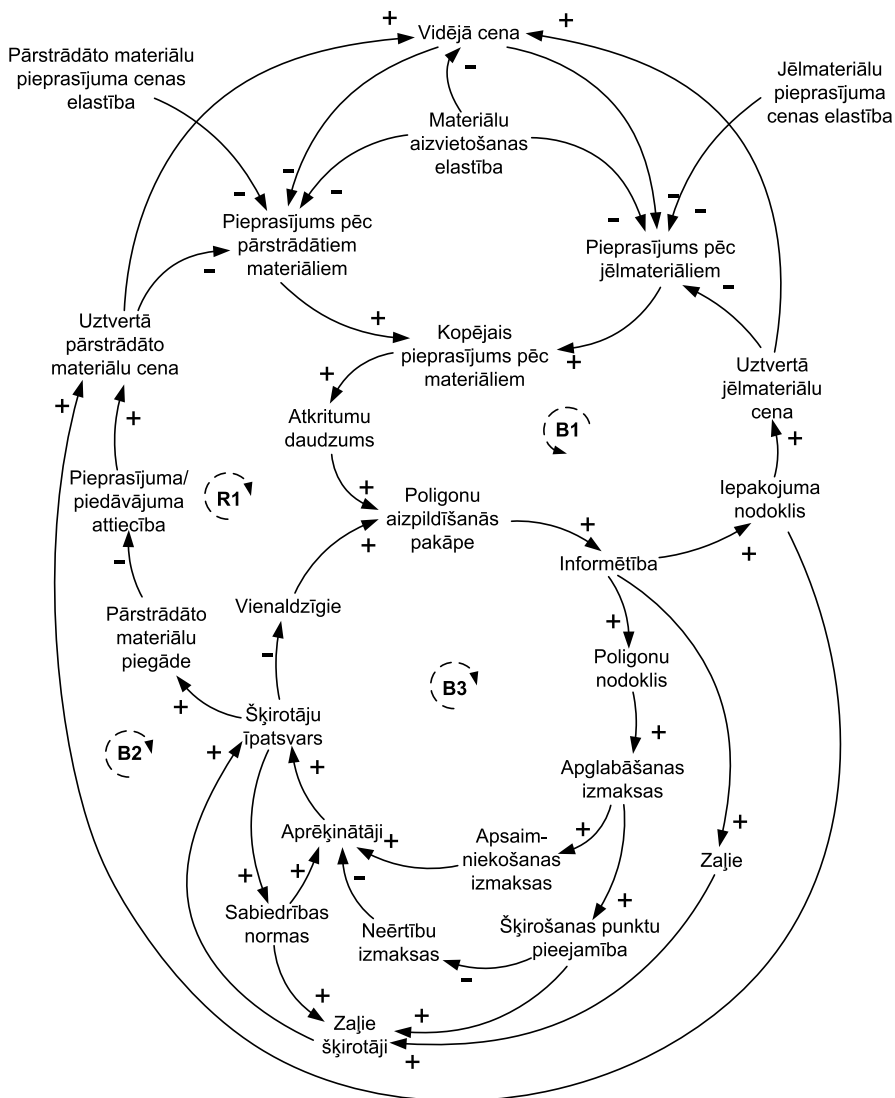
W_p^{init} – sākotnējais pārstrādāto atkritumu daudzums, t.

Pārstrādāto materiālu piegādes apjoms modelī tiek formulēts, balstoties uz pieprasījumu pēc materiāliem vai uzkrājumā esošo pārstrādāto materiālu apjomu. Maksimālais iespējamais piegādes apjoms tiek noteikts pēc apjoma uzkrājumā un minimālā pasūtījuma izpildei nepieciešamā laika daudzuma. Normālos apstākļos, kad uzkrājums ir pietiekams, piegādātais materiālu apjoms ir vienāds ar pieprasīto apjomu. Kad uzkrājumā esošais materiālu apjoms ir mazāks par pieprasīto, piegādāts tiek tikai tik daudz materiālu, cik uzkrājumā ir pieejams. Modelī izmaiņas pārstrādāto materiālu piegādes apjomā izraisa materiālu pieprasījuma-piedāvājuma attiecības izmaiņas, kas savukārt ietekmē materiālu cenu. Modelī tiek pieņemts, ka materiālu pārstrādātāji savu rīcību balsta uz materiālu pieprasījumu laika vienībā t , t.i. modelis neparedz stabilu, nemainīgu ilgtermiņa pieprasījumu, kas varētu mazināt pārstrādātāju riskus, piemēram, palielinot pārstrādes jaudas. Līdz ar to pārstrādāto materiālu cenu un pieprasījuma nenoteiktības rezultātā pārstrādātāju rīcība var mainīties neskaitāmas reizes.

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.

2.3. Sistēmas cēlonisko cilpu diagramma

Cēlonisko cilpu diagramma tiek izmantota būtiskākās informācijas attēlošanai, tādēļ to var uzskatīt par analizējamās sistēmas konceptuālo modeli. Cēlonisko cilpu diagrammu var izmantot arī secinājumu izdarīšanai par attiecībām starp sistēmas uzbūvi un tās dinamisko uzvedību un šo attiecību attēlošanai [137]. 2.13. attēlā parādīta darbā modelētās iepakojuma ražošanas un atkritumu apsaimniekošanas sistēmas cēlonisko cilpu diagramma.



2.13.att. Modelētās sistēmas cēlonisko cilpu diagramma

2.13.attēlā parādītā cēlonisko cilpu diagramma ar atgriezeniskajām saitēm uzskatāmi parāda savstarpējo mijiedarbību starp modeļa daļām. Atkarībā no pārstrādāto un jēmmateriālu cenām un to attiecības pret vidējo materiālu cenu iepakojuma ražotājs izlemj, kādus materiālus un kādā apmērā 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 šķirotu iepakošanas 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 patērētājiem iesaistīties atkritumu šķirošanā, kļūstot par Zaļajiem šķirotājiem. Kā Aprēķinātāji, tā arī Zaļie šķirotāji palielina kopējo šķirojošo patērētāju īpatsvaru, tādējādi paaugstinot sabiedrības normas. Sabiedrības normas, savukārt, rada šķirošanas uzvedības kā normas pieņemšanas difūziju, vēl vairāk palielinot Aprēķinātāju un Zaļo šķirotāju daudzumu (veidojas pastiprinošā cilpa (shēmā atsevišķi nav parādīta), kas virza 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” (*angļu val. – rebound effect*), kas rodas, palielinoties kopējam pieprasījumam pēc iepakošanas materiāliem lētāku (pārstrādāto) materiālu īpatsvara pieauguma rezultātā. Atsitiena efekts cēlies no enerģētikas ekonomikas nozares un var tikt noteikts ar ieejošo-izejošo plūsmu analīzes (*angļu val. – input-output analysis*), aprites cikla analīzes un mājāsaimniecību ietekmes uz vidi analīzes (*angļu val. – analysis of household environmental impacts*) palīdzību [199]. Šajā darbā atsitiena efekts ir identificēts, ar sistēmdinamikas metodi analizējot atkritumu apsaimniekošanas sistēmu un tās ietekmi uz materiālu patēriņa izmaiņām. Vairums literatūras avotu aplūko pretējo iedarbību, t.i. kā ekodizains, ekoeffektivitāte un patērētāju uzvedība ietekmē radīto atkritumu daudzumu [200,201]. Literatūras analīze ļauj secināt, ka iepriekš veiktajos atkritumu apsaimniekošanas sistēmu pētījumos atsitiena efekts nav aprakstīts, līdz ar to šis ir pirmais gadījums, kad tas tiek identificēts šādā kontekstā.

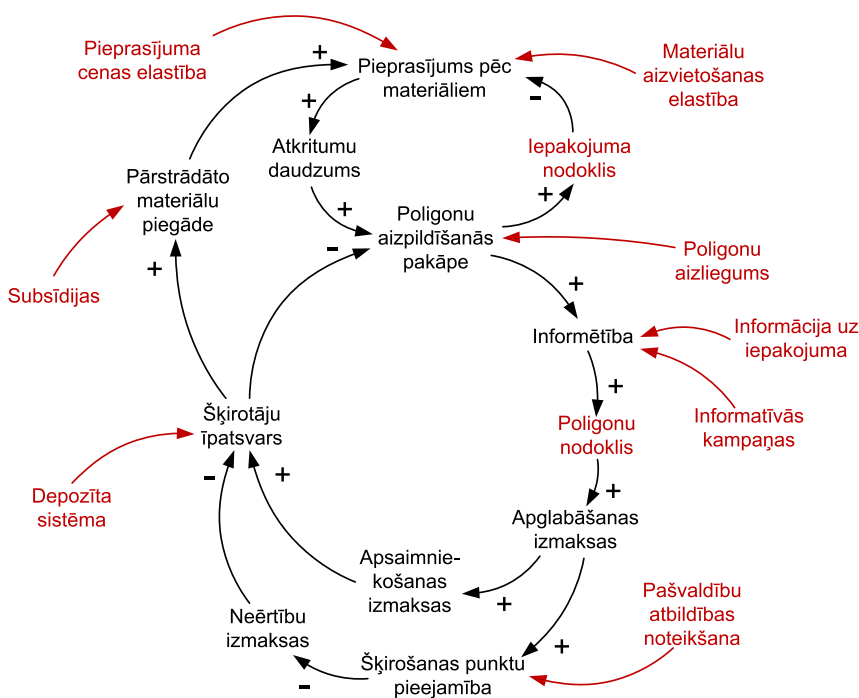
2.4. Sistēmu ietekmējošo politiku veidošana

Esošo iepakošanas atkritumu apsaimniekošanas sistēmu iespējams izmainīt, pielietojot dažādas stratēģijas, kuru pamatā ir politiku veidošana. Sistēmdinamikā politiku veidošana ir lēmumu pieņemšanas noteikumu izmaiņšana. Izmaiņas tiek panāktas, regulējot plūsmas, labojot esošās vai izveidojot jaunas atgriezenisko cilpu struktūras, stiprinot sistēmas mērķa sasniegšanu virzošās cilpas un vājinot bremzējošās [137]. Veidojot politikas dizainu, tiek izsvērts, kādi jauni lēmumi, stratēģijas un struktūras varētu tikt ieviestas reālajā sistēmā. Tālāk tiek analizēts, kā izveidotais politikas dizains ietekmē modelēto sistēmu. Tiek noteikts, vai dažādi politikas instrumenti mijiedarbojas savā starpā

un vai šī iedarbība ir sinerģējoša vai kompensējoša. Tā kā reālās sistēmas ir nelineāras, politikas instrumentu kombinācijas visbiežāk nesniedz individuālo efektu summu. Bieži, politikas instrumentiem mijiedarbojoties, to efekts tiek pastiprināts un tiek radītas ievērojamas sinerģijas. Visbeidzot tiek veikta politikas instrumentu jutības analīze, nosakot, cik noturīgs ir piedāvātās politikas efekts pie dažādiem scenārijiem un pieņēmumiem [132].

Lai paaugstinātu primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas 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. 2.14.attēlā redzama vienkāršota cēlonisko cilpu diagramma, kas parāda modelētos politikas instrumentus un to ietekmētos sistēmas posmus.

Atkritumu apsaimniekošanas valsts plānā 2013.-2020.gadam [88] tiek piedāvāts izvērtēt vairāku politikas instrumentu ieviešanu pārstrādāto atkritumu īpatsvara celšanai. Starp tiem ir depozīta sistēmas ieviešana dzērienu iepakojumam un aizliegums poligonos apglabāt materiālus, kuriem pastāv pārstrādes iespējas. Tiek arī piedāvāts izvērtēt iepakojuma un poligону nodokļu paaugstināšanu, sabiedrības informētības celšanu un pašvaldību atbildības noteikšanu par pārstrādes mērķu sasniegšanu.



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

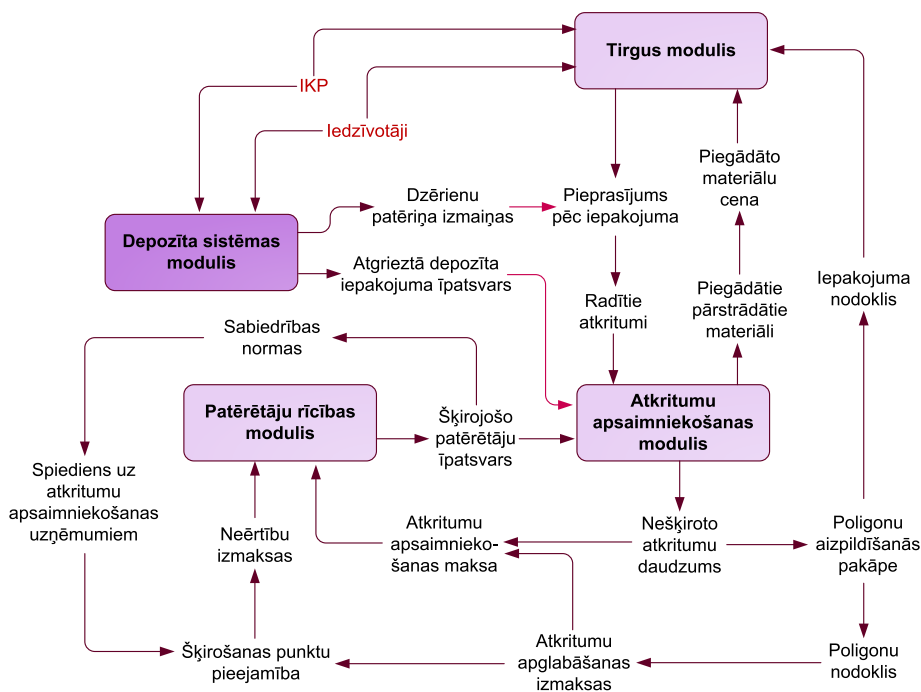
Kā redzams 2.14.attēlā, darbā modelēti un analizēti ne vien Atkritumu apsaimniekošanas valsts plānā piedāvātie, bet arī citi politikas instrumenti. Politikas instrumenti izvēlēti tā, lai tiktu koriģēta noteiktu atkritumu apsaimniekošanas sistēmas posmu vai dalībnieku uzvedība. Detalizētāks izvēlēto instrumentu apraksts sniegts turpmākajās nodaļās.

2.4.1. Depozīta sistēma

Depozīta sistēmas ieviešana nozīmētu būtiskas pastāvošās primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas izmaiņas. Ja dalītās atkritumu vākšanas sistēmā teorētiski iespējama visu primārā iepakojuma materiālu veidu apsaimniekošana, tad depozīta sistēmā apsaimniekots tiek tikai noteikta veida dzērienu iepakojums. Jāatzīmē, ka depozīta sistēma tiek ieviesta papildus jau esošajai dalītās atkritumu vākšanas sistēmai. Tādējādi, ieviešot depozīta sistēmu, noteikta veida dzērienu iepakojums – PET un stikla pudeles un alumīnija skārdenes – tiek nodalīts no dalītās atkritumu vākšanas sistēmas, samazinot tajā apsaimniekotā iepakojuma apjomu.

Modelī depozīta sistēma veidota kā atsevišķs modulis, kura rezultāti tiek izmantoti par izejas lielumiem 2.2. nodaļā aprakstītajam modelim (skat. 2.15.att.).

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. Modeļa pamata parametrus ietekmē eksogēnie mainīgie – iekšzemes kopprodukts un iedzīvotāju skaits.



2.15.att. Modificētā modeļa uzbūves shēma (eksogēnie mainīgie apzīmēti ar sarkanu krāsu)

Modelī attiecībā uz iepakojumu tiek izdarīti sekojoši pieņēmumi:

- 1) Depozīta iepakojuma īpatsvars ir nemainīgs visu simulācijas periodu, t.i. 30% visa primārā iepakojuma, t.sk. 80% visa PET un alumīnija iepakojuma un 50% visa stikla iepakojuma;
- 2) 90% stikla iepakojuma ir lietojami atkārtoti, bet atlikušie 10% ir vienreiz lietojamais iepakojums.

Sākotnējā modeļa uzbūve tiek izmainīta, papildinot atkritumu apsaimniekošanas moduli (skat. 2.16.att.).

2.16.attēlā redzams, ka no kopējā radīto atkritumu krājuma iziet vēl viena plūsma, kas raksturo depoziāta sistēmā atgrieztā iepakojuma daudzumu. Stikla iepakojuma gadījumā tiek pieņemts, ka līdz ar depoziāta sistēmas ieviešanu atkārtoti lietojamā iepakojuma apsaimniekošana notiek tikai tās ietvaros, t.i. vairs nepastāv brīvprātīgās vienošanās shēmas, kā tas ir dalītās atkritumu vākšanas sistēmas gadījumā.

Nosakot ar depoziāta sistēmas palīdzību ik gadu sašķirotā iepakojuma daudzumu, tiek ņemts vērā atgrieztā iepakojuma īpatsvars (skat. (2.29) formulu).

$$W_s^{DS} = \frac{W_r^{kop} \cdot D_d \cdot AI}{t_s} \quad (2.29)$$

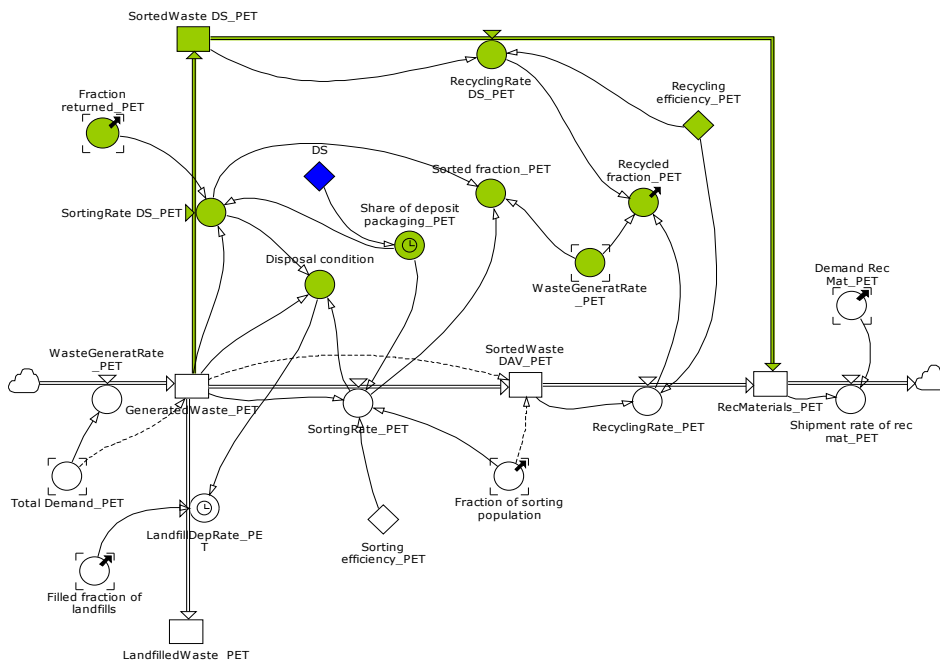
kur W_s^{DS} – depoziāta sistēmā sašķirotais atkritumu daudzums, t gadā;

W_r^{kop} – kopējais radīto atkritumu daudzums, t;

D_d – depoziāta iepakojuma īpatsvars;

AI – depoziāta sistēmā atgrieztā iepakojuma īpatsvars;

t_s – šķirošanas laiks, gadi.



2.16.att. Atbilstoši depoziāta sistēmas ieviešanai modificēta atkritumu apsaimniekošanas moduļa krājumu-plūsmu diagramma

Depoziāta sistēmā atgrieztā iepakojuma īpatsvars atkarīgs no patērētāju uzvedības. Savukārt, depoziāta sistēmā savākto un tālāk pārstrādāto materiālu apjoms tiek noteikts līdzīgi kā dalītās atkritumu vākšanas sistēmā, t.i., reizinot kopējo depoziāta sistēmā sašķirotu atkritumu daudzumu ar pārstrādes efektivitātes koeficientu β (skat. 2.2.tabulu).

Tāpat, kā citu produktu gadījumā, arī dzērienu (un depoziāta iepakojuma) patēriņu veicina ekonomiskā izaugsme un kopējā labklājības līmeņa celšanās, bet bremzē iedzīvotāju skaita samazināšanās. Depoziāta sistēmas ieviešanas rezultātā mainās patērētāju

paradumi. Tam par iemeslu ir dzērienu cenas paaugstināšanās, kas rodas, tiem pievienojot depozīta maksu. Saskaņā ar patērētāju uzvedības matricu depozīta sistēmā (skat. 1.3.1. nodaļu), 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 atsaucis pieprasījumu pēc iepakojuma materiāliem (skat. (2.30) formulu).

$$P^{DS} = P - P \cdot D_d \cdot \frac{\Delta Q}{Q_0} \quad (2.30)$$

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

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

D_d – depozīta iepakojuma īpatsvars;

ΔQ – 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, depozīta sistēmā atgrieztā iepakojuma pārstrādes rezultātā izmainās arī kopējais pārstrādāto atkritumu īpatsvars, kas modelī tiek aprēķināts sekojoši:

$$PI = \frac{(PI_{DS} + PI_{DAVS})}{W_r} \quad (2.31)$$

kur PI – pārstrādāto atkritumu īpatsvars;

PI_{DS} – depozīta sistēmā pārstrādāto atkritumu daudzums, t gadā;

PI_{DAVS} – dalītās atkritumu vākšanas sistēmā pārstrādāto atkritumu daudzums, t gadā;

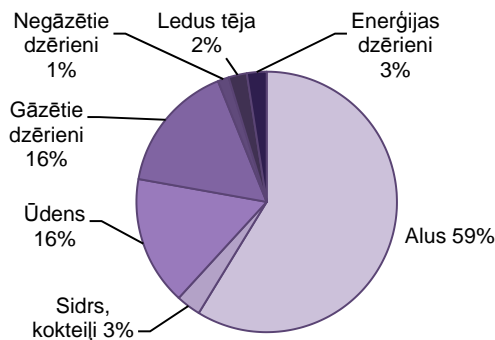
W_r – radītais atkritumu daudzums, t gadā.

PET un alumīnijs pārstrādāto materiālu tirgū ir pieprasītākie, tādējādi 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 depozīta sistēmas ieviešana mazina arī šķirošanas punktu ierīkošanas ātrumu dalītās atkritumu vākšanas sistēmā (formulā (2.20) efektu summai tiek pieskaitīts depozīta sistēmas ieviešanas efekts uz šķirošanas punktu pieejamību, kura vērtība ir konstanta un vienāda ar -1).

Depozīta iepakojuma daudzuma aprēķināšana

Depozīta sistēmā tiek iekļauts pamatā tikai noteikta veida dzērienu iepakojums. Citu valstu pieredze rāda, ka depozīta sistēmā iekļautie produkti visbiežāk ir alus un vieglie alkoholiskie dzērieni (kokteiļi, sidrs u.c.), ūdens un minerālūdens, kā arī atspirdzinošie dzērieni (limonāde, ledus tēja, sodas ūdens u.c.). Atsevišķās valstīs (Norvēģija, Zviedrija, Šveice) tiek pieļauta arī vīna pudeļu iekļaušana depozīta sistēmā. Savukārt, sulu, piena un piena kokteiļu iepakojums depozīta sistēmā iekļauts netiek higiēnas apsvērumu dēļ [202]. Saskaņā ar VARAM 2010.gadā izstrādāto koncepciju par obligātās dzērienu iepakojuma depozīta sistēmas ieviešanu [203], Latvijā depozīta sistēma varētu tikt piemērota alum,

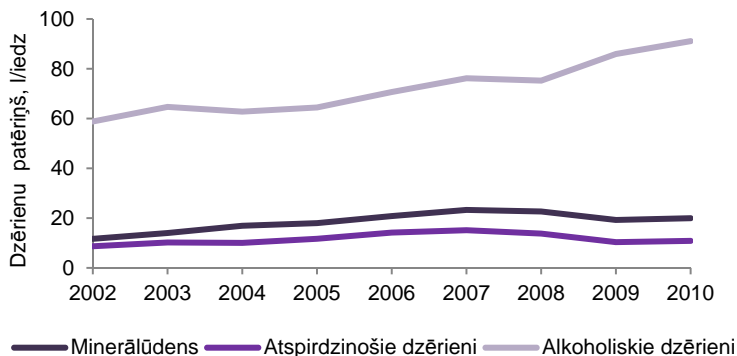
viegliem alkoholiskiem dzērieniem, atspirdzinošiem dzērieniem un ūdenim. 2.17. attēls parāda minēto dzērienu procentuālo sadalījumu Latvijas tirgū 2011.gadā.



2.17. att. Depozīta sistēmā iekļaujamo dzērienu patēriņa sadalījums Latvijā 2011.gadā [98]

Kā redzams, lielākā daļa depozīta iepakojuma būtu no alkoholisko dzērienu patēriņa (62%). Ievērojami mazāku daļu sastādītu atspirdzinošo dzērienu iepakojums (22%) un ūdens iepakojums (16%).

Kopumā dati par dzērienu iepakojuma apjomu, sadalījumu un pārstrādi Latvijā ir ļoti ierobežoti, jo Latvijā dati par iepakojumu tiek vākti tikai pa materiālu veidiem visām produktu grupām kopā, atsevišķi neizdalot arī primāro, sekundāro un transporta iepakojumu. Kā Brizga et.al. [98] norāda, šo datu nepilnību Latvijā atzīst arī vairāki starptautiski pētījumi par atkritumu sektora attīstību ES. Tāpēc, lai prognozētu depozīta iepakojuma apjomu, tika veikta regresijas analīze, izmantojot informāciju par dažādu dzērienu patēriņu uz vienu iedzīvotāju. 2.18. attēls parāda depozīta sistēmā iekļaujamo dzērienu patēriņa izmaiņas Latvijā 2002.-2010.gadā.



2.18. att. Depozīta sistēmai pievienojamo dzērienu patēriņš uz vienu Latvijas iedzīvotāju, 2002.-2010.gads [204]

Regresijas analīzes rezultāti parāda ciešu dzērienu patēriņa (l/iedz.) saistību ar IKP un iedzīvotāju skaitu. Līdz ar to, veicot IKP un iedzīvotāju skaita izmaiņu prognozes, iespējams prognozēt arī dzērienu patēriņa un izlietotā iepakojuma apjoma izmaiņas. Minerālūdens patēriņa aprēķināšanai tika iegūts sekojošs regresijas vienādojums ($R^2=0,97$):

$$B_M = 2,08 \cdot 10^{-6} \cdot IKP - 0,118 \cdot 10^{-6} \cdot i + 23,84 \quad (2.32)$$

kur B_M – minerālūdens patēriņš, l/iedz. gadā;
 IKP – iekšzemes kopprodukts, tūkst. EUR;
 i – iedzīvotāju skaits.

Savukārt, atspirdzinošo dzērienu patēriņš modelī tiek aprēķināts pēc (2.33) regresijas vienādojuma ($R^2=0,96$).

$$B_C = 1,62 \cdot 10^{-6} \cdot IKP + 6,69 \cdot 10^{-6} \cdot i - 19,19 \quad (2.33)$$

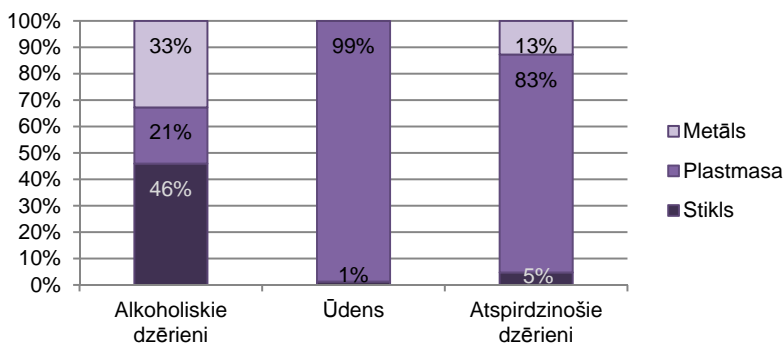
kur B_C – atspirdzinošo dzērienu patēriņš, l/iedz. gadā;
 IKP – iekšzemes kopprodukts, tūkst. EUR;
 i – iedzīvotāju skaits.

Mazalkoholisko kokteiļu un alus jeb alkoholisko dzērienu patēriņa aprēķināšanai izmantots (2.34) vienādojums ($R^2=0,96$).

$$B_A = 448,27 - 0,935 \cdot 10^{-6} \cdot IKP - 166,5 \cdot 10^{-6} \cdot i \quad (2.34)$$

kur B_A – alkoholisko dzērienu patēriņš, l/iedz. gadā;
 IKP – iekšzemes kopprodukts, tūkst. EUR;
 i – iedzīvotāju skaits.

Tā kā depozīta maksa tiek pievienota iepakojuma vienībai, nepieciešams aprēķināt kopējo dzērienu iepakojuma vienību skaitu. Saskaņā ar Brizgas et.al. [98] publicētajiem datiem 96% stiklā iepakoto dzērienu sastāda alkoholiskie dzērieni. Arī metāla iepakojums tiek izmantots pamatā alkoholisko dzērienu iepakojšanai (86%). Savukārt, plastmasas iepakojumā iepakotie dzērieni sadalās līdzīgi: 38% – atspirdzinošo dzērienu, 33% – ūdens un 29% – alkoholisko dzērienu. Aplūkojot dzērienu sadalījumu pēc iepakojuma materiālu veidiem, redzamas būtiskas atšķirības (skat. 2.19. att.)



2.19. att. Dzērienu iepakojuma sadalījums pēc materiālu veidiem (izmantoti Brizga et.al. [98] publicētie dati)

Kā 2.19. attēls parāda, ūdens pamatā tiek iepakots tikai plastmasas iepakojumā. Arī atspirdzinošie dzērieni tiek lielākoties iepakoti plastmasas iepakojumā, savukārt alkoholisko dzērienu iepakojšanai tiek izmantoti visi trīs iepakojuma materiāli. Balstoties uz

ražotāju un tirgotāju sniegto informāciju [205], tika izdarīti pieņēmumi par iepakojuma tilpuma sadalījumu (skat. 2.3. tabulu).

2.3. tabula

Modeļa aprēķinos izmantotais iepakojuma tilpumu sadalījums

Iepakojuma tilpums	PET	Stikls	Metāls
0,33 l	-	20%	30%
0,5 l	30%	80%	70%
1,5 l	70%	-	-

Kopējais iepakojuma vienību skaits tiek iegūts, izmantojot dzērienu patēriņa datus un iepakojuma procentuālo sadalījumu pa materiālu veidiem, savukārt konkrētā veida iepakojuma vienību skaita iegūšanai izmantots arī tilpums (skat. (2.35) formulu).

$$PU_n = \frac{\sum(C_m \cdot F_n)}{V_n} \quad (2.35)$$

kur PU – iepakojuma vienību skaits, vienības;

B – dzēriena patēriņš, l/gadā;

F – iepakojuma veida īpatsvars no kopējā iepakojuma daudzuma;

V – iepakojuma tilpums, l;

n – iepakojuma veids (t.i. dotā tilpuma PET pudeles, alumīnija skārdenes, stikla pudeles);

m – dzēriena veids (ūdens, atspirdzinošie dzērieni, alkoholiskie dzērieni).

Analizējot dažādu iepakojuma veidu apjomus, paredzams, ka vislielāko iepakojuma daļu sastādīs stikla un PET pudeles ar tilpumu 0,5 l un alumīnija skārdenes ar tilpumu 0,33 l.

Modeļa aprēķinos atsevišķi tiek izdalīts arī vienreiz lietojamais un atkārtoti lietojamais iepakojums. Citu valstu pieredze rāda, ka depozīta sistēmā iespējamas dažādas kombinācijas, t.i. obligātās sistēmas piemērošana tikai atkārtoti lietojamam (Austrijā) vai tikai vienreiz lietojamam iepakojumam (Norvēģijā, Somijā), vai arī abiem iepakojuma veidiem vienlaicīgi (Dānijā, Igaunijā, Horvātijā, Nīderlandē u.c.). Latvijā darbojas brīvprātīgā depozīta sistēma atkārtoti lietojamam alus un minerālūdens primārajam un sekundārajam iepakojumam (stikla pudeles un pudeļu plastmasas kastes) [96]. Saskaņā ar A/S Aldaris [205] pārstāves teikto 90% stikla iepakojuma ir atkārtoti lietojami, atlikušie 10% būtu pieskaitāmi vienreiz lietojamam iepakojumam. Tiek pieņemts, ka, 2015.gadā Latvijā ieviešot depozīta sistēmu, atkārtoti lietojams būtu tikai stikla iepakojums, kaut gan citu valstu pieredze rāda, ka arī PET pudeles var tikt atkārtoti izmantotas un tādējādi iekļautas depozīta sistēmā. Lai gan Vācijas [206], Ungārijas [39] un Zviedrijas [35] pieredze parādījusi, ka pēc depozīta sistēmas ieviešanas samazinājies atkārtoti lietojamā iepakojumā iepakoto dzērienu īpatsvars tirgū, tomēr, tā kā precīzs samazinājuma apmērs nav zināms, tad modelī tiek pieņemts, ka visu simulācijas periodu tas saglabājas nemainīgs, t.i. 90%.

Ņemot vērā augstāk aprakstītos pieņēmumus, tika izveidota depozīta sistēmas moduļa daļa depozīta sistēmā iekļaujamā vienreiz un atkārtoti lietojamā iepakojuma apjoma aprēķināšanai. Moduļa nākošajā posmā tiek veikti patēriņa izmaiņu aprēķini. Zinot

produkta pieprasījuma cenas elastības koeficientu, dzērienu patēriņu pirms depozīta sistēmas ieviešanas, kā arī cenu pirms un pēc iepakojuma depozīta sistēmas ieviešanas, iespējams prognozēt patēriņa samazinājumu depozīta maksas piemērošanas rezultātā (skat. (2.36) formulu).

$$\Delta Q = e_d \cdot \frac{Q_0 \cdot (P_1 - P_0)}{P_0} \quad (2.36)$$

kur ΔQ – produkta pieprasījuma izmaiņas, vienības;
 e_d – pieprasījuma cenas elastības koeficients;
 Q_0 – produktu patēriņš pirms cenas izmaiņām, vienības;
 P_0 – cena pirms izmaiņām, EUR/vien;
 P_1 – cena pēc izmaiņām, EUR/vien.

Modelī izmantotas sekojošas dzērienu pieprasījuma cenas elastības koeficientu vērtības:

- ūdenim – $e_d = 0,36$ [207];
- atspirdzinošajiem dzērieniem – $e_d = 0,79$ [180];
- alkoholiskajiem dzērieniem – $e_d = 0,38$ [208].

Saskaņā ar mikroekonomikas teoriju visos gadījumos pieprasījums ir neelastīgs, jo $|e_d| < 1$, kas nozīmē, ka cenas izmaiņām ir relatīvi maza ietekme uz pieprasīto produkta daudzumu. Tomēr, salīdzinot dzērienu elastības koeficientus, redzams, ka alkoholiskajiem dzērieniem un ūdenim tie ir zemāki nekā atspirdzinošajiem dzērieniem. Tas nozīmē, ka cenu izmaiņas salīdzinoši maz ietekmē pieprasījumu pēc alkoholiskajiem dzērieniem un ūdens, turpretī pieprasījumu pēc atspirdzinošajiem dzērieniem cenas izmaiņas ietekmē vairāk.

Lai noteiktu produkta pieprasījuma izmaiņas, nepieciešams zināt produkta vidējo tirgus cenu pirms depozīta sistēmas ieviešanas. Latvijā šādi dati atsevišķi tiek uzskaitīti tikai alum [209]. Tā kā mazalkoholisko kokteiļu apjomi ir salīdzinoši nelieli un dati par šo produktu kategoriju tiek uzskaitīti tikai pēdējo gadu laikā, tiek pieņemts, ka to cena ir tāda pati, kā alus cena par litru.

Dzērienu nākotnes cenu prognozēšanai un modelēšanai izmantota sakarība ar IKP jeb tendences līkne. Alkoholisko dzērienu cena prognozēta, izmantojot sekojošu sakarību:

$$C_A = 0,0823 \cdot (G - 2002) + 0,798 \quad (2.37)$$

kur C_A – alkoholisko dzērienu cena, EUR/l;
 G – gads, kuram alkoholisko dzērienu cena tiek aprēķināta.

Lai noteiktu minerālūdens un atspirdzinošo dzērienu vidējās cenas, izmantoti dati par mājsaimniecības izdevumiem konkrēto dzēriena veidu iegādei uz vienu iedzīvotāju [204]. To izmaiņu prognozi iespējams veikt, izmantojot sakarību ar IKP. Izdevumus par minerālūdeni nākotnē iespējams aprēķināt sekojoši:

$$M_M = 1,82 \cdot IKP/i - 2,21 \quad (2.38)$$

kur M_M – izdevumi par minerālūdeni, EUR/iedz.;
 IKP – iekšzemes kopprodukts, tūkst. EUR;
 i – iedzīvotāju skaits, iedzīvotāji.

Izdevumus par atspirdzinošajiem dzērieniem iespējams prognozēt, izmantojot sakarību:

$$M_C = 2,67 \cdot IKP/i - 5,73 \quad (2.39)$$

kur M_C – izdevumi par atspirdzinošajiem dzērieniem, EUR/iedz.;

IKP – iekšzemes kopprodukts, tūkst. EUR;

i – iedzīvotāju skaits, iedzīvotāji.

Minerālūdens un atspirdzinošo dzērienu produkta vidējo cenu izmaiņas, zinot mājsaimniecības izdevumus par konkrēto dzērienu, iespējams aprēķināt, izmantojot (2.40) formulu.

$$C_D = \frac{M_m}{B_m} \quad (2.40)$$

kur C_D – dzēriena cena, EUR/l;

M – izdevumi par dzērienu, EUR/iedz.;

B – dzēriena patēriņš, l/gadā (prognozētais);

m – dzēriena veids (ūdens vai atspirdzinošie dzērieni).

Izmantojot aprēķinātās vidējās cenas par vienu litru dzēriena, iespējams noteikt katras iepakojuma vienības cenu atkarībā no tās tilpuma (skat. (2.41) formulu).

$$C_u = C_{Dm} \cdot V \quad (2.41)$$

kur C_u – cena par iepakojuma vienību, EUR/vien.;

C_D – dzēriena cena, EUR/l;

V – iepakojuma tilpums, l;

m – dzēriena veids (ūdens, atspirdzinošie dzērieni, alkoholiskie dzērieni).

Zinot sākotnējo pieprasījumu pēc dzērieniem un pieprasījuma izmaiņas depozīta sistēmas ieviešanas rezultātā, tiek noteikts pieprasījums pēc dzērieniem depozīta sistēmā. Šis lielums, savukārt, tiek lietots izmantoto depozīta iepakojuma vienību aprēķināšanai.

Depozīta maksa

Depozīta maksa ir depozīta sistēmas galvenais instruments. Tā ir dzēriena cenai pievienots maksājums par iepakojumu, kuru patērētājam ir iespējams atgūt, nododot tukšo iepakojumu taras pieņemšanas punktā vai automātā. Depozīta maksai jābūt tādā apmērā, lai tā motivētu patērētājus atgriezt izlietoto iepakojumu taras pieņemšanas vietās un vienlaikus – neradītu zaudējumus dzērienu ražotājiem paaugstinātās dzērienu cenas dēļ.

Darbā tiek pieņemts, ka vienreiz un atkārtoti lietojamam iepakojumam tiek piemērota atšķirīga depozīta maksa, kas atkarīga no iepakojuma:

- a) iegādes un savākšanas un mazgāšanas izmaksām atkārtoti lietojamā iepakojuma gadījumā;
- b) iegādes izmaksām vienreiz lietojamā iepakojuma gadījumā.

Depozīta maksas diferencēšanas priekšrocība ir zemāks krāpšanās risks iepakojumam, kurš ir vieglāk izgatavojams, pieejams citās valstīs bez depozīta maksas un kuram iespējams piemērot zemāku depozīta maksu. Savukārt maksas diferencēšanas mīnusi ir uzskaites problēmas tirdzniecībā, kā arī zemāki savākšanas rādītāji iepakojumam ar zemāku depozīta maksu.

Atkārtoti lietojamā iepakojuma izmaksas iespējams aprakstīt sekojoši:

$$I_a = \frac{I_s}{n} + \left(1 + \frac{1}{n}\right) \cdot I_m \quad (2.42)$$

kur I_a – atkārtoti lietojamā iepakojuma izmaksas, EUR/vien.;

I_s – sākotnējās izmaksas, EUR/vien.;

n – vidējais izmantošanas reižu skaits;

I_m – savākšanas un mazgāšanas izmaksas par vienu reizi, EUR/vien.

Tiek pieņemts, ka stikla iepakojuma izmaksas ir 0,13 EUR/vien., savākšanas un mazgāšanas izmaksas – 0,085 EUR/vien. [98], savukārt vidējais vienas vienības izmantošanas reižu skaits ir 15 [210]. Līdz ar to vienas atkārtoti lietojama iepakojuma vienības izmaksas ir 0,088 EUR, tāpēc tiek pieņemts, ka depozīta maksas apmērs par atkārtoti lietojama iepakojuma vienību ir 0,09 EUR.

Vienreiz lietojamā iepakojuma izmaksas ir vienādas ar iepakojuma iegādes izmaksām, kas PET pudelēm un alumīnija skārdenēm ir aptuveni 0,03 EUR/vien., bet stikla pudelēm – 0,13 EUR/vien. [98]. Vienreiz lietojamā iepakojuma depozīta maksa tiek noteikta iepakojuma iegādes izmaksu vidējās vērtības apmērā, t.i. 0,06 EUR/vien.

Neskatoties uz to, ka reālajā sistēmā iepakojuma izmaksas varētu pieaugt, kā rezultātā būtu jāpieaug arī depozīta maksas apmēram, modelī pieņemts, ka depozīta maksa visu simulācijas periodu saglabājas konstanta. Tāpat tiek pieņemts, ka patērētāji par atgriezto iepakojumu saņem pilnu atlīdzību, t.i. visu produkta iegādes brīdī samaksāto depozīta maksas apmēru.

Simulācijas procesā depozīta maksa tiek izmantota kā viens no politikas instrumentiem atgrieztā un pārstrādātā iepakojuma īpatsvara celšanai, tāpēc, izstrādājot un analizējot dažādus politikas scenārijus, depozīta maksas apmērs var tikt mainīts.

Iepakojuma pieņemšanas punktu skaits

Veidojot iepakojuma depozīta sistēmu, ir svarīgi noteikt, cik daudz taras pieņemšanas punktu un/vai automātu tiks uzstādīts. Zinātniskā literatūra nesniedz atbildi uz to, kā noteikt nepieciešamo punktu skaitu. Nav arī atrodami indikatori, pēc kuriem to varētu noteikt. Latvijā līdz šim veiktajos Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrijas pasūtītajos pētījumos minēts, ka pirmajā depozīta sistēmas gadā varētu tikt uzstādīti 106 [99] vai 107 [98] taras pieņemšanas automāti un ap 1500 [99] taras manuālās pieņemšanas punktu, tomēr nav norādīts, uz ko šie lielumi balstās.

Taras pieņemšanas automātu uzstādīšana ir lietderīga vietās ar lielu atgrieztā iepakojuma apjomu, kas visticamāk ir tirdzniecības vietas ar lielu patērētāju plūsmu, t.i. lielveikali un t.s. super- un hipermarketi. Literatūrā nav definēts, cik lielai jābūt tirdzniecības vietas platībai, lai tā tiktu uzskatīta par lielveikalu, tāpēc darbā tiek pieņemts, ka tās ir visas tirdzniecības vietas ar platību $\geq 400 \text{ m}^2$. Saskaņā ar Centrālās Statistikas pārvaldes datiem [211] Latvijā šādas platības tirdzniecības vietu skaits kopš 1999.gada ievērojami pieaudzis, 2008.gadā sasniedzot 318. Lai varētu paredzēt nepieciešamo taras pieņemšanas automātu skaitu, uzsākot depozīta sistēmu, nepieciešams prognozēt pārtikas un jaukta tipa tirdzniecības vietu skaitu. Lai to veiktu, sākotnēji tika izmantota regresijas analīze kopējās tirdzniecības platības noteikšanai valstī atkarībā no iekšzemes kopprodukta. Veicot analīzi, tika iegūts, ka starp abiem minētajiem parametriem determinācijas koeficients $R^2 = 0,94$. Savukārt regresijas līkni, kas raksturo tirdzniecības platību, iespējams aprakstīt ar sekojošu vienādojumu:

$$l_T = 0,266 \cdot IKP - 332494,21 \quad (2.43)$$

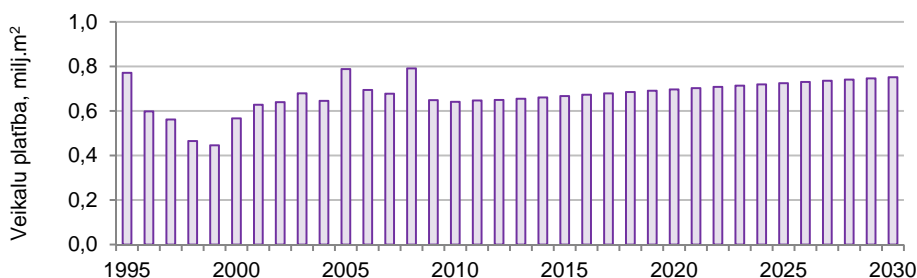
kur l_T – tirdzniecības platība, m²;
 IKP – iekšzemes kopprodukts, tūkst. EUR.

Iegūtais tirdzniecības platības aprēķina rezultāts tika tālāk izmantots pārtikas un jaukta tipa veikalu platības prognozēšanai līdz 2030.gadam, pielietojot sekojošu vienādojumu:

$$l_V = l_T \cdot 0,958 \cdot \left(\frac{IKP}{i}\right)^{-0,788} \quad (2.44)$$

kur l_V – pārtikas un jaukta tipa veikalu platība, m²;
 l_T – tirdzniecības platība, m²;
 IKP – iekšzemes kopprodukts, tūkst. EUR;
 i – iedzīvotāju skaits, iedzīvotāji.

Kā redzams 2.21.attēlā, laikā no 1995. – 2008.gadam pārtikas un jaukta tipa veikalu platībās vērojamas krasas svārstības – no gandrīz divkārsa krituma līdz divkārsam pieaugumam. Tas skaidrojams ar ekonomiskajiem rādītājiem valstī, kā arī iedzīvotāju paradumiem. Šādus faktoros prognozēt ir sarežģīti, tāpēc, pieņemot, ka pārtikas un jaukta tipa veikalu platību procentuālo lielumu no kopējās tirdzniecības platības ir iespējams aprakstīt ar iekšzemes kopproduktu uz iedzīvotāju (tūkst. EUR, 2000.gada salīdzināmās cenās) ($R^2=0,85$), tika iegūta pārtikas veikalu platības saglabāšanās esošajā apjomā ar pieaugumu, tuvojoties 2030.gadam.



2.20. att. Pārtikas un jaukta tipa veikalu kopējā platība, 1995.-2030.g. (aprēķinu rezultāti)

Pārtikas un jaukta tipa veikalu ar platību ≥ 400 m² skaita prognoze tika veikta, izmantojot sekojošu vienādojumu:

$$H_{\geq 400m^2} = \frac{l_V \cdot (0,0858 \cdot \ln(IKP/i) - 0,0653)}{111,35 \cdot \ln(IKP/i) + 19,925} \quad (2.45)$$

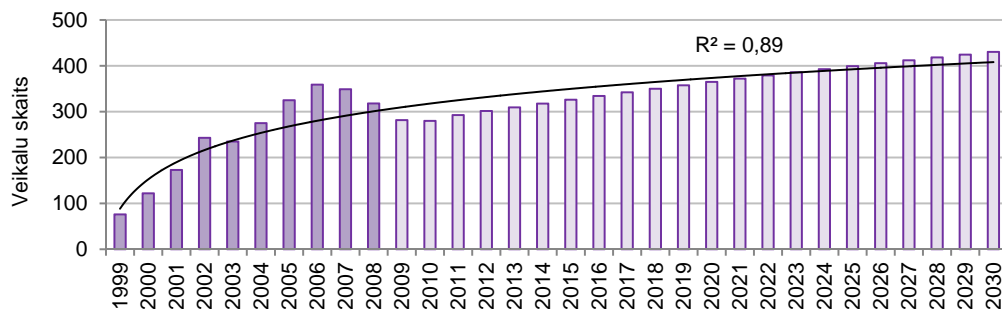
kur $H_{\geq 400m^2}$ – pārtikas un jaukta tipa veikalu ar platību ≥ 400 m² skaits, veikali;
 l_V – pārtikas un jaukta tipa veikalu platība, m²;
 IKP – iekšzemes kopprodukts, tūkst. EUR;
 i – iedzīvotāju skaits, iedzīvotāji.

2.21. attēls parāda, ka pārtikas lielveikalu skaits kopš 1999.gada ievērojami pieaudzis, piedzīvojot salīdzinoši nelielu kritumu pēc 2006.gada. Lielveikalu skaita prognoze parāda, ka, tuvojoties 2030.gadam, lielveikalu skaits atkal pieaugs. Pārtikas un

jaukta tipa veikalu ar platību $\geq 400 \text{ m}^2$ skaitu laikā no 1999.-2030.gadam iespējams aprakstīt ar regresijas vienādojumu:

$$H_{\geq 400\text{m}^2} = 92,215 \cdot \ln(G - 1998) + 88,526 \quad (2.46)$$

kur $H_{\geq 400\text{m}^2}$ – pārtikas un jaukta tipa veikalu ar platību $\geq 400 \text{ m}^2$ skaits, veikali;
 G – gads, kuram veikalu skaits tiek aprēķināts.



2.21. att. Pārtikas un jaukta tipa veikalu (platība $\geq 400 \text{ m}^2$) skaits, 1999.-2030.g. (vēsturiskie dati [211] un prognoze)

Lai noteiktu taras manuālās pieņemšanas punktu skaitu, tika veikta arī prognoze mazāku pārtikas un jaukta tipa veikalu skaitam. Kaut arī ārvalstu pieredze liecina, ka obligāta punktu izveide ir veikalos ar platību lielāku par 200 m^2 , darbā veikts aprēķins veikaliem ar platību $120 - 399 \text{ m}^2$. Tam pamatā ir vēsturisko statistikas datu pieejamības ierobežojumi. Pārtikas un jaukta tipa veikalu ($120 - 399 \text{ m}^2$) skaita prognoze tika veikta, izmantojot vienādojumu:

$$H_{120-399\text{m}^2} = \frac{l_V \cdot (0,0184 \cdot (IKP/i) + 0,0736)}{111,35 \cdot \ln(IKP/i) + 19,925} \quad (2.47)$$

kur $H_{120-399\text{m}^2}$ – pārtikas un jaukta tipa veikalu ar platību $120-399 \text{ m}^2$ skaits, veikali;
 l_V – pārtikas un jaukta tipa veikalu platība, m^2 ;
 IKP – iekšzemes kopprodukts, tūkst. EUR;
 i – iedzīvotāju skaits, iedzīvotāji.

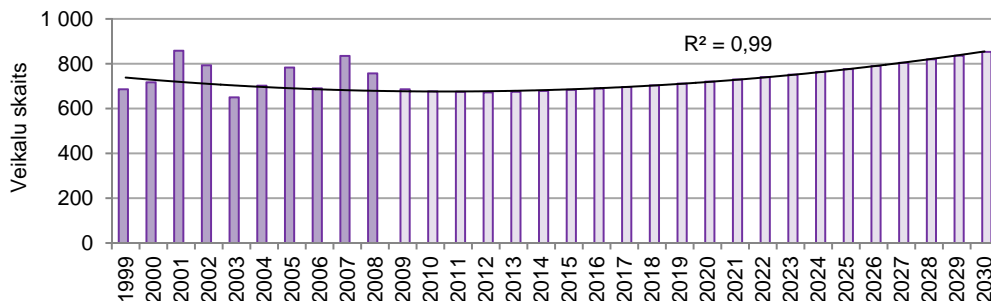
Kā redzams 2.22. attēlā, līdz 2008.gadam vērojamas veikalu skaita svārstības. Tā kā prognozēt īslaicīgas veikalu skaita izmaiņas praktiski nav iespējams, tad pamatoti ir aprakstīt veikalu skaitu nākotnē ar vienādojumu:

$$H_{120-399\text{m}^2} = 0,47 \cdot (G - 1998)^2 - 11,75 \cdot (G - 1998) + 749,64 \quad (2.48)$$

kur $H_{120-399\text{m}^2}$ – pārtikas un jaukta tipa veikalu ar platību $120-399 \text{ m}^2$ skaits, veikali;
 G – gads, kuram veikalu skaits tiek aprēķināts.

Balstoties uz izdarītajiem pieņēmumiem un veiktajiem aprēķiniem, var pieņemt, ka taras pieņemšanas automātu skaits ir vienāds ar lielveikalu (platība $\geq 400 \text{ m}^2$) skaitu, savukārt manuālās pieņemšanas punktu skaits – ar mazāku pārtikas un jaukta tipa veikalu ($120-300 \text{ m}^2$) skaitu. Līdz ar to, 2015.gadā, kad tiek plānota depozīta sistēmas darbības

uzsākšana Latvijā, būtu nepieciešams uzstādīt aptuveni 350 automātus un ierīkot aptuveni 680 punktus. Aprēķinos netiek ņemts vērā, ka efektīvai iepakojuma savākšanai no patērētājiem hipermarketos (1500–6500m²) [212] būtu nepieciešams uzstādīt vairāk kā vienu taras pieņemšanas automātu.



2.22. att. Pārtikas un jaukta tipa veikalu (platība 120-399 m²) skaits, 1999.-2030.g. (vēsturiskie dati [211] un prognoze)

Simulācijas procesā iepakojuma pieņemšanas punktu skaits tiek izmantots kā viens no politikas instrumentiem atgrieztā un pārstrādātā iepakojuma īpatsvara celšanai, samazinot neērtību izmaksas. Tādēļ, izstrādājot un analizējot dažādus politikas scenārijus, pieņemšanas punktu skaits var tikt mainīts.

Patērētāju rīcība depozīta sistēmā

Depozīta sistēmas modulī patērētāju rīcība modelēta, adaptējot J. Mrozeka [44] izstrādāto patērētāju uzvedības matricu (skat. 1.3.1. nodaļu). Balstoties uz to, ir izveidotas trīs patērētāju grupas:

1. Ne-pircēji – patērētāji, kas produktus depozīta iepakojumā nepirks;
2. Pircēji, kas iegādājas dzērienus depozīta iepakojumā;
3. Pircēji, kas izlietoto depozīta iepakojumu atgriezīs sistēmā.

Matricā ietvertā vēlēšanās maksāt ir naudas daudzums, ko cilvēks ir ar mieru atdot par precī, saglabājot naudas un preces vērtību savā uztverē vienādu. Pastāv vairākas metodes, lai noteiktu pircēju vēlēšanos maksāt, t.sk. vēsturisko datu analīze, tirzniecības ekspertu intervijas, pircēju aptaujas u.c. [43]. Vēlēšanās maksāt noteikšana ir sarežģīts mārketinga pētījumu uzdevums un nav šī darba mērķis, tāpēc, depozīta sistēmas modulī simulējot patērētāju rīcību, tiek pieņemts, ka vēlēšanos maksāt iespējams izteikt, izmantojot pieprasījuma cenas elastības koeficientu un tam atbilstošo produkta pieprasījuma kritumu.

Patērētāju rīcības raksturošanai izmantoti sekojoši parametri:

C_D – produkta cena, EUR/l;

e_d – pieprasījuma cenas elastības koeficients;

d – depozīta maksa, EUR/vien.;

r – atlīdzība – maksa, ko patērētājs saņem, nododot izlietoto iepakojumu, EUR/vien.;

M_V – vēlēšanās maksāt, EUR/vien.;

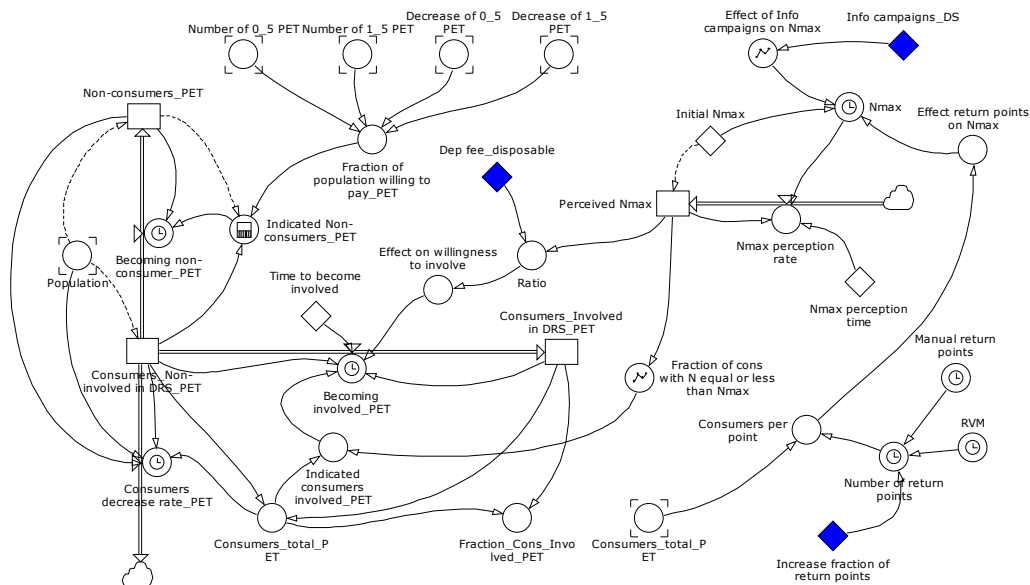
N – neērtību izmaksas, EUR/vien.

Iepriekš aprakstītais dzērienu patēriņa samazinājums, izmantojot parametrus C_D , e_d un d , raksturo patērētāju vēlēšanos maksāt par produktu ar paaugstinātu cenu. Daļai patērētāju paaugstinātā produkta cena pārsniegs viņu vēlēšanos maksāt, t.i. viņiem

$C_D + d > M_V$, tādēļ tie vairs produktu neiegādāsies, kļūstot no pircējiem par ne-pircējiem. Atlikušie patērētāji sadalīsies divās grupās:

1. Pircējos, kas dzērienu iegādāsies, bet izlietoto iepakojumu sistēmā neatgriezīs – visi patērētāji, kuriem $C_D + d \leq M_V$ un $r < N$;
2. Pircējos, kas dzērienu iegādāsies un izlietoto iepakojumu atgriezīs sistēmā – visi patērētāji, kuriem $C_D + d \leq M_V$ un $r \geq N$. Pie šīs grupas pieskaitāmi arī patērētāji, kuriem $C_D + d > M_V$ un $r > N$, jo ieguvums no atlīdzības ir lielāks kā neērtību izmaksas, t.i. $C_D + d - (r - N) \leq M_V$.

2.23.attēls parāda krājumu-plūsmu diagrammu, ar kuras palīdzību patērētāju rīcība un grupas imitētas.



2.23.att. Patērētāju rīcības krājumu-plūsmu diagramma depoziņa sistēmas modulī

Ne visi Latvijas iedzīvotāji ir pieskaitāmi dzērienu patērētājiem. Saskaņā ar *TNS Latvija* [213] 18-55 gadu vecu iedzīvotāju starpā veikto interneta aptauju, alu ikdienā nemaz nelieto 26% patērētāju. Vēl 16% patērētāju alu lieto tikai reizi pusgadā vai retāk. Par citām darbā apskatīto dzērienu grupām informācija nav pieejama. Ņemot vērā datu vājo pieejamību, tiek pieņemts, ka sākotnējais dzērienu ne-pircēju skaits sastāda ceturto daļu visu Latvijas patērētāju. Savukārt, ātrums, ar kādu pieaug ne-pircēju skaits pēc depoziņa sistēmas ieviešanas, tiek noteikts, izmantojot (2.49) formulu.

$$V_{p \rightarrow np} = \frac{(P_{np}^{Ind} - P_{np})}{t_{np}} \quad (2.49)$$

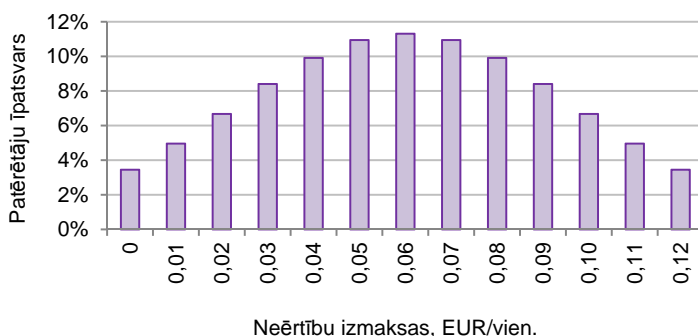
- kur $V_{p \rightarrow np}$ – ātrums, ar kādu pieaug ne-pircēju skaits, patērētāji/gadā;
 P_{np}^{Ind} – indikatīvais potenciālo ne-pircēju daudzums, patērētāji;
 P_{np} – ne-pircēju daudzums, patērētāji;
 t_{np} – laiks, lai pārietu no pircēju grupas uz ne-pircēju grupu, gadi.

Indikatīvais potenciālo ne-pircēju daudzums atkarīgs no vēlēšanās maksāt, kuru izsaka pieprasījuma pēc dzērieniem kritums (skat. (2.50) formulu).

$$P_{np}^{Ind} = P_{np}^{init} + P_p \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{\Delta Q}{Q_0} \right) \right) \quad (2.50)$$

kur P_{np}^{Ind} – indikatīvais potenciālo ne-pircēju daudzums, patērētāji;
 P_{np}^{init} – sākotnējais ne-pircēju daudzums, patērētāji;
 P_p – pircēju daudzums, kas iegādājas dzērienus depozīta iepakojumā, patērētāji;
 ΔQ – dzērienu patēriņa izmaiņas, milj.vienību;
 Q_0 – produktu patēriņš pirms cenas izmaiņām, milj.vienību.

Pircēju iesaistīšanās ātrumu depozīta sistēmā ietekmē depozīta maksas apmēra un uztverto neērtību izmaksu attiecība, kā arī patērētāju sadalījums pēc neērtību izmaksām. Ne visiem patērētājiem neērtību izmaksas ir vienādas, un tiek pieņemts, ka patērētāji pēc tām sadalās atbilstoši normālā sadalījuma funkcijai (skat. 2.24.att.).



2.24.att. Patērētāju sadalījums pēc to neērtību izmaksām vienreiz lietojamā iepakojuma atgriešanai sistēmā

Tiek pieņemts, ka sākotnējās neērtību izmaksas, ko patērētājam rada vienas iepakojuma vienības atgriešana sistēmā, ir divreiz augstākas par depozīta maksu, jo ar atkārtoti lietojamā iepakojuma atgriešanu saistītās neērtību izmaksas ir augstākas kā vienreiz lietojamā iepakojuma gadījumā [214]. Saskaņā ar 2.24.attēlā parādīto patērētāju sadalījumu, aptuveni 55% patērētāju neērtību izmaksas ir mazākas vai vienādas ar vienreiz lietojamā iepakojuma depozīta maksas apmēru 0,06 EUR/vien., līdz ar to šie patērētāji būs tie, kas bez papildu motivācijas iesaistīsies depozīta sistēmā (indikatīvais depozīta sistēmā iesaistīto pircēju daudzums). Lai depozīta sistēmā iesaistītos arī pārējie patērētāji, nepieciešams samazināt to neērtību izmaksas. To iespējams panākt, palielinot iepakojuma pieņemšanas punktu pieejamību, kas samazina ceļā patērēto laiku un iztērētos līdzekļus, vai ar informācijas kampaņu palīdzību, vides apziņas celšanu u.c. izglītojošiem pasākumiem, kas parāda ieguvumus no iepakojuma nodošanas pārstrādei. Līdzīgs patērētāju sadalījums izveidots arī pēc neērtību izmaksām, kas rodas atkārtoti lietojama iepakojuma atgriešanas gadījumā.

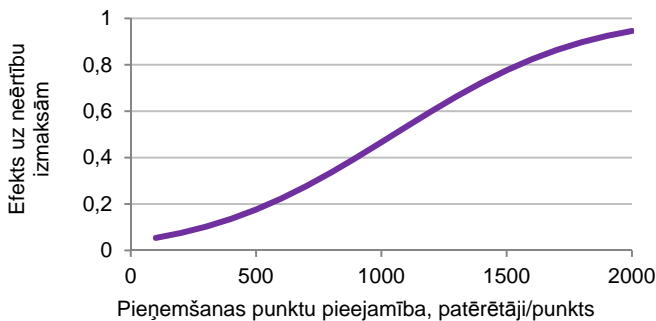
Gluži tāpat, kā dalītās atkritumu vākšanas sistēmā, arī depozīta sistēmā uztverto neērtību izmaksu lielumu ietekmē iepakojuma pieņemšanas punktu skaits un līdz ar to – pieejamība patērētājiem. Depozīta sistēmas modulī iepakojuma pieņemšanas punktu pieejamība tiek izteikta ar pircēju skaitu (pircēji, kas iegādājas dzērienus depozīta iepakojumā) uz pieņemšanas punktu. Tiek pieņemts, ka pieņemšanas punktu pieejamība

samazina uztvertās neērtību izmaksas, ko patērētājiem rada iepakojuma atgriešana depozīta sistēmā. To, kādā mērā samazināsies sākotnējās neērtību izmaksas, nosaka pieņemšanas punktu pieejamības efekts uz tām, tomēr pircēji šo samazinājumu uztver ar novēlojumu, kas tiek izteikts ar uztveršanas laiku (skat. (2.51) formulu).

$$IC'_{DS} = \int_{t=0}^{t=1} \left(\frac{IC_{DS} \cdot E_p \cdot E_i - IC'_{DS}}{t'} \right) (t) \cdot dt + IC_{DS}^{init} \quad (2.51)$$

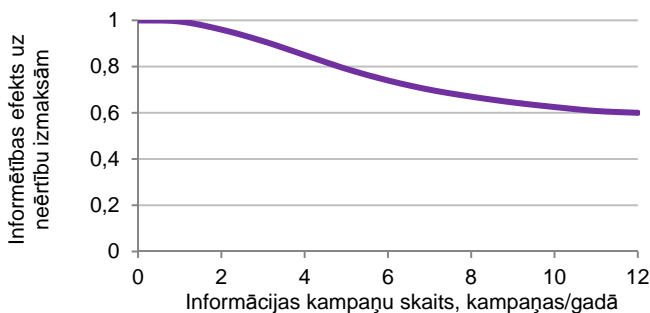
- kur IC'_{DS} – uztvertās neērtību izmaksas, EUR/vien.;
 IC_{DS} – neērtību izmaksas, EUR/vien.;
 E_p – depozīta iepakojuma pieņemšanas punktu pieejamības efekts uz neērtību izmaksām;
 E_i – informētības efekts uz neērtību izmaksām;
 t' – uztveršanas laiks, gadi;
 IC_{DS}^{init} – sākotnējās neērtību izmaksas, EUR/vien.

Depozīta iepakojuma pieņemšanas punktu pieejamības efekts uz neērtību izmaksām, E_p , ir nelineāra sakarība, kas nosaka, ka, samazinoties pircēju skaitam uz vienu iepakojuma pieņemšanas punktu, samazinās arī neērtību izmaksas, kas saistītas ar depozīta iepakojuma atgriešanu sistēmā (skat. 2.25. att.).



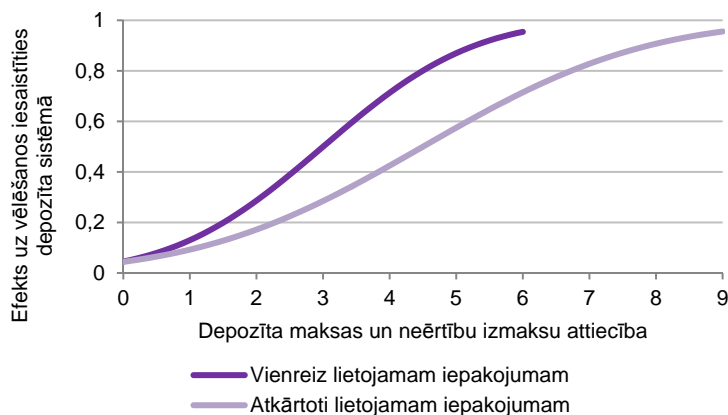
2.25.att. Pieņemšanas punktu pieejamības efekts uz sākotnējām neērtību izmaksām

Savukārt, informētības efekts uz neērtību izmaksām, E_i , nosaka, ka neērtību izmaksas samazinās, pieaugot informētībai un zināšanām pircēju starpā. Tiek pieņemts, ka sabiedrība varētu tikt informēta par depozīta sistēmu līdz 12 reizēm gadā. Jo lielāks informatīvo kampaņu skaits, jo zemākas neērtību izmaksas (skat. 2.26. att.).



2.26.att. Informētības efekts uz sākotnējām neērtību izmaksām

Samazinoties uztvertajām neērtību izmaksām, palielinās indikatīvais potenciālo pircēju daudzums, kas varētu iesaistīties depozīta sistēmā. Indikatīvo potenciālo pircēju daudzumu nosaka patērētāju sadalījums pēc neērtību izmaksām (skat. 2.24.att.). Samazinoties uztvertajām neērtību izmaksām, palielinās depozīta maksas un uztverto neērtību izmaksu attiecība, kas nosaka pircēju vēlmi iesaistīties depozīta sistēmā. Modelī tas tiek izteikts ar nelineāras sakarības, efekta E_v , palīdzību (skat. 2.27.att.). Tas nosaka, ka, jo zemākas uztvertās neērtību izmaksas attiecībā pret depozīta maksu, jo vairāk pircēju vēlēšies depozīta sistēmā iesaistīties. Vienreiz lietojamam un atkārtoti lietojamam iepakojumam efekta E_v vērtības atšķiras atšķirīgo depozīta maksas un sākotnējo neērtību izmaksu apmēru dēļ.



2.27.att. Depozīta maksas un neērtību izmaksu attiecības efekts uz patērētāju vēlēšanos iesaistīties depozīta sistēmā

Zinot augstāk aprakstītos lielumus un sakarības, iespējams noteikt ātrumu, ar kādu pircēji iesaistās depozīta sistēmā (skat. (2.52) formulu).

$$V_{p \rightarrow pi} = \frac{P_{pi}^{Ind} - P_{pi}}{t_{pi}} \cdot E_v \quad (2.52)$$

kur $V_{p \rightarrow pi}$ – ātrums, ar kādu mainās depozīta sistēmā iesaistīto pircēju skaits, patērētāji/gadā;

P_{pi}^{Ind} – indikatīvais potenciālo pircēju daudzums, kas varētu iesaistīties depozīta sistēmā, patērētāji;

P_{pi} – pircēju daudzums, kas ir iesaistījies depozīta sistēmā, patērētāji;

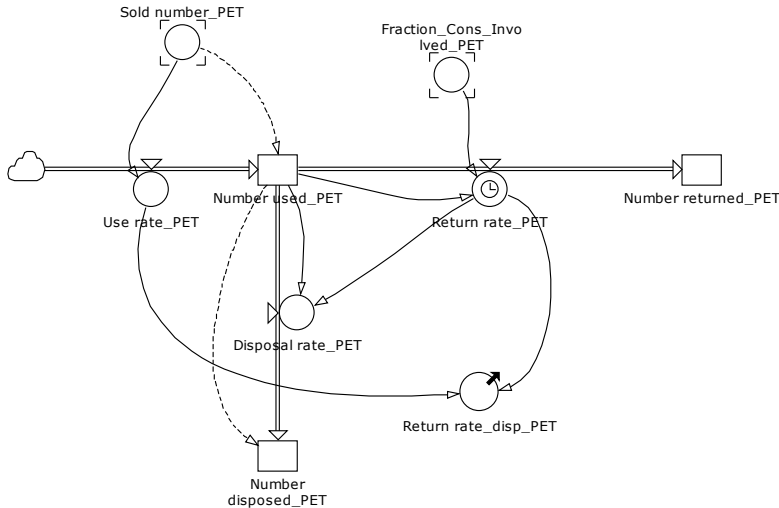
t_{pi} – laiks, lai pārietu no pircēju grupas uz depozīta sistēmā iesaistīto pircēju grupu, gadi;

E_v – depozīta maksas un neērtību izmaksu attiecības efekts uz patērētāju vēlēšanos iesaistīties depozīta sistēmā.

Attiecinot depozīta sistēmā iesaistīto pircēju skaitu pret kopējo pircēju skaitu, kas iegādājas dzērienus depozīta iepakojumā, tiek iegūts depozīta sistēmā iesaistīto pircēju īpatsvars, kas tālāk tiek izmantots, nosakot sistēmā atgriezta depozīta iepakojuma īpatsvaru.

Atgrieztā iepakojuma īpatsvars

Atgrieztā iepakojuma īpatsvars parāda, cik daudz iepakojuma tiek savākts no kopējā saražotā apjoma. Tiek pieņemts, ka nopirkto dzērienu iepakojums mazāk kā gada laikā kļūst par izlietoto iepakojumu. Tādējādi radītā izlietotā iepakojuma plūsmas ātrums ir vienāds ar nopirkto dzērienu daudzumu, kura sākotnējā vērtība ir arī kopējā radītā izlietotā depozīta iepakojuma krājuma sākotnējā vērtība (skat. 2.28.att.).



2.28.att. Depozīta iepakojuma atgriešanas īpatsvara noteikšanas krājumu-plūsmu diagramma

Iepakojuma pieņemšanas punktā ik gadu atgrieztā iepakojuma daudzums atkarīgs no kopējā radītā izlietotā depozīta iepakojuma krājuma vērtības un depozīta sistēmā iesaistīto pircēju īpatsvara (skat. (2.53) formulu).

$$PU_R = \frac{PU_U^{kop} \cdot P_{pi}^d}{t_R} \quad (2.53)$$

kur PU_R – atgrieztu iepakojuma vienību daudzums, vienības gadā;

PU_U^{kop} – kopējais uzkrātais izmantoto iepakojuma vienību daudzums, vienības;

P_{pi}^d – depozīta sistēmā iesaistīto pircēju īpatsvars;

t_R – laiks izlietotās iepakojuma vienības atgriešanai, gadi.

Tiek pieņemts, ka viss iepakojuma daudzums, kas netiek atgriezts depozīta sistēmā, tiek apglabāts cieto sadzīves atkritumu poligonā. Attiecinot radītā izlietotā iepakojuma daudzumu pret atgriezto iepakojuma daudzumu, tiek iegūts atgrieztā iepakojuma īpatsvars.

Modelī līdz depozīta sistēmas ieviešanai, t.i. līdz 2015.gadam, atgrieztā iepakojuma īpatsvars vienreiz lietojamam iepakojumam ir vienāds ar nulli. Ieviešot depozīta sistēmu, atgrieztā iepakojuma īpatsvars palielinās pēc (2.53) formulas. Savukārt atkārtoti lietojamam iepakojumam (90% dzērienu stikla iepakojuma) tiek pieņemts, ka jau līdz depozīta sistēmas ieviešanai atgrieztā iepakojuma īpatsvars ir 60% [98], ko nodrošina

2004.gadā ieviestā brīvprātīgā depoziņa sistēma [96]. Līdz ar obligātās depoziņa sistēmas ieviešanu atgrieztā iepakojuma daudzums palielinās virs 60% atkarībā no depoziņa sistēmā iesaistīto pircēju īpatsvara.

Atgrieztā iepakojuma īpatsvars tiek izmantots kā izejas lielums depoziņa sistēmā sašķīrotā atkritumu daudzuma, W_s^{DS} , noteikšanai atkritumu apsaimniekošanas modulī (skat. (2.29) formulu un 2.16. att.).

2.4.2. Aizliegums poligonos apglabāt materiālus

Aizliegums poligonos apglabāt materiālus, kuriem pastāv pārstrādes iespējas (turpmāk – poligonu aizliegums), ir viens no Atkritumu apsaimniekošanas valsts plānā 2013.-2020.gadam [88] ietvertajiem izvērtējamajiem pasākumiem. Modelī tiek pieņemts, ka pārstrādes iespējas pastāv visiem iepakojuma materiāliem, kaut arī realitātē vairākiem plastmasas materiālu veidiem tās ir ļoti ierobežotas. Tiek pieņemts, ka poligonu aizliegumam ir ietekme uz atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumiem un patērētājiem. Tomēr lielākā ietekme poligonu aizliegumam ir uz poligonos apglabāto atkritumu daudzumu. Instruments izslēdz iespēju apglabāt poligonos izlietoto iepakojumu, liekot meklēt citas atkritumu apsaimniekošanas alternatīvas, kas šajā gadījumā ir pārstrāde. Modelī tas tiek simulēts ar „slēdža” palīdzību – kad tas tiek ieslēgts (instrumenta vērtība ir 1), stājas spēkā poligonu aizliegums un apglabāto atkritumu plūsmas vērtība kļūst vienāda ar 0 t/gadā. Līdz ar poligonu aizlieguma stāšanos spēkā aktivizējas atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumi, ievērojami ātrāk (trīs gados) ierīkojot atkritumu šķirošanas punktus. Bez tam, tiek pieņemts, ka patērētāji daudz ātrāk iesaistās šķirošanā, t.i. laiks, lai kļūtu par Aprēķinātāju vai Zaļo šķīrotāju vairs nav atkarīgs tikai no poligonu aizpildīšanās pakāpes, sabiedrības normām u.c. faktoriem (skat. (2.15) un (2.17) formulas), bet arī no obligātā uzstādījuma, t.i. aizlieguma poligonos apglabāt pārstrādājamus materiālus. Modelī poligonu aizlieguma slēdzis darbojas, sākot ar 2015.gadu.

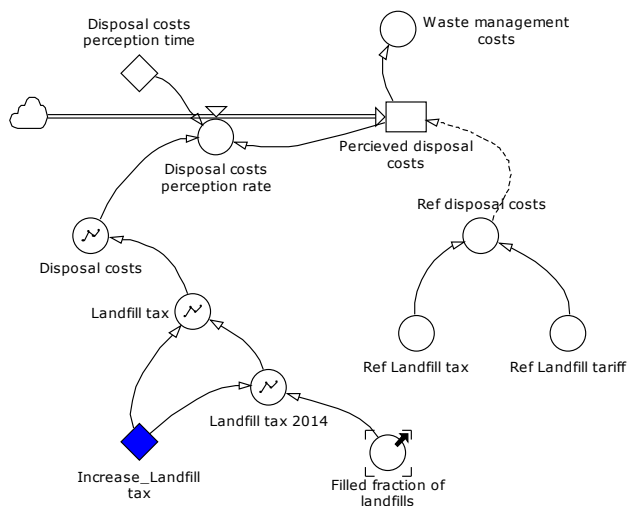
2.4.3. Poligonu nodoklis

Poligonu nodokļa mērķis ir samazināt poligonos apglabāto atkritumu daudzumu un veicināt to pārstrādi un reģenerāciju. Latvijā poligonu nodoklis darbojas jau kopš 1991.gada [57], bet, sākot ar 2008.gadu, tas ir paaugstināts, sasniedzot gandrīz desmitkārtīgu sākotnējo apmēru (no 0,75 LVL/t 2007.gadā līdz 7,00 LVL/t 2012.gadā) [85]. Lai gan 2013.gadā poligonu nodoklis vēl vairāk paaugstināts netika, Atkritumu apsaimniekošanas valsts plāns 2013.-2020.gadam [88] paredz turpmāku pakāpenisku poligonu nodokļa palielināšanu.

Modelī poligonu nodoklis ietekmē atkritumu apglabāšanas maksas un, sekojoši, atkritumu apsaimniekošanas maksas apmēru (skat. 2.29.att.). No atkritumu apglabāšanas maksas lieluma atkarīga atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu rīcība. Savukārt, atkritumu apsaimniekošanas maksas lielums ietekmē ekonomisku apsvērumu vadīto patērētāju iesaistīšanos atkritumu šķirošanā. Līdz ar to, teorētiski, poligonu nodokļa paaugstināšanai vajadzētu atkritumu apsaimniekošanas sistēmu padarīt efektīvāku pārstrādāto atkritumu īpatsvara ziņā.

Simulējot poligonu nodokļa pieaugumu, modelī tiek pieļauti vairāki scenāriji:

- a) pieauguma nebūs, t.i. poligonu nodoklis saglabāsies līdzšinējā apmērā – 7,00 LVL/t jeb 10 EUR/t;
- b) pieaugums būs proporcionāls poligonu aizpildīšanās pakāpei;
- c) pieaugums būs daudzkārt lielāks, kā poligonu aizpildīšanās pakāpes pieaugums.



2.29.att. Poligonu nodokļa noteikšanas krājumu-plūsmu diagramma

Poligonu nodokļa likmes atkarību no poligonu aizpildīšanās pakāpes aprakstošā sakarība tika iegūta ar regresijas analīzes palīdzību. Iegūtās sakarības (skat. (2.54) formulu) determinācijas koeficients $R^2=0,95$. Līdz ar to var teikt, ka līdz šim 95% poligonu nodokļa apmēra ir noteikusi poligonu aizpildīšanās pakāpe, un (2.54) formulu var izmantot arī nodokļa likmes prognozēšanai nākotnē.

$$T_p = 367,85 \cdot L^2 - 26,70 \cdot L + 1,24 \quad (2.54)$$

kur T_p – poligonu nodoklis, EUR/t;
 L – poligonu aizpildīšanās pakāpe.

Modelī instruments simulēts tā, lai tā pieaugums atkarībā no poligonu aizpildīšanās pakāpes sāktos ar 2014.gadu. Tā kā modelī ir pieņemts, ka poligonu aizpildīšanās pakāpe raksturo vides piesārņojumu, tad poligonu nodokļa pieaugums raksturo sabiedrības reakciju uz apkārtējās vides problēmu saasināšanos.

2.4.4. Subsīdijas

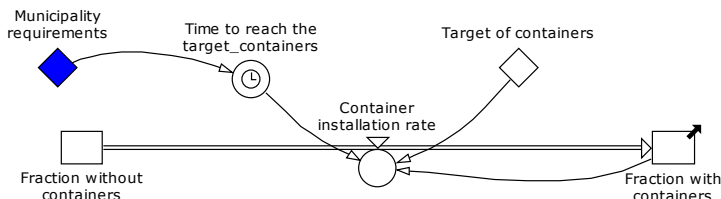
Lai atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumi spētu segt šķiroto atkritumu savākšanas un priekšapstrādes izmaksas, tiem tiek piešķirtas subsīdijas. Subsīdiju apmērs atkarīgs no savstarpējās vienošanās ar ražotāja paplašinātās atbildības organizācijām, līdz ar to Latvijā dažādiem atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumiem tas ir atšķirīgs. Tomēr precīzs subsīdiju apmērs nav zināms. Modelī tiek pieņemts, ka subsīdijas sastāda kaut kādu daļu no maksājumiem, ko veic iepakojuma ražotāji līguma ietvaros ar ražotāja paplašinātās atbildības organizācijām. Palielinoties šai daļai, vajadzētu pieaugt atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu interesei ierīkot atkritumu šķirošanas punktus, tādējādi palielinot šķirojošo patērētāju īpatsvaru un, sekojoši, arī pārstrādāto atkritumu īpatsvaru. Aptaujājot vairākus atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumus, tika noskaidrots, ka subsīdijas ir zemas, tādēļ tiek pieņemts, ka sākotnējais subsīdiju apmērs sastāda 10% no ražotāja paplašinātās atbildības organizācijām samaksātās maksas. Lai palielinātu instrumenta ietekmi, modelī pieņemts, ka subsīdiju apmērs var tikt paaugstināts līdz

sasniedz vienādu lielumu ar ražotāja paplašinātās atbildības organizācijām samaksāto maksu. Šāda subsīdiju lieluma paaugstināšana modelī iespējama, sākot no 2014.gada.

2.4.5. Pašvaldību atbildības noteikšana

Latvijā par atkritumu apsaimniekošanu savā administratīvajā teritorijā ir atbildīgas pašvaldības [215]. Atkritumu apsaimniekošanas infrastruktūras novērtējuma rezultāti atklāja, ka 22% pašvaldību iedzīvotājiem šķirošanas infrastruktūra (punktu un/vai laukumu) nav pieejama nemaz, bet 9% pašvaldību pieejami vien daži konteineri pie administratīvām ēkām [77]. Šāda situācija radusies, iespējams, tāpēc, ka, organizējot iepirkumu konkursus par atkritumu apsaimniekošanu pakalpojumu saņemšanu, pašvaldības ir neatbilstoši novērtējušas savas vajadzības, t.i. šķiroto atkritumu savākšanas pakalpojuma nepieciešamību. Šo problēmu ir identificējusi arī Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija, Atkritumu apsaimniekošanas valsts plānā 2013.-2020.gadam [88] paredzot pašvaldību atbildības noteikšanu par dalītās savākšanas mērķu sasniegšanu.

Modelī minētās pašvaldību atbildības noteikšana būtiski samazina laiku, kas nepieciešams, lai nodrošinātu pilnīgu šķirošanas punktu pieejamību patērētājiem (skat. 2.30.att.).



2.30.att. Pašvaldību atbildības noteikšanas ietekmes uz šķirošanas punktu pieejamību krājumu-plūsmu diagramma

Tiek pieņemts, ka līdz ar pašvaldību atbildības noteikšanu, tās iepirkumu konkursu nolikumos iestrādās punktu par dalītās atkritumu savākšanas nodrošināšanu patērētājiem kā daļu no atkritumu apsaimniekošanas pakalpojuma. Līdz ar to ievērojami ātrāk vajadzētu tikt ierīkoti atkritumu šķirošanas punktiem. Tādējādi sākotnējais nepieciešamais laiks šķirošanas punktu ierīkošanai samazinās līdz trīs gadiem.

Pašvaldību atbildības noteikšanu kā instrumentu modelī iespējams iedarbināt no 2014.gada, un tas darbojas kā slēdzis – ieslēdzot tā vērtība ir 1 (pašvaldību atbildība tiek noteikta), izslēdzot – 0 (pašvaldību atbildības nav).

2.4.6. Informatīvās kampaņas

ES direktīva 94/62/EK par iepakojumu un izlietoto iepakojumu [5] nosaka, ka ES dalībvalstīm jāparedz pasākumi, lai nodrošinātu iepakojuma patērētājus ar informāciju par tiem pieejamo iepakojuma šķirošanas infrastruktūru, viņu lomu iepakojuma pārstrādē un atkārtotā lietošanā, kā arī par iepakojuma marķējuma nozīmi. Lai nodrošinātu direktīvas prasību īstenošanu, Ministru kabineta noteikumi Nr. 1293 [197] paredz, ka ražotāja paplašinātās atbildības organizācijām jānodrošina vismaz četri sabiedrības izglītošanas (komunikācijas) pasākumi gadā. Tā kā valsts mērogā dati par izglītošanas pasākumu skaitu apkopoti netiek, tad modelī tiek pieņemts, ka sākotnējais informatīvo kampaņu skaits ir 4 pasākumi gadā, kas nozīmē, ka sākotnēji visi patērētāji ir slikti informēti par atkritumu apsaimniekošanu un dalītu savākšanu. Palielinot informatīvo pasākumu skaitu, iespējams saīsināt laiku, kas nepieciešams, lai patērētāji kļūtu informēti par vides problēmām un

izrādītu vēlmi iesaistīties atkritumu šķirošanā (kļūtu par Zaļajiem). Bez tam, saskaņā ar *Eurobarometra* aptauju [196] informācija par to, kur un kā pareizi šķirot atkritumus, arī var ievērojami samazināt ar informācijas iegūvi saistītās neērtības un to izmaksas.

Modelī tiek pieņemts, ka informatīvo kampaņu skaitu iespējams palielināt līdz 100 pasākumiem gadā. Instrumenta vērtības palielināšanas simulācija modelī iespējama, sākot ar 2014.gadu.

2.4.7. Informācija uz iepakojuma

Paaugstinoties patērētāju zināšanām par to, kā un kur atkritumi pareizi šķirojami, iespējams uzlabot dalīti savākto materiālu kvalitāti. Iepakojuma pareizu šķirošanu var veicināt pietiekamā apjomā sniegta labi saprotama informācija uz paša iepakojuma. Ir noteikts, ka uz iepakojuma jābūt marķējumam (kodam), kas norāda materiāla veidu, tomēr lielākajai daļai patērētāju marķējuma nozīme un atšifrējums ir sveši, tāpēc atkritumu pareizu šķirošanu tas neatvieglo. Savukārt, ja esošā informācija tiktu papildināta ar tekstu vai attēliem, kas skaidro materiālu pārstrādes būtību un/vai to, kā iepakojums pareizi jāšķiro, varētu tikt uzlabota ne vien sašķirotu materiālu kvalitāte, bet pieaugtu arī sašķirotais apjoms. 2.31. attēlā parādīts pāris informācijas izvietouma piemēru, kas atrodami uz Latvijas tirgū pieejamā iepakojuma.



2.31. att. Piemēri informācijas izvietojumam uz iepakojuma patērētāju informētības celšanai

Līdzīgi, kā 2.31. attēlā parādītajos piemēros, kas paredzēti iepakojuma atkārtotas izmantošanas veicināšanai, iespējams izvietot informāciju arī uz pārstrādājamā iepakojuma.

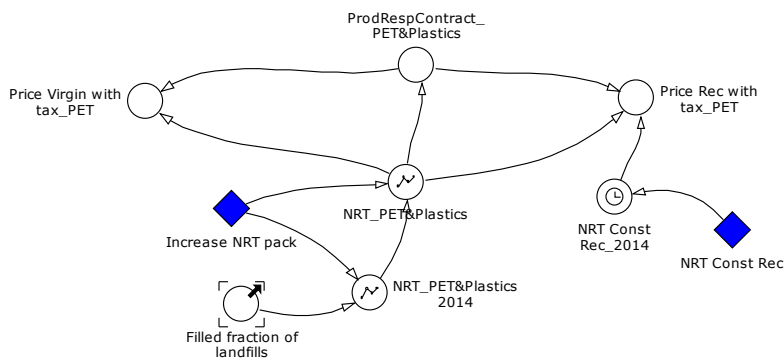
Tiek pieņemts, ka atkarībā no sniegtās informācijas apjoma uz iepakojuma, visi patērētāji pēc zināšanām atkritumu šķirošanas jautājumos sadalās atbilstoši normālā sadalījuma līknei. Tas nozīmē, ka pie esošā informācijas apjoma tikai neliela daļa patērētāju ir ar pietiekamām zināšanām kvalitatīvas atkritumu šķirošanas nodrošināšanai. Informācijas apjomam pieaugot, pieaug arī zinošo patērētāju īpatsvars, tādējādi paaugstinot kopējo patērētāju zināšanu līmeni. Modelī tiek pieņemts, ka sākotnējais informācijas apjoms uz iepakojuma ir zems (0,1 skalā no 0 līdz 1), līdz ar to zems ir arī patērētāju zināšanu līmenis. Modelī tiek pieņemts, ka sašķirotu materiālu kvalitāte ir viens no faktoriem, kas ietekmē atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu ieinteresētību tos savākt un, tādējādi, ierīkot atkritumu šķirošanas punktus.

Modelī tiek pieņemts, ka informācijas daudzuma palielināšanu uz iepakojuma iespējams simulēt, sākot ar 2014.gadu.

2.4.8. Iepakojuma nodoklis

Iepakojuma nodoklis Latvijā tika ieviests 1996.gadā ar mērķi veicināt iepakojuma atkritumu pārstrādi, tādējādi samazinot tā radīto vides piesārņojumu [216]. Iepakojuma nodokļa ieviešana veicināja jaunu atbildību un struktūru veidošanos atkritumu apsaimniekošanas sistēmā (ražotāja paplašinātās atbildības shēma). Tika izveidotas ražotāja paplašinātās atbildības organizācijas, kas sadarbībā ar atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumiem noslēdza brīvprātīgās vienošanās sistēmu, lai sasniegtu uzstādītos iepakojuma pārstrādes mērķus.

Iepakojuma nodokļa likmes dažādiem materiālu veidiem atšķiras atkarībā no to ietekmes uz vidi ražošanas un atkritumu apsaimniekošanas posmos [85]. Noslēdzot līgumu ar ražotāja paplašinātās atbildības organizāciju vai izveidojot savu atkritumu apsaimniekošanas shēmu, produktu iepakotāji var saņemt atbrīvojumu no iepakojuma nodokļa. Tādā gadījumā viņiem ir jāsedz līguma maksa, kas atkarībā no materiāla veida sastāda aptuveni 7 – 28% no nodokļa likmes. Ņemot vērā šo būtisko atšķirību, pastāv ievērojams stimuls iesaistīties ražotāja paplašinātās atbildības sistēmā – 2010.gadā tikai 7% ražotāju nebija tajā iesaistījušies [88]. Tas nozīmē, ka, iepakojuma nodokļa paaugstināšanai ir tikai netieša ietekme uz atkritumu apsaimniekošanas sistēmu. Modelī tiek pieņemts, ka iepakojuma nodokļa likmes celšana proporcionāli paaugstina ražotāja paplašinātās atbildības organizāciju līguma maksu (skat. 2.32.att.). Līguma maksa, savukārt, paaugstina materiālu cenu, tādējādi liekot iepakojuma ražotājam izvēlēties lētāko no materiāliem. Modelī tiek pieņemts, ka pieprasījums pēc iepakojuma materiāliem ir atkarīgs tikai no to cenām – netiek imitēta situācija, kad, paaugstinoties iepakojuma nodoklim, tiktu paaugstināta iepakotā produkta cena, tādējādi pārnesot nodokļa un pieaugošās cenas slogu uz patērētājiem.



2.32. att. Iepakojuma nodokļa un ražotāja paplašinātās atbildības organizāciju līguma maksas noteikšanas krājumu-plūsmu diagramma

Modelī tiek pieņemts, ka iepakojuma nodoklis pieaug atkarībā no vides problēmu saasināšanās, t.i., no poligonu aizpildīšanās pakāpes, kas tiek aprakstīts ar regresijas vienādojumu palīdzību. Tālāk tiek noteiktas ražotāja paplašinātās atbildības organizāciju līguma maksas. Tā kā nodokļa likmes un līguma maksas dažādiem materiāliem atšķiras, tad arī tika izveidoti vairāki regresijas vienādojumi (skat. (2.55) – (2.58) formulas), kuru determinācijas koeficienti attiecīgi ir $R^2=0,87$; $R^2=0,82$; $R^2=0,89$ un $R^2=0,87$.

$$RPAO_{Plastmasa} = 0,17 \cdot (0,394 \cdot \ln(L) + 1,655) \quad (2.55)$$

$$RPAO_{Papīrs} = 0,16 \cdot (0,102 \cdot \ln(L) + 0,399) \quad (2.56)$$

$$RPAO_{Stikls} = 0,16 \cdot (0,149 \cdot \ln(L) + 0,626) \quad (2.57)$$

$$RPAO_{Metāls} = 0,07 \cdot (0,465 \cdot \ln(L) + 1,80) \quad (2.58)$$

kur $RPAO_{Plastmasa}$ – ražotāja paplašinātās atbildības organizāciju līguma maksa par plastmasas iepakojumu, EUR/kg;

$RPAO_{Papīrs}$ – ražotāja paplašinātās atbildības organizāciju līguma maksa par papīra un kartona iepakojumu, EUR/kg;

$RPAO_{Stikls}$ – ražotāja paplašinātās atbildības organizāciju līguma maksa par stikla iepakojumu, EUR/kg;

$RPAO_{Metāls}$ – ražotāja paplašinātās atbildības organizāciju līguma maksa par metāla iepakojumu, EUR/kg;

L – poligonu aizpildīšanās pakāpe.

Simulējot iepakojuma nodokļa pieaugumu, modelī tiek pieļauti vairāki scenāriji:

- pieauguma nebūs, t.i. iepakojuma nodoklis un līguma maksa saglabāsies līdzšinējā apmērā;
- pieaugums būs proporcionāls poligonu aizpildīšanās pakāpei;
- pieaugums būs daudzkārt lielāks, kā poligonu aizpildīšanās pakāpes pieaugums.

Saskaņā ar spēkā esošo Dabas resursu nodokļa likumu [85] iepakojuma nodoklis tiek piemērots kā no jēlmateriāliem, tā arī no pārstrādātiem materiāliem ražotajam iepakojumam. Modelī papildus augstāk aprakstītajiem tiek pieļauts arī scenārijs, kurā no pārstrādātiem materiāliem ražotais iepakojums tiek pilnībā atbrīvots no nodokļa.

Modelī instrumenta simulācija iespējama, sākot ar 2014.gadu.

2.4.9. Materiālu aizvietošanas elastība

Materiālu aizvietošanas elastība raksturo iepakojuma ražotāju vēlmi un/vai spēju aizvietot vienu materiālu ar citu atkarībā no to cenām. Ar materiālu aizvietošanas elastības palielināšanos var saistīt uzlabojumus produkta (iepakojuma) ekodizainā – tas sekmē pārstrādāto materiālu izmantošanu jēlmateriālu vietā.

Modelī tiek pieņemts, ka pieprasījums pēc pārstrādātiem materiāliem veicina iepakojuma atkritumu dalītu savākšanu un pārstrādi. Nepastāvot materiālu aizvietošanas iespējai (materiālu aizvietošanas elastības koeficients $\varepsilon=0$), viss iepakojums tiek ražots no jēlmateriāliem, savukārt materiālu pārstrādei zūd jēga, jo pēc tiem nav pieprasījuma. Iepakojuma ražotājiem pievēršoties savu produktu ekodizainam (paaugstinoties ε vērtībai), tiek palielināts pieprasījums pēc pārstrādātiem materiāliem, un līdz ar to veicināta iepakojuma atkritumu dalīta savākšana.

Tā kā patlaban kaut kāda daļa jēlmateriālu iepakojuma ražošanā tiek aizvietota ar pārstrādātiem materiāliem, tad tiek pieņemts, ka ε bāzes vērtība ir 0,5. Materiālu aizvietošanas elastības izmaiņas kā ekodizaina instrumentu modelī iespējams simulēt, sākot ar 2014.gadu.

2.4.10. Pieprasījuma cenas elastība

Pieprasījuma cenas elastības koeficients parāda, par cik procentiem mainīsies pieprasījums pēc produkta, ja tā cena mainīsies par 1%. Modelī pieprasījuma cenas elastības koeficients, e_d , raksturo, cik elastīgi pieprasījums reaģē uz vidējās cenas izmaiņām, t.i. cik strauji samazinās pieprasījums, ja vidējā cena pieaug, un otrādi. Pieaugot materiālu cenai, iepakojuma ražotāji atbilstoši e_d vērtībai samazinās pēc tiem pieprasījumu. Līdz ar to, ar pieprasījuma cenas elastības palielināšanos var saistīt uzlabojumus produkta (iepakojuma) ekodizainā – tas sekmē izmantotā materiālu daudzuma samazināšanu uz vienu produkta vienību. Tādējādi samazinās kopējais pieprasījums pēc materiāliem un radīto atkritumu daudzums. Savukārt, ja tirgus ir neelastīgs ($e_d = 0$), tad izmantoto materiālu daudzums samazināts netiek. Tam par iemeslu varētu būt, piemēram, iepakojuma materiālu samazināšanas iespēju trūkums. Īpaši būtiski tas var būt pārtikas un ķīmisko vielu gadījumā, kuru iepakojumam ir noteiktas vielu necaurļaidības, nekaitīguma, drošības u.c. prasības.

Modelī tiek pieņemts, ka e_d vērtības dažādiem iepakojuma materiālu veidiem ir atšķirīgas. Sākotnēji izmantotās e_d vērtības parādītas 2.1.tabulā. Kā ekodizaina instruments pieprasījuma cenas elastības izmaiņas modelī ir simulētas, sākot ar 2014.gadu.

2.5. Siltumnīcas efekta gāzu emisiju aprēķināšana

Jebkuras antropogēnas darbības rezultātā rodas siltumnīcas efekta gāzu (SEG) emisijas. Izvēloties procesus, kas vērsti uz resursu un enerģijas taupīšanu, SEG emisijas iespējams mazināt. Darbā izstrādātajā modelī par šādiem procesiem var uzskatīt atkritumu pārstrādi un pārstrādāto materiālu izmantošanu jēlmateriālu vietā. Lai noteiktu, kādu efektu uz iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas emitēto SEG daudzumu rada izlietotā iepakojuma pārstrāde, tika aprēķināts novērsto SEG emisiju daudzums, kas izteikts tonnās ogļskābās gāzes ekvivalenta uz tonnu pārstrādātā materiāla ($t CO_2 \text{ ekv./t}$).

Katra jēlmateriāla ražošana un pārstrāde rada atšķirīgu SEG emisiju daudzumu. SEG emisiju noteikšanai tika 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 ietekmi uz apkārtējo vidi, izmantojot ietekmes kategorijas, t.sk. globālās sasilšanas potenciālu, kas tiek izteikts tonnās CO_2 ekv. Programmrīkā *WAMPS 1.0* novērstās emisijas tiek aprēķinātas, ņemot vērā emisijas, kas rodas no materiālu pārstrādes procesa un jēlmateriālu ražošanas procesa:

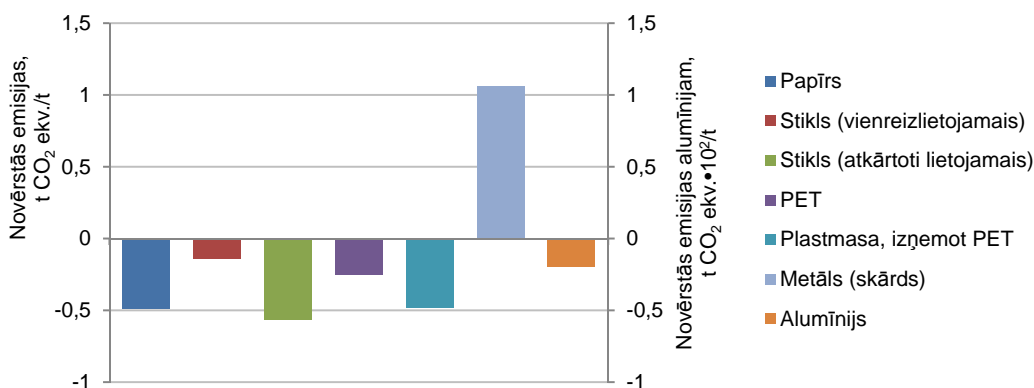
$$SEG_n = SEG_r - SEG_j \quad (2.59)$$

kur SEG_n – novērsto SEG emisiju daudzums, $t CO_2 \text{ ekv./t}$;

SEG_r – pārstrādes procesos radīto SEG emisiju daudzums, $t CO_2 \text{ ekv./t}$;

SEG_j – jēlmateriālu ražošanas procesos radīto SEG emisiju daudzums, $t CO_2 \text{ ekv./t}$.

Ja pēc (2.59) formulas aprēķinātais emisiju daudzums ir negatīvs, tad pārstrādes procesu rezultātā tiek panākts ietekmes uz vidi samazinājums, savukārt, ja tas ir pozitīvs, tad pārstrādes procesu negatīvā ietekme ir lielāka kā jēlmateriālu ražošanas procesiem. Aprēķinu rezultātā tika iegūts, ka visiem iepakojuma materiālu veidiem novērstās SEG emisijas ir negatīvas, izņemot metāla (skārda) iepakojumu (skat. 2.33.att.).



2.33. att. Dažādu materiālu veidu novērstās CO₂ emisijas

2.33. attēls parāda, ka, salīdzinot ar citiem materiāliem, ievērojamu emisiju daudzumu iespējams novērst, pārstrādājot alumīnija iepakojumu. Tas saistīts ar resursu ietilpīgo boksīta rūdas apstrādi alumīnija iegūšanai. Metāla (skārda) iepakojuma gadījumā emisijas novērstas netiek, jo pārstrādes procesiem tiek patērēts liels elektroenerģijas daudzums. Jāatzīmē, ka emisiju aprēķinā ietverti tikai materiālu pārstrādes un jēlmateriālu ražošanas procesi, bet tādi procesi kā atkritumu savākšana un transportēšana ietverti netiek aprēķinu vienkāršošanas nolūkā. Visus iepakojuma materiālu veidus iespējams pārstrādāt Latvijā, izņemot stiklu, kas tiek eksportēts pārstrādei Lietuvā [88]. Veicot novērsto emisiju aprēķinu, izmantots attiecīgi Latvijas un Lietuvas vidējais primāro energoresursu sadalījums, kas pieejams programmrīka *WAMPS 1.0* izvēlnes iestatījumos.

Programmrīka *WAMPS 1.0* vidē aprēķinātais novērsto SEG emisiju daudzums tika ievadīts izstrādātajā sistēmdinamikas modelī rīka *Powersim Studio 8* vidē. Tādā veidā tika simulētas kopējā novērstā SEG emisiju daudzuma izmaiņas laikā atkarībā no pārstrādāto materiālu apjoma (skat. (2.60) formulu).

$$SEG_n^{kop} = SEG_n \cdot W_p \quad (2.60)$$

kur SEG_n^{kop} – kopējais novērsto SEG emisiju daudzums, t CO₂ ekv./gadā;
 SEG_n – novērsto SEG emisiju daudzums, t CO₂ ekv./t;
 W_p – pārstrādātais atkritumu daudzums, t/gadā.

Nemot vērā, ka kopējais radītais un, līdz ar to, pārstrādātais iepakojuma atkritumu daudzums ik gadu var pieaugt, ko arī uzrāda prognozes, arī novērsto SEG emisiju daudzums pieaugs. Lai varētu novērot un salīdzināt novērsto SEG emisiju daudzuma izmaiņas dažādu politikas instrumentu ietekmē, tika aprēķināts relatīvais novērsto SEG emisiju daudzums attiecībā pret radīto atkritumu daudzumu:

$$SEG_n^{relat} = \frac{SEG_n^{kop}}{W_r} \quad (2.61)$$

kur SEG_n^{relat} – relatīvais novērsto SEG emisiju daudzums, t CO₂ ekv./t;
 SEG_n^{kop} – kopējais novērsto SEG emisiju daudzums, t CO₂ ekv./gadā;
 W_r – radītais atkritumu daudzums, t/gadā.

2.6. Modeļa testēšana

Sistēmdinamikā liela uzmanība tiek pievērsta modeļa validācijai un testēšanai, kas modelim jāiztur. Tomēr, ņemot vērā, ka sistēmdinamikas modelēšana ir uz problēmu orientēta, tad tiek izmantota arī funkcionāla pieeja – validācija tiek uzskatīta par nepārtrauktu procesu modeļa izstrādes gaitā, lai gūtu pārlicību, ka tas adekvāti atspoguļo analizējamo problēmu un teorētiskos pieņēmumus [143]. Ir izstrādāta virkne specifisku testu, ar kuru palīdzību atklāt un novērst modeļa nepilnības [132]. Dažādus sistēmdinamikas modeļu testus ir apkopojuši un aprakstījuši Dž.Stermans [132] un A.Blumberga [137]. No tiem visbiežāk izmantotie ir mērvienību saskaņotības tests, ekstrēmu apstākļu tests, jutības analīze un salīdzinājums ar vēsturiskajiem datiem [145,217-220]. Ir būtiski atzīmēt modeļa testēšanas ekonomiskos aspektus. Tā kā testēšanas process ir laika un resursu ietilpīgs, tad pārbaudītas tiek tikai tās struktūras, uzvedība un parametri, kas uzskatāmas par sistēmu ietekmējošām un būtiskām un vienlaikus – nenoteiktām [46,221,222].

Testēšanas mērķis ir novērtēt, vai izstrādātais modelis ir piemērots paredzētajam nolūkam [46]. Darbā izstrādātais modelis kalpo kā mācību vide, ar kuras palīdzību iespējams izprast primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas dinamisko uzvedību un informēt par to lēmumu pieņēmējus. Modeļa mērķis ir iegūt skaidrojumu par novērotajām parādībām primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmā, sniegt ieskatu sistēmai piemītošajā dinamiskajā uzvedībā un pārbaudīt alternatīvus politikas instrumentus, ar kuru palīdzību sistēmu padarīt efektīvāku.

Līdz šim nav veikti pētījumi par primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas efektivitāti Latvijā. Iepriekš veiktajos pētījumos un ziņojumos analizēta visa iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēma kopumā, atsevišķi neizdalot primārā iepakojuma apsaimniekošanas sistēmas specifiskos aspektus. Arī dati par primārā iepakojuma radīto un pārstrādāto daudzumu, kā arī par šķirošanas punktu pieejamību un citiem darbā modelētajiem atkritumu saimniecības parametriem valstiskā līmenī apkopoti netiek. Līdz ar to, salīdzināšana ar vēsturiskajiem datiem šajā gadījumā nav iespējama. Tomēr sistēmdinamikas modeļa ticamību iespējams pārbaudīt, izmantojot citus paņēmienus. Šajā darbā izstrādātais modelis testēts, izmantojot mērvienību saskaņotības testu, simulācijas laika soļa garuma pārbaudi, modeļa struktūras un robežu testus, kā arī ekstrēmu apstākļu testu un jutības analīzi.

Mērvienību saskaņotības testa laikā tika pārbaudīts, vai modelī lietotās mērvienības ir savstarpēji saskaņotas un atbilst mainīgos lielumus aprakstošajām sakarībām. Šāda testa veikšana tiek nodrošināta simulācijas rīka *Powersim Studio 8* vidē. Testa rezultāti parādīja, ka izmantotās mērvienības ir saskaņotas.

Simulācijas laika soļa garuma pārbaude nepieciešama, lai novērstu modeļa nepilnības, kas var rasties nepareiza soļa garuma izvēles rezultātā. Ja izvēlētais soļa garums ir pārāk liels, var tikt iegūti rezultāti, kas nav izskaidrojami vai kuru skaidrošana un atstāšana modelī var radīt kļūdas. Saskaņā ar Dž.Stermanu [132] simulācijās jāizvēlas laika solis, kas ir vienāds ar $1/4 - 1/10$ no modeļa mazākās laika konstantes. Mazākā laika konstante modelī ir seši mēneši (0,5 gadi), bet simulācijās izmantotais soļa garums – $1/8$ daļa gada, t.i. 1,5 mēneši. Laika soļa garuma pārbaude tika veikta, samazinot laika soli vēl uz pusi, t.i. $1/16$ daļa gada. Pārbaudes rezultāti neuzrādīja būtiskas simulācijas rezultātu izmaiņas, tāpēc var uzskatīt, ka izvēlētais laika soļa garums ir atbilstošs korektu simulācijas rezultātu iegūšanai.

Modeļa struktūra un robežas noteiktas atbilstoši modelētās sistēmas mērķim un definētajai problēmai. Modelis veidots, balstoties uz statistikas datu, zinātniskās literatūras un ekspertu viedokļu analīzi. Modelī iekļauti visi būtiskie sistēmas elementi un ņemti vērā tos ietekmējošie faktori. Līdz ar to, var apgalvot, ka modeļa struktūra un robežas adekvāti atspoguļo modelēto primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmu.

Ekstrēmu apstākļu tests tika veikts, lai noteiktu, kā, pieņemot ekstrēmas parametru vērtības, mainās simulācijas rezultāti un vai tie ir loģiski, kaut arī reālā dzīvē tiem būtu maza varbūtība. Testa mērķis ir noteikt nepareizas vai neadekvātas sakarības un modeļa struktūras vai parametru vērtību defektus. Modeļa uzvedība ekstrēmos apstākļos tiek pārbaudīta, pieņemot, ka materiālu cena tirgū ir 0 EUR/kg. Sagaidāms, ka šādos apstākļos strauji pieaugs materiālu patēriņš un radīto atkritumu daudzums. Iegūtie rezultāti šo pieņēmumu apstiprina. Tirgus modelī izslēdzot iespēju jēlmateriālus aizvietot ar pārstrādātiem materiāliem ($\epsilon = 0$), pieprasījumam pēc pārstrādātiem un jēlmateriāliem būtu jābūt vienādam, ko simulācijas rezultāti arī parāda. Ja pieņem, ka primārā iepakojuma īpatsvars kopējā iepakojuma masā ir 0%, tad modeļa simulācijas rezultāti apstiprina, ka ik gadu radīto primārā iepakojuma atkritumu apjoms arī ir vienāds ar nulli, un līdz ar to nemainās ne poligona aizpildīšanās pakāpe, ne iepakojuma un poligonu nodoklis. Nosakot, ka indikatīvais vides apsvērumu vadīto patērētāju daudzums ir 0%, nevis 70% sabiedrības, Zaļo šķirotāju daudzumam, salīdzinot ar sākotnēji pieņemto vērtību, vajadzētu strauji kristies. Simulācijas rezultāti to apstiprina. Līdzīgi ar ekstrēmām vērtībām pārbaudot arī citus parametrus, tika iegūti sagaidāmie rezultāti. Līdz ar to, ekstrēmu apstākļu tests parāda, ka modeļa uzvedība šādos apstākļos atbilst uzstādījumiem.

Ar jutības analīzes palīdzību tiek noteikts, kā mainīsies modeļa uzvedība, saprātīgās robežās mainot parametru vērtības [223]. Sistēmdinamikā izšķir skaitlisko vērtību, uzvedības un politikas jutību. Skaitlisko vērtību jutība pastāv, kad, izmainot pieņēmumus, mainās rezultātu skaitliskās vērtības. Uzvedības jutība pastāv, kad, izmainot pieņēmumus, mainās modeļa sākotnēji uzrādītā uzvedība. Savukārt, politikas jutība pastāv, kad, izmainot pieņēmumus, tiek izmainīts politikas ietekmes virziens vai sagaidāmais rezultāts [132]. Pielietojamās jutības analīzes izvēle atkarīga no modeļa mērķa. Modeļos, kas attēlo cilvēku uzvedību, noteicošās ir uzvedības un politikas jutības. Tā kā darbā izstrādātā modeļa mērķis ir sniegt ieskatu sistēmas uzvedībā, tad nav nepieciešams iegūt precīzas izejas parametru vērtības, un pārbaudīti tika tikai tie parametri, kam ir liela nenoteiktība un vienlaikus arī liela ietekme uz sistēmu.

Iepriekš tika noteikts, ka modelētās sistēmas uzvedību pamatā nosaka trīs cēloniskās cilpas¹⁰ (skat. 2.3. nodaļu), tāpēc ir svarīgi noteikt sistēmas uzvedības jutību pret šajās cilpās ietvertajiem pieņēmumiem. Tika analizētas trīs būtiskāko izejas parametru jutības attiecībā pret ieejas parametriem – vidējais svērtais pārstrādāto atkritumu īpatsvars, kopējais ikgadējais pieprasījums pēc iepakojuma materiāliem un poligonu aizpildīšanās pakāpe. Katram būtiskajam ieejas parametram, kas ietver pieņēmumu, tika noteiktas zemākās, augstākās un bāzes vērtības (skat. 3. pielikumu). Zemāko un augstāko vērtību noteikšanas pamatā ir lielumi, kas potenciāli varētu pastāvēt vai arī ir uzskatāmi par reāliem. Piemēram, ja izlietotajam iepakojumam nebūtu piemaisījumu, šķirošanas efektivitāte visiem materiāliem varētu sasniegt vērtību 1, tomēr, tā kā realitātē tas ir praktiski nesasniedzami, tad par augstāko vērtību tiek noteikts nedaudz zemāks lielums, t.i. 0,98. Piemēram, plastmasas šķirošanas efektivitātes bāzes vērtība ir 0,8. Augstākā vērtība tādā gadījumā ir par 22,5% augstāka par bāzes vērtību, savukārt zemākā vērtība – par

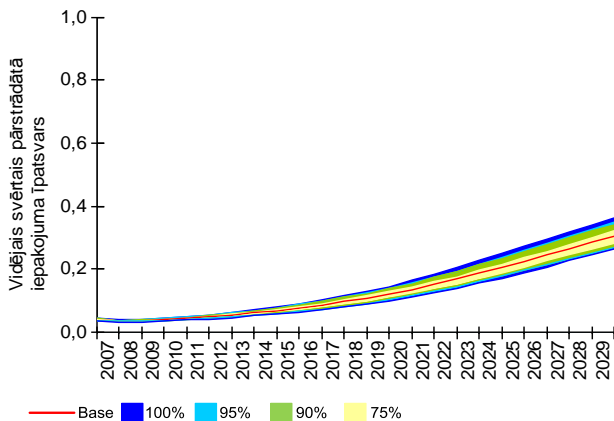
¹⁰ Cilpas, kas apraksta pieprasījumu pēc jēlmateriāliem un pārstrādātiem materiāliem, nosacīti var apvienot vienā negatīvajā cilpā, kas apraksta kopējo pieprasījumu pēc materiāliem

22,5% zemāka, t.i. 0,62. Gadījumos, kad zemākajai vai augstākajai vērtībai saprātīgu ierobežojumu nav, tiek pieņemts $\pm 20\%$ diapazons no bāzes vērtības.

Jūtības analīze tika veikta simulācijas rīka *Powersim Studio 8* vidē, izvēloties Latīņu hiperkuba salīdzināšanas metodi, kas paša rīka palīdzības rokasgrāmatā tika norādīta kā efektīvāka jutības analīzes veikšanai par Monte-Karlo metodi. Latīņu hiperkuba salīdzināšanas metode ir statistikas metode, kurā katra pieņēmuma varbūtības izkliede tiek sadalīta vairākos savstarpēji nepārklājošos intervālos ar vienādu varbūtību – katram pieņēmumam tiek ģenerēts paraugs no katra intervāla [224]. Katra testa laikā tika veikti 40 simulācijas piegājieni, kuros visas ieejas vērtības tiek izvēlētas vienlīdz nejauši visā definētajā nenoteiktības diapazonā. Tika veikta kā vienparametra, tā arī daudzparametru jutības analīze.

Pārstrādāto atkritumu īpatsvara jutība tika analizēta attiecībā pret šķirošanas efektivitāti, pārstrādes efektivitāti, potenciālo vides apsvērumu vadīto iedzīvotāju īpatsvaru, sākotnējo šķirošanas punktu pieejamību un sākotnējām neērtību izmaksām iesaistīties atkritumu šķirošanā. Vienparametra jutības analīzes rezultāti parāda, ka pārstrādāto atkritumu īpatsvaru būtiskāk var ietekmēt šķirošanas efektivitātes, neērtību izmaksu un vides apsvērumu vadīto iedzīvotāju īpatsvara nenoteiktība, tomēr rezultātu varbūtību sadalījuma diapazons ir salīdzinoši šaurs. Salīdzinot ar rezultātu, kas iegūts pie ieejas parametra bāzes vērtības, 100% ticamības robežas svārstās $\pm 10\%$ robežās (skat. 3.pielikumu). Pārstrādes efektivitātes un šķirošanas punktu pieejamības nenoteiktība rada maznozīmīgas pārstrādāto atkritumu īpatsvara rezultāta izmaiņas, t.i. 0 – 3%. 2.34. attēlā parādīti daudzparametru jutības analīzes rezultāti, kas tika iegūti, ievadot vienlaicīgi visu ieejas parametru nenoteiktības.

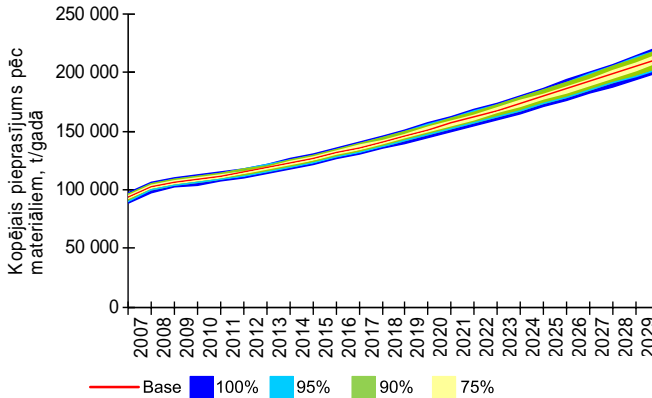
2.34. attēlā redzams, ka pie visu ievadīto parametru nenoteiktības pastāv 75% varbūtība, ka vidējais svērtais pārstrādāto atkritumu īpatsvars simulācijas perioda beigās būs starp 28% un 32%, un 100% varbūtība, ka tas būs starp 26% un 36%.



2.34. att. Pārstrādāto atkritumu īpatsvara daudzparametru jutības analīzes rezultāti

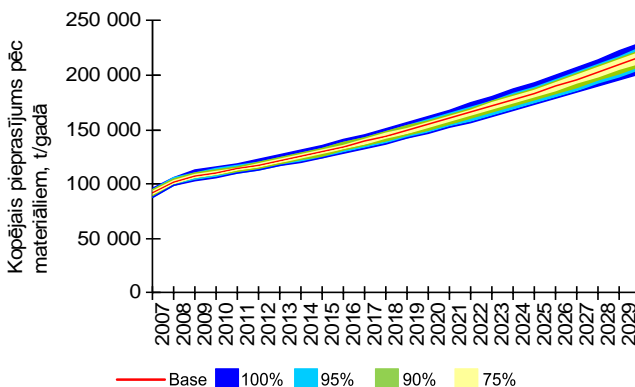
Kopējā ikgadējā materiālu pieprasījuma jutība tika analizēta attiecībā pret jēlmateriālu atsauces cenu, pieprasījuma cenas elastību un sākotnējo pārstrādāto materiālu īpatsvaru iepakojumā. Pēdējais no minētajiem parametriem materiālu pieprasījumu ietekmē visbūtiskāk (skat. 3. pielikumu). Pārstrādāto materiālu īpatsvars ir lielums, kas nosaka materiālu sākotnējo sadalījumu tirgus modulī. Lai arī tā vērtības dažādiem materiālu

veidiem tika definētas, balstoties uz literatūras analīzi, pastāv varbūtība, ka realitātē pārstrādāto materiālu īpatsvars ir atšķirīgs, tāpēc tā nenoteiktība tika definēta $\pm 20\%$ robežās. Vienparametra jutības analīzes rezultāti parāda, ka kopējā pieprasītā materiālu daudzuma varbūtību sadalījuma diapazons svārstās no $-5,5\%$ līdz $+4\%$ salīdzinājumā ar daudzumu, kas tiek iegūts pie pārstrādāto materiālu īpatsvara bāzes vērtības (skat. 2.35.att.). Bez tam, ticamības robežas ir paplašinātas jau pašā simulācijas sākumā, jo kopējam materiālu pieprasījumam nav zināmas precīzas vēsturiskās vērtības un tas tiek iegūts aprēķinu rezultātā atkarībā no dažādiem parametriem, t.sk. pārstrādāto materiālu īpatsvara iepakojumā.



2.35. att. Kopējā ikgadējā materiālu pieprasījuma jutība pret sākotnējā pārstrādāto materiālu īpatsvara nenoteiktību

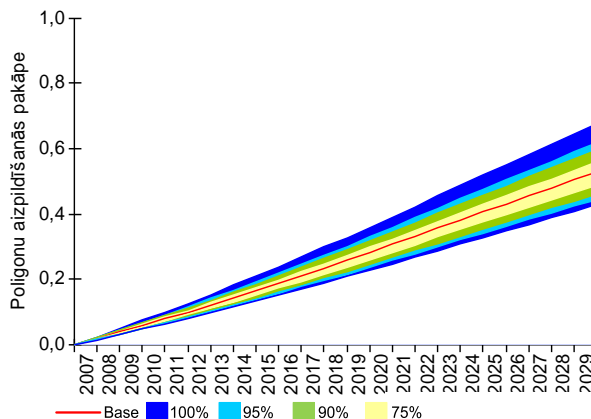
Daudzparametru jutības analīzes rezultāti parāda, ka pie visu analizēto parametru nenoteiktības pastāv 100% varbūtība, ka kopējais ikgadējais materiālu pieprasījums simulācijas perioda beigās būs robežās no aptuveni 202 tūkst.t līdz 230 tūkst.t. (skat. 2.36.att.). Tas nozīmē, ka iegūtais rezultāts var svārstīties $\pm 6\%$ robežās no rezultāta, kas iegūts pie ieejas parametru bāzes vērtībām.



2.36. att. Kopējā ikgadējā materiālu pieprasījuma daudzparametru jutības analīzes rezultāti

Poligonu aizpildīšanās pakāpe var mainīties atkarībā no maksimālās poligonu ietilpības. Modelī poligonu ietilpība tika attiecināta pret iepakojuma procentuālo daudzumu

kopējā atkritumu masā, kas saskaņā ar statistiku līdz 2011.gadam bijis aptuveni 20%. Pieņemot, ka šis daudzums varētu mainīties $\pm 20\%$ robežās, attiecīgi mainītos arī maksimālā poligonu ietilpība, kas varētu izmainīt poligonu aizpildīšanās pakāpi. Jūtības analīzes rezultāti rāda, ka poligonu aizpildīšanās pakāpes rezultātu varbūtību sadalījuma diapazons tik tiešām ir salīdzinoši plašs (skat. 2.37.att.).



2.37. att. Poligonu aizpildīšanās pakāpes jutība pret maksimālās poligonu ietilpības nenoteiktību

2.37. attēlā redzams, ka pastāv 100% varbūtība, ka simulācijas perioda beigās poligonu aizpildīšanās pakāpe būs robežās starp 43% un 68%, bet 75% varbūtība, ka tā būs 49 – 56%. Bāzes vērtības gadījumā, poligonu aizpildīšanās pakāpe būs 53%.

Ar jutības analīzes palīdzību tika identificēti parametri, kuru nenoteiktība simulācijas rezultātus var ietekmēt visbūtiskāk. To zinot, iespējams izdarīt secinājumus par sistēmas uzvedību pie dažādiem sākotnējiem nosacījumiem. Kopumā iegūto izejas parametru rezultātu varbūtības diapazona izkliede nav liela, tāpēc var teikt, ka ievades parametru nenoteiktība sistēmas uzvedību būtiski neietekmēs. Līdz ar to var secināt, ka parametru nenoteiktība neizmaina sistēmas bāzes uzvedību, un tas nozīmē, ka pielietotā politikas stratēģija sistēmas efektivitātes celšanai būs noturīga pat pie dažādiem sākotnējiem apstākļiem.

Iegūtie modeļa testēšanas rezultāti ļauj secināt, ka izstrādātajā modelī iekļauti būtiskākie reālās sistēmas dinamisko uzvedību noteicošie faktori un ka modelētās sistēmas robežas un detalizācijas pakāpe ļauj ticami aprakstīt reālo sistēmu. Tādējādi simulācijas rezultātus var uzskatīt par ticamiem un reālo sistēmu skaidrojošiem, bet modeli var izmantot padziļinātas simulācijas un politikas analīzei.

2.7. Modeļa ierobežojumi

Bieži modeļu testēšana tiek izmantota, lai pierādītu, ka modelis ir „pareizs”, tomēr saskaņā ar Dž.Stermāna [221] apgalvoto nepareizi ir visi modeļi. Tāpēc būtiskāk ir norādīt uz modeļa pieņēmumiem un ierobežojumiem, lai pēcāk modelis varētu tikt attīstīts un uzlabots. Darbā izstrādātā modeļa izveidē izmantotie pieņēmumi tika aprakstīti jau iepriekš, tomēr nepieciešams minēt arī vairākus modeļa lietojuma ierobežojumus.

Tirgus modulī viens no būtiskākajiem ierobežojumiem ir ražotājam definētās iespējas materiālu izvēlē. Tās nosaka, ka ražotājs var izvēlēties tikai starp pārstrādātiem un jēlmateriāliem dotā materiālu veida ietvaros. T.i. modelī tiek definēts kopējais atsaucis pieprasījums pēc materiāliem, kas atbilstoši pieejamajiem datiem tiek sadalīts pa materiālu veidiem – papīrs, stikls, plastmasa, metāls. Ražotājs var izvēlēties, vai iepakojumu ražot, piemēram, no pārstrādāta papīra vai pirmējā papīra, bet nevar izvēlēties mainīt materiālu veidu kopumā, piemēram, papīru pret plastmasu. Lai modulī šo ierobežojumu novērstu, būtu nepieciešams ieviest parametrus, kas raksturo pieprasījuma cenas krustenisko elastību starp dažādiem materiālu veidiem. Ar tirgus moduļa palīdzību šobrīd nav iespējams arī noteikt, kāds būs brāķa procents un līdz ar to arī zaudējumi, izvēloties vienu vai otru materiālu. Visticamāk, ka izvēloties pārstrādātus materiālus, brāķa procents un līdz ar to ražošanas izmaksas pieaugs, bet relatīvais ieguvums no lētāka materiāla izvēles samazināsies, tomēr modulī tas nav ietverts. Tirgus modulis palīdz ražotājam izdarīt materiālu izvēli, balstoties tikai uz to cenām, tomēr citas ar materiālu pielietojumu saistītās izmaksas (piemēram, transportēšanas izmaksas, izvēloties lētāku, bet smagāku iepakojuma materiālu) ietvertas netiek.

Patērētāju rīcības moduļa būtiskākais trūkums ir tas, ka nav zināma patērētāju rīcība attiecībā uz iepakojuma atkārtotu izmantošanu, kas nozīmētu iepakojuma vienības vērtības noteikšanu patērētāju acīs. Latvijas patērētāju vidū ir izteiktas pārtikas sagatavošanas tradīcijas ziemeļiem, t.sk. konservēšana un saldēšana. Visbiežāk šim nolūkam tiek atkārtoti izmantotas jau esošās stikla burkas un plastmasas kastītes, retāk – tās tiek speciāli iegādātas. Zinātniskajā literatūrā kopumā ir salīdzinoši maz pētījumu par iepakojuma vērtības noteikšanu, bet Austrumeiropas valstīs, kuru apstākļiem varētu pielīdzināt arī Latvijas situāciju, šādu pētījumu nav vispār vai arī tie nav pieejami. Trūkst arī socioloģisko pētījumu, kuros analizēta Latvijas patērētāju rīcība atkritumu apsaimniekošanas jomā, līdz ar to modulis lielā mērā balstīts uz pieņēmumiem.

Kā būtiskāko atkritumu apsaimniekošanas moduļa ierobežojumu var minēt to, ka tajā nav iespējams simulēt atkritumu nelegālo izgāšanu un vides piegružošanu, kas Latvijā un daudzviet pasaulē joprojām ir aktuāla problēma. Modulī tiek pieņemts, ka viss nesašķīrotais un nepārstrādātais vai atkārtoti neizmantotais iepakojums tiek apglabāts atkritumu poligonā, tomēr realitātē daļa no tā nonāk apkārtējā vidē. Šo moduļa ierobežojumu iespējams novērst, izveidojot papildu izejošo plūsmu no kopējā radīto atkritumu krājuma, kas raksturotu nelegālo izgāšanu, tomēr šādas plūsmas izveidi ierobežo datu pieejamības trūkums. Atkritumu apsaimniekošanas modulis varētu tikt papildināts arī ar plūsmu, kas raksturo no atkritumiem iegūtā kurināmā ražošanu no papīra un plastmasas iepakojuma. Lai to izdarītu, nepieciešams imitēt atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu rīcību atkarībā no dažādiem ekonomiskajiem faktoriem, nosakot izdevīgāko risinājumu – materiālu pārdošanu pārstrādei vai no atkritumiem iegūtā kurināmā sagatavošanai. Izveidot šādu plūsmu modelī iespējams tiklīdz, kā pietiekamā daudzumā un kvalitātē ir pieejami dati par procesu izmaksām, produktu cenām un tirgus elastību raksturojošajiem parametriem. Saistībā ar augstāk minēto patērētāju rīcības moduļa ierobežojumu, atkritumu apsaimniekošanas modulī var būt neprecīzi definēti atkārtoti izmantojamā iepakojuma daudzums (esošajā modulī tiek pieņemts, ka atkārtoti tiek izmantoti vien aptuveni 60% dzērienu (alus un mazalkoholisko kokteiļu) stikla iepakojuma).

Arī ar modeļa palīdzību analizējamo politikas instrumentu klāstu ir iespējams papildināt. Piemēram: (a) CO₂ nodoklis biodegradējamo atkritumu apglabāšanai poligonā varētu veicināt papīra iepakojuma pārstrādi; (b) maksas piemērošana par dalīti savāktu atkritumu izvešanu varētu veicināt straujāku šķirošanas punktu ierīkošanu, jo tiktu

daļēji/pilnībā kompensēti atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu izdevumi; (c) minimālā pārstrādāto materiālu īpatsvara noteikšana iepakojumā varētu veicināt pieprasījumu pēc pārstrādātiem materiāliem no iepakojuma ražotāju puses; (d) iepakojuma materiālu pārstrādājamības noteikšana atvieglotu atkritumu šķirošanas un pārstrādes procesus, bet iepakojuma ražotājam liktu izvēlēties „nekomplicētus” materiālus (piemēram, ierobežojot kompozītmateriālu izmantošanu); u.c.

Visus uzskaitītos modeļa ierobežojumus un nepilnības iespējams novērst, iegūstot/precizējot trūkstošos datus un modelī izveidojot papildu parametrus un definējot sakarības starp tiem un jau esošajiem parametriem.

2.8. Scenāriju izstrāde

D.Saners [225] definē scenāriju kā „attiecīgo ietekmējošo mainīgo dažādu iespējamo nākotnes stāvokļu kombināciju”. Šajā darbā par „attiecīgajiem ietekmējošajiem mainīgajiem” var uzskatīt politikas instrumentus. Politikas instrumentu ietekme uz primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmu tika analizēta, izstrādājot vairākus scenārijus, kuros tika testētas instrumentu variācijas un kombinācijas. Izstrādāto scenāriju mērķis bija noteikt, kā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēma var tikt ietekmēta, lai paaugstinātu pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvaru un kavētu iepakojuma atkritumu uzkrāšanos sadzīves atkritumu apglabāšanas poligonos, kā arī uzlabotu citus sistēmas rezultātīvos rādītājus.

Vispirms tika izveidots bāzes scenārijs, kas parāda sistēmas potenciālo dinamiku, ja esošajā atkritumu apsaimniekošanas politikā nekas netiek mainīts, t.i. tika prognozēta iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas 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 vēlamu rezultātu sasniegšanu (skat. 2.4. tabulu). Visbeidzot tika izveidoti seši scenāriji, kuros politikas instrumenti tika kombinēti, veidojot politikas stratēģijas jeb dizainu un pārbaudot dažādu instrumentu pielietojanas kopējo ietekmi uz sistēmu (skat. 2.5. tabulu).

Izstrādājot 2.4. tabulā parādītos scenārijus, katram politikas instrumentam tika noteiktas vērtības, kas to raksturo:

- a) depozīta sistēma netiek pielietota, ja vērtība ir 0, un tiek pielietota, ja vērtība ir 1. Arī depozīta sistēmā tiek pielietoti speciāli politikas instrumenti. Lai noteiktu katra depozīta sistēmas instrumenta efektivitāti, tiek palielinātas to sākotnējās vērtības: (i) depozīta maksa – divas reizes, (ii) pieņemšanas punktu skaits – piecas reizes, pieņemot, ka tie tiek ierīkoti arī pārtikas un jaukta tipa veikalos, kuru platība ir mazāka par 120m², un (iii) informatīvo kampaņu skaits – no vienas līdz 12 kampaņām gadā;
- b) poligonu aizlieguma nav, ja vērtība ir 0, bet tas pastāv, ja vērtība ir 1;
- c) poligonu nodokļa likmes saglabājas 2012.gada līmenī, ja vērtība ir 0, tiek paaugstinātas proporcionāli poligonu aizpildīšanās pakāpei, ja vērtība ir 1, un tiek paaugstinātas proporcionāli poligonu aizpildīšanās pakāpei desmitkārtīgā apmērā, ja vērtība ir 10;
- d) subsīdijas saglabājas esošajā apmērā, t.i. 10% no ražotāja paplašinātās atbildības organizācijām samaksātās maksas (vērtība – 0,1), un var tikt palielināta līdz apmēram, kas vienāds ar ražotāja paplašinātās atbildības organizācijām samaksāto maksu (vērtība – 1);
- e) pašvaldībām atbildība par pārstrādes mērķu sasniegšanu netiek noteikta, ja vērtība ir 0, un tiek noteikta, ja 1;
- f) informatīvo kampaņu skaits var tikt palielināts no 4 līdz 100 kampaņām gadā;
- g) informācijas daudzums uz iepakojuma var tikt palielināts no zema (vērtība – 0,1) līdz augstam (vērtība – 1);
- h) iepakojuma nodokļa likmes saglabājas 2012.gada līmenī, ja vērtība ir 0, tiek paaugstinātas proporcionāli poligonu aizpildīšanās pakāpei, ja vērtība ir 1, un tiek paaugstinātas proporcionāli poligonu aizpildīšanās pakāpei desmitkārtīgā apmērā, ja vērtība ir 10;
- i) atbrīvojums no iepakojuma nodokļa pārstrādātiem materiāliem netiek piešķirts, ja vērtība ir 0, bet tiek piešķirts, ja vērtība ir 1;
- j) materiālu aizvietošanas elastības koeficients var tikt paaugstināts no 0,5 līdz 2,5;
- k) literatūrā atrodamās pieprasījuma cenas elastības koeficientu vērtības (r.v) jēlmateriāliem un pārstrādātiem materiāliem var tikt palielinātas divas reizes.

Bāzes scenārija gadījumā darbojas vairāki no testējamajiem instrumentiem, tomēr to vērtības ir salīdzinoši zemas. Simulējot scenārijus P1 – P17, tiek pārbaudīts katra instrumenta efekts uz sistēmas uzvedību atsevišķi, salīdzinot iegūtos rezultātus ar bāzes scenārija rezultātiem. Zinot katra politikas instrumenta ietekmi uz modelēto sistēmu, scenārijos S1 – S6 tiek veidotas vairākas stratēģijas pārstrādāto atkritumu īpatsvara paaugstināšanai (skat. 2.5.tabulu). Iegūtie rezultāti tiek salīdzināti ar bāzes scenāriju.

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.

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 aizvietošana	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5
e _d jēlmateriāliem	r.v.	r.v.	r.v.	2	r.v.	r.v.	r.v.
e _d pārstrādātiem materiāliem	r.v.	r.v.	r.v.	2	r.v.	r.v.	r.v.

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 pārstrādājamus materiālus, nodrošinot to noieta 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.

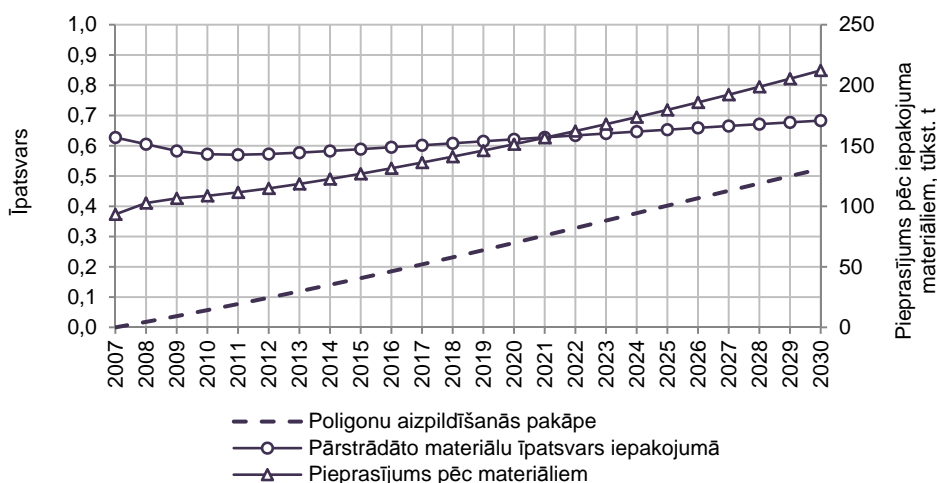
3. REZULTĀTI UN TO APSPRIEŠANA

Sistēmdinamikas modeļi ļauj saprast pieauguma, krituma un svārstību cēloņus aplūkotajā sistēmā. To mērķis ir viecināt izpratni par sistēmas uzvedību, nevis prognozēt konkrētus sistēmas mainīgo lielumus [133]. Neviens matemātiskais modelis, t.sk. sistēmdinamikas modeļi, nespēj sniegt prognozējamo parametru precīzas vērtības. Sistēmdinamika ļauj novērtēt dažādu politikas instrumentu un stratēģiju ietekmi uz kompleksu sistēmu dinamiku. „Tas var šķist paradoksāli, bet kvantitatīva sistēmdinamikas pētījuma rezultāti ir kvalitatīvs ieskats sistēmā” [134]. Līdz ar to, ar izstrādātā sistēmdinamikas modeļa palīdzību iegūtie rezultāti izmantojami savstarpējo cēlonisko sakarību novērošanai starp sistēmas elementiem un sistēmas potenciālās attīstības prognozēšanai, ieviešot jaunu politikas stratēģiju.

Turpmākajās nodaļās aprakstīti izstrādāto politikas instrumentu un scenāriju rezultāti un veikta to analīze, novērtēta politikas instrumentu ietekme uz pētāmo sistēmu un noteiktas efektīvākās politikas stratēģijas pārstrādāto atkritumu īpatsvara paaugstināšanai. Nodaļas nobeigumā aprakstīti politikas jutības analīzes rezultāti.

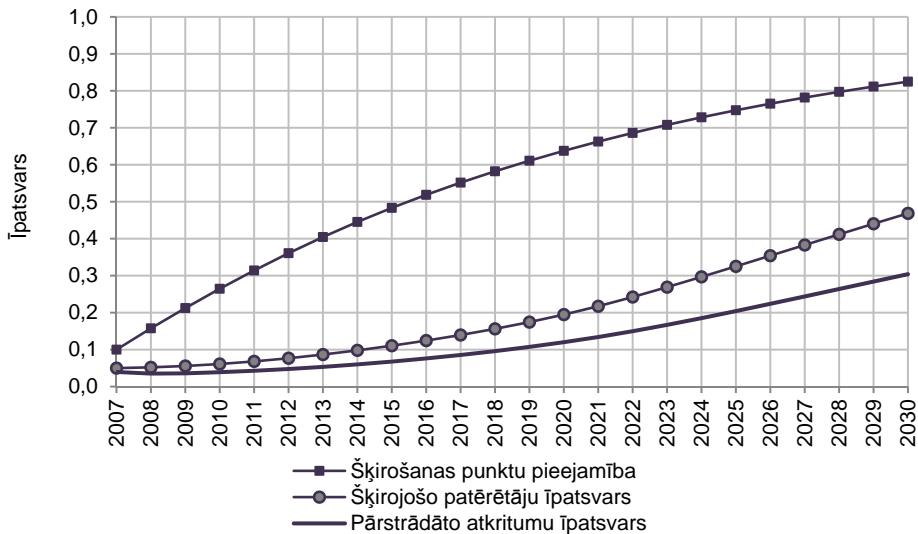
3.1. Bāzes scenārija rezultāti

Bāzes scenārija rezultāti parāda sistēmas iespējamo dinamisko attīstību, ja esošajā atkritumu apsaimniekošanas politikā nekas netiek mainīts un arī turpmāk tiek izmantoti tie politikas instrumenti, kas bijuši spēkā laikā no 2007. – 2012.gadam, t.sk. visā simulācijas periodā atstājot iepakojuma un poligonu nodokļu likmes 2012.gada līmenī. Rezultāti parāda, ka, neskatoties uz paredzamo iedzīvotāju skaita samazināšanos, pieprasījums pēc iepakojuma materiāliem pieaug. 3.1. attēlā redzams, ka līdz 2030.gadam kopējais pieprasījums pēc materiāliem ir vairāk kā divkārtšojies, liekot tādā pašā mērā pieaugt arī radīto iepakojuma atkritumu daudzumam. Gan pārstrādāto, gan jēlmateriālu cenas ar laiku pieaug, tomēr uztvertā pārstrādāto materiālu cena visu simulācijas periodu saglabājas ievērojami zemāka par uztverto jēlmateriālu cenu. Neskatoties uz to, ekodizainu veicinošo instrumentu trūkuma dēļ izmaiņas iepakojuma ražošanai izmantoto materiālu sastāvā ir nelielas.



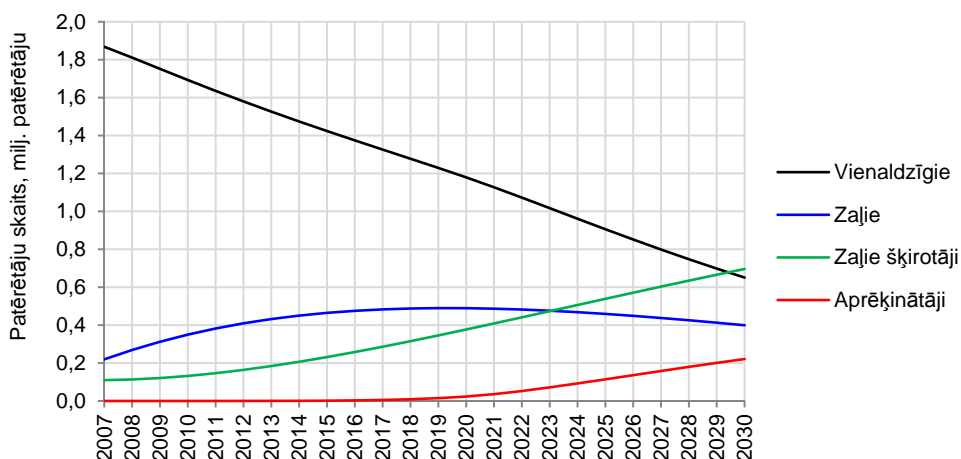
3.1. att. Materiālu patēriņa un poligonu aizpildīšanās pakāpes rezultāti bāzes scenārijā

Līdz ar radīto atkritumu daudzuma palielināšanos pieaug arī poligonu aizpildīšanās pakāpe – simulācijas perioda beigās aizpildīta ir nedaudz vairāk kā puse iepakojumam paredzētā poligonu tilpuma. Pieaugot atkritumu daudzumam, palielinās arī atkritumu apsaimniekošanas maksa, kas, tuvojoties neērtību izmaksu sliekšnim, ekonomisku motīvu vadītajiem patērētājiem liek apsvērt paradumu maiņu, t.i. uzsākt atkritumu šķirošanu. Savukārt, vides apsvērumu vadītie patērētāji izrāda arvien lielāku vēlmi iesaistīties atkritumu šķirošanā līdz ar poligonu aizpildīšanās pakāpes pieaugumu. Patērētāju pieaugošā vēlme šķirot liek atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumiem ierīkot šķirošanas punktus, tādējādi nodrošinot arvien pieaugošu to pieejamību. Pastāvot šķirošanas iespējām, kopējais šķirojošo patērētāju īpatsvars pieaug, 2030.gadā sasniedzot 46% sabiedrības (skat. 3.2.att.).



3.2. att. Šķirošanas un pārstrādes rādītāju rezultāti bāzes scenārijā

3.3. attēls parāda patērētāju grupu izmaiņu dinamiku. Tajā redzams, kā, pārejot uz citām patērētāju grupām, sarūk Vienaldzīgo patērētāju skaits. Aprēķinātāju skaits lēnām pieaug, palielinoties ekonomiskajai motivācijai, savukārt Zaļo šķirotāju skaits pieaug straujāk, kas atkarīgs no ātrumiem, ar kādiem pieaug poligonu aizpildīšanās pakāpe un šķirošanas punktu pieejamība. Pēdējais no faktoriem nosaka arī Zaļo patērētāju skaita sarukumu, sākot ar 2020.gadu, jo, parādoties iespējai šķirot atkritumus, Zaļie pāriet uz Zaļo šķirotāju grupu. Tas, ka kopējais šķirojošo patērētāju īpatsvars nesasniedz šķirošanas punktu pieejamības īpatsvara līmeni (skat. 3.2.att.) liecina par motivējošo instrumentu trūkumu sistēmā.



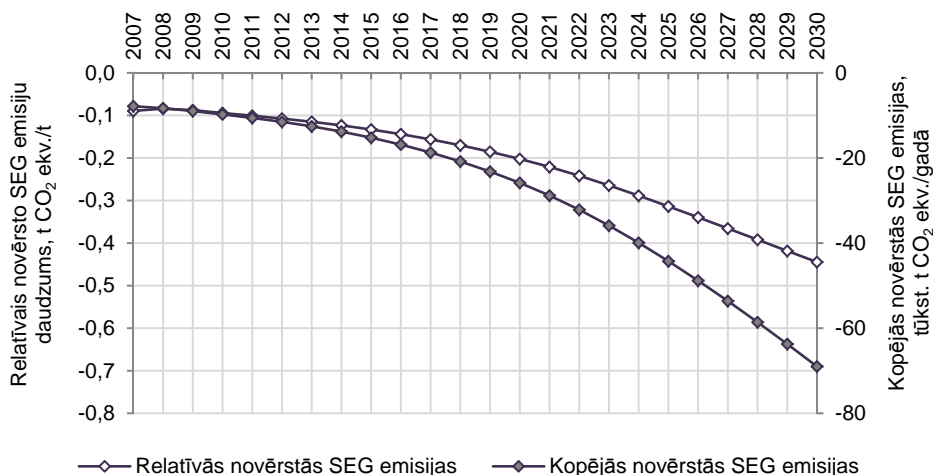
3.3. att. Patērētāju grupu izmaiņu dinamika bāzes scenārijā

Šķirojošo patērētāju īpatsvars ir galvenais faktors, kas nosaka sašķirotu un pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvaru – jo vairāk patērētāju iesaistās šķirošanā, jo lielāks atkritumu daudzums tiek sašķiroti un pēcāk pārstrādāti. 3.2. attēlā redzams, ka pārstrādāto atkritumu īpatsvara pieauguma tendence ir līdzīga šķirojošo patērētāju īpatsvara pieauguma tendencei, tomēr to ierobežo šķirošanas un pārstrādes efektivitāte, tāpēc simulācijas perioda beigās pārstrādāto atkritumu īpatsvars ir zemāks par šķirojošo patērētāju īpatsvaru un sasniedz vien 30%.

Līdz ar pārtstrādātā atkritumu daudzuma pieaugumu, palielinās arī novērsto SEG emisiju daudzums (skat. 3.4. att.). Kopējais novērsto SEG emisiju daudzums simulācijas perioda laikā pieaug gandrīz desmitkārtīgi. Šo pieaugumu rada gan radīto atkritumu kopējā daudzuma, gan attiecīgo pārstrādāto iepakojuma atkritumu daudzuma palielināšanās. Aplūkojot relatīvā novērsto SEG emisiju daudzuma izmaiņas redzams, ka tā pieaugums ir mazāks, t.i. simulācijas periodā tas pieaug aptuveni piecas reizes – no 0,09 – 0,44 tCO₂ekv./t. Relatīvais novērsto SEG emisiju daudzums norāda uz to SEG emisiju daudzumu, kuru iespējams novērst, pārstrādājot 1% visu radīto iepakojuma atkritumu. Ņemot vērā, ka radīto atkritumu daudzums ar katru gadu pieaug, arī SEG emisiju daudzums, kuru iespējams novērst, palielinot pārstrādātā iepakojuma apjomu par 1%, palielinās.

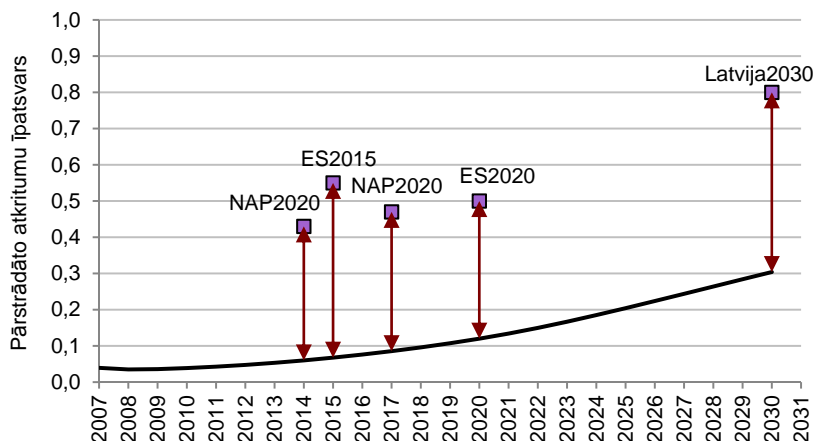
Kaut arī rezultāti parāda, ka, poligoniem aizpildoties tādā pašā tempā, ar tiem pēc simulācijas perioda beigām pietiktu vēl aptuveni 15 – 20 gadiem, ir nepieciešams virzīties uz pārstrādājošu un resursu efektīvu sabiedrību, kā arī izpildīt pārstrādes mērķus, kas izvirzīti ES direktīvās un nacionālajos plānošanas dokumentos:

- ES direktīvā 2004/12/EK ar ko groza direktīvu 94/62/EK par iepakojumu un izlietoto iepakojumu (turpmāk – ES2015);
- ES direktīvā 2008/98/EK par atkritumiem (turpmāk – ES2020);
- Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģijā līdz 2030.gadam (turpmāk – Latvija2030);
- Latvijas Nacionālajā attīstības plānā 2014.-2020.gadam (turpmāk – NAP2020).



3.4.att. Relatīvais un kopējais novērtsto SEG emisiju daudzums bāzes scenārijā

Lai arī visos minētajos dokumentos pārstrādes mērķi tiek attiecināti uz plašāku atkritumu kategoriju loku, tiek pieņemts, ka tādi paši mērķi tiek izvirzīti arī primārā iepakojuma pārstrādei. Ņemot to vērā, bāzes scenārijā iegūtie pārstrādāto atkritumu īpatsvara rezultāti ir nepietiekami (skat. 3.5.att.).



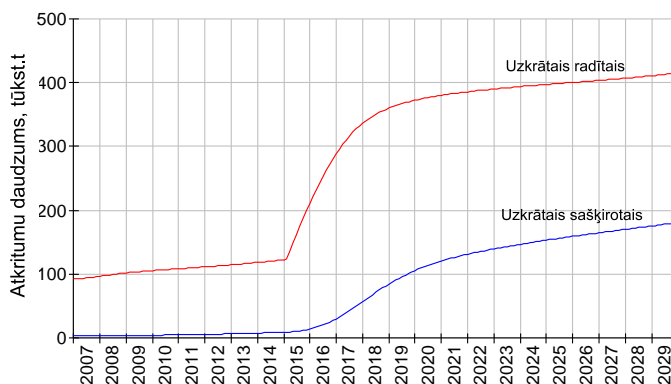
3.5.att. Bāzes scenārijā iegūtā pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvara rezultāti attiecībā pret ES direktīvās un nacionālajos plānošanas dokumentos nospraustajiem mērķiem

3.5. attēls parāda, ka, esošajā atkritumu apsaimniekošanas politikā neko nemainot, neviens no minētajos dokumentos izvirzītajiem mērķiem sasniegts netiks. Tāpēc ir nepieciešams noteikt, pielietojot kurus politikas instrumentus iespējams panākt pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvara pieaugumu pietiekamā ātrumā un apmērā. Ar izstrādātā sistēmdinamikas modeļa palīdzību iespējams noteikt, kurš no analizētajiem politikas instrumentiem sniegs lielāku efektu, bet kura instrumenta ieviešana nesniegs praktiski nekādu devumu pārstrādāto atkritumu īpatsvara palielināšanā.

3.2. Politikas instrumentu ietekmes analīze

Katram politikas instrumentam var būt atšķirīga ietekme uz primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas elementiem (modeļa parametriem). Lai izstrādātu efektīvu politikas dizainu, nepieciešams noteikt kādā mērā katrs politikas instruments ietekmē sistēmas dinamisko uzvedību un sasniedzamos rezultātus. 3.1. tabula parāda, kā, esošo sistēmu papildinot ar noteiktu instrumentu, izmainās pieprasījums pēc iepakojuma materiāliem, poligonu aizpildīšanās pakāpe, pārstrādāto atkritumu īpatsvars un citi sistēmas dinamiku raksturojoši rādītāji. Izmaiņas tiek parādītas ar procentuālo rādītāja pieaugumu (+) vai samazinājumu (–) attiecībā pret bāzes scenārijā iegūtajiem rezultātiem.

Politikas instrumentu ietekmes analīzes rezultāti parāda, ka viens no instrumentiem, kas modelēto atkritumu apsaimniekošanas sistēmas uzvedību būtiski maina ir aizliegums poligonos apglabāt pārstrādājamos materiālus (scenārijs P5). Tas ir visefektīvākais instruments pārstrādāto iepakojuma atkritumu īpatsvara celšanai un poligonu aizpildīšanās pakāpes pieauguma kavēšanai, tomēr ar vienu nosacījumu – tiek nodrošināts straujš šķirošanas punktu pieejamības pieaugums. Ja šķirošanas punktu ierīkošana nenotiek, sašķirotos atkritumus nav kur likt un pastāv liels apkārtējās vides piesārņojuma risks ar nelegāli izgāztiem atkritumiem. Simulācijas rezultāti parāda, ka šķirošanas punktus būtu nepieciešams ierīkot pat vēl straujāk, kā definētajos trīs gados, jo notiek strauja radīto atkritumu uzkrāšanās (skat. 3.6.att.). Optimāli, 100% šķirošanas punktu pieejamība būtu jānodrošina jau pirms poligonu aizlieguma ieviešanas.





3.6. att. Kopējais uzkrātais radīto un sašķirotu atkritumu daudzums P5 scenārijā

3.6. attēlā redzams, ka notiek arī jau sašķirotu atkritumu uzkrāšanās. Kaut arī modelī tā nav ietverta, tomēr realitātē būtu jādomā par pārstrādes jaudas nodrošināšanu, lai savāktie šķirotie atkritumi laikus tiktu pārstrādāti. Līdz ar to poligonu aizlieguma ieviešana var radīt salīdzinoši augstas izmaksas sabiedrībai, ko arī uzsver F.Lukila un L.Roučeda [120], apgalvojot, ka „kopumā „pavēles un kontroles” instrumenti ir dārgi un ekonomiski neefektīvi salīdzinājumā ar daudz elastīgākajiem ekonomiskajiem instrumentiem”.

3.1. tabula

Testēto politikas instrumentu ietekme uz atsevišķiem sistēmas parametriem, %

Parametrs	Gads	Scenārijs																
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17
Pieprasījums pēc materiāliem	2020	-1	-1	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	-3	-42	+23	+29	-6	-5
	2030	-1	-1	0	0	+2	0	+1	0	+1	0	0	-5	-40	+20	+40	-11	-10
Pārstrādāto materiālu īpatsvars iepakojumā	2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+2	+10	+9	+37	+8	-3
	2030	0	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	+1	+5	+6	+33	+14	-5
Poligону aizpildīšanās pakāpe	2020	+1	0	-3	0	-41	0	-1	0	-3	-1	0	-1	-15	+6	+10	-2	-1
	2030	+4	+3	-5	0	-68	-1	-6	0	-14	-5	0	-2	-25	+11	+18	-5	-3
Šķirošanas punktu pieejamība	2020	-13	-25	+3	-26	+51	0	+11	+2	+54	+1	0	0	+2	0	0	0	0
	2030	-20	-27	-11	-27	+21	+1	+12	+1	+21	0	0	0	+2	0	+1	0	0
Šķirojošo patērētāju īpatsvars	2020	-14	-3	+192	+47	+105	+1	+21	+1	+72	+22	0	0	-2	+3	+4	-1	0
	2030	-15	-9	+53	+20	+16	+6	+31	+2	+55	+19	0	0	-7	+3	+4	-2	-1
Pārstrādāto atkritumu īpatsvars	2020	-12	-10	+48	+3	+427	0	+16	+1	+60	+18	0	+1	+1	+1	+2	+2	+1
	2030	-24	-22	-2	-13	+157	+5	+32	+2	+59	+20	0	0	-9	+3	+3	0	0
Relatīvais novērsto SEG emisiju daudzums	2020	-30	-19	+172	+23	+356	0	+12	+1	+46	+14	0	+1	+2	+1	+1	+2	+2
	2030	-26	-17	+64	+20	+142	+5	+28	+2	+52	+18	0	0	-8	+3	+3	0	+2

 Zemākais iegūtais parametra rezultāts
 Augstākais iegūtais parametra rezultāts

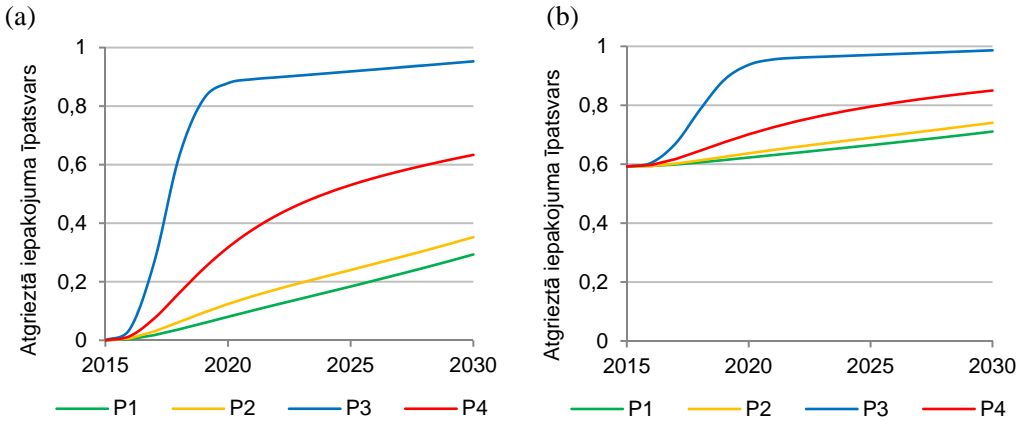
No iegūtajiem politikas instrumentu novērtējuma rezultātiem redzams, ka salīdzinoši augstu sistēmas efektivitāti iespējams panākt, nosakot pašvaldību atbildību par pārstrādes mērķu sasniegšanu (scenārijs P9). Instrumenta ieviešanas rezultātā pašvaldības savā teritorijā atkritumu apsaimniekošanas pakalpojumu nodrošināšanai uzņēmumam uzstāda prasību ierīkot šķirošanas punktus. Tādējādi tiek panākts straujš šķirošanas punktu pieejamības pieaugums, kas nepilnu 5 gadu laikā kopš instrumenta piemērošanas sasniedz jau 95%. Pastāvot šķirošanas iespējām, arvien lielāks patērētāju īpatsvars iesaistās atkritumu šķirošanā, tādējādi paaugstinot pārstrādāto atkritumu īpatsvaru un samazinot poligonu aizpildīšanās pakāpi.

Poligonu nodoklis uzskatāms par ekonomisku jeb fiskālu politikas instrumentu. Analizējot poligonu nodokļa likmes paaugstināšanas ietekmi, redzams, ka neliels, pakāpenisks likmes pieaugums (scenārijs P6) veicina patērētāju iesaistīšanos šķirošanā, tomēr efekts ir neliels – 2030.gadā pārstrādāto atkritumu īpatsvars ir vien 32%. Bez tam poligonu aizpildīšanās ātrums praktiski nemainās. Tas galvenokārt saistāms ar kopējās ekonomiskās situācijas uzlabošanu, kā rezultātā atkritumu apsaimniekošanas maksas pieaugums ir proporcionāls ieņēmumu pieaugumam, līdz ar to patērētāji izdevumu pieaugumu neizjūt. Savukārt, poligonu nodokļa likmes paaugstinot strauji (scenārijs P7), patērētāji daudz vairāk izjūt atkritumu apsaimniekošanas maksas pieaugumu un vēlas to samazināt, šķirojot vairāk atkritumu. Redzams, ka iespējas šķirot viņiem nodrošina atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumi, kas, vēloties samazināt savus izdevumus par atkritumu apglabāšanu poligonos, intensīvāk ierīko atkritumu šķirošanas punktus. Iegūtie rezultāti gan parāda, ka panāktais efekts līdz ar nodokļa likmes pieauguma faktoru samazinās, t.i. desmitkārtīga nodokļa likmes paaugstināšana attiecībā pret poligonu aizpildīšanās pakāpes pieaugumu simulācijas perioda beigās sniedz vien seškārtīgu pārstrādāto atkritumu īpatsvara pieaugumu, salīdzinot ar rezultātu, kas tiek iegūts, nodokļa likmi paaugstinot mēreni. Jāatzīmē, ka arī poligonu nodoklis var kalpot par pamatu atkritumu nelegālai izgāšanai, tāpēc tā apmēram jābūt sabalansētam ar atkritumu apglabāšanas un apsaimniekošanas izmaksām.

Interesanti, ka sabiedrības informētības celšanai ar informatīvo kampaņu palīdzību ir gandrīz tikpat liels efekts, kā poligonu nodokļa likmes desmitkārtīgai paaugstināšanai (scenārijs P10). Lai arī šķirošanas punktu pieejamība nemainās praktiski nemaz, informācijas kampaņas panāk, ka patērētāji vēlas iesaistīties atkritumu šķirošanā, jo ir zinošāki par to, kā, kur un kāpēc atkritumi ir jāšķiro. Tiek panākts, ka uz katru šķirošanas punktu pieaug sašķirotu atkritumu daudzums un kopējais pārstrādāto atkritumu īpatsvars pieaug un 2030.gadā sasniedz 36%.

Politikas instruments, uz kuru nacionālā mērogā tiek liktas lielas cerības, ka tas paaugstinās pārstrādāto atkritumu īpatsvaru, ir depoziņa sistēma dzērienu iepakojumam. Kā parāda rezultāti, depoziņa sistēmas ieviešana (scenāriji P1 – P4) analizēto parametru rezultātus nevis uzlabo, bet gan pasliktina. Galvenais iemesls tam ir dzērienu PET, alumīnija un stikla iepakojuma zemais īpatsvars kopējā primārā iepakojuma atkritumu masā, t.i. tikai 30%, un stikla un papīra augstais īpatsvars, attiecīgi 32% un 39%. Rezultāti rāda, ka ar depoziņa maksu 0,06 un 0,09 EUR/vien. apmērā, nedaudz vairāk kā 1000 iepakojuma pieņemšanas punktiem un 1 informatīvo kampaņu gadā (scenārijs P1) atgriezta iepakojuma īpatsvars ir ļoti zems un simulācijas perioda beigās sasniedz vien aptuveni 30% PET, alumīnija un vienreiz lietojamā stikla iepakojuma un aptuveni 70% atkārtoti lietojamā stikla iepakojuma (skat. 3.7. att.). Ņemot vērā, ka depoziņa sistēmas ieviešana mazinās kā atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu interesi ierīkot dalītās atkritumu vākšanas sistēmas šķirošanas punktus, tā arī patērētāju interesi dalītās atkritumu

vākšanas sistēmā iesaistīties, tad kopējais sasniegtais pārstrādāto atkritumu īpatsvars simulācijas perioda beigās ir vien 23%. Salīdzinot ar bāzes scenāriju, par nepilniem 4% samazinās arī atkārtoti izmantotā stikla īpatsvars. Dzērienu cenai pievienotā depozīta maksa nedaudz samazina pēc tiem pieprasījumu un, līdz ar to, arī pieprasījumu pēc iepakojuma materiāliem.



3.7.att. Atgrieztā dzērienu iepakojuma īpatsvars depozīta sistēmas scenārijos P1 – P4: (a) vienreiz lietojamam iepakojumam; (b) atkārtoti lietojamam iepakojumam

Depozīta maksa tiek uzskatīta par depozīta sistēmas būtiskāko instrumentu, kas motivē patērētājus izlietoto iepakojumu atgriezt sistēmā. Rezultāti 3.7. attēlā parāda, ka, piemērojot divas reizes augstāku depozīta maksu (scenārijs P2), atgrieztā depozīta iepakojuma īpatsvars salīdzinājumā ar scenārijā P1 iegūto pieaug tikai nedaudz, savukārt ietekme uz kopējo pārstrādāto atkritumu īpatsvaru ir vēl mazāka (skat. 3.1. tabulu). Salīdzinoši labāki rezultāti tiek panākti, palielinot informatīvo kampaņu skaitu vai iepakojuma pieņemšanas punktu pieejamību. Kaut arī kopējais punktu daudzums, kuros iespējams nodot šķirotos atkritumus vai atgriezt izlietoto depozīta iepakojumu, ir mazāks kā bāzes scenārijā, ar patērētāju informētības celšanu tiek panākts, ka dalītās atkritumu vākšanas un/vai depozīta sistēmā vēlas iesaistīties lielāks patērētāju īpatsvars (scenārijs P4). Savukārt, izveidojot vairāk depozīta iepakojuma pieņemšanas punktu (scenārijs P3), samazinās šķirošanas punktu ierīkošanas ātrums dalītās atkritumu vākšanas sistēmā, tādējādi samazinot kopējo punktu pieejamību, salīdzinot ar bāzes scenārijā iegūto. Neskatoties uz to, šķirojošo patērētāju īpatsvars ievērojami pieaug, ļaujot ātrāk sasniegt bāzes scenārijā iegūto pārstrādāto atkritumu īpatsvara vērtību.

3.1. tabulā redzami rezultāti parāda, ka ir arī politikas instrumenti, kuriem nav nekādas vai ir neliela ietekme uz sistēmas uzvedību. Piemēram, nodrošinot lielāku informācijas daudzumu uz iepakojuma (scenārijs P11) efekts uz analizētajiem sistēmas parametriem nesasniedz pat 1%, un pārstrādāto materiālu savākšanas pakalpojums ir palicis nemainīgs (nav palielinājusies šķirošanas punktu pieejamība). Kaut arī patērētāji ir zinošāki par to, kā pareizi atkritumus šķirot, paaugstinot šķirotu atkritumu kvalitāti, tas nav pietiekams stimuls atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumiem ierīkot šķirošanas punktus. Savukārt, ja patērētāji ir zinoši par iepakojuma šķirošanas un pārstrādes jautājumiem, bet viņiem nav pieejami šķirošanas punkti, tad ir maz iespēju šķirošanā iesaistīties. Tāpēc pārstrādāto atkritumu īpatsvars paliek nemainīgs.

Arī subsīdiju apmēra palielināšana ir nepietiekams pasākums būtiskai sistēmas uzvedības mainīšanai (scenārijs P8). Pamata iemesls tam ir lielā atšķirība starp subsīdiju apmēru un pārstrādājamo atkritumu savākšanas izmaksām, kas neveicina šķiroto atkritumu savākšanas pakalpojuma nodrošināšanu no atkritumu apsaimniekošanas uzņēmumu puses. Subsīdijas tiek segtas no ražotāja paplašinātās atbildības organizācijām samaksātās līguma maksas. Tā kā līguma maksa ir salīdzinoši zema, bet iegūtos līdzekļus nepieciešams novirzīt ražotāja paplašinātās atbildības sistēmas uzturēšanai, tad subsīdiju apmēra palielināšana vēl lielākā apmērā ir praktiski neiespējama.

Neviens no augstāk aprakstītajiem instrumentiem (scenāriji P1 – P11) būtiski neietekmē pieprasījumu pēc materiāliem un to sadalījumu. Savukārt, pielietojot scenārijos P12 – P17 testētos politikas instrumentus, redzams, kā izmainās bāzes scenārijā iegūtais pieprasījums un pārstrādāto materiālu īpatsvars iepakojumā.

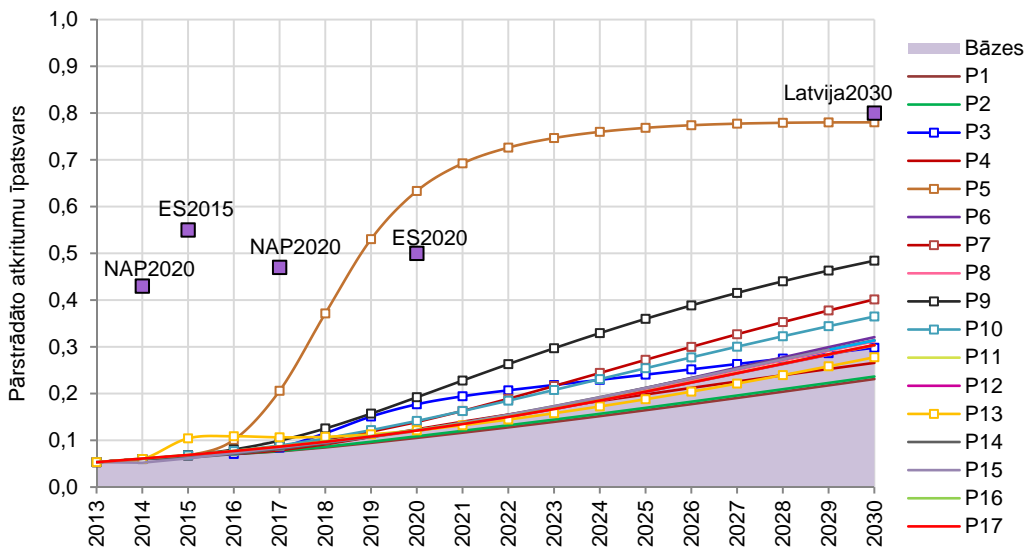
Iepakojuma nodoklis ir instruments, kas tiek izmantots ražotāja paplašinātās atbildības sistēmā, lai veicinātu atkritumu dalīto savākšanu un pārstrādi. Ražotājs no nodokļa var tikt atbrīvots, piemēram, slēdzot līgumu ar ražotāja paplašinātās atbildības organizāciju, kas organizē atkritumu dalīto savākšanu. Tā kā līguma maksa ir ievērojami zemāka par iepakojuma nodokļa likmi, ražotājiem ir liels stimuls ražotāja paplašinātās atbildības sistēmā iesaistīties. Lēmumu pieņēmēji var tiešā veidā ietekmēt iepakojuma nodokļa likmes apmēru, ja uzskata to par nepieciešamu, lai paaugstinātu pārstrādāto atkritumu īpatsvaru, tomēr viņiem jāreķinās, ka ražotāju maksātā līguma maksa būs ievērojami zemāka, tāpēc arī sagaidāmais rezultāts, visticamāk, sasniegts netiks. To arī apstiprina iegūtie politikas instrumentu novērtējuma rezultāti. Ja iepakojuma nodoklis pieaug lēnām, proporcionāli poligonu aizpildīšanās pakāpes pieaugumam (scenārijs P12), tad, līdzīgi kā poligonu nodokļa gadījumā, panāktais efekts ir neliels. Bez tam, iepakojuma nodokļa lielākais efekts ir uz pieprasījumu pēc iepakojuma materiāliem, savukārt, pārstrādāto atkritumu īpatsvars nemainās vai pat samazinās, salīdzinot ar bāzes scenārija rezultātiem. Ja iepakojuma nodoklis tiek strauji palielināts (scenārijs P13), tad pieprasītais/patērētais iepakojuma materiālu daudzums samazinās pat par 42% salīdzinājumā ar bāzes scenāriju. Sarūk arī poligonu aizpildīšanās ātrums, tomēr tas nav proporcionāls patēriņa samazinājumam, jo tiek izmantots vairāk pārstrādāto materiālu, bet jēlmateriāliem identisku īpašību iegūšanai tos ir nepieciešams izmantot lielākā daudzumā. Kaut arī pieprasījums pēc pārstrādātiem materiāliem ir audzis, tas nav veicinājis pārstrādāto materiālu piegādi. Līdz ar to, pārstrādāto atkritumu īpatsvars ir zemāks kā bāzes scenārijā. Tas skaidrojams ar to, ka, samazinoties poligonu aizpildīšanās pakāpes pieauguma ātrumam, samazinās sabiedrības reakcija uz apkārtējās vides piesārņojumu, un patērētāji neizrāda tik lielu vēlēšanos iesaistīties atkritumu šķirošanā. Tas apstiprina T.Lukilas un L.Roučedas [120] pausto, ka iepakojuma nodoklim praktiski nav nekādas ietekmes uz primārā iepakojuma savākšanu un pārstrādi, jo tas neveicina patērētāju iesaistīšanos atkritumu šķirošanā. Var teikt, ka iepakojuma nodoklis ir pielietojams kā atkritumu novēršanu, nevis pārstrādi veicinošs instruments. Jāpiebilst, ka, lai spiediens uz patēriņa samazināšanu nekristos, iepakojuma nodokļa likmēm būtu jāmainās līdz ar materiālu tirgus cenām.

Iepakojuma nodokli piemērojot tikai jēlmateriāliem (scenārijs P14), varētu tikt veicināta pārstrādāto materiālu īpatsvara palielināšana iepakojumā, un, līdz ar to pārstrādāto atkritumu īpatsvara celšana, lai augošo pieprasījumu pēc pārstrādātiem materiāliem nodrošinātu. Scenārija P14 rezultāti gan parāda, ka ievērojami pieaug kopējais pieprasījums pēc materiāliem un poligonu aizpildīšanās pakāpe, savukārt pārstrādāto atkritumu īpatsvara pieaugums ir neliels.

Līdzīgi, arī materiālu aizvietošanas elastības paaugstināšanas gadījumā (scenārijs P15) tiek panākta plašāka pārstrādāto materiālu izmantošana iepakojuma ražošanā, tomēr pārstrādāto atkritumu īpatsvara celšanās tā veicina tikai nedaudz. Savukārt, ievērojami tiek palielināts kopējais pieprasījums pēc materiāliem un poligonu aizpildīšanās pakāpes pieaugums. Tam par iemeslu kalpo materiālu aizvietojamības rādītājs, kas nosaka, ka jēlmateriāliem līdzvērtīgu īpašību iegūšanai iepakojuma ražošanā ir nepieciešams izmantot masas ziņā lielāku daudzumu pārstrādāto materiālu [62]. Redzams, ka poligonu straujāka aizpildīšanās veicina patērētāju iesaistīšanos atkritumu šķirošanā.

Rezultāti parāda, ka pieprasījuma cenas elastības paaugstināšana jēlmateriāliem (scenārijs P16) vai pārstrādātiem materiāliem (scenārijs P17) attiecīgi samazina pēc tiem pieprasījumu. Pieprasījuma cenas elastība var tikt pielietota kā ekodizainu veicinošs instruments izmantotā materiālu daudzuma samazināšanai. Scenārija P16 rezultāti liecina, ka, ražotājiem asāk reaģējot uz jēlmateriālu cenas pieaugumu, palielinās pārstrādāto materiālu īpatsvars iepakojumā. Kopējais pieprasījums pēc materiāliem, salīdzinot ar bāzes scenāriju, savukārt, nepalielinās, bet gan samazinās. Samazinās arī poligonu aizpildīšanās ātrums, kas mazina patērētāju motivāciju iesaistīties atkritumu šķirošanā. Pārstrādāto atkritumu īpatsvars, līdz ar to, ir tuvs bāzes scenārijā iegūtajam. Līdzīgi rezultāti tiek iegūti arī scenārijā P17, taču mazinās pieprasījums pēc pārstrādātiem materiāliem un to īpatsvars iepakojumā.

Apkopojot 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. 3.8.att. un 4.pielikumu). Šī instrumenta rezultāts ir arī tuvu Latvija2030 mērķim. Savukārt, NAP2020 un ES2015 primārā iepakojuma atkritumu pārstrādes mērķu izpilde atlikušajā laikā vairs nav īstenojama.



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

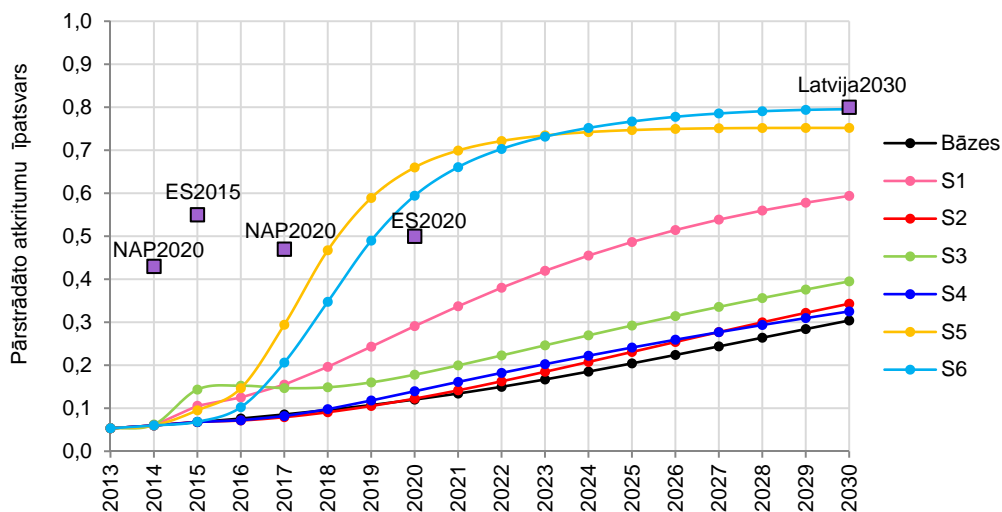
Kopumā vērtējot, primārā iepakojuma pārstrādes veicināšanai nepieciešams panākt patērētāju iesaistīšanos atkritumu šķirošanā. Lai to izdarītu, jāmazina/jākompensē patērētāju neērtību izmaksas, kas ar atkritumu šķirošanu saistītas. Visefektīvāk tās tiek mazinātas, nodrošinot šķirošanas punktu pieejamību. 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. Tomēr izvēloties piemērotākos politikas instrumentus, jāņem vērā to radītais potenciālais atsietena efekts. Politikas instrumentu ietekmes analīzes rezultāti parādīja, ka atsietena efekts iezīmējas vairākos gadījumos. Piemēram, atbrīvojums no nodokļa pārstrādātiem materiāliem veicina to izmantošanu un tādēļ nedaudz paaugstina arī pārstrādāto atkritumu īpatsvaru, bet ievērojami arī palielina kopējo radīto atkritumu daudzumu. Arī materiālu aizvietošanas veicināšana palielina gan pārstrādāto materiālu īpatsvaru, gan arī kopējo radīto atkritumu daudzumu. Aizliegums poligonos apglabāt pārstrādājamus atkritumus var radīt ievērojamu apkārtējās vides piesārņojumu ar nelegāli izgāztiem atkritumiem, ja netiek veikti pasākumi, kas nodrošina atkritumu šķirošanas iespējas visiem patērētājiem. Lai tiktu panākta ilgtspējīga un efektīva sistēmas funkcionēšana, vides ieguvumiem no politikas instrumenta ieviešanas jābūt sabalansētiem ar izmaksām, ko tā rada sabiedrībai.

3.3. Politikas stratēģiju analīze

Jebkuras politikas stratēģijas ieviešanai ir noteikts mērķis. Scenārijos S1 – S6 izveidoto stratēģiju primārais mērķis ir paaugstināt pārstrādāto atkritumu īpatsvaru. Par papildu mērķiem kalpo poligonu aizpildīšanās pakāpes ātruma mazināšana, atkritumu rašanās novēršana, pārstrādāto materiālu īpatsvara paaugstināšana u.c. rādītāji, kas liecina par sistēmas efektivitāti. Scenārijos S1 – S6 izstrādātās politikas stratēģijas atšķiras ar pieeju, ar kādu pārstrādāto atkritumu īpatsvara pieaugumu tiek mēģināts panākt (skat. 2.8.nodaļu), līdz ar to iegūtie simulācijas rezultāti uzrāda atšķirīgu sistēmas dinamisko attīstību (skat. arī 5.pielikumu).

3.9. 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. Ar scenārijā S5 pielietoto politikas stratēģiju tiek panākts visstraujākais pārstrādes īpatsvara pieaugums, kas 2020.gadā ļauj pārstrādāt jau 66% radīto iepakojuma atkritumu. Patērētāju iesaistīšanos atkritumu šķirošanā veicinošo instrumentu izmantošana ļauj scenārijā S6 simulācijas perioda beigās sasniegt visaugstāko pārstrādāto atkritumu īpatsvaru starp visiem simulētajiem scenārijiem un izpildīt arī Latvija2030 mērķi. Turklāt ir redzams, ka atšķirībā no scenārija S5 rezultātiem pārstrādāto atkritumu īpatsvars ir ar pieaugošu tendenci, kas liek domāt, ka arī pēc simulācijas perioda beigām tas turpina palielināties.



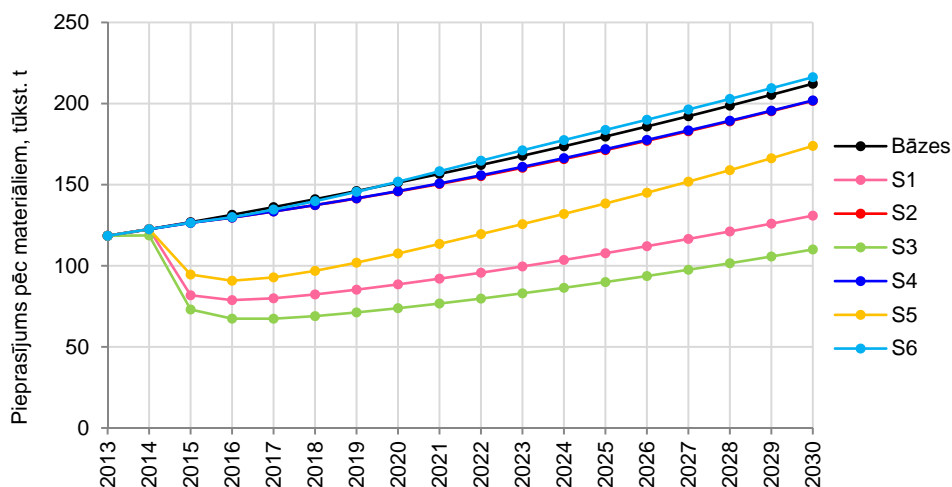
3.9. att. Pārstrādāto atkritumu īpatsvara rezultāti scenārijos S1 – S6

Zemāki pārstrādāto atkritumu īpatsvara rezultāti, turklāt ar krietni lēnāku pieaugumu, tiek panākti scenārijā S1. Kaut arī augstāk aprakstītajiem scenārijiem ir vēra ņemams pārsvars, tomēr scenārijs S1 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 maz-efektīvām situācijas uzlabošanai.

3.9. attēlā redzami rezultāti parāda, ka, lai arī atsevišķas izstrādātās stratēģijas krasi maina pastāvošo primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmu, 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.

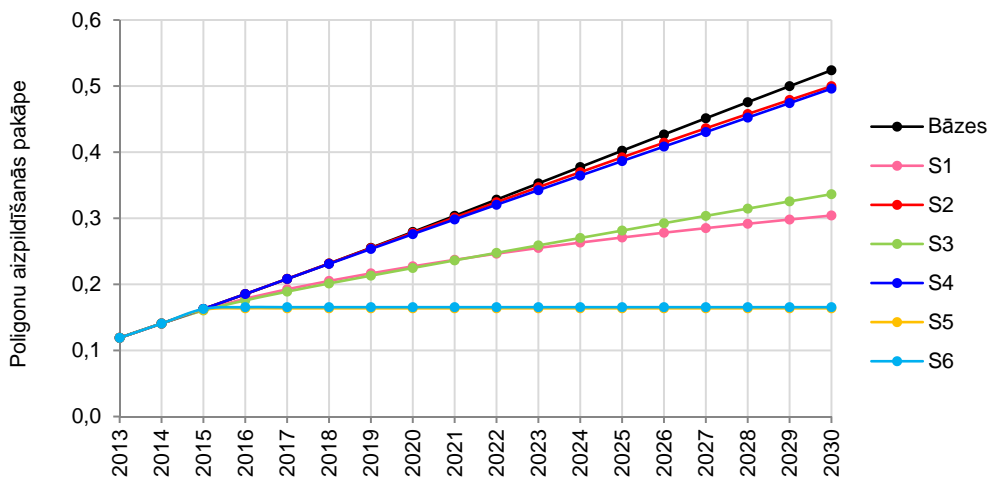
Aplūkojot iegūtos rezultātus, kas raksturo pieprasījumu pēc materiāliem, redzams, ka scenārijos S1, S3 un S5 tiek panākts ievērojams pieprasījuma kritums, kas pielīdzināms atkritumu novēršanai (skat. 3.10.att.). Visos minētajos scenārijos pieprasījuma samazināšanos izraisa strauja iepakojuma nodokļa likmes paaugstināšana. Vislielākais pieprasījuma kritums novērojams scenārijā S3, kur papildus tiek stimulēta arī ekodizaina instrumentu izmantošana, kas veicina iepakojuma materiālu ietilpības samazināšanu. Tas ļauj skaidrot arī 3.9. attēlā redzamo pārstrādāto atkritumu īpatsvara „punu”, kurš rodas nevis pārstrādātā atkritumu daudzuma paaugstināšanās, bet gan krasā iepakojuma materiālu patēriņa krituma rezultātā.



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

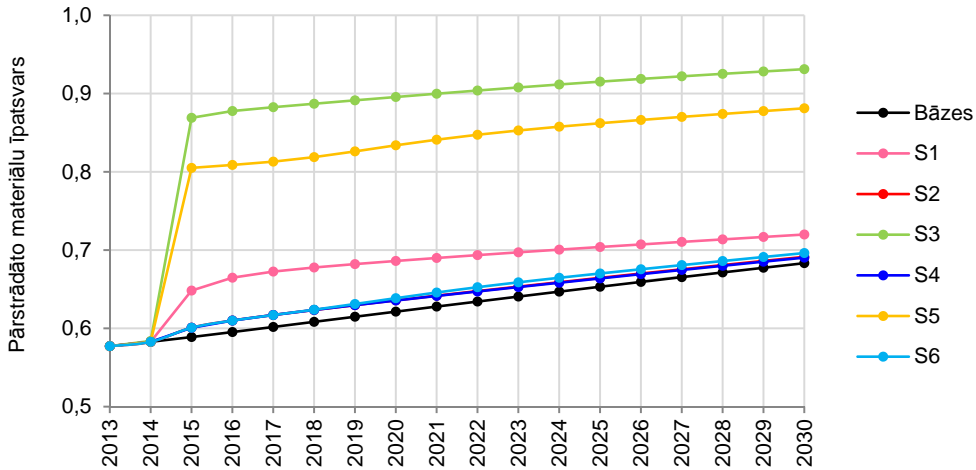
Scenārijos S2 un S4 iegūtais materiālu pieprasījums ir tikai nedaudz zemāks par bāzes scenārijā iegūto, bet scenārijā S6 – pat nedaudz to pārsniedz. Šajos scenārijos simulētās politikas stratēģijas uzskatāmas par maz-efektīvām un scenārija S6 gadījumā – neefektīvām iepakojuma atkritumu rašanās novēršanai.

Materiālu patēriņa un atkritumu pārstrādes rezultāti skaidro poligonu aizpildīšanās pakāpes rezultātus. 3.11.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.



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

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 (skat. 3.12.att.). Salīdzinot ar bāzes scenāriju, augstāks pārstrādāto materiālu īpatsvars tiek iegūts arī scenārijā S1. Visos trīs minētajos scenārijos iepakojuma nodokļa paaugstināšanas rezultātā pārstrādāto materiālu cena attiecībā pret vidējo materiālu cenu ir zemāka, un ražotāji uz tās izmaiņām nereaģē tik asi, kā uz jēlmateriālu cenas izmaiņām (pieprasījuma cenas elastība pārstrādātiem materiāliem ir zemāka kā jēlmateriāliem), tāpēc pārstrādātiem materiāliem tiek dota priekšroka.



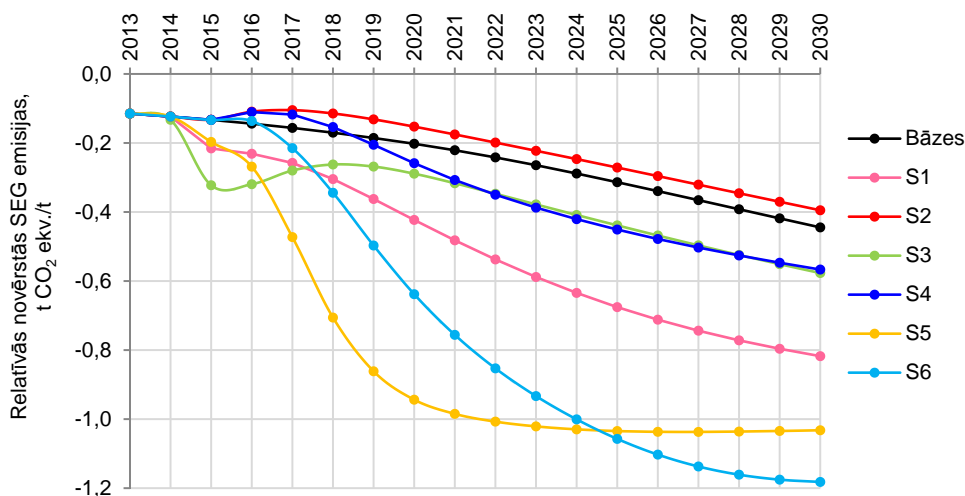
3.12. att. Pārstrādāto materiālu īpatsvara rezultāti scenārijos S1 – S6

Scenārijos S2, S4 un S6 ekodizaina instrumenti pielietoti netiek, bet iepakojuma nodokļa likmes palielināšanās ir pakāpeniska, tāpēc iegūtie pārstrādāto materiālu īpatsvara rezultāti bāzes scenārijā iegūto pārsniedz salīdzinoši maz.

Straujākais relatīvo novērsto SEG emisiju daudzuma pieaugums uz tonnu pārstrādāto materiālu tiek iegūts scenārijā S5 (skat. 3.13.att.). Redzams, ka līdzīgi pārstrādāto atkritumu īpatsvaram (skat. 3.9. 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.

Salīdzinoši liels relatīvo novērsto SEG emisiju daudzuma pārsvars attiecībā pret bāzes scenārijā iegūto tiek panākts arī scenārijā S1, bet scenārijos S3 un S4 pārsvars ir mazāks. Scenārijā S2 relatīvo novērsto SEG emisiju daudzums gandrīz visu simulācijas periodu ir zemāks kā bāzes scenārijā.

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.

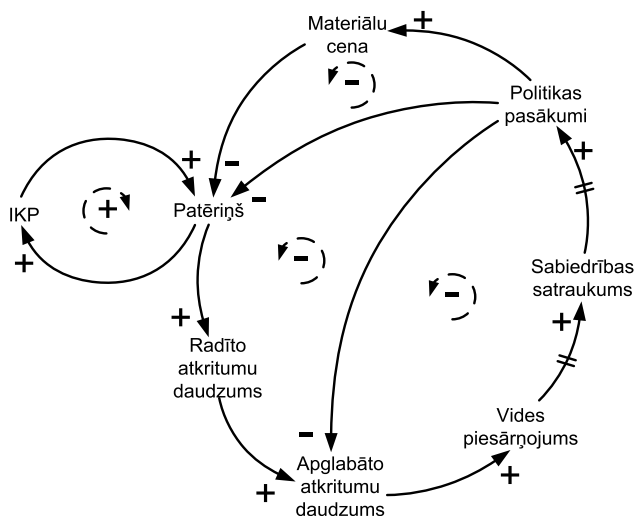


3.13. att. Relatīvo novērsto SEG emisiju daudzuma rezultāti scenārijos S1 – S6

Politikas stratēģiju analīzes rezultāti liecina, ka politikas instrumentu kombinēšana nesniedz summāru, bet gan multiplikatīvu, sinerģisku efektu, ko lielā mērā nosaka dažādu instrumentu radītais atsītiens efekts. Dž.Stermans [132] to dēvē par politikas pretestību (*angļu val. – policy resistance*). Tā ir situācija, kurā politikas instruments vai stratēģija tiek kavēta, ieviesta nemērķtiecīgi vai pat pilnībā sagrauta iepriekš neparedzētas reakcijas dēļ no sistēmas dalībnieku (elementu) puses. Stermans norāda, ka sistēmas uzvedības nepārziņošana bieži noved pie tā, ka mēģinājumi atrisināt kādu problēmu patiesībā visu padara vēl sliktāku. Lai izvairītos no politikas pretestības un atrastu efektīvu politikas stratēģiju, ir nepieciešams paplašināt mentālo modeļu un sistēmu izpratnes robežas, tādējādi apzinoties un izprotot pieņemto lēmumu pilnu radīto ietekmi un atgrīzeniskās saites. Tas nozīmē, ka ir nepieciešams izprast arvien pieaugoši kompleksu sistēmu struktūru un dinamiku.

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. To labi ilustrē cēlonisko cilpu diagramma (skat. 3.14.att.).

Pazeminoties materiālu cenām, pieaug to patēriņš, kas, savukārt, palielina radīto atkritumu daudzumu. Arvien vairāk atkritumiem nonākot poligonos (vai apkārtējā vidē), pieaug apkārtējās vides piesārņojums. Ar laiku sabiedrība tam sāk pievērst pastiprinātu uzmanību, ceļot kopējo satraukumu. Vēl pēc laika sabiedrība reaģē, īstenojot vides piesārņojumu mazinājošus pasākumus, t.sk. pielietojot politikas instrumentus, kas paaugstina materiālu cenu, samazina patēriņu un/vai samazina apglabāto atkritumu daudzumu. Patēriņam mazinoties, sarūk radīto atkritumu daudzuma un vides piesārņojuma pieauguma apjoms. Arī sarūkot apglabāto atkritumu daudzumam, mazinās vides pasliktināšanās. Sabiedrības satraukums mazinās un reakcija atslābinās, pavājinās tās vēlme paaugstināt nodokļus un ieviest jaunus politikas instrumentus. Pēc laika, paaugstinoties labklājībai, pakāpeniski atkal pieaug patēriņš un radīto atkritumu daudzums.



3.14.att. Patēriņa un sabiedrības reakcijas cēlonisko cilpu diagramma

Būtiska loma tajā ir neoklasiskās ekonomikas paradigmai, kurā patēriņš atkarīgs no dzīves līmeņa un ekonomiskās izaugsmes, ko raksturo IKP, savukārt, tie atkarīgi no augoša patēriņa. Lai šī apburtā loka ietekmi mazinātu, nepieciešams veicināt ekonomiskās izaugsmes un resursu patēriņa atsaisti. Nepieciešams arī mainīt sabiedrības uzskatus, ka IKP pieaugums nozīmē augstāku dzīves kvalitāti, jo IKP neietver vides stāvokļa raksturojumu. Ekonomikā ekosistēmai netiek piešķirta vērtība augstākā pakāpē, kā no tās resursiem ražotu produktu un tehnoloģiskā kapitāla līmenī [226]. Neoklasiskās izaugsmes teorijas pamatlicējs Roberts Solovs uzstājis, ka aizvietošana, t.sk. materiālu aizvietošana, atbilst ilgtspējības idejai. Atsaucoties uz ilgtspējīgas attīstības definīciju, viņš noliedza resursu izsīkšanu, jo „vienmēr var apēst citas sugas zivi” [227]. Tomēr, tā kā ilgtspējība netiek garantēta nevienam specifiskam objektam vai resursam, tad nepieciešams nodrošināt atkritumu novēršanu un pārstrādi un jēlmateriālu aizvietošanu ar pārstrādātiem materiāliem, lai no ekosistēmas reiz iegūtie resursi netiktu izšķērdēti, bet gan tiktu iespējami efektīvi izmantoti.

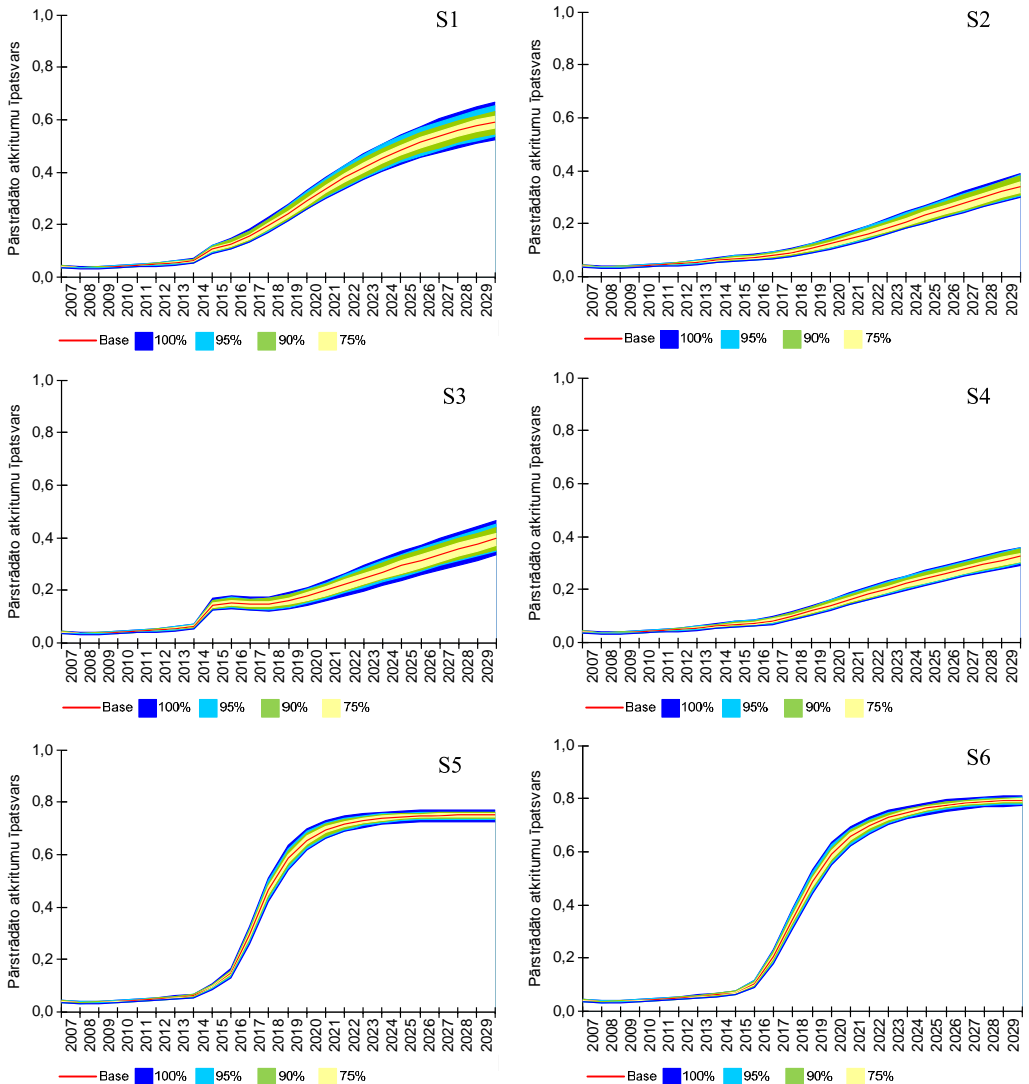
3.4. Politikas jutības analīze

Lai noteiktu, kā iegūtos rezultātus var ietekmēt parametru nenoteiktība, ir nepieciešams veikt politikas jutības analīzi. Politikas efektivitātes noturīguma noteikšana pie dažādiem apstākļiem iezīmē riskus, kas saistīti ar izstrādātā modeļa pielietojumu politikas veidošanā [222].

Modeļa testēšanas stadijā ar vienparametra jutības analīzes palīdzību jau tika noteikta izejas parametru noturība pie dažādu ieejas parametru nenoteiktībām. Politikas stratēģiju efektivitātes noturīguma noteikšanai tika izmantota tikai daudzparametru jutības analīze, izmantojot 3.pielikumā sniegtās ieejas parametru vērtību robežas.

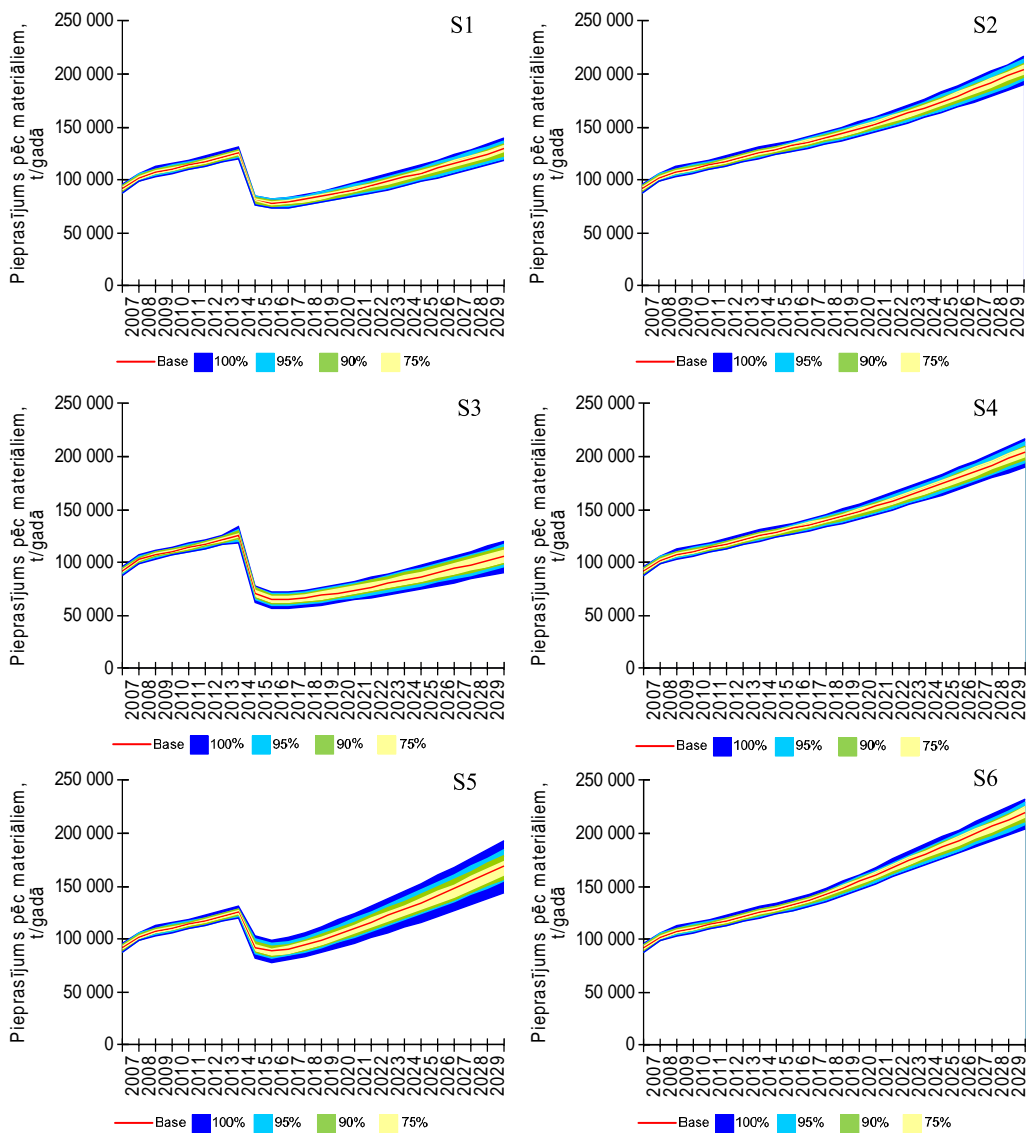
Aplūkojot pārstrādāto atkritumu īpatsvara jutību scenārijos S1 – S6 redzams, ka parametru nenoteiktība pielietotās politikas stratēģijas rezultātus neietekmē tik būtiski, lai krasi mainītu stratēģijas sākotnējā mērķa sasniegšanu (skat. 3.15.att.). Kā redzams, visplašākais varbūtību sadalījuma diapazons tiek iegūts scenārijos S1 un S3. Pārējos

scenārijos varbūtību sadalījuma diapazons ir šaurāks, liecinot par augstāku izstrādāto stratēģiju efektivitātes noturīgumu arī pie atšķirīgiem apstākļiem.



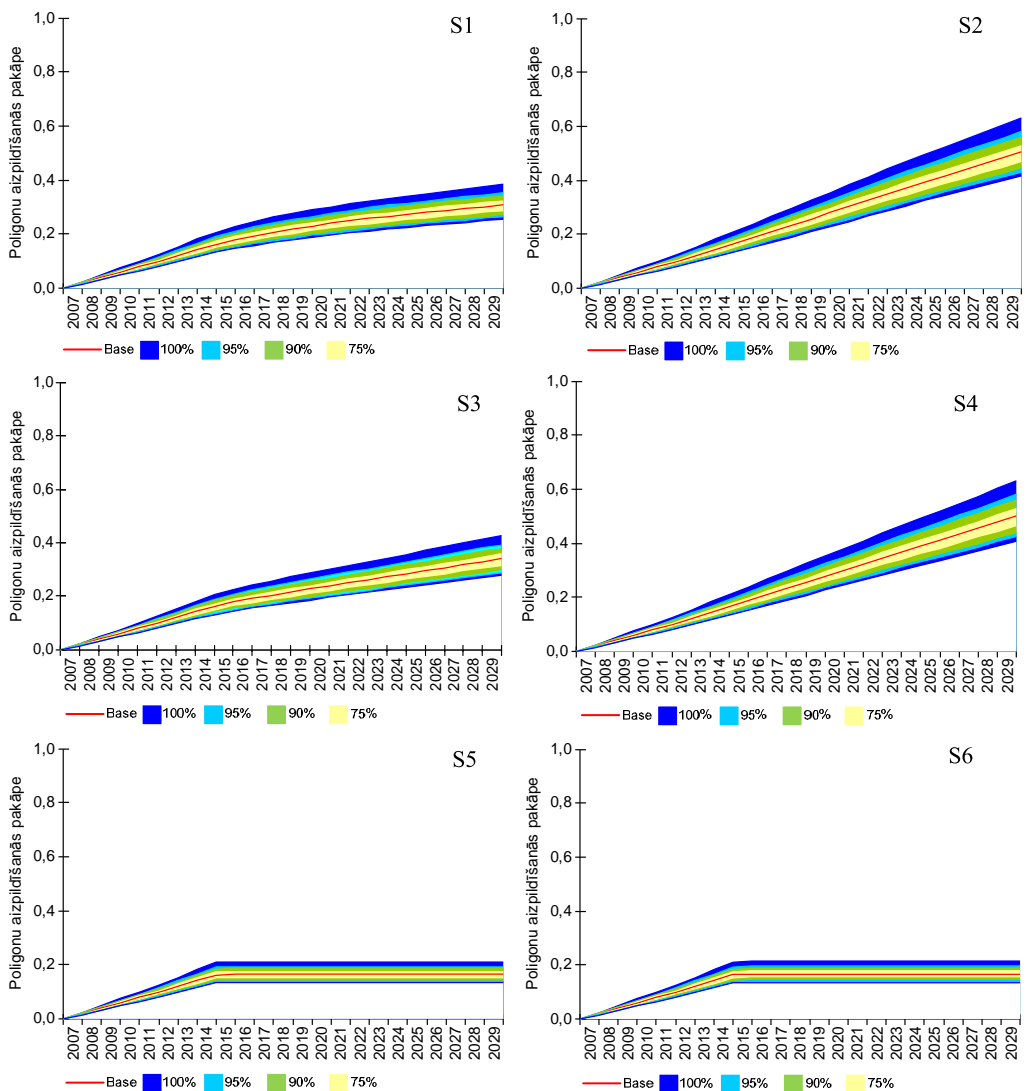
3.15. att. Pārstrādāto atkritumu īpatsvara daudzparametru jutības analīzes rezultāti pie dažādām politikas stratēģijām

Līdzīgi pārbaudot arī pieprasītā materiālu daudzuma jutību, tika iegūts augsts politikas stratēģiju rezultātu noturīgums (skat. 3.16.att.). Visplašākais varbūtību sadalījuma diapazons tiek iegūts scenārijā S5, bet visšaurākais – scenārijā S1. Pārējos scenārijos tas ir aptuveni līdzvērtīgs. Var teikt, ka ieejas parametru nenoteiktība būtiski neietekmē pie bāzes vērtībām iegūtos politikas stratēģiju rezultātus, tātad to noturīgumu.



3.16. att. Pieprasītā materiālu daudzuma daudzparametru jutības analīzes rezultāti pie dažādām politikas stratēģijām

3.17. attēlā parādīta scenārijos S1 – S6 iegūtā poligona aizpildīšanās pakāpes rezultātu jutība. Redzams, ka salīdzinoši plašs varbūtību sadalījuma diapazons tiek iegūts scenārijos S2 un S4. Pārējos scenārijos tas ir šaurāks, liecinot par augstāku izstrādāto stratēģiju efektivitātes noturīgumu arī pie atšķirīgiem apstākļiem.



3.17. att. Poligonu aizpildīšanās pakāpes jutības analīzes rezultāti pie dažādām politikas stratēģijām

Kā tika prognozēts jau modeļa testēšanas procesā, parametru nenoteiktība sistēmas bāzes uzvedību neietekmē tādā pakāpē, lai būtiski mainītu simulācijas rezultātus. Redzams, ka, arī pielietojot dažādas politikas stratēģijas, iegūtie rezultāti ir ar salīdzinoši augstu noturīgumu, tāpēc tos var uzskatīt par ticamiem, bet izstrādāto modeli – par pielietojamu politikas instrumentu un stratēģiju testēšanā un analīzē.

SECINĀJUMI

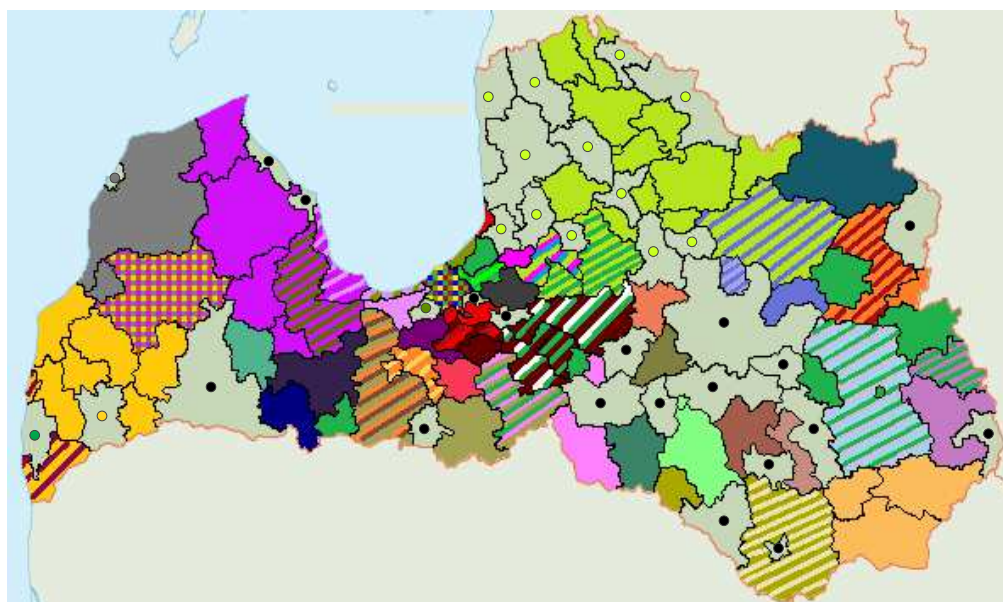
1. Darbā izstrādāts sistēmdinamikas modelis primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas uzvedības skaidrošanai un dinamiskās attīstības prognozēšanai. Ar izstrādātā modeļa palīdzību iespējams veikt dažādu politikas instrumentu un stratēģiju analīzi, nosakot to efektivitāti noteiktu mērķu sasniegšanā. Modelis ļauj iegūt un salīdzināt tādas primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmu 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 aprobēts Latvijas apstākļiem.
2. Simulācijas rezultāti parāda, ka, esošajā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas politikā neko nemainot, nevar tikt sasniegti Eiropas Savienības direktīvās un nacionālajos plānošanas dokumentos izvirzītie mērķi. Bāzes scenārijā iegūtais pārstrādāto primārā iepakojuma atkritumu īpatsvars 2020.gadā sasniedz vien 12% ES direktīvā 2008/98/EK par atkritumiem 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 primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmai 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 mājstaimniecībām 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 ES direktīvā 2008/98/EK par atkritumiem 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 ES direktīvā 2008/98/EK par atkritumiem 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.

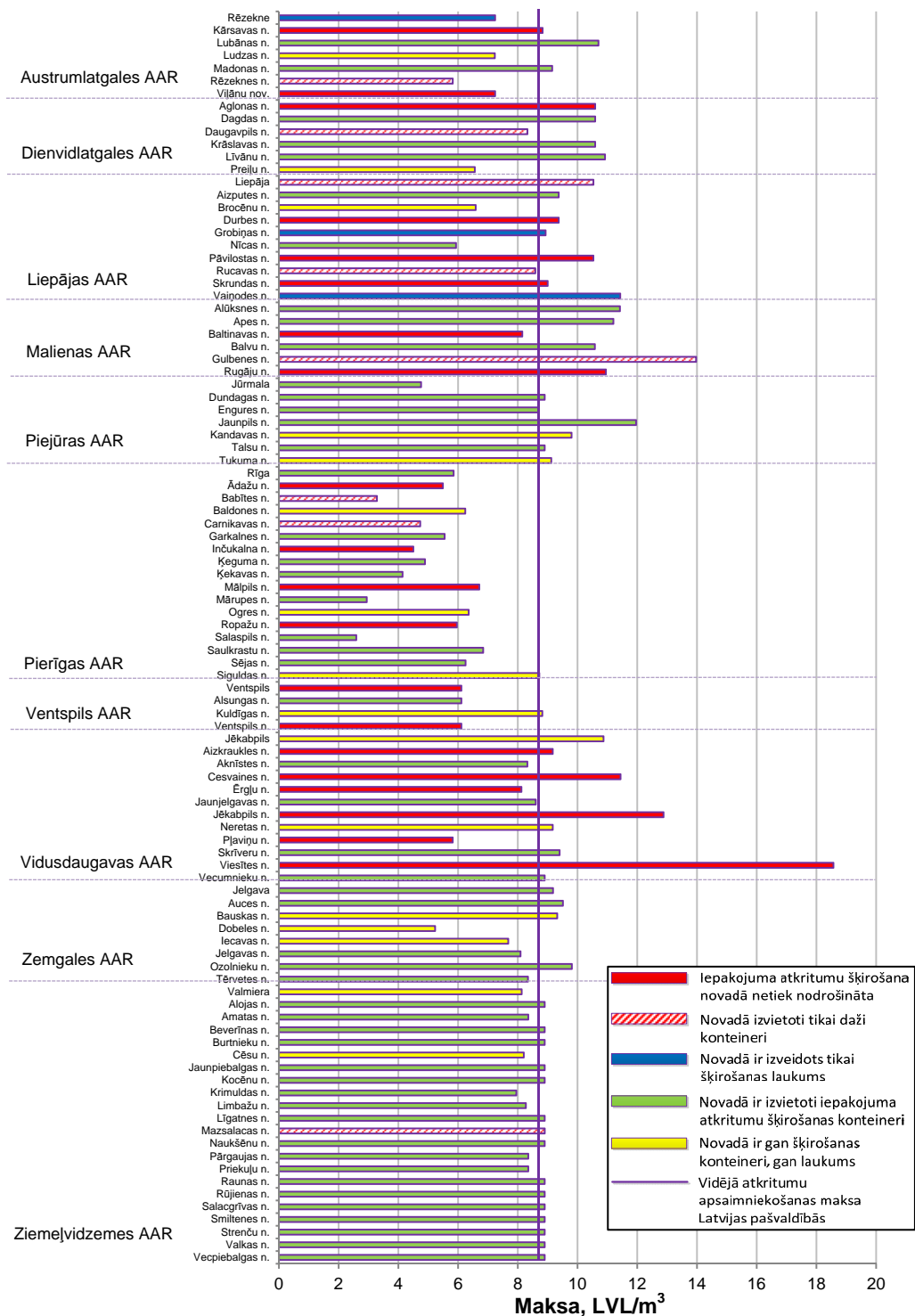
6. Rezultāti parāda, ka, lai arī atsevišķas izstrādātās stratēģijas krasi maina pastāvošo primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmu, neviena no tām nepalīdz sasniegt ES direktīvā 2004/12/EK ar ko groza direktīvu 94/62/EK par iepakojumu un izlietoto iepakojumu un Latvijas Nacionālajā attīstības plānā 2014.-2020.gadam 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 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.
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 atsītiena efekts jeb politikas pretestība. Modelētajā sistēmā atsītiena 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 atsītiena efekts tiek identificēts šādā kontekstā.

PIELIKUMI

Atkritumu apsaimniekošanas infrastruktūras novērtējuma Latvijas reģionos un pašvaldībās rezultāti

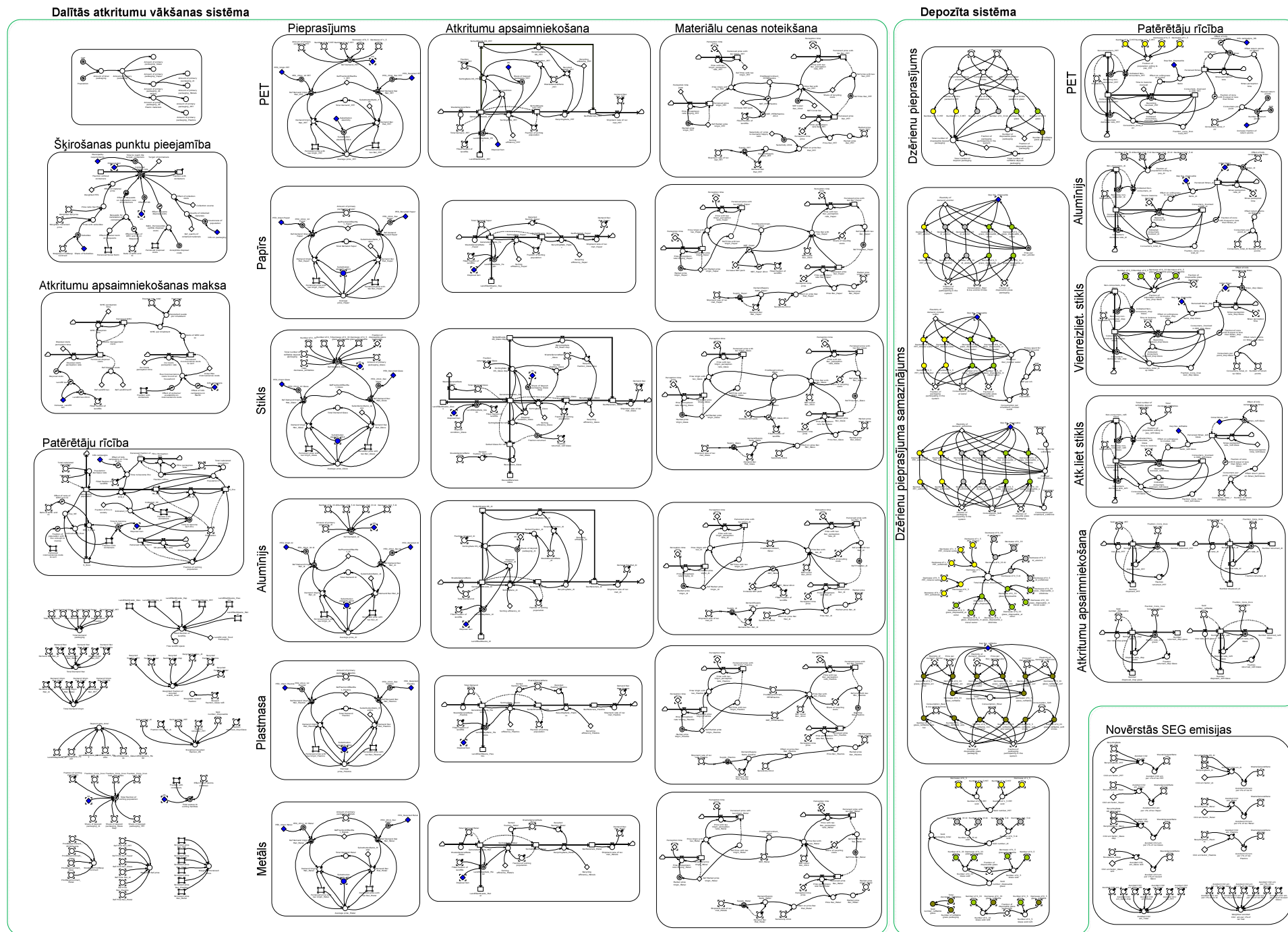


P.1.1.att. Atkritumu apsaimniekošanas pakalpojuma sniedzēji Latvijas pašvaldībās, 2012.gada dati (aptaujas rezultāti)



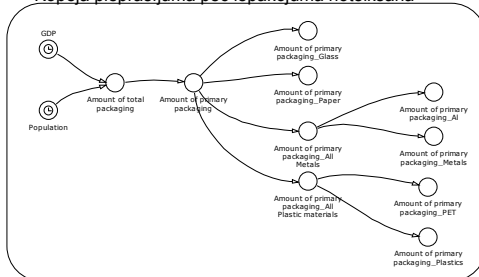
P.1.2.att. Sadzīves atkritumu apsaimniekošanas maksa un dalītās atkritumu vākšanas sistēmas nodrošinājums Latvijas pašvaldībās (aptaujas rezultāti)

Integrētās primārā iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas sistēmdinamikas modeļa krājumu-plūsmu diagramma un tās daļas

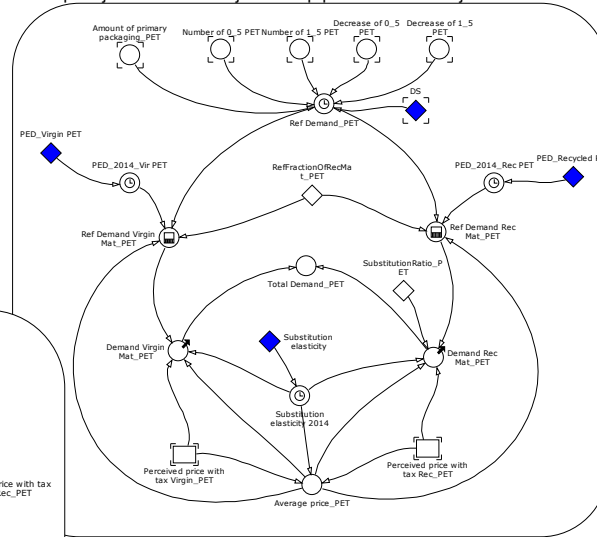


P.2.1. att. Modeļa krājumu-plūsmu diagrammas kopējā shēma

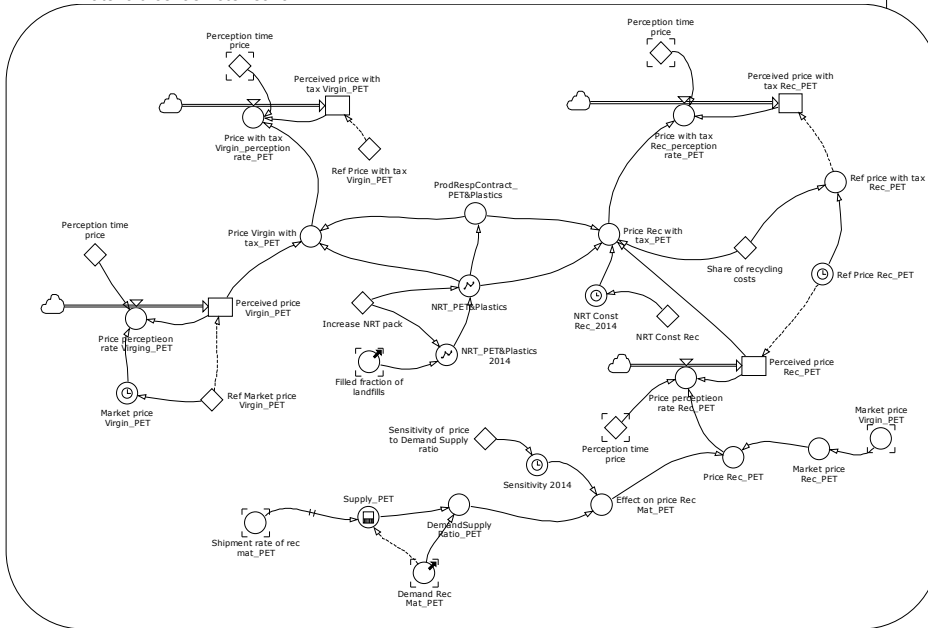
Kopējā pieprasījuma pēc iepakojuma noteikšana



Pieprasījums un tā sadalījums starp pārstrādātiem un jēlmateriāliem

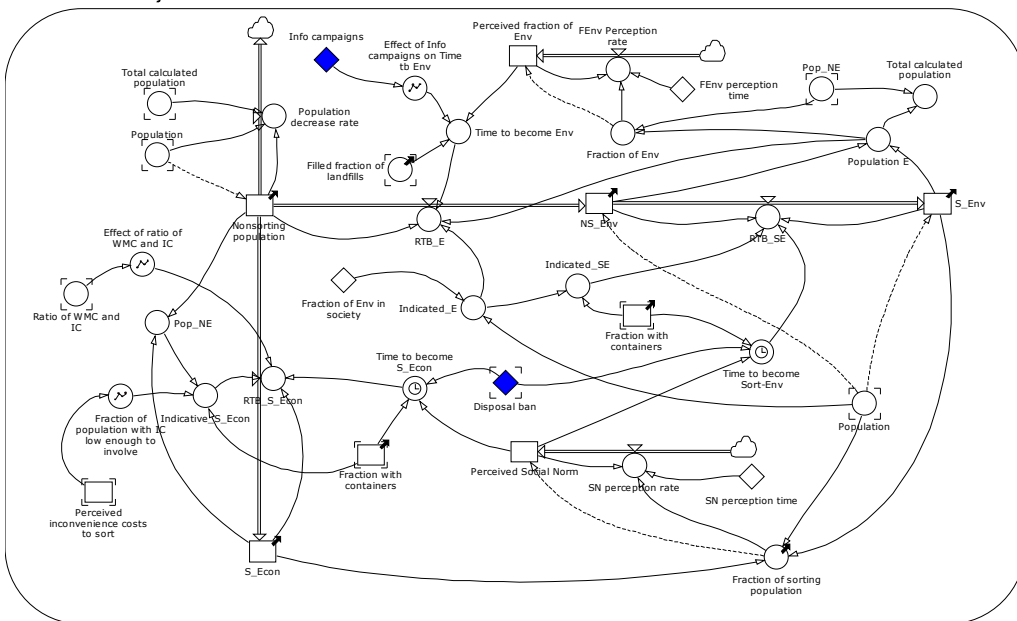


Materiālu cenas noteikšana

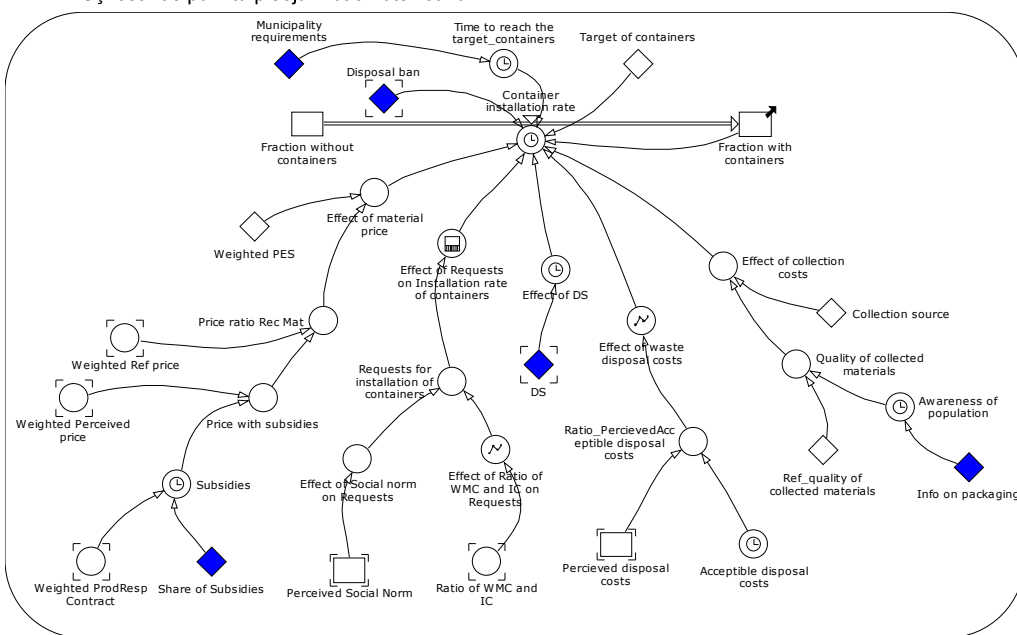


P.2.2. att. Tirgus moduļa krājumu-plūsmu diagramma (PET)

Patērētāju rīcības noteikšana

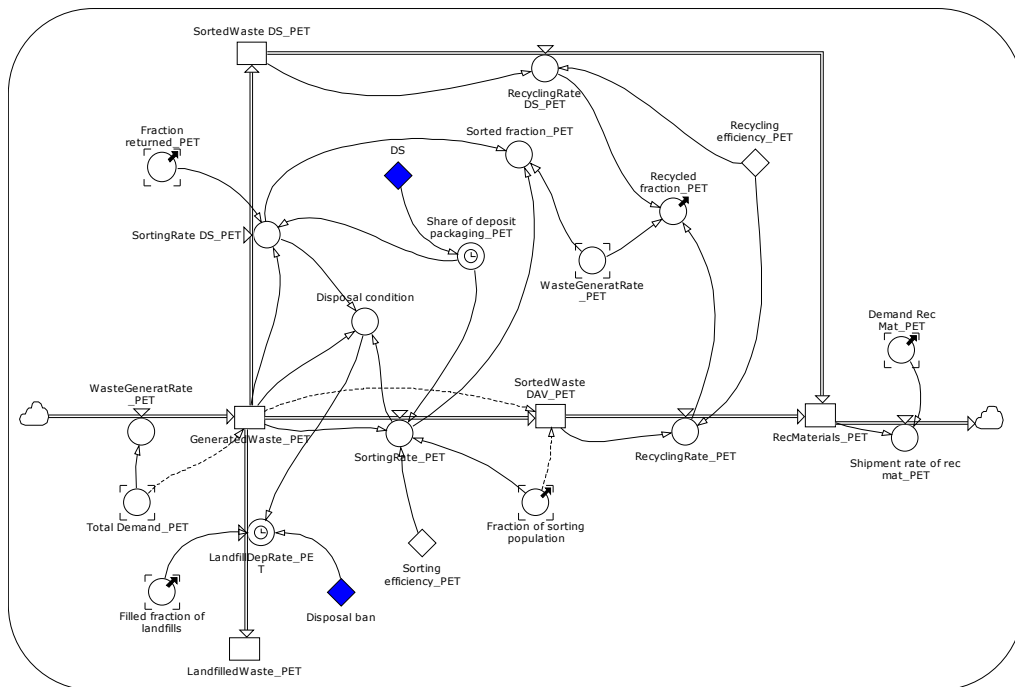


Šķirošanas punktu pieejamības noteikšana

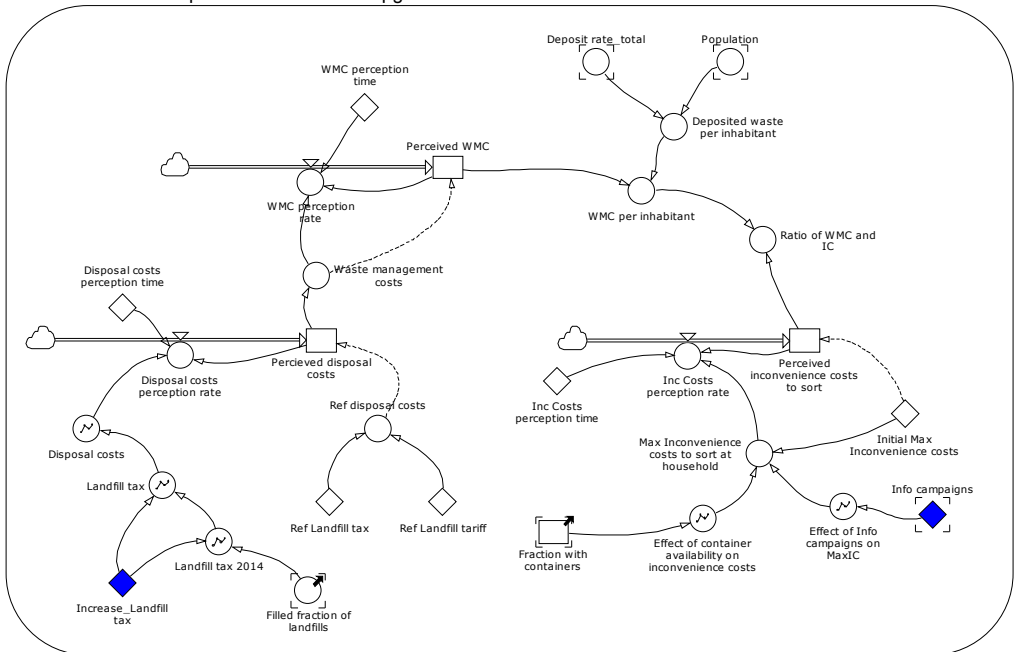


P.2.3. att. Patērētāju rīcības moduļa krājumu-plūsmu diagramma

Atkritumu plūsmu un pārstrādāto atkritumu īpatsvara noteikšana

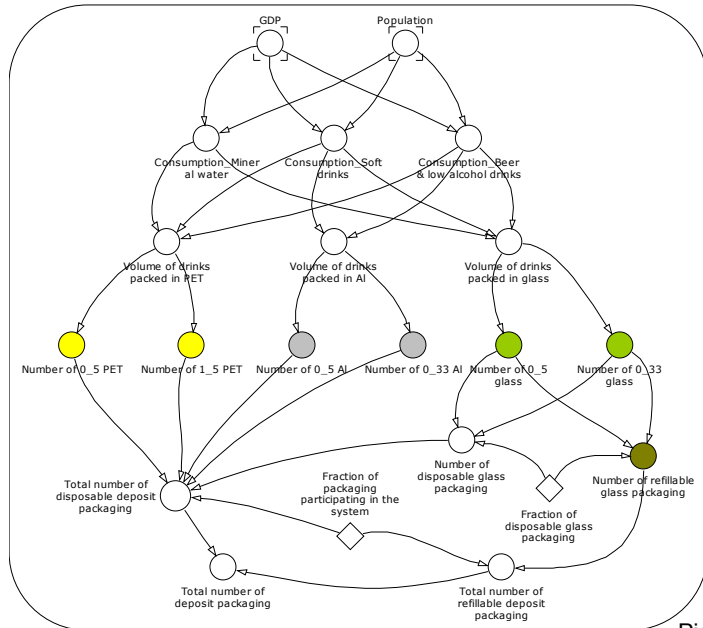


Atkritumu apsaimniekošanas un apglabāšanas maksu un neērtību izmaksu noteikšana

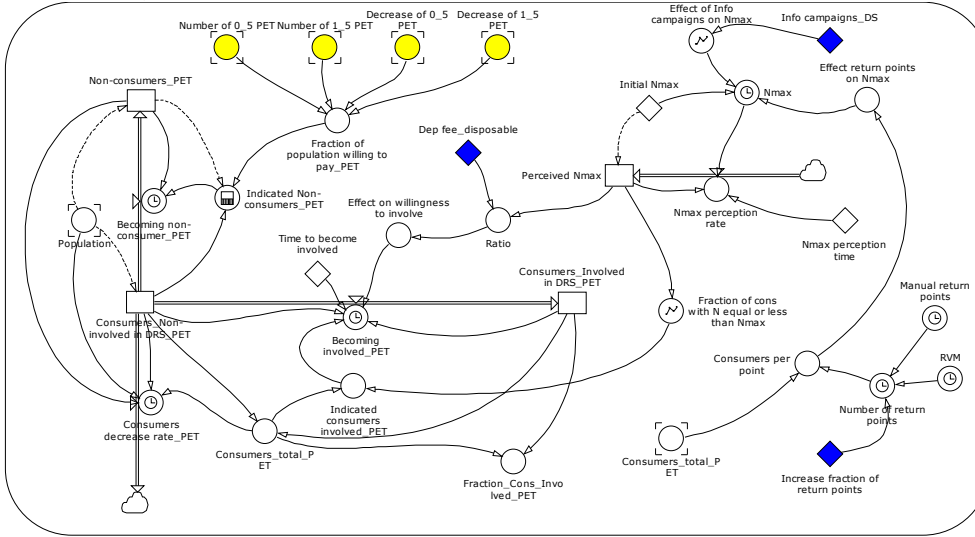


P.2.4. att. Atkritumu apsaimniekošanas moduļa krājumu-plūsmu diagramma

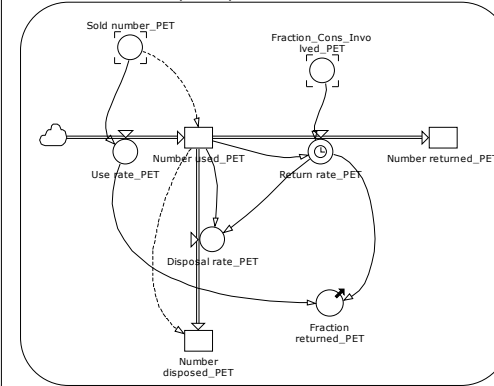
Kopējā pieprasījuma pēc dzērieniem noteikšana



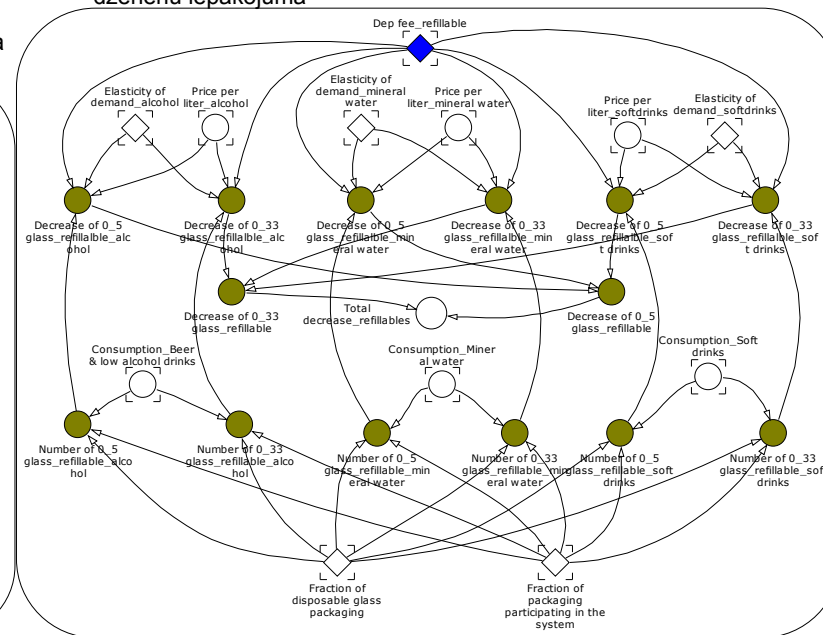
Patērētāju rīcības noteikšana depozīta sistēmā (PET)



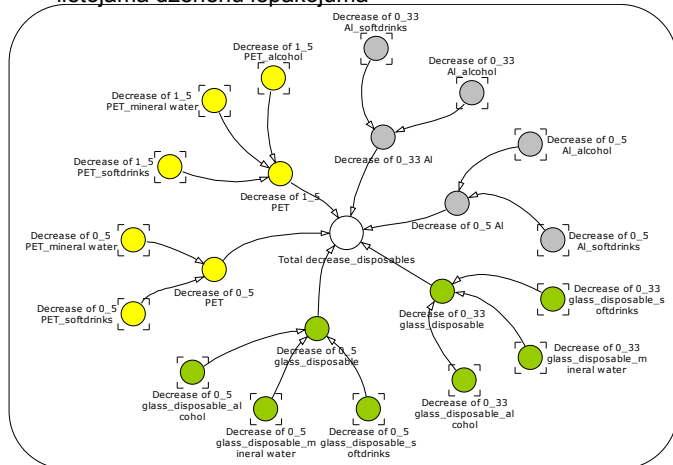
Atgrieztā depozīta iepakojuma īpatsvara noteikšana (PET)



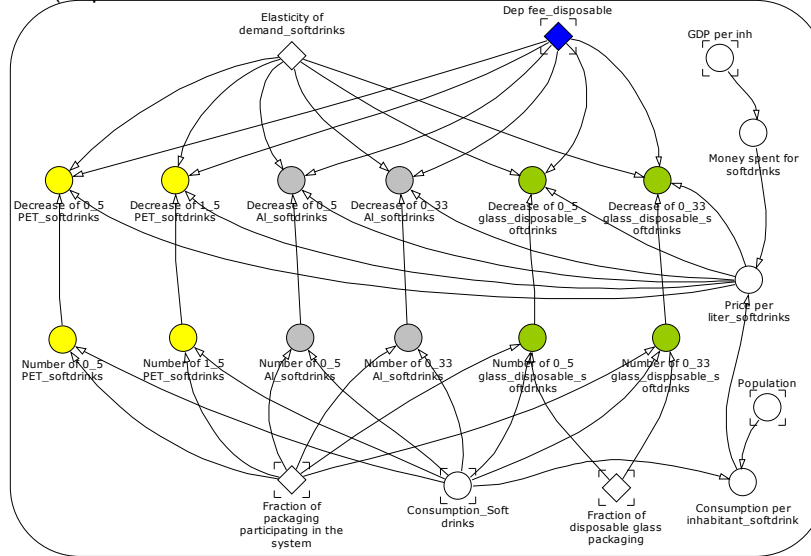
Pieprasījuma samazinājuma noteikšana pēc atkārtoti lietojamā dzērienu iepakojuma



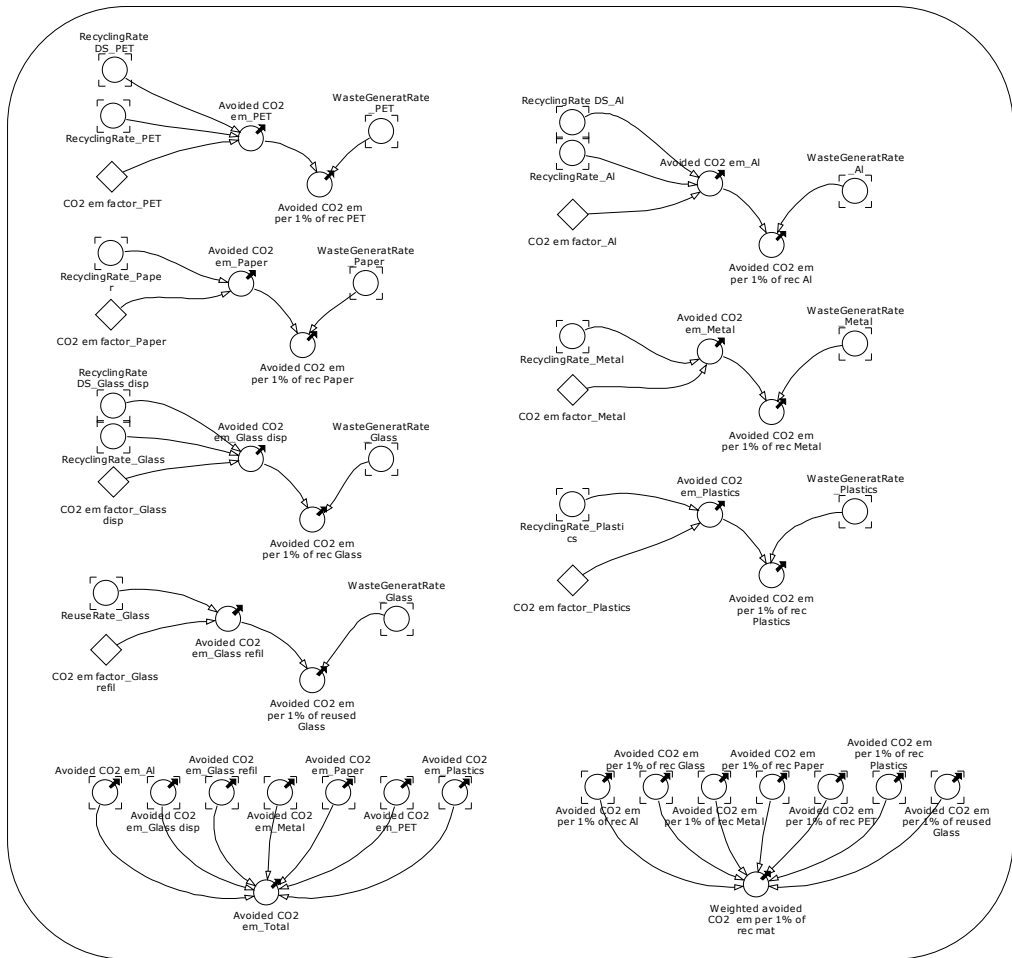
Pieprasījuma samazinājuma noteikšana pēc vienreiz lietojamā dzērienu iepakojuma



Pieprasījuma samazinājuma noteikšana pēc vienreiz lietojamā iepakojuma (atspirdzinošie dzērieni)



P.2.5. att. Depozīta sistēmas moduļa krājumu-plūsmu diagramma



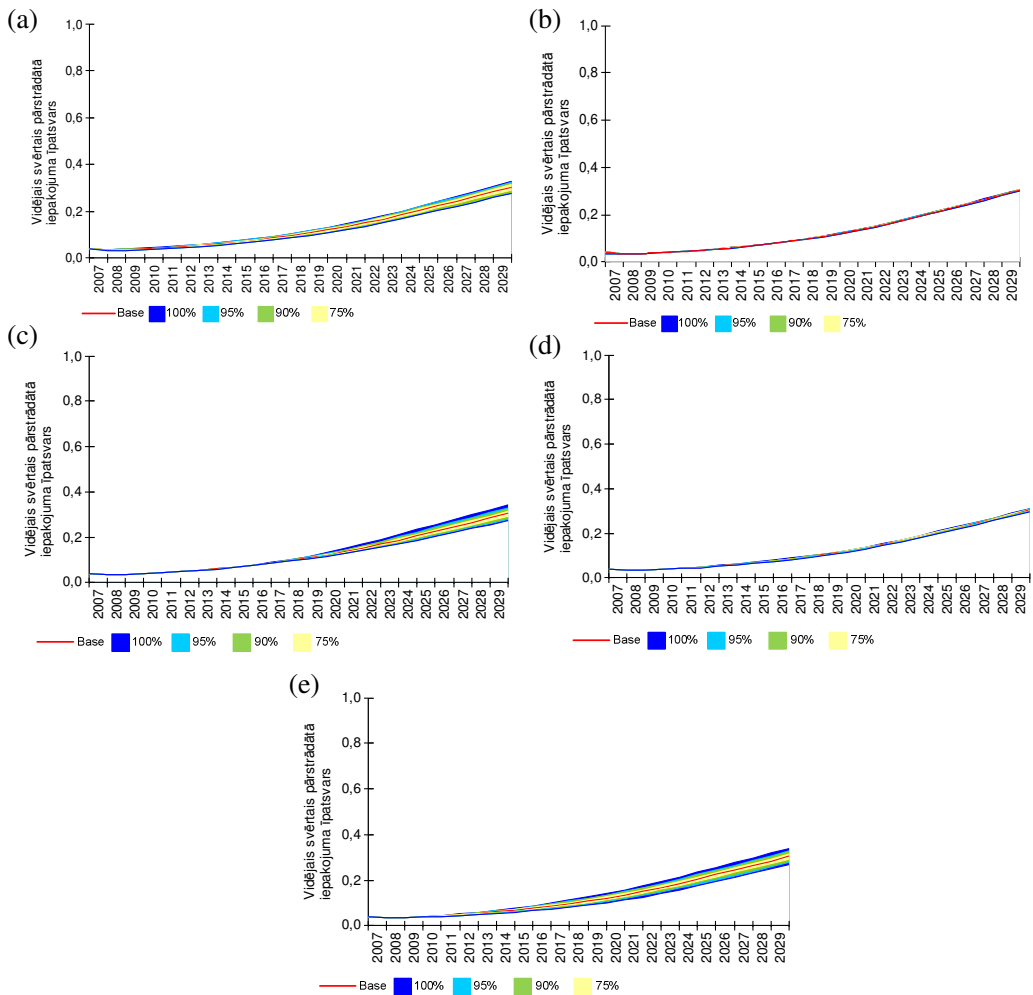
P.2.6. att. Siltumnīcas efekta gāzu emisiju noteikšanas krājumu-plūsmu diagramma

Jūtības analīzes izejas datu tabula un rezultāti

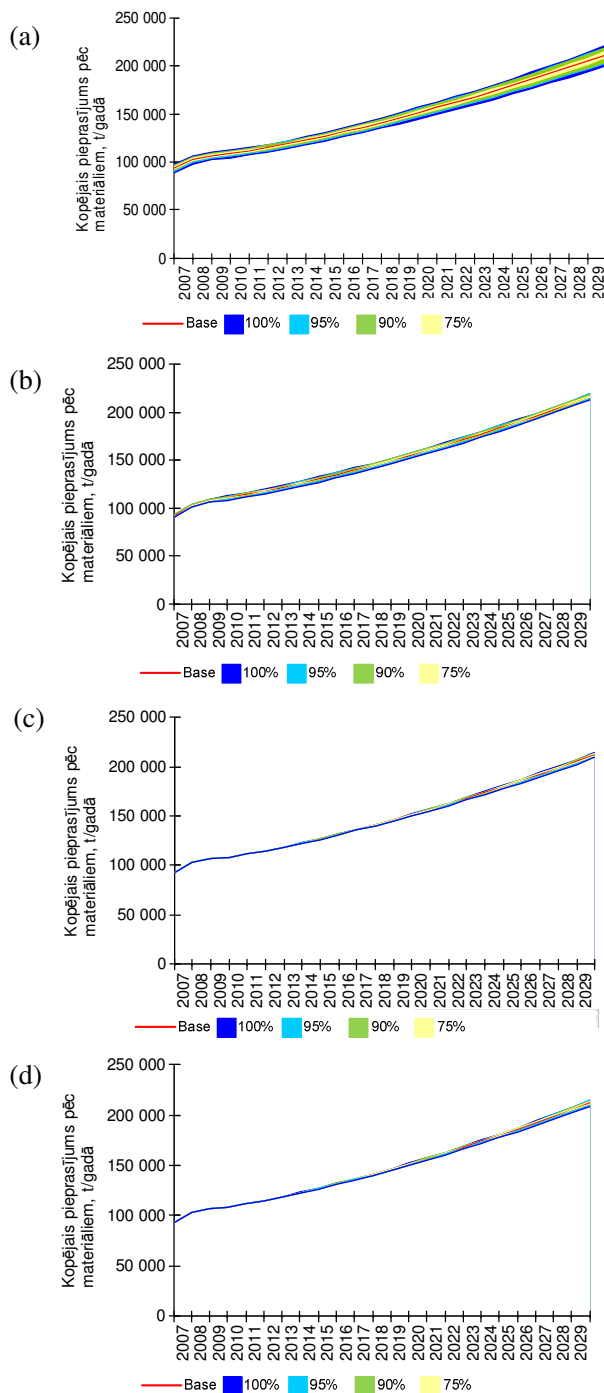
P.3.1. tabula

Jūtības analīzē izmantotās ieejas parametru zemākās, augstākās un bāzes vērtības

Ieejas parametrs	Materiāla veids	Bāzes vērtība	Zemākā vērtība	Augstākā vērtība
Šķirošanas efektivitātes koeficients, α	Papīrs	0,86	0,74	0,98
	Stikls	0,94	0,90	0,98
	Plastmasa, t.sk. PET	0,80	0,62	0,98
	Alumīnijs	0,95	0,92	0,98
	Pārējais metāls (skārds)	0,80	0,62	0,98
Pārstrādes efektivitātes koeficients, β	Papīrs	1,0	0,80	1,0
	Stikls	1,0	0,80	1,0
	Plastmasa, t.sk. PET	0,74	0,48	1,0
	Alumīnijs	0,93	0,86	1,0
	Pārējais metāls (skārds)	0,84	0,68	1,0
Sākotnējās neērtību izmaksas iesaistīties atkritumu šķirošanā, EUR/iedz.	-	7,00	4,00	10,00
Sākotnējā šķirošanas punktu pieejamība	-	0,1	0,02	0,5
Sākotnējais vides apstvērumu vadīto patērētāju īpatsvars	-	0,7	0	1,0
Pārstrādāto materiālu īpatsvars iepakojumā	Papīrs	0,5	0,4	0,6
	Stikls	0,65	0,52	0,78
	PET	0,35	0,28	0,42
	Pārējā plastmasa	0,1	0,08	0,12
	Alumīnijs	0,5	0,4	0,6
	Pārējais metāls (skārds)	0,5	0,4	0,6
Jēlmateriālu cena, EUR/kg	Papīrs	0,48	0,38	0,58
	Stikls	0,12	0,10	0,14
	PET	0,53	0,42	0,64
	Pārējā plastmasa	0,77	0,62	0,92
	Alumīnijs	1,44	1,15	1,73
	Pārējais metāls (skārds)	0,54	0,43	0,65
Jēlmateriālu pieprasījuma cenas elastība	Papīrs	-0,46	-0,55	-0,37
	Stikls	-1,0	-1,2	-0,8
	PET	-1,20	-1,44	-0,96
	Pārējā plastmasa	-1,20	-1,44	-0,96
	Alumīnijs	-1,4	-1,68	-1,12
	Pārējais metāls (skārds)	-0,63	-0,76	-0,5
Pārstrādātu materiālu pieprasījuma cenas elastība	Papīrs	-0,16	-0,19	-0,13
	Stikls	-0,5	-0,6	-0,4
	PET	-0,1	-0,12	-0,08
	Pārējā plastmasa	-0,1	-0,12	-0,08
	Alumīnijs	-0,8	-0,96	-0,64
	Pārējais metāls (skārds)	-0,63	-0,76	-0,5
Poligonu maksimālā ietilpība, tūkst.t	-	455,741	364,593	546,890

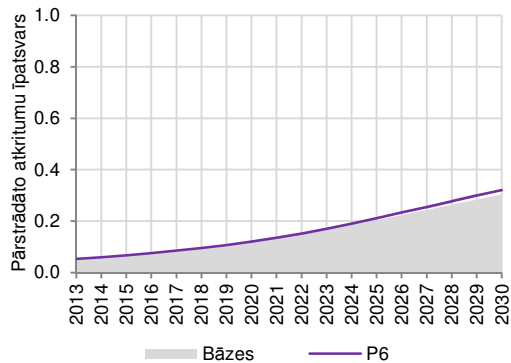
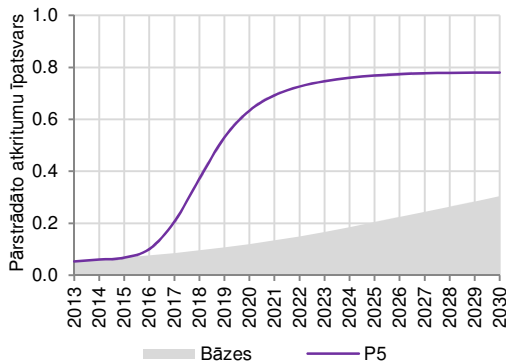
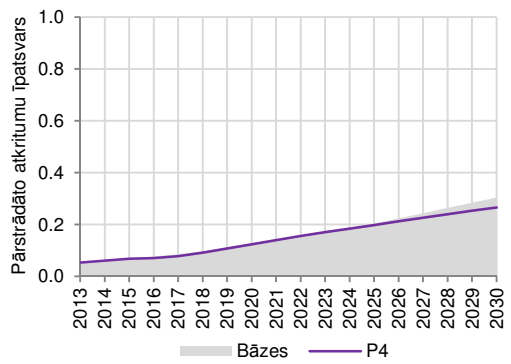
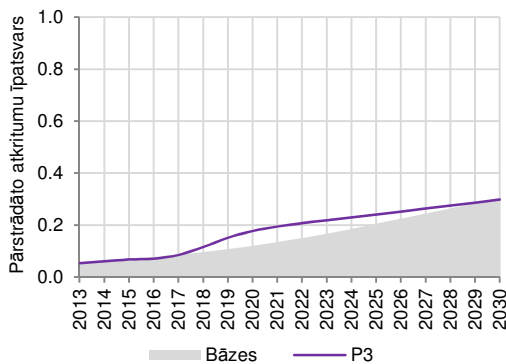
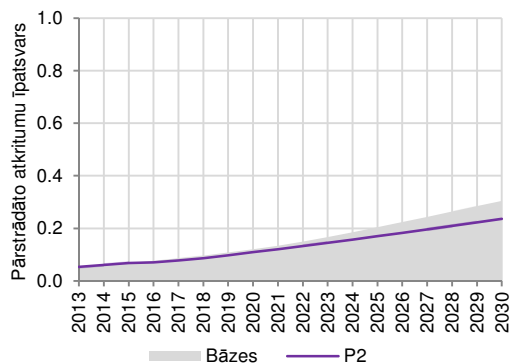
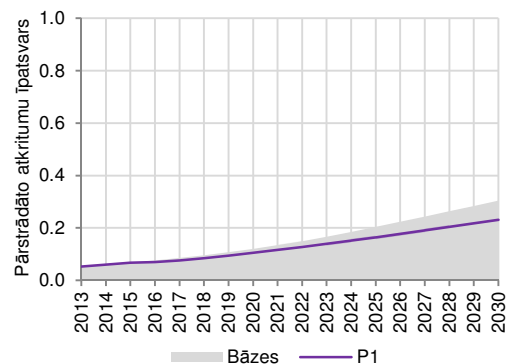


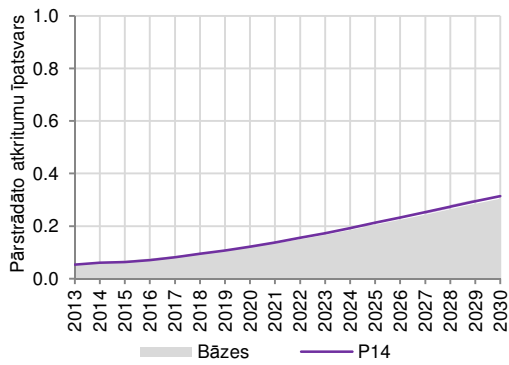
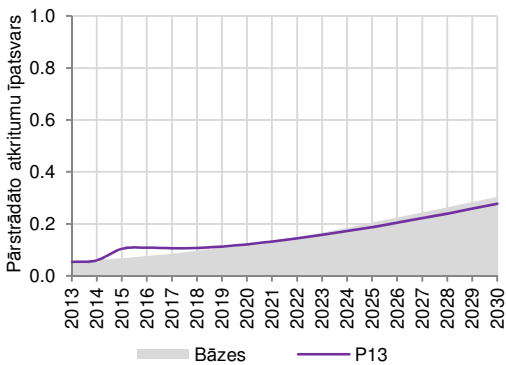
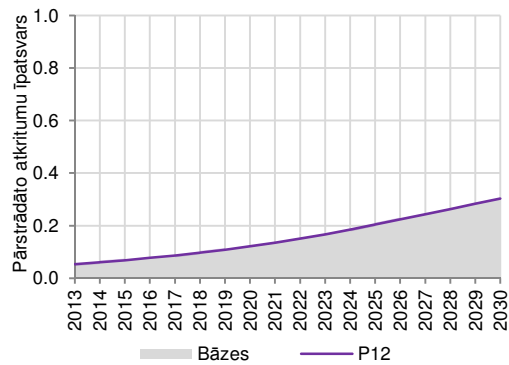
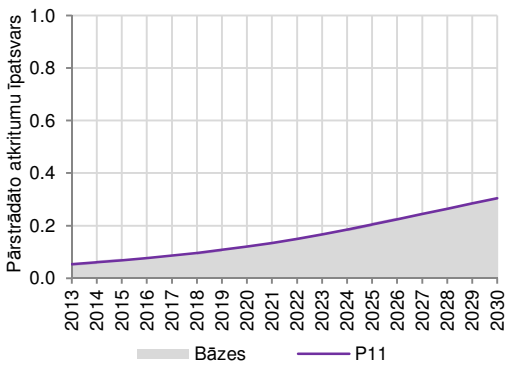
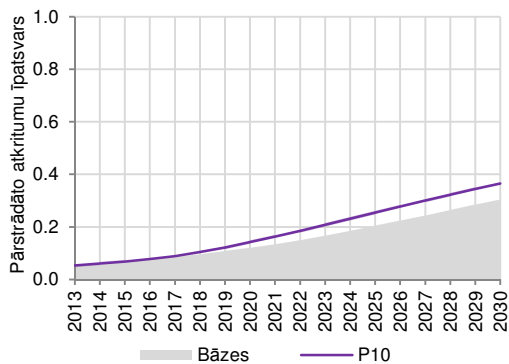
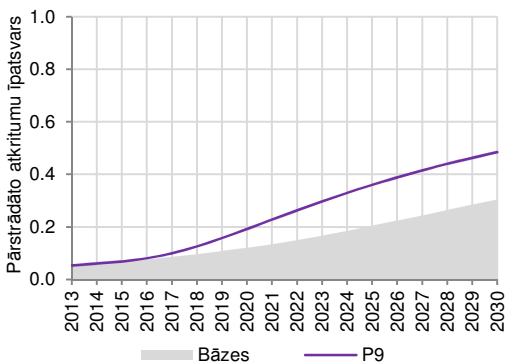
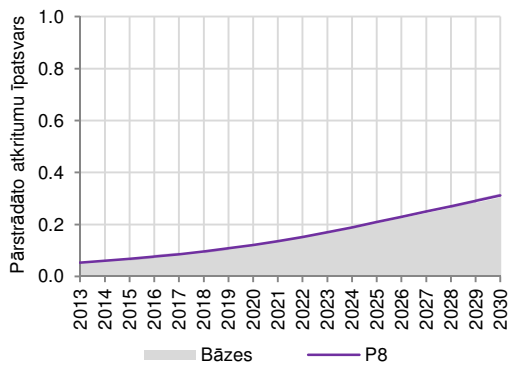
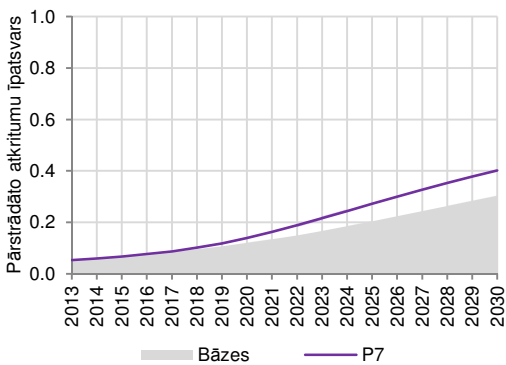
P.3.1. att. Vidējā svērtā pārstrādāto atkritumu īpatsvara vienparametra jutības analīzes rezultāti attiecībā pret (a) šķirošanas efektivitātes koeficienta nenoteiktību; (b) pārstrādes efektivitātes koeficienta nenoteiktību; (c) neērtību izmaksu nenoteiktību; (d) šķirošanas punktu pieejamības nenoteiktību; (e) vides apsvērumu vadīto iedzīvotāju īpatsvara nenoteiktību

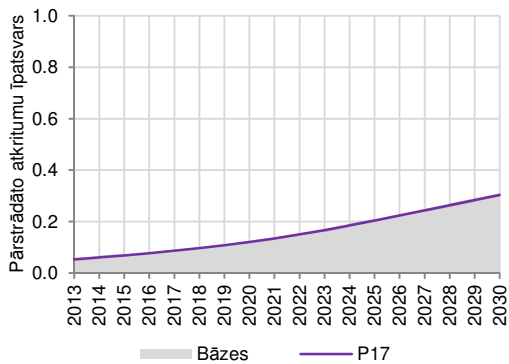
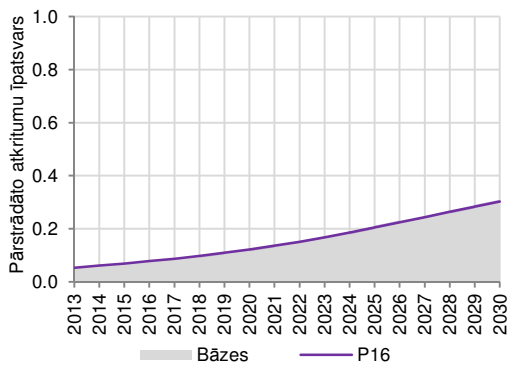
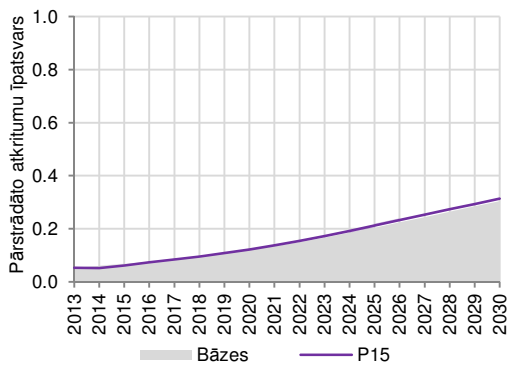


P.3.2. att. Kopējā ikgadējā materiālu pieprasījuma vienparametra jutības analīzes rezultāti attiecībā pret (a) pārstrādāto materiālu īpatsvara nenoteiktību; (b) jēlamateriālu cenas nenoteiktību; (c) jēlmateriālu pieprasījuma cenas elastības nenoteiktību; (d) pārstrādātu materiālu pieprasījuma cenas elastības nenoteiktību

Politikas instrumentu ietekmes analīzes rezultāti

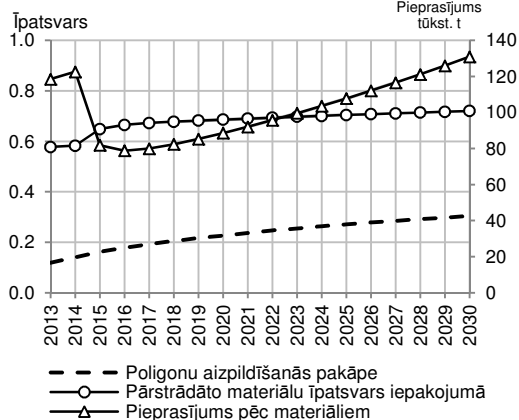
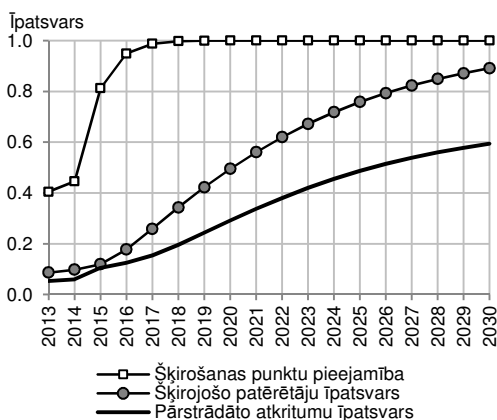




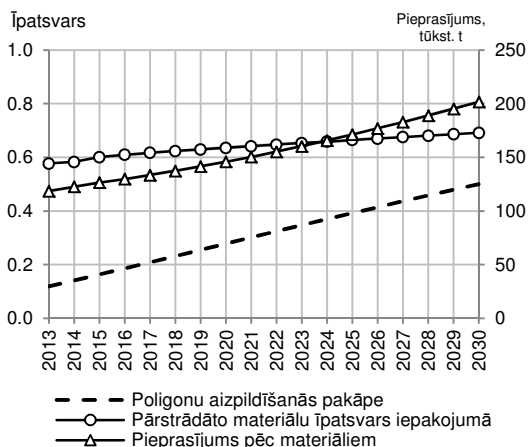
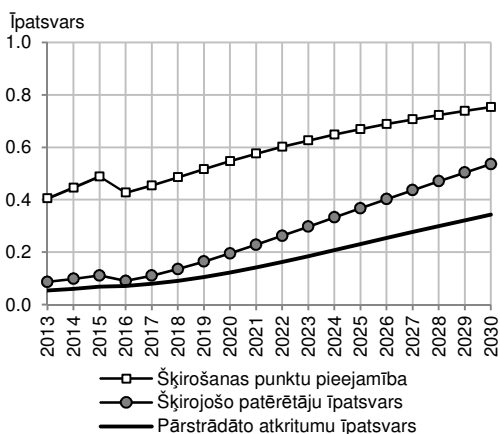


Politikas stratēģiju analīzes rezultāti

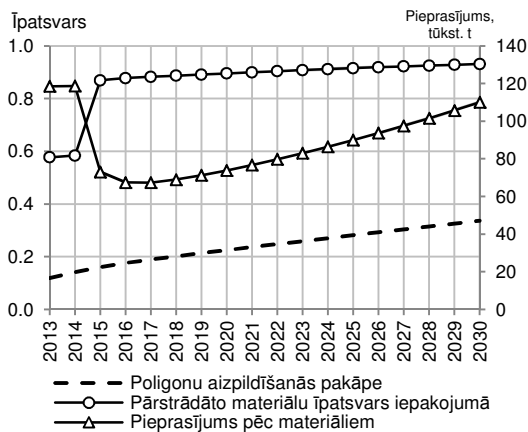
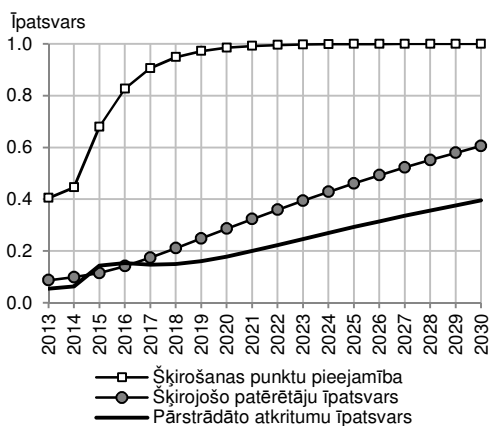
Scenārija S1 rezultāti



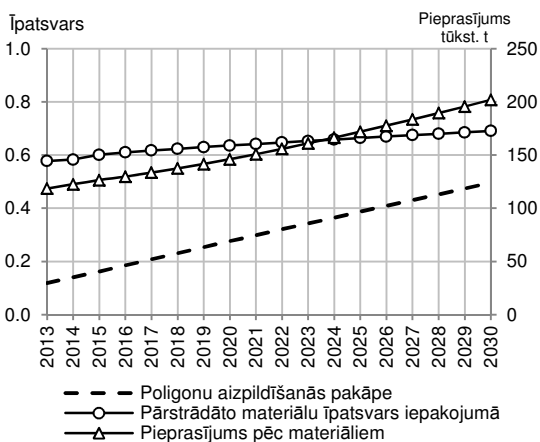
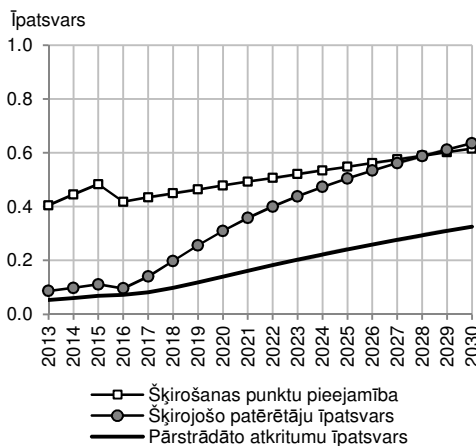
Scenārija S2 rezultāti



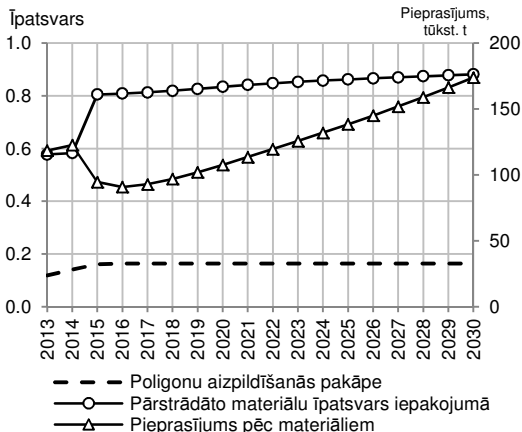
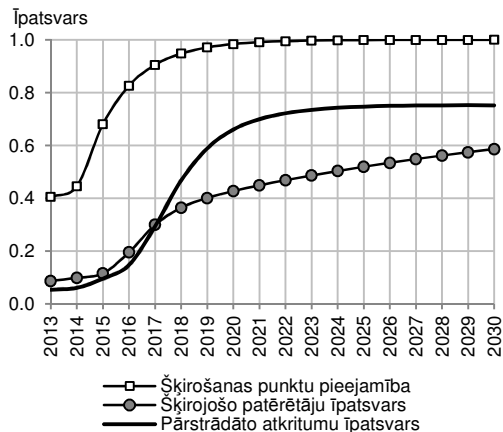
Scenārija S3 rezultāti



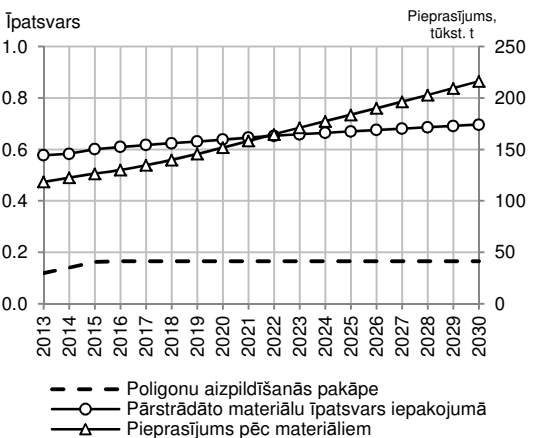
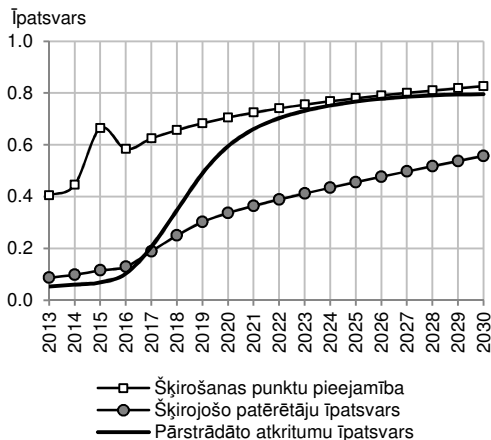
Scenārija S4 rezultāti



Scenārija S5 rezultāti



Scenārija S6 rezultāti



LITERATŪRA

1. Williams P.T. Waste treatment and disposal. – West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 2006. – 380 p.
2. Integrated solid waste management: A lifecycle inventory. McDougall F.R., White P.R., Franke M. et al. – London: Blackwell Science, 2001. – 513 p.
3. Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. – New York: McGraw-Hill Inc., 1993.– 978p.
4. Latvijas Republikas Iepakojuuma likums, Latvijas Vēstnesis. – Nr. 74, 11.05.2005.
5. Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 94/62/EK par iepakojumu un izlietoto iepakojumu, Eiropas Kopienu Oficiālais Vēstnesis. – Nr. 365, 31.12.1994.
6. The European Shopping Baskets: Packaging Trends for Fast Moving Consumer Goods in Selected European Countries Part 1: First data collection, European, 2009.
7. Household consumption and the environment, Report, EEA, 2005.
8. Moora H. Lyfe Cycle Assessment as a Decision Support Tool for System Optimisation – the Case of Waste Management in Estonia. – Tallinn: TUT Press, 2009. – 173 p.
9. Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2008/98/EK par atkritumiem un par dažu direktīvu atcelšanu, Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis L312/3, 22.11.2008.
10. Fleckinger P., Glachant M. The organization of extended producer responsibility in waste policy with product differentiation// Journal of Environmental Economics and Management. – 2010. – Vol.59(1). – pp. 57–66.
11. Walls M. The Role of Economics in Extended Producer Responsibility : Making Policy Choices and Setting Policy Goals. Discussion Paper – Resources for the Future – 2003.
12. Ibáñez M.V., Prades M., Simó A. Modelling municipal waste separation rates using generalized linear models and beta regression// Resources, Conservation and Recycling. – 2011. – Vol.55(12). – pp.1129-1138.
13. Lofthouse V.A., Bhamra T.A., Trimmingham R.L. Investigating Customer Perceptions of refillable packaging and assessing bussiness drivers and barriers to their use// Packaging technology and science. – 2009. – Vol.22. – pp.335-345.
14. Dāce E., Pakere I., Blumberga D. An 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.
15. Walls M. Deposit-refund Systems in Practice and Theory// Resources. – 2011. – Vol.25. – pp.11-47.
16. Have we got the bottle? Implementing a Deposit Refund Scheme in the UK. Hogg D., Fletcher D., Elliot T. et.al. – Bristol: Eunomia Research & Consulting, 2010. – 164 p.
17. Pires A., Martinho G., Chang N. Solid waste management in European countries: A review of system analysis techniques// Journal of Environmental Management. – 2010. – Vol. 92. – pp.1033-1050.
18. Reuse and Recycling Systems for Selected Beverage Packaging from a Sustainability Perspective: An analysis of the ecological, economic and social impacts of reuse and recycling systems and approaches to solutions for further development. PricewaterhouseCoopers, 2011.
19. Matsui Y., Tanaka M., Ohsako M. Study of the effect of political measures on the citizen participation rate in recycling and on the environmental load reduction// Waste management. – 2007. – Vol.27(8). – pp.S9–20.
20. Hage O., Söderholm P. An econometric analysis of regional differences in household waste collection: the case of plastic packaging waste in Sweden. Waste management. – 2008. – Vol.28(10). – pp.1720-1731.
21. Examining the Cost of Introducing a Deposit Refund System in Spain. Fletcher D., von Eye M., Elliott T. et al. – Bristol: Eunomia Research & Consulting, 2012. – 64 p.
22. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. 513. Verordnung: Rücknahme und Pfanderhebung von wiederbefüllbaren Getränkeverpackungen aus Kunststoffen, Erscheinungsort Wien, Verlagspostamt 1030 Wien, Ausgegeben am 7. August 1990
23. Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Rücknahme und Pfanderhebung von Getränkeverpackungen aus Kunststoff, Fassung vom 30.11.2012 // <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010589&ShowPrintPreview=True> [30.11.2012.]

24. Government Order No. 111/2002 Coll. of 20 February 2002 specifying the amount of the deposit on selected types of returnable packaging // [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/preklady_legislativy/\\$FILE/OODP-Government_order_No_111_2002-20080820.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/preklady_legislativy/$FILE/OODP-Government_order_No_111_2002-20080820.pdf)
25. Dansk Returnssystem / Internets. - http://www.dansk-etursystem.dk/content/us/the_danish_system/areas_covered [30.11.2012.]
26. Rujnić-Sokele M., Šercer M., Pilipović A. Waste packaging management in Republic of Croatia// 14th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology". – Mediterranean Cruise, 2010. – pp. 321-324.
27. Eesti Pandipakend / Internets. - <http://eestipandipakend.ee/en/how-does-the-deposit-system-work/> [30.11.2012.]
28. Lietuvos Respublikos Vyriausybė, Dėl Pakuočių, už kurias privaloma imti užstatą, sąrašo, užstato dydžio ir užstato sistemos įgyvendinimo tvarkos aprašo patvirtinimo, Žin., 2002, Nr.95-4120
29. VšĮ "DESA", Pakuočių, įtraukiamų į užstato sistemą, sąrašas / Internets. - <http://depozitas.lt/buteliai/> [30.11.2012.]
30. Stichting Retourverpakking Nederland/Internets. - <http://www.retourverpakking.nl/> [30.11.2012.]
31. Norsk Resirk / Internets. - <http://www.resirk.no/engelsk/introduction.aspx> [30.11.2012]
32. Suomen Palautuspakkaus Oy PALPA / Internets. - <http://www.palpa.fi/english> [30.11.2012.]
33. Ordinance on Beverage Containers of 5 July 2000, SR814.621, The Swiss Federal Council, // <http://www.admin.ch/ch/e/rs/8/814.621.en.pdf> [30.11.2012.]
34. Ordinance on the Avoidance and Recovery of Packaging Wastes of 21 August 1998, Federal Law Gazette I p. 2379, as last amended by the Fifth Amending Ordinance of 2 April 2008, Federal Law Gazette I p. 531.
35. Bjurnell I. Returpack kvalitātes un vides speciāliste // Personīgā komunikācija: e-pastu sarakste, 10.11.2012.
36. Lavee D. A cost-benefit analysis of a deposit-refund program for beverage containers in Israel// Waste management. – 2010. – Vol.30(2). – pp.338-345.
37. Reframing the Concept of Collection Systems with Economic Incentives, Research Report from the National Institute for Environmental Studies. Tasaki T., Numata D., Matsumoto T. et al. – Japan, 2010. – 17 p.
38. Eek P. Economic applications in modern waste management systems - the deposit system as one of the options. Backgrounds and results// RECO project meeting, 10 October 2012, Vilnius, Lithuania.
39. Duma L. Returpack izpildītājs // Personīgā komunikācija: e-pastu sarakste, 8.11.2012.
40. Sieberger B.U. European and domestic experiences in the collection of packaging waste: The experience of the German deposit system// 24th February 2009, Budapest, Hungary.
41. Options and Feasibility of a European Refund System for Metal Beverage Cans. Final report. Hogg D., Elliot T., Croasdel S. et al. – Bristol: Eunomia Research & Consulting, 2011. – 94 p.
42. Economic instruments and waste policies in the Netherlands: Inventory and options for extended use. Oosterhuis F.H., Bartelings H., Linderhof V.G.M. et al. – Amsterdam: Institute for Environmental Studies, 2009. – 127 p.
43. Breidert C. Estimation of Willingness-to-Pay: Theory, Measurement, and Application. – Vienna: WU Vienna University of Economics and Business, 2006. – 158 p.
44. Mrozek J. Revenue neutral deposit/refund systems// Environmental and Resource Economics. – 2000. – Vol.17. – pp.183-193.
45. McCollough J., Roesch M.E. The Learning Curve's Role in Explaining Household Curbside Recycling Rates// Journal of Environmental Systems. – 2004. – Vol.31(4). – pp.333-347.
46. Ulli-Beer S. Citizens' Choice and Public Policy: A System Dynamics Model for Recycling Management at the Local Level. – St.Gallen: Die Universität St. Gallen, Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften zur Erlangung der Würde einer Doktorin der Wirtschaftswissenschaften, 2004. – 323 p.
47. Policies, decisions, and information sources for modeling. Forrester J.W. // Modeling for Learning Organizations. Morecroft J.D.W., Sterman J.D. – Portland: Productivity Press, 1994. – pp.51-84.
48. Dahlstrand U. Biel A. Pro-environmental habits: Propensity levels in behavioral change// Journal of Applied Social Psychology. – 1997. – Vol. 27. – pp. 588-601.
49. Plastic water bottle deposits. Viscusi W.K., Huber J., Bell J. et al. – Cambridge: National Bureau of Economic Research, 2009. – 47 p.

50. Gallardo A., Bovea M.D., Colomer F.J., Prades M., Carlos M. Comparison of different collection systems for sorted household waste in Spain// *Waste management*. – 2010. – Vol.30. – pp. 2430-2439.
51. Hage O., Söderholm P., Berglund C. Norms and economic motivation in household recycling: Empirical evidence from Sweden// *Resources, Conservation and Recycling*. – 2009. – Vol.53. – pp. 155-165.
52. Hogg D. *Costs for Municipal Waste Management in the EU*. – Bristol: Eunomia Research & Consulting. – 71 p.
53. Lasaridi K.E., Rovolis A., Abeliotis K. Waste management costs in Greece: spatial patterns and causal factors// *Environmental Economics and Investment Assessment*. – 2006. – Vol.1. – pp.55-64.
54. *The recycling industry in the EU: Impediments and Prospects*. Bontoux L., Leone F., Nicolai M. et.al. – Sevilla: European Commission - Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies, 1996. – 57 p.
55. *The competitiveness of the recycling industries*. Report prepared for the European Commission. Brussels, Belgium: Directorate General for Industry. European Commission, 1998.
56. *Optimising Markets for Recycling*, Final report prepared for European Commission, ARCADIS, Belgium, 2008.
57. *Use of Economic Instruments And Waste Management*, European Commission, Directorate General for Environment, 2012.
58. *Designing a Sustainable Packaging Program: Results and Recommendations*. Cass K., Flynn P., Hong A. et.al. – Boston: Sustainability Lab, 2011. – 25 p.
59. *A Global Language for Packaging and Sustainability*. – Global Packaging Project, 2009. – 24 p.
60. Svanes B.E., Vold M., Møller H., Pettersen M.K., Larsen H., Hanssen O.J. *Sustainable Packaging Design: A Holistic Methodology for Packaging Design*// *Packaging Technology and Science*. – 2010. – Vol.23. – pp.161-175.
61. Grönman B.K., Soukka R., Järvi-kääriäinen T., Katajajuuri J., Kuisma M., Koivupuro H., Ollila M., Pitkänen M., Miettinen O., Silvenius F., Thun R., Wessman H., Linnanen L. *Framework for Sustainable Food Packaging Design*// *Packaging Technology and Science*. – 2012. – Vol.26(4). – pp. 187-200.
62. Bovea M.D., Ibáñez-Forés V., Gallardo A., Colomer-Mendoza F.J. *Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study*// *Waste Management*. – 2010. – Vol. 30 (11). – pp. 2383-2395.
63. Lee S.G., Xu X. *Design for the environment: Life cycle assessment and sustainable packaging issues*// *International Journal of Environmental Technology and Management*. – 2005. – Vol.5(1). – pp.14-41.
64. Sonneveld K., James K., Fitzpatrick L., Lewis H. *Sustainable Packaging: How do we Define and Measure it?* – Melbourne: 22nd IAPRI Symposium, 2005.
65. Holdway R., Walker D., Hilton M. *Eco-design and successful packaging*// *Design Management Journal*. – 2002. – Vol.13(4). – pp. 45-53.
66. *Sadzīves un bīstamie atkritumi, to savākšana un pārstrāde*, CSB datubāze VIG04// <http://data.csb.gov.lv/Dialog/varval.asp?ma=VI0040&ti=VIG04.+SADZ%CEVES+UN+B%CESTAMIE+ATKRITUMI%2C+TO+SAV%C2K%D0ANA+UN+P%C2RSTR%C2DE&path=../DATABAZE/vide/Ikgad%E7jie%20statistikas%20dati/Dabas%20resursi%20un%20vides%20aizsardz%EEba/&lang=16> [accessed 10 November 2011]
67. Rouw M., Worrell E. *Evaluating the impacts of packaging policy in The Netherlands*// *Resources, Conservation and Recycling*. – 2011. – Vol.55. – pp.483-492.
68. Dāce E., Bērziņa A., Bažbauers G. *Analysis of Waste Sorting Population in Latvia by Using System Dynamics Modeling*// *Proceedings of 7th International Conference on Natural Sciences and Technologies for Waste and Wastewater Treatment, Remediation, Emissions Related to Climate, Environmental and Economic Effects*. – Kalmar: Linnaeus University, 2010. – pp.485-494.
69. *The European environment — state and outlook 2010: synthesis*. – Copenhagen: European Environment Agency, 2010. – 46 p.
70. *Pārskats par saražotā, importētā un izlietotā iepakojuma veidiem un resursu atgūšanas apjomu*. - Rīga: Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs / Internets. - http://www.meteo.lv/upload_file/parskati/_slodzes/Parskats_par_iepakojumu_2003.pdf [accessed 11 November 2011]
71. *Statistical report about generated packaging waste and recovery of resources in the year 2004 in the Republic of Latvia corresponding to the Commission Decision of 22 March 2005 establishing the*

- formats relating to the database system pursuant to Directive 94/62/EC of the European Parliament and of the Council on packaging and packaging waste (2005/270/EC) / Internets. - http://cdr.eionet.europa.eu/lv/eu/colrkuaca/envrkuauq/Report_packaging_2004_LV.doc/manage_document [accessed 11 November 2011]
72. Statistical report about generated packaging waste and recovery of resources in the year 2005 in the Republic of Latvia corresponding to the European Commission Decision 2005/270/EC. / Internets. - http://cdr.eionet.europa.eu/lv/eu/colrkuaca/envrojgog/report_packaging_2005_LV.doc/manage_document [accessed 11 November 2011]
 73. Statistical report on packaging waste and recovery in the Republic of Latvia in 2006 according to the European Commission Decision 2005/270/EC. / Internets. - http://cdr.eionet.europa.eu/lv/eu/colrkuaca/envsvcuxg/LV_packaging_2006.pdf/manage_document [accessed 11 November 2011]
 74. Statistical report on packaging waste and recovery in the Republic of Latvia in 2007 according to the European Commission Decision 2005/270/EC. / Internets. - http://cdr.eionet.europa.eu/lv/eu/colrkuaca/envsknq_g/LV_packaging_2007.pdf [accessed 11 November 2011]
 75. Statistical report on generated packaging waste and recovery of resources in the Republic of Latvia in 2008 according to the European Commission Decision 2005/270/EC. / Internets. - http://cdr.eionet.europa.eu/lv/eu/colrkuaca/envta9obg/LV_packaging_2008.pdf [accessed 11 November 2011]
 76. Statistical report on generated packaging waste and recovery of resources in the Republic of Latvia in 2009 according to the European Commission Decision 2005/270/EC. // Internets. - http://cdr.eionet.europa.eu/lv/eu/colrkuaca/envtfm50q/LV_packaging_2009.pdf [accessed 11 November 2011]
 77. 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.
 78. Spiridonovs J. Atkritumu apsaimniekošanas valsts plāns 2013. – 2020.gadam un citi aktuālie atkritumu apsaimniekošanas jautājumi// Seminārs „Latvijas atkritumu apsaimniekošanas nozares attīstība „Atkritumu apsaimniekošanas valsts plāna 2013-2020 projekta” kontekstā”, Grobiņa, 13.-14.09.2012.
 79. Eurostat datubāze: Packaging Waste / Internets. - http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_waspac&lang=en [15.09.2012.]
 80. Council Resolution, Communication from the Commission on the review of the Community Strategy for Waste Management, COM(96) 399, Brussels, 30.07.1996.
 81. Padomes Direktīva 75/442/EEK par atkritumiem, Oficiālais Vēstnesis L 194, 25.07.1975.
 82. Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2004/12/EK ar ko groza Direktīvu 94/62/EK par iepakojumu un izlietoto iepakojumu, Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis, L47/26, 18.2.2004.
 83. Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2005/20/EK ar ko groza Direktīvu 94/62/EK par iepakojumu un izlietoto iepakojumu, Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis L70/17, 16.03.2005.
 84. Latvijas Republikas Vides aizsardzības likums, Latvijas Vēstnesis, 183(3551), 15.11.2006.
 85. Latvijas Republikas Dabas resursu nodokļa likums, LV, 206 (4398), 30.12.2010.
 86. Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģija līdz 2030.gadam, Latvijas Republikas Saeima, 2010.gada jūnijs
 87. Latvijas Nacionālais attīstības plāns 2014.-2020.gadam, Pārresoru koordinācijas centrs, 2012.gada decembris
 88. Atkritumu apsaimniekošanas valsts plāns 2013.-2020. gadam, Latvijas Republikas Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija, Rīga, 2012.
 89. Latvijas Zaļais punkts: tarifi / Internets. – <http://www.zalais.lv/lv/uznemumiem/tarifu-kalkulators/iepakojumu-tarifu-kalkulators/> [15.09.2012.]
 90. SIA „Zaļā josta”: tarifi / Internets. – <http://www.zalajosta.lv/lat/jaunumi/?doc=128> [15.09.2012.]
 91. Antonioli B. Optimal Size in the Waste Collection Sector// Review of Industrial Organization. – 2002. – Vol.20(3) – pp. 239-252.
 92. Attitudes of European citizens towards the environment, Special Eurobarometer 365. Eurobarometer, 2011.
 93. Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas padomes lēmums Nr.1/1, Rīgā 2011.gada 9.martā (prot. Nr.7, 8.p.), "LV", 41 (4439), 15.03.2011.

94. Modelling the Impact of Household Charging for Waste in England. Hogg D., Wilson A., Gibbs M. et.al. – Bristol: Eunomia Research & Consulting, 2006. – 176 p. // www.defra.gov.uk/environment/waste/strategy/incentives/pdf/wasteincentives-research-0507.pdf
95. Ministru kabineta rīkojums Nr.195 Par koncepciju par depozīta sistēmas piemērošanu dzērienu iepakojumam, Latvijas Vēstnesis 95 (4901), 20.05.2013.
96. Ministru kabineta noteikumi Nr.414 "Noteikumi par depozīta sistēmas piemērošanu atkārtoti lietojamam iepakojumam", LV 110 (2875), 01.08.2003.
97. Vesere R. Latvijas Republikas Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrijas Vides aizsardzības departamenta direktore // Personīgā komunikācija: telefoniska saziņa, 03.12.2012.
98. Brizga J., Dimante D., Atstāja, D. Depozīta sistēmas ieviešanas ekonomiskais novērtējums Latvijā. – Rīga: Biedrība „Zaļā brīvība”, 2012. – 47 lpp.
99. Iepakojuma depozīta sistēmas ieviešanas aspektu analīze un priekšnosacījumu izstrāde stikla pudelēm, PET pudelēm un skārdēnēm. Price Waterhouse Coopers, 2008.
100. Eiropas Parlamenta un Padomes lēmums par vispārējo Savienības vides rīcības programmu līdz 2020. gadam „Labklājīga dzīve ar pieejamajiem planētas resursiem”, COD(2012) 0337, Briselē, 29.11.2012.
101. Komisijas Paziņojums Eiropas Parlamentam, Padomei, Eiropas Ekonomikas un Sociālo Lietu Komitejai un Reģionu Komitejai „Ceļvedis par resursu efektīvu izmantošanu Eiropā”, COM(2011) 571, Briselē, 20.9.2011.
102. Promoting Pro-Environmental Behaviour: Existing Evidence to Inform Better Policy Making. Darnton A., Elster-Jones J., Lucas K. et.al. – London: Defra, 2006. – 81 p.
103. Towards Waste Prevention Performance Indicators. Environment Directorate, Environment Policy Committee, Working Group on Waste Prevention and Recycling, Working Group on Environmental Information and Outlooks, 2004.
104. Kaufmann-Hayoz R., Bättig C. et al. A Typology of Tools for Building Sustainable Strategies. Changing Things - Moving People. – Basel: Birkhäuser, 2001. – pp. 33-108.
105. Pearce D.W. Public policy and natural resource management: a framework for integrating concepts and methodologies for policy evaluation. – London: University College London, 2000. – 38 p.
106. Brizga J. Ilgtspējīga patēriņa pārvaldība Latvijā: instrumenti, sadarbības tīkli un indikatori. – Rīga: Latvijas Universitāte, 2012. – 177 lpp.
107. Rossem C., Tojo N., Lindhqvist T. Extended Producer Responsibility. An examination of its impact on innovation and greening products. – Greenpeace International, Friends of the Earth and the European Environmental Bureau, 2006. – 55 p.
108. Ferrara I., Plourde C. Refillable versus non-refillable containers: The impact of regulatory measures on packaging mix and quality choices// Resources Policy. – 2003. – Vol. 29. – pp. 1-13.
109. Hage O. The Swedish producer responsibility for paper packaging: An effective waste management policy?// Resources, Conservation and Recycling. – 2007. – Vol.51. – pp. 314-344.
110. Kivimaa P. The Determinants of Environmental Innovation: The Impacts of Environmental Policies on the Nordic Pulp, Paper and Packaging Industries// European Environment. – 2007. – Vol.17. – pp. 92-105.
111. Mazzanti M., Nicolli F. Waste dynamics, decoupling and ex post policy effectiveness: evidence from the EU 15// International Journal of Global Environmental Issues. – 2011. – Vol.11. – pp. 61-78.
112. Røine K., Lee C.-Y. With a Little Help from EPR? Technological Change and Innovation in the Norwegian Plastic Packaging and Electronics Sectors// Journal of Industrial Ecology. – 2006. – Vol.10. – pp.217-237.
113. Worrell E., Van Sluisveld M.A.E. Material efficiency in Dutch packaging policy// Philosophical transactions of the Royal Society. Series A. – 2013. – Vol.371. – pp.1-15.
114. Brouillat E., Oltra V. Extended producer responsibility instruments and innovation in eco-design: An exploration through a simulation model// Ecological Economy. – 2012. – Vol. 83. – pp. 236-245.
115. Finnveden G., Björklund A., Reich M.C., Eriksson O., Sörbom A. Flexible and robust strategies for waste management in Sweden// Waste management. – 2007. – Vol. 27(8). – pp. S1-S8.
116. Banar M., Ozkan A., Kulac A. Choosing a recycling system using ANP and ELECTRE III techniques// Turkish Journal of Engineering and Environmental Science. – 2010. – Vol.34. – pp. 145-154.
117. Bor Y.J., Chien Y.-L., Hsu E. The market-incentive recycling system for waste packaging containers in Taiwan// Environmental Science and Policy. – 2004. – Vol. 7(6). – pp. 509-523.

118. Dahlén L., Berg H., Lagerkvist A., Berg P.E.O. Inconsistent pathways of household waste// *Waste Management*. – 2009. – Vol. 29. – pp. 1798-1806.
119. Tsiliyannis C.A. A flexible environmental reuse/recycle policy based on economic strength// *Waste Management*. – 2007. – Vol.27. – pp.3-12.
120. Loukil F., Rouached L. Modeling packaging waste policy instruments and recycling in the MENA region// *Resources, Conservation and Recycling*. – 2012. – Vol. 69. – pp.141-152.
121. Kautto P., Melanen M. How does industry respond to waste policy instruments – Finnish experiences// *Journal of Cleaner Production*. – 2004. – Vol.12(1). – pp.1-11.
122. Eriksson O., Bisaillon M. Multiple system modelling of waste management// *Waste Management*. – 2011. – Vol.31. – pp. 2620-2630.
123. Morrissey A.J., Browne J. Waste management models and their application to sustainable waste management// *Waste Management*. – 2004. – Vol.24(3). – pp.297-308.
124. Finnveden G., Björklund A., Moberg Å., Ekvall T. Environmental and economic assessment methods for waste management decision-support: Possibilities and limitations// *Waste Management & Research*. – 2007. – Vol. 25. – pp. 263-269.
125. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Taking sustainable use of resources forward: A thematic strategy on the prevention and recycling of waste. COM(2005) 666 final. Brussels, 21.12.2005. // <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0666:FIN:EN:PDF>
126. Bruvoll A. Taxing virgin materials: an approach to waste problems// *Resources, Conservation and Recycling*. – 1998. – Vol. 22. – pp. 15-29.
127. Wäger P., Gilgen P., Widmer H. A dynamic model for the assessment of plastics waste disposal options in Swiss waste management system// *Proceedings from Workshop on System Studies of Integrated Solid Waste Management*. – Stockholm: Swedish Environmental Research Institute, 2001. – pp. 208-216.
128. McHenry P., Longhurst P., Lowe M., Macintosh B., Seaton R. The development of a decision support tool for innovative waste strategy planning// *Proceedings of the Ninth International Waste Management and Landfill Symposium Sardinia*. – Sardinia: International Waste Working Group, 2003.
129. Hjorth P., Bagheri A. Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach// *Futures*. – 2006. – Vol.38(1). – pp. 74-92.
130. Richmond B. Systems thinking: Critical thinking skills for the 1990s and beyond// *System Dynamics Review*. – 1993. – Vol.9(2). – pp.113-133.
131. Kwapien J., Drożdż S. Physical approach to complex systems// *Physics Reports*. – 2012. –Vol.515. – pp. 115-226.
132. Sterman J.D. *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. – Boston: Irwin McGraw-Hill, 2000. – 982 p.
133. Ford A. *Modeling the Environment. An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems*. – Washington: Island Press, 1999. – 401 p.
134. Lane DC. Should System Dynamics Be Described As A 'Hard' Or 'Deterministic' Systems Approach?// *Systems Research and Behavioral Science*. – 2000. – Vol.17(1). – pp. 3-22.
135. Forrester JW. *Industrial Dynamics*. – Cambridge: MIT Press, 1961. – 464 p.
136. Mingers J., White L. A review of the recent contribution of systems thinking to operational research and management science// *European Journal of Operational Research*. – 2010. – Vol.207(3). – pp.1147-1161.
137. Blumberga A. Sistēmdinamikas modelēšanas pamati // *Sistēmdinamika vides inženierzinātņu studentiem*. Blumberga A., Blumberga D., Bažbauers G. – Rīga: RTU VASSI, 2010. – 8.-85. lpp.
138. Kiani B., Mirzamohammadi S., Hosseini S.H. A survey on the role of system dynamics methodology on fossil fuel resources analysis// *International Business Research*. – 2010. – Vol.3. – pp.84-93.
139. Ye G., Yuan H., Shen L., Wang H. Simulating effects of management measures on the improvement of the environmental performance of construction waste management// *Resources, Conservation and Recycling*. – 2012. – Vol.62. – pp.56-63.
140. Coyle R.G. *System dynamics modelling: a practical approach*. – London: CRC Press, 1996. – 413 p.
141. Radzicki M.J., Taylor, R.A. *Introduction to System Dynamics: A Systems Approach to Understanding Complex Policy Issues*. – U.S. Department of Energy, Office of Policy and International Affairs, 1997.

142. Vizayakumar K. Environmental policy analysis: System dynamics approach, In: Agnihotry, V.K. (Ed.), *Public policy analysis and design*. – New Delhi: Concept Publishing Company, 1995. – pp.311-329.
143. Saleh M., Oliva R., Kampmann C.E., Davidsen P.I. A comprehensive analytical approach for policy analysis of system dynamics models// *European Journal of Operational Research*. – 2010. – Vol.203(3). – pp.673-683.
144. Cimren E., Bassi A., Fiksel J. T21-Ohio, a System Dynamics Approach to Policy Assessment for Sustainable Development: A Waste to Profit Case Study// *Sustainability*. – 2010. – Vol. 2(9). – pp. 2814-2832.
145. Inghels D, Dullaert W. An analysis of household waste management policy using system dynamics modelling// *Waste Management & Research*. – 2011. – Vol.29(4). – pp. 351-370.
146. Oyoo R., Leemans R., Mol A.P.J. Future projections of urban waste flows and their impacts in African metropolises cities// *International Journal of Environmental Research*. – 2011. – Vol.5(3). – pp.705-724.
147. Sudhir V., Srinivasan G., Muraleedharan V.R. Planning for sustainable solid waste management in urban India// *System Dynamics Review*. – 1997. – Vol.13(3). – pp. 223-246.
148. Dyson B., Chang N.-B. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling// *Waste management*. – 2005. – Vol. 25(7). – pp. 669-679.
149. Karavezyris V., Timpe K.-P., Marzi R. Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste// *Mathematics and Computers in Simulation*. – 2002. – Vol.60(3-5). – pp.149-158.
150. Kolikkathara N., Feng H., Yu D. A system dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues// *Waste management*. – 2010. – Vol.30(11). – pp. 2194-2203.
151. Chaerul M., Tanaka M., Shekdar A.V. A system dynamics approach for hospital waste management// *Waste management*. – 2008. – Vol.28(2). – pp. 442-449.
152. Wäger P.A., Hilty L.M. A Simulation System for Waste Management – From System Dynamics Modelling to Decision Support// *Proceedings of the 1st Biennial Meetings of the International Environmental Modelling and Software Society (IEMSS)*. – Lugano: IDSIA, 2002. – pp.174-179.
153. Hsiao T.Y., Huang Y.T., Yu Y.H., Wernick I.K. Modelling materials flow of waste concrete from construction and demolition wastes in Taiwan// *Resources Policy*. – 2002. – Vol.28. – pp. 39-47.
154. Yuan H.P., Shen L.Y., Hao J.J.L., Lu W.S. A model for cost–benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain// *Resources, Conservation and Recycling*. – 2011. – Vol.55(6). – pp.604-612.
155. Zhao W., Ren H., Rotter V.S. A system dynamics model for evaluating the alternative of type in construction and demolition waste recycling center – The case of Chongqing, China// *Resources, Conservation and Recycling*. – 2011. – Vol.55(11). – pp.933-944.
156. Georgiadis P., Besiou M. Sustainability in electrical and electronic equipment closed-loop supply chains: A system dynamics approach// *Journal of Cleaner Production*. – 2008. – Vol.16(15). – pp. 1665-1678.
157. Georgiadis P., Besiou M. Environmental and economical sustainability of WEEE closed-loop supply chains with recycling: A system dynamics analysis// *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2010. – Vol.47(5-8). – pp. 475-493.
158. Besiou M., Georgiadis P., Van Wassenhove L.N. Official recycling and scavengers: Symbiotic or conflicting?// *European Journal of Operational Research*. – 2012. – Vol. 218(2). – pp. 563-576.
159. Talyan V., Dahiya R.P., Anand S., Sreekrishnan T.R. Quantification of methane emission from municipal solid waste disposal in Delhi// *Resources, Conservation and Recycling*. – 2007. – Vol.50(3). – pp.240-259.
160. Sufian M.A., Bala B.K. Modelling of electrical energy recovery from urban solid waste system: The case of Dhaka city// *Renewable Energy*. – 2006. – Vol.31(10). – pp.1573-1580.
161. Long F., Song B., Wang Q., Xia X., Xue L. Scenarios simulation on municipal plastic waste generation of different functional areas of Beijing// *Journal of Material Cycles and Waste Management*. – 2012. – Vol.14(3). – pp. 250-258.
162. Georgiadis P., Vlachos D. The effect of environmental parameters on product recovery// *European Journal of Operational Research*. – 2004. – Vol.157(2). – pp. 449-464.

163. Georgiadis P. An integrated System Dynamics model for strategic capacity planning in closed-loop recycling networks: A dynamic analysis for the paper industry// *Simulation Modelling Practice and Theory*. – 2013. – Vol.32. – pp.116-137.
164. Ulli-Beer S. Dynamic interactions between citizen choice and preferences and public policy initiatives – A System Dynamics model of recycling dynamics in a typical Swiss locality// *Proceedings of the 2003 International Conference of the System Dynamics Society*. – New York City: The System Dynamics Society, 2003. – 40 p.
165. Ulli-Beer S., Andersen D.F., Richardson G.P. Using the SD-SWM-model to inform policy making for solid waste management at the local level// *Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society*. – Oxford: The System Dynamics Society, 2004. – 33 p.
166. Ulli-Beer S., Richardson G.P., Andersen D.F. A SD-choice structure for policy compliance: Micro behavior explaining aggregated recycling dynamics// *Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society*. – Oxford: The System Dynamics Society, 2004. – 27 p.
167. Ulli-Beer S., Andersen D.F., Richardson G.P. Financing a competitive recycling initiative in Switzerland// *Ecological Economics*. – 2007. – Vol.62(3-4). – pp.727-739.
168. Ulli-beer S., Gassmann F., Wokaun A. Generic structure to simulate acceptance dynamics// *System Dynamics Review*. – 2010. – Vol.26(2). – pp.89-116.
169. Sufian M.A., Bala B.K. Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city// *Waste Management*. – 2007. – Vol.27. – pp.858-868
170. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs: Pārskats par saražotā, importētā un izlietotā iepakojuma veidiem un resursu atgūšanas apjomu 2010.gadā / Internets. - http://www.lvgmc.lv/fs/CKFinderJava/userfiles/files/Vide/Atkritumi/statistika/Parskats_par_iepakojumu_Latvija_2010_g.pdf [18.04.2013.]
171. Latvijas nacionālā reformu programma “ES 2020” stratēģijas īstenošanai, Latvijas Republikas Ekonomikas ministrija, Rīga, 2011.
172. Eurostat datubāze: GDP and main components – volumes / Internets. - http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database [25.11.2012.]
173. Iepakojuma atkritumu apsaimniekošanas sistēmas nodokļu politikas un ekodizaina efektivitātes analīze. Bažbauers G., Davidsen P.I., Moxnes E. et.al. // *Sistēmdinamika vides inženierzinātņu studentiem*. Blumberga A., Blumberga D., Bažbauers G. – Rīga: RTU VASSI, 2010. – 239.-318.lpp.
174. CSB datubāze IKG01: Iekšzemes kopprodukts / Internets. - <http://data.csb.gov.lv/Dialog/varval.asp?ma=IK0010&ti=IKG01%2E+IEK%D0ZEMES+KOPPRODUKTS&path=../DATABASE/ekfin/Ikgad%E7jie%20statistikas%20dati/Iek%F0zemes%20kopprodukts/&lang=16> [25.11.2012.]
175. CSB: 2011.gada tautas skaitīšana – Galvenie rādītāji / Internets. - <http://www.csb.gov.lv/statistikas-temas/2011gada-tautas-skaitisana-galvenie-raditaji-33608.html> [25.11.2012.]
176. Eurostat datubāze: Population projections / Internets. - http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/population/data/main_tables [25.11.2012.]
177. CSB datubāze ISG02: Pastāvīgo iedzīvotāju skaits pēc dzīvesvietas gada sākumā / Internets. - <http://data.csb.gov.lv/Dialog/varval.asp?ma=IS0020&ti=ISG02%2E+PAST%C2V%CEGO+IEDZ%CEVOT%C2JU+SKAITS+P%C7C+DZ%CEVESVIETAS+GADA+S%C2KUM%C2&path=../DATABASE/Iedzoc/Ikgad%E7jie%20statistikas%20dati/Iedz%EEvot%E2ji/&lang=16> [25.11.2012.]
178. Kampmann C.P.E. Feedback complexity and Market Adjustment: An Experimental Approach. – Pilsēta: Massachusetts Institute of Technology, 1992. – 478 p.
179. Škapars R. Mikroekonomikas teorijas pamati. – Rīga: Latvijas Akadēmiskā bibliotēka, 1997. – 390 lpp.
180. Andreyeva T., Long W.M., Brownell B.K. The Impact of Food Prices on Consumption: A Systematic Review of Research on the Price Elasticity of Demand for Food// *American Journal of Public Health*. – 2010. – Vol.2. – pp. 216-222.
181. Palmer K., Sigman H., Walls M. The Cost of Reducing Municipal Solid Waste// *Journal of Environmental Economics and Management*. – 1997. – Vol.33. – pp.128-150.
182. Sepke P.-W., Schneider O. New findings from the experiment about the grinding of waste paper materials for packaging [Neue Erkenntnisse aus dem Versuch ueber die Mahlung von Altpapierstoff fuer Verpackungen]// *Wochenblatt fuer Papierfabrikation*. – 2005. – Vol.133(1-2). – pp.20-24.
183. Villanueva A., Wenzel H. Paper waste - recycling, incineration or landfilling? A review of existing life cycle assessments// *Waste management*. – 2007. – Vol.27(8). – pp.S29-46.
184. Papīra un kartona iepakojuma cenas / Internets. - <http://www.paperage.com/foex/packaging.html> [21.11.2012.]

185. Pārstrādājamo un pārstrādāto materiālu cenas / Internets. - <http://www.letsrecycle.com/prices> [21.11.2012.]
186. Awareness and Exchange of Best Practices on the Implementation and Enforcement of the Essential Requirements for Packaging and Packaging Waste. Final report. BIO Intelligence Service, 2011.
187. Shen L. Bio-based and recycled polymers for cleaner production. An assessment of plastics and fibres. – Utrecht: Utrecht University, 2011. – 201 p.
188. Delgado C., Barruetaña L., Salas O. Assessment of the Environmental Advantages and Drawbacks of Existing and Emerging Polymers Recovery Processes. – Seville: Institute for Prospective Technological Studies, 2007. – 278 p.
189. http://plasticker.de/preise/preise_monat_single_en.php
190. Lazarevic D., Auostin E., Buclet N., Brandt N. Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective// Resources, Conservation and Recycling. – 2010. – Vol.55(2). – pp.246-259.
191. Calculating the cooling effects of waste reduction// Waste Wise Update: Global Warming... is a Waste. US Environmental Protection Agency. – 2002. – pp.10-12.
192. Alumīnija cenas / Internets. - <http://www.infomine.com/chartsanddata/chartbuilder.aspx?z=f&g=127675&dr=3y> [21.11.2012.]
193. Sustainable steel / Internets. - http://www.tatasteeleurope.com/file_source/StaticFiles/SustainableSteel%20KeyMessages.pdf [15.11.2012.]
194. Bartelings H. Municipal Solid Waste Management Problems: An Applied General Equilibrium Analysis. – Amsterdam: Wageningen University, 2003. – 243 p.
195. Fleming N.R. Metal Price Volatility: A Study of Informative Metrics and the Volatility Mitigating Effects of Recycling. Northeastern University, USA, 2011. – 135 p.
196. Attitudes of Europeans towards resource efficiency, Flash EB Series #316, Analytical report, Eurobarometer, 2011.
197. Ministru kabineta noteikumi Nr.1293 „Kārtība, kādā atbrīvo no dabas resursu nodokļa samaksas par iepakojumu un vienreiz lietojamiem galda traukiem un piederumiem”// Latvijas Vēstnesis. – 20.11.2009. – 183(4169).
198. Rigamonti L., Grosso M., Giugliano M. Life cycle assessment for optimising the level of separated collection in integrated MSW management systems// Waste Management. – 2009. – Vol.29. – pp. 934–944.
199. Hertwich E.G. Consumption and the Rebound Effect: An Industrial Ecology Perspective// Journal of Industrial Ecology. – 2005. – Vol.9. – pp. 85-98.
200. Takase K., Kondo Y., Washizu A. An Analysis of Sustainable Consumption by the Waste Input-Output Model// Journal of Industrial Ecology. – 2005. – Vol.9. – pp.201-219.
201. Throne-Holst H., Stø E., Strandbakken P. The role of consumption and consumers in zero emission strategies// Journal of Cleaner Production. – 2007. – Vol.15. – pp.1328-1336.
202. Bottle Bill Resource Guide / Internets. – <http://www.bottlebill.org/legislation/world.htm> [12.12.2012.]
203. Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrijas koncepcijas par depozīta sistēmas piemērošanu dzērienu iepakojumam kopsavilkums: Ministru kabineta koncepcijas projekts // Projekts. Rīga, 2010.
204. CSB datubāze MBG04: Mājsaimniecības patēriņa izdevumi pārtikai vidēji uz vienu mājsaimniecības locekli mēnesī (Ls) / Internets. - <http://data.csb.gov.lv/Dialog/varval.asp?ma=MB0040&ti=MBG04%2E+M%C2JSAIMNIEC%CEBAS+PAT%C7RI%D2A+IZDEVUMI+P%C2RTIKAI+VID%C7JI+UZ+VIENU+M%C2JSAIMNIEC%CEBAS++LOCEKLI+M%C7NES%CE+%28Ls%29&path=../DATABASE/Iedzoc/Ikgad%E7jie%20statistikas%20dati/M%E2jsaimniec%EEbu%20bud%FEets/&lang=16> [28.11.2012.]
205. Grinmane I. A/S „Aldaris” mārketinga menedžere // Personīgā komunikācija: e-pastu sarakste, 28.03.2012.
206. Pöthig M., DPG Deutsche Pfandsystem GMBH Sistēmas atbalsta un procesu vadītājs // Personīgā komunikācija: e-pastu sarakste, 13.11.2012.
207. Reizina V. Latvijas ekonomiskās situācijas ietekme uz izmaiņām iedzīvotāju patēriņa izdevumos// RTU zinātniskie raksti. 3. sēr., Ekonomika un uzņēmējdarbība. – 2010. – Vol.20. – pp. 100-107.
208. Fogarty J. The own price elasticity of alcohol: A meta- analysis. – Crawley: University of Western Australia, 2010. – 39 p.

209. CSB datubāze PCG03: Atsevišķu produktu vidējās mazumtirdzniecības cenas / Internets. - <http://data.csb.gov.lv/DATABASE/ekfin/lkgad%C4%93jie%20statistikas%20dati/Pat%C4%93ri%C5%86a%20cenas/Pat%C4%93ri%C5%86a%20cenas.asp> [28.11.2012.]
210. Tomkevičiūte G., Stasiškiene Ž. Assessment of Opportunities for Beverage Packaging Waste Reduction by Means of Deposit-Refund System// Environmental research, engineering and management. – 2006. – Vol.1(35). – pp.61-72.
211. CSB datubāze TIG10: Veikalu sadalījums pēc tirdzniecības platības gada beigās, 1999.-2008.g. / Internets. - <http://data.csb.gov.lv/Dialog/varval.asp?ma=TI0100&ti=TIG10%2E+VEIKALU+SADAL%CEJUMS+P%C7C+TIRDZNIEC%CEBAS+PLAT%CEBAS+GADA+BEIG%C2S%2C+1999%2E%2D2008%2Eg%2E&path=../DATABASE/rupnbuvn/lkgad%E7jie%20statistikas%20dati/lek%F0zemes%20tirdzniec%EEba%20un%20maksas%20pakalpojumi/&lang=16> [28.11.2012.]
212. Rimi: Hipermārketu raksturojums / Internets. - <http://rimi.lv/veikali/rimi-hipermarketi> [28.11.2012.]
213. Cik bieži Latvijas iedzīvotāji dzer alu / Internets. - http://www.tns.lv/newsletters/2011/29/?category=tns29&id=social_alus_lietosana [10.12.2012.]
214. Mrozek J. Studies in the economics of solid waste management., Stanford Unversity, 1996. – 154 p.
215. Latvijas Republikas Atkritumu apsaimniekošanas likums, LV 59 (4662), 17.04.2012.
216. The Use of Economic Instruments in Nordic and Baltic Environmental Policy 2001-2005. Speck S., Andersen M.S., Nielsen H.Ø. et.al. – Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2006. – 295 p.
217. Guan D., Gao W., Su W., Li H., Hokao K. Modeling and dynamic assessment of urban economy–resource–environment system with a coupled system dynamics – geographic information system model// Ecological Indicators. – 2011. – Vol.11. – pp.1333–1344.
218. Romagnoli F. Model for sustainable bioenergy production and use. – Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2012. – 162 lpp.
219. Yuan H., Chini A.R., Lu Y., Shen L. A dynamic model for assessing the effects of management strategies on the reduction of construction and demolition waste// Waste management. – 2012. – Vol.32. – pp.521-531.
220. Žogla G. Inovatīvu pieeju izmantošana ēku energoefektivitātes politisko un tehnoloģisko risinājumu modelēšanā. – Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2012. – 156 lpp.
221. Sterman J.D. All models are wrong: Reflections on becoming a systems scientist// System Dynamics Review. – 2002. – Vol.18. – pp.501-531.
222. Schwandt M.J. Risk-Based Framework for Focused Assessment of System Dynamics Models. – Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2009. – 449p.
223. Maani K.E., Cavana R.Y. System Thinking and Modeling – Understanding Change and Complexity. - Auckland: Prentice Hall, 2000. – 262 p.
224. Drew S.S. Quasi-Monte Carlo Methods for Stochastic Programming. – Evanston: Noerthwestern University, 2007. – 147 p.
225. Saner D., Blumer Y.B., Lang D.J., Koehler A. Scenarios for the implementation of EU waste legislation at national level and their consequences for emissions from municipal waste incineration// Resources, Conservation and Recycling. – 2011. – Vol.57. – pp.67-77.
226. Frye-Levine L.A. Sustainability Through Design Science: Re-Imagining Option Spaces Beyond Eco-Efficiency// Sustainable Development. – 2012. – Vol.20. – pp.166-179.
227. Solow R.M. Sustainability: An Economist's Perspective. - Woods Hole: Marine Policy Center, 1991. – 13 p.