

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

Haralds Vīgants
Doktora studiju programmas “Vides zinātne” doktorants

GRANULU RAŽOŠANAS ILGTSPĒJĪGA ATTĪSTĪBA

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji
Profesore *Dr. habil. sc. ing.*
DAGNIJA BLUMBERGA

Profesors *Dr. habil. sc. ing.*
IVARS VEIDENBERGS

RTU Izdevniecība
Rīga 2017

Vīgants H. Granulu ražošanas ilgtspējīga attīstība.
Promocijas darba kopsavilkums. – R.: RTU Izdevniecība,
2017. – 38 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Vides zinātnes promocijas
padomes “RTU P-19” 2016. gada 22. septembra lēmumu,
protokols Nr. 72.

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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda (*Dr. sc. ing.*) vides zinātnē iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2017. gada 23.martā plkst. 14 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 115. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. (tech) Timo Laukkanen*
Aalto Universitāte, Somija

Asociētais profesors *Dr. sc. ing. Ainis Lagzdīņš*
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Profesors *Dr. sc. ing. Gatis Bažbauers*
Rīgas Tehniskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai programmā “Vides zinātne”. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Haralds Vīgants (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir izstrādāts latviešu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 59 attēli, trīs tabulas, kopā 97 lappuses. Literatūras sarakstā ir 143 nosaukumi.

Saturs

Promocijas darba aktualitāte	6
Promocijas darba mērķis un uzdevumi	6
Promocijas darba zinātniskais nozīmīgums	6
Promocijas darba praktiskais lietojums.....	7
Aprobācija.....	7
Darba struktūra un apjoms	8
1. UZDEVUMS. GRANULU RAŽOTNES DARBĪBAS INDIKATORU KOPA. LĪMEŅATZĪMES METODIKAS LIETOJUMA ANALĪZE UZŅĒMUMĀ	10
1.1. Nepieciešamo datu ieguve un apstrāde	10
1.2. Granulu ražotnes datu analīze un datu korelācijas analīze.....	11
1.2.1. Elektroenerģijas patēriņa analīze	11
1.2.2. Koģenerācijas stacijas saražotā siltumenerģijas analīze	12
1.3. Līmeņatzīmes metode	13
2. UZDEVUMS. GRANULU RAŽOŠANAS UZŅĒMUMA RAŽOTŅU DARBĪBAS RĀDĪTĀJU ANALĪZE UN “ŠAURO” VIETU NOTEIKŠANA.....	15
2.1. Veltņu kaltes iespējamie uzlabojumi	15
2.2. Dzirnavu elektroenerģijas patēriņa samazinājums	15
3. UZDEVUMS. ENERGOPĀRVALDĪBAS ĪSTENOŠANAS METODIKA TEHNOLOĢISKO UZLABOJUMU ĪSTENOŠANAI. OPTIMIZĀCIJA	17
3.1. Veltņu kaltes darbības optimizācija	17
3.2. Ieteikumi elektroenerģijas patēriņa optimizācijai ražotnē	20
3.2.1. Optimāla rūpnieciskās koģenerācijas stacijas (KS) pārvaldība elektroenerģijas tirgū nepietiekamas informācijas apstākļos.....	20
3.2.2. Rūpniecisko koģenerācijas staciju (KS) siltuma pārpalikuma efektīva izmantošana dzesēšanā	23
4. UZDEVUMS. RAŽOŠANAS ATTĪSTĪBA UN TĀS ILGTSPĒJĪBAS ANALĪZE VALSTS MĒROGĀ, IZMANTOJOT SISTĒMDINAMIKAS MODELI.....	29
4.1. Sistēmdinamikas modeļa izmantošanas metodika	29
4.2. Dinamiskā hipotēze.....	30
4.3. Modeļa struktūra	31
4.3.1. Iegūstamais koksnes apjoms	31
4.3.2. Loģiskā funkcija	32
4.3.3. Enerģētiskās koksnes apakšmodelis	32
4.3.4. Ienākumu un izdevumu apakšmodelis	33
4.3.5. Uzstādītās apstrādes jaudas apakšmodelis	33
4.3.6. Kapitālizmaksu apakšmodelis.....	34
4.3.7. Elektroenerģijas patēriņa apakšmodelis.....	34
4.3.8. Energoefektivitātes paaugstināšanas apakšmodelis	34

4.3.9. Darbaspēka apakšmodelis.....	34
4.4. Modeļa validācija.....	35
4.5. Rezultāti.....	35
Secinājumi.....	38
Priekšlikumi	38

Promocijas darba aktualitāte

Rūpniecības uzņēmumu ilgtspējīga attīstība ir iespējama tikai saistībā ar lietderīgu resursu izmantošanu. Arvien aktuālāks kļūst jautājums par augstākas pievienotās vērtības produktu ražošanu no bioresursiem. Tas ir ne tikai uzņēmuma izdzīvošanas jautājums, bet arī valsts makroekonomikas attīstības problēmu risinājums.

Vienas no rūpnieciskām ražotnēm, kurās tiek iegūts produkts ar augstāku pievienoto vērtību, ir granulānu ražotnes. Tajās biomasa – koksne un cita veida augu masa – tiek pārveidota granulās, ko visbiežāk izmanto kā kurināmo enerģētiskās iekārtās. Atšķirībā no citiem bioresursiem, piemēram, malkas vai šķeldas, granulām ir augstāka pievienotā vērtība, ko ir iespējams izteikt ne tikai cenā par vienu MWh, bet arī ar vides un klimata, kā arī ekonomiskajiem un socioekonomiskajiem ieguvumiem.

Saražoto granulānu izmaksas ir atkarīgas ne tikai no izejvielu cenām un investīcijām rūpnīcas izveidei. Viens no svarīgākajiem jautājumiem no uzņēmuma ekonomiskās stabilitātes viedokļa ir darbināšanas izdevumi, kurus nosaka gan iekārtu tehnoloģiskās iespējas un parametri, gan to darbināšanas pārvaldības profesionalitāte.

Promocijas darbs ir veltīts resursu izmantošanas un pārvaldības jautājumu risināšanai.

Promocijas darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir izveidot metodiku, ar kuras palīdzību ir iespējams vērtēt un prognozēt granulānu ražotnes ilgtspējīgas attīstības iespējas.

Lai sasniegtu mērķi, nepieciešams veikt šādus uzdevumus:

1. izveidot granulānu ražotnes darbības indikatoru kopu, ieviest un analizēt līmeņatzīmes metodikas lietojumu uzņēmumā;
2. analizēt granulānu ražošanas uzņēmuma ražotņu darbības rādītājus un meklēt “šaurās” vietas;
3. izveidot metodiku, lai īstenotu energopārvaldību un analizētu iespējamās tehnoloģiskās uzlabojumus;
4. prognozēt granulānu ražošanas attīstību un analizēt tās ilgtspējību valsts mērogā, izmantojot sistēmdinamikas modeli.

Promocijas darba zinātniskais nozīmīgums

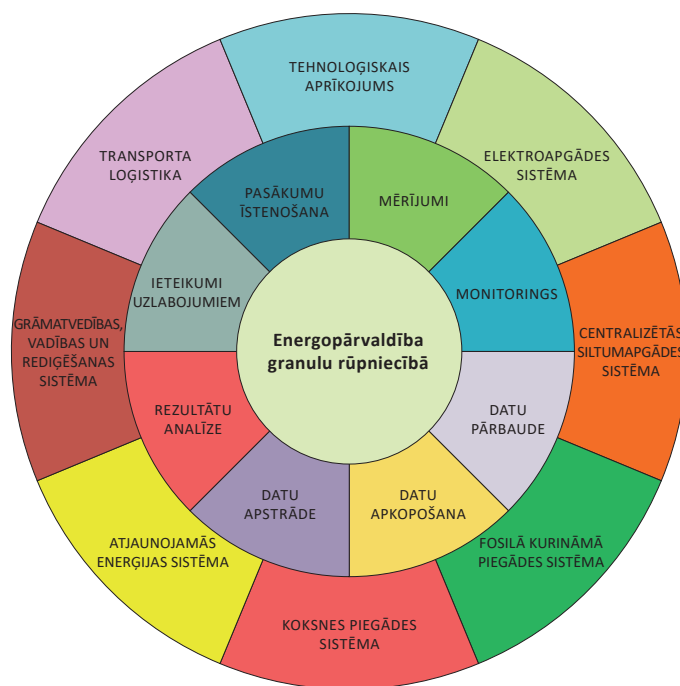
Zinātnisko novitāti apstiprina energopārvaldības daudzšķautņainības ilustrācija, kas balstās uz savstarpēji integrētu (*nexus*) granulānu ražotnes faktoru analīzes metodi, kas ir ilustrēta 1. attēlā.

Ļoti svarīgi ir, lai šīs ražotnes būtu energoefektīvas un tās izmantotu energopārvaldību. Energopārvaldība granulānu ražotnē ir svarīga vairāku iemeslu dēļ:

- energoefektīva enerģijas ražošana un izmantošana ir Eiropas Savienības dalībvalstu attīstībai visnozīmīgākais sektors;
- energopārvaldības sistēmu veidošanai ir izstrādāts jauns speciāls starptautiskais standarts ISO 50001:2011. Tā integrēšana uzņēmumos varētu kļūt par veiksmes stāstu ceļā uz mazietilpīga oglekļa sabiedrību;
- energopārvaldība uzņēmumā dos iespēju taupīt energoresursus un arī naudas līdzekļus.

Enerģijas patēriņa samazināšana granulānu ražotnē ir iespējama vairākos līmeņos. Enerģijas patēriņa analīze balstās uz uzņēmuma iekšējo energopārvaldību:

- ar monitoringu: regulāri sekojot līdzi uzņēmuma darbības parametriem;
- ar uzlabojuma pasākumu izstrādi, izvēli un realizāciju: veicot procedūras saskaņā ar starptautisko energopārvaldības standartu ISO 50001:2011;
- rezultātu analīze pēc datu vākšanas un apstrādes, kas raksturo esošo situāciju uzņēmumā.



1. attēls. Savstarpēji integrētu granulū ražošanas faktoru saites shēma.

Ārējo faktoru analīze balstās uz valsts likumdošanu energosektora attīstībai:

- ar granulū tirgus attīstību, kas pievieno vērtību vietējai biomasai;
- ar fosilā kurināmā aizvietošanu ekonomisku apsvērumu un ietekmes uz klimata pārmaiņām dēļ;
- ar atjaunojamo energoresursu izmantošanas kombinācijām, izmantojot inovatīvus tehnoloģiskos risinājumus;
- ar transporta loģistikas izveidi, samazinot tukšu transportlīdzekļu kilometrāžu;
- ar ekonomisko situāciju valstīs, kurās ir attīstīta mežrūpniecība;
- ar dabas stihijām, vējgāžu nolauztie koki, kuri jārealizē.

Promocijas darba praktiskais lietojums

Zinātniskā pētījuma sākuma posms tika pavadīts saskarē ar citu Latvijas uzņēmumu neizpratni par līmeņatzīmes ieviešanas nepieciešamību, lai ne tikai analizētu enerģijas, resursu un ūdens izmantošanu, bet arī izvēlētos indikatorus un definētu to robežvērtības.

Zinātniskās izpētes rezultāti sekmīgi testēti un ieviesti uzņēmuma “*Graanul Invest*” ražotnēs. Tie ir ieviesti Latvijas likumdošanā un tiek piemēroti energopārvaldības modeļu izveidē gan valsts institūciju dokumentos (LR Ekonomikas ministrijas un Latvijas Nacionālās akreditācijas biroja (LATAK)), gan energoauditoru firmu programmās, gan arī ražošanas uzņēmumu energopārvaldības programmās.

Aprobācija

Pētījuma rezultāti prezentēti un apspriesti piecās zinātniskajās konferencēs, publicēti četros recenzētos pilna teksta zinātniskajos žurnālos un trīs recenzētos zinātnisko konferenču rakstu krājumos.

Konferences

1. Uuemaa P., Drovтар I., Vigants H., Blumberga D., Puusepp A., Industrial CHP optimal management in the energy market under incomplete information, *2014 IEEE Innovative Smart Grid technologies Asia, ISGT Asia 2014*, Kuala Lumpur, Malaysia, 20.05.–23.05.2014.
2. Vigants H., Blumberga D., Veidenbergs I., Demand side management in pellet production: Internal and external factors, *Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT*, Riga, Latvia, 14.10.–16.10.2014.
3. Blumberga D., Vigants H., Cilinskis E., Vitolins V., Borisova I., Khabdullin As., Khabdullin Ar., Khabdullina Z., Khabdullina G., Energy efficiency and energy management nexus, *Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT*, Riga, Latvia, 14.10.–16.10.2015.
4. Labanovska A., Vigants H., Blumberga D., Energy management in wood pellets' production, *Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT*, Riga, Latvia, 14.10.–16.10.2015.
5. Vigants H., Priedniece V., Veidenbergs I., Blumberga D., Process optimization for pellets production, *Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT*, Riga, Latvia, 12.10.–14.10.2016.
6. Gravelsins A., Vigants H., Blumberga A., Blumberga D., Pellet production development in Latvia – System dynamic approach, ICAE 2017: 19th International Conference on Applied Energy to be held on Apr 03–04, 2017 in Brisbane, Australia (accepted August 10th, 2016).

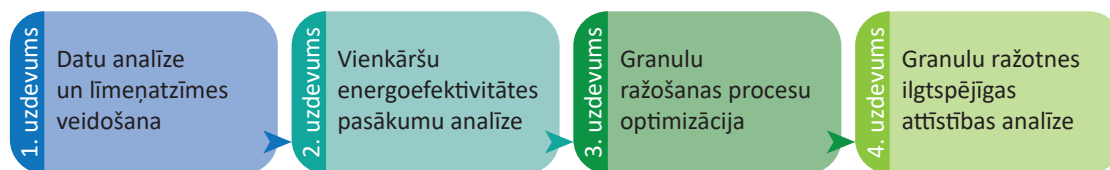
Publikācijas

1. Vigants H., Uuemaa P., Veidenbergs I., Blumberga D., Cleaner pellet production – an energy consumption study using statistical analysis, *Agronomy Research*, Volume 12, Issue 2, 2014, pp. 633.–644. (indeksēts Scopus).
2. Uuemaa P., Drovтар I., Vigants H., Blumberga D., Puusepp A., Industrial CHP optimal management in the energy market under incomplete information, *IEEE Innovative smart grid technologies – Asia (ISGT ASIA)*, 2014, pp. 407.–411. (indeksēts Scopus, Web of Science).
3. Uuemaa P., Vigants H., Blumberga D., Drovтар I., Industrial CHP excess heat efficient usage for cooling, *Energetika*, Volume 2, 2014 (indeksēts Scopus).
4. Vigants H., Blumberga D., Veidenbergs I., Demand side management in pellet production: Internal and external factors, *Environmental and climate technologies*, Volume 14, Issue 1, 2014, pp. 30.–35. (indeksēts Scopus).
5. Labanovska A., Vigants H., Blumberga D., Energy management in wood pellets' production, *Energy Procedia*, Volume 95, 2015, pp. 237–242. (indeksēts Science Direct).
6. Blumberga D., Vigants H., Cilinskis E., Vitolins V., Borisova I., Khabdullin As., Khabdullin Ar., Khabdullina Z., Khabdullina G., Energy efficiency and energy management nexus, *Energy Procedia*, Volume 95, 2016, pp. 71–75. (indeksēts Science Direct).
7. Vigants H., Priedniece V., Veidenbergs I., Blumberga D., Process optimization for pellets production, *Energy Procedia (In Press)*, 2016.
8. Gravelsins A., Vigants H., Blumberga A., Blumberga D., Pellet production development in Latvia – System dynamic approach, ICAE 2017: International Conference on Applied Energy to be held on Apr 03–04, 2017 in Brisbane, Australia (accepted August 10th, 2016).

Darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā. Tajā ir četras nodaļas, secinājumi un izmantotās literatūras saraksts. Ievadā ir aplūkota tēmas aktualitāte, darba mērķis un galvenie uzdevumi, kā arī veikta pētījuma zinātniskais nozīmīgums un potenciālais lietojums.

Autors piedāvā granulū ražotnes darbību aplūkot, izmantojot pakāpenības principu: no vienkāršākā uzdevuma uz sarežģītāko.



2. attēls. No vienkāršāko uz sarežģītāko uzdevumu

Pirmā nodaļa sniedz ieskatu granulu ražotnes darbībā. Tajā sīkāk aplūkots granulu ražošanas process. Veikta korelācijas un regresijas analīze ražotnes datiem. Izmantota līmeņatzīmes metode, lai noteiktu iespējamo iekārtas optimizācijas līmeni.

Otrajā nodaļā veikta granulu ražošanas uzņēmuma ražotņu darbības rādītāju analīze un problemātisko vietu noteikšana. Sniegts ieskats potenciālajos veltņu kaltes uzlabojumos, piedāvājums dzirnavu elektroenerģijas patēriņa samazinājumam. Izpētīta pirmsmalšanas nozīme un ietaupījums.

Trešā nodaļa attēlo veltņu kaltes optimizāciju, samazinot cilvēcisko faktoru, kā arī ieviešot automātisko vadības sistēmu. Aplūkots radītais CO₂ emisiju daudzums, kas liecina, ka koģenerācijas staciju izmantošana granulu ražošanas procesā ir videi draudzīgāks process. Sniegts optimizācijas variants koģenerācijas stacijām.

Ceturtnā nodaļa ietver sistēmdinamikas modeļa izveidi, kas analizē granulu ražošanas attīstību un tās ilgtspējību valsts mērogā. Apakšmodeļos iekļauts enerģētiskās koksnes apjoms, ienākumi un izdevumi, kapitālizmaksas, elektroenerģijas patēriņš, energoefektivitātes paaugstināšana un darbaspēks. Modelim veikta validācija un iegūto rezultātu analīze.

Secinājumu daļa apkopo pētījuma galvenos sasniegtos rezultātus. Promocijas darbā ir 100 lappuses, kas ietver 58 attēlus, trīs tabulas un izmantotās literatūras sarakstu ar 143 avotiem.

1. UZDEVUMS. GRANULU RAŽOTNES DARBĪBAS INDIKATORU KOPA. LĪMEŅATZĪMES METODIKAS LIETOJUMA ANALĪZE UZNĒMUMĀ

Kokskaidu granulū kvalitātes sasniegšanā ir jāievēro vispārējie kvalitātes standarti, lai nodrošinātu kokskaidu granulū ražošanas saražotās produkcijas atbilstību tirgus un patērētāju prasībām. Ražošanā var izmantot tikai tīras kokskaidas bez smiltīm, abrazīvām daļiņām vai citiem piemaisījumiem. Lai saražotās produkcijas kvalitāte būtu augsta, kokskaidām jābūt sausām, saražotajām granulām – mehāniski izturīgām, un tās nedrīkst saturēt jebkādas svešķermeņus. Koksnēs atkritumi no kokapstrādes uzņēmumiem ir galvenais izejmateriālu avots kokskaidu granulū ražošanā.

Visus ražošanas procesus un ražošanas komponentus var iedalīt vairākos posmos, ko darba autors apraksta pēc kādas granulū ražošanas apmeklējuma:

- izejmateriāli un to sagatavošana iekārtu darbināšanai;
- kokskaidu granulū ražošanā nepieciešamo materiālu sagatavošana;
- materiālu žāvēšana;
- materiālu sagatavošana – smalcināšana;
- materiālu presēšana, granulū ražošana;
- gatavās produkcijas apstrāde un uzglabāšana.

Pirms gatavās produkcijas nogādāšanas uz uzglabāšanas tvertnēm tiek noteikts mitruma saturs (optimālais mitruma saturs ir 8 %), blīvums, izturība un daļiņu sadalījums granulās. Tie ir galvenie gatavā produkta kvalitātes rādītāji. No uzglabāšanas tvertnēm tās tiek iekrautas kravas transportā, nosvērtas un piegādātas patērētājiem.

1.1. Nepieciešamo datu ieguve un apstrāde

Lai izvērtētu elektroenerģijas patēriņu procesos, tiek pieņemts, ka katra vienība darbojas ar 100 % kapacitātes noteiktu darbības stundu laiku atbilstoši tehniskajai specifikācijai. Lai noteiktu elektroenerģijas patēriņa efektivitāti, salīdzinot ar ražošanas apjomu, nepieciešams izmantot šādu vienādojumu (1.1.):

$$\eta_{el} = \frac{P_{Pellet}}{Q_{el}}, \quad (1.1.)$$

kur

P_{Pellet} – saražoto granulū apjoms, t/h;

Q_{el} – kopējais iekārtu elektroenerģijas patēriņš, kWh.

To var izmantot, lai veiktu efektivitātes uzlabojumu aprēķinus, ja saražoto granulū apjoms palielinās salīdzinājumā ar patērēto elektroenerģiju. Ja enerģijas efektivitātes indikatori tiek salīdzināti ar esošo sistēmu un uzlabotās sistēmas enerģijas efektivitātes rādītājs ir lielāks, tad kopējā ražošanas sistēma strādā efektīvāk.

Ja elektroenerģija un siltumenerģija tiek ražota koģenerācijas ražotnē, lai noteiktu un izvērtētu primārās enerģijas ietaupījuma vērtības, izmanto vienādojumu (1.2.), kas ietver patērētā kurināmā enerģiju un patērēto siltumenerģiju un elektroenerģiju:

$$\Delta Q_{PE} = Q_{el,ats} + Q_{Qats} - Q_{kur}, \quad (1.2.)$$

kur

ΔQ_{PE} – primārās enerģijas ietaupījumi, MWh;

Q_{kur} – ražotnē patērētā kurināmā enerģija, MWh;

$Q_{el,ats}$ – enerģijas patēriņš elektroenerģijas ražošanā, MWh;

Q_{Qats} – enerģijas patēriņš siltumenerģijas ražošanā, MWh.

Kurināmā ietaupījums ir atkarīgs no primārās enerģijas ietaupījuma un kurināmā zemākā sadegšanas siltuma. Koģenerācijas stacijas energoefektivitātes koeficients ir atkarīgs no saražotās siltumenerģijas un elektroenerģijas un patērētās primārās enerģijas.

Apstrādājot iegūtos datus, tiek ņemta vērā informācija par iekārtu maksimālo darba slodzi. Dati par apkopes periodiem vai periodiem, kad uzstādītā iekārta nedarbojas, netiek ņemti vērā. Datu analīzei izmantota vienkārša programmatūra. Dati, kas nav pārstāvēnieciski, nav iekļauti analīzē.

Visvarīgākais kokskaidu granulu ražotnes efektivitātes parametrs ir ražošanas apjoms, tādējādi izejošie dati ir saražoto granulu apjoms tonnās. Citu mainīgo parametru analīze veikta, pamatojoties uz ražošanas apjomiem.

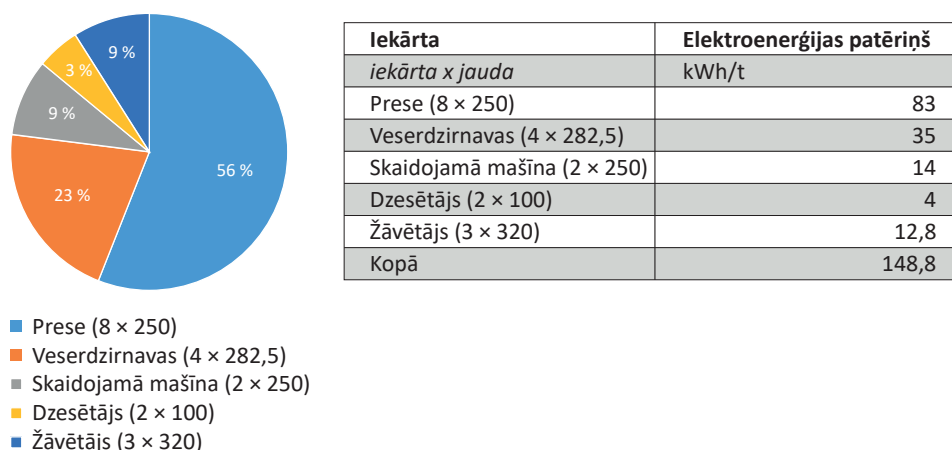
Lai raksturotu savstarpējās sakarības starp mainīgajiem, tiek izmantotas šādas matemātiskās statistikas metodes: korelācijas un regresijas analīze. Matemātisko modeļu gadījumā korelācija tiek izteikta, izmantojot Pīrsona korelāciju, kas nosaka korelācijas koeficientu r . Korelācijas koeficienta vērtības noteikšanai, izmantojot matemātiskos modeļus, ir nepieciešama sākotnējā datu apstrāde – normalizācija. Lai veiktu regresijas analīzi, izmantota *MS Excel* vide.

Regresijas vienādojums tika noteikts, izmantojot mazāko kvadrātu metodi un iegūtā rezultāta statistisko analīzi. Determinācijas koeficients jeb R^2 vērtība apzīmē korelāciju starp parametriem, kas tika lietots, lai izteiktu korelācijas koeficientu R , tādējādi nosakot parametru tuvumu. Ja korelācija starp parametriem ir ļoti tuva, korelācijas koeficients ir 0,75. Korelācijas kvadrāta vērtība tiek reizināta uz 100, un procentuāli izteiktā vērtība parāda nejaušo vērtību izmaiņu, ko raksturo regresijas vienādojums.

1.2. Granulu ražotnes datu analīze un datu korelācijas analīze

1.2.1. Elektroenerģijas patēriņa analīze

Pamatojoties uz uzņēmuma sniegto informāciju – datiem par granulu ražotnes darbību 2014. gadā, veikta granulu ražotnes darbības datu analīze. Granulu ražotnes katras iekārtas īpatnējais elektroenerģijas patēriņš, to attiecinot uz tonnu produkcijas, ir ilustrēts 1.1. attēlā. Šajā attēlā ir atspoguļots katras iekārtas elektroenerģijas patēriņa īpatsvars.



1.1. attēls. Iekārtu patērētās elektroenerģijas sadalījums.

Kā redzams 1.1. attēlā, lielākais elektroenerģijas patērētājs ražotnē ir granulatori – kokskaidu granulu prese. Otrs lielākais enerģijas patērētājs ir veserdzīrnavas, kas patērē 23 % kopējās patērētās elektroenerģijas. Skaidotāji un žāvētāji parāda līdzīgus rezultātus elektroenerģijas patēriņa ziņā.

Lai izvērtētu elektroenerģijas patēriņa nozīmīgumu iekārtās un noteiktu, vai pastāv savstarpēja atkarība starp parametriem un ražošanas apjomu, ir nepieciešams veikt regresijas analīzi (skat. 1.2. attēlu).

Attēls rāda, ka, pieaugot granulu ražošanas apjomam, lineāri pieaug elektroenerģijas patēriņš. Linearitātes raksturu apstiprina korelācija starp elektromotoru elektroenerģijas patēriņu un produkcijas apjomu. Korelācijas koeficienta kvadrāta vērtība $R^2 = 0,944$ (94,4 %). Tas liecina, ka korelācijas koeficients $r = 0,97$ un norāda savstarpējās atkarības tuvumu starp parametriem.

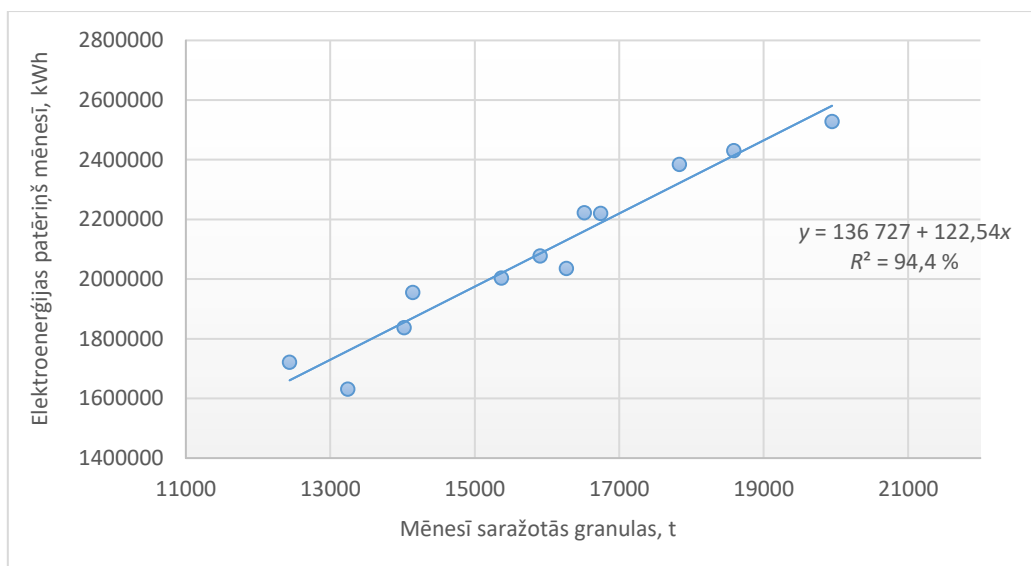
Parametru savstarpējā matemātiskā saite ir lineāra regresija, ko apraksta ar vienādojumu (1.4.):

$$E = 136\,727 + 122,54 P, \quad (1.4.)$$

kur

E – elektroenerģijas patēriņš mēnesī, kWh;

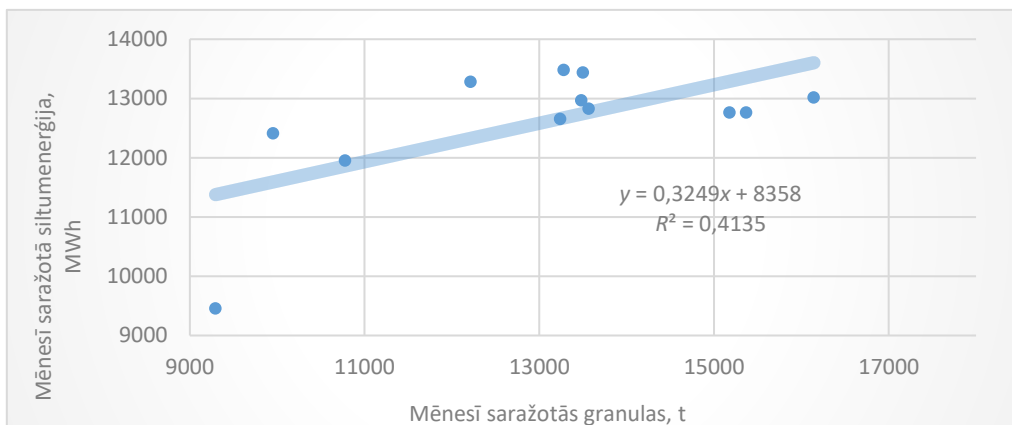
P – mēnesī saražotās granulas, t.



1.2. attēls. Iekārtu elektroenerģijas patēriņš uz saražoto granulu apjomu.

1.2.2. Koģenerācijas stacijas saražotā siltumenerģijas analīze

Datu analīzes piemērs veikts koģenerācijas stacijas saražotās siltumenerģijas apjomam, izmantojot dažādus kurināmos. Lai noteiktu, vai pastāv korelācija starp patērēto kurināmā daudzumu un tā veidu, ražošanas un siltumenerģijas apjomiem, tika veikta datu analīze, izmantojot datus no ražotnes 2014. gadā, parametru pārraudzības laikā.



1.3. attēls. Koģenerācijas stacijā saražotās siltumenerģijas atkarība no ražošanas apjoma.

Kā redzams 1.3. attēlā, pastāv lineāra sakarība ar viduvēju korelāciju starp neatkarīgo mainīgo – saražoto granulu apjomu un atkarīgo mainīgo – koģenerācijas stacijā saražoto siltumenerģijas apjomu. Korelācijas koeficients ir $r = 0,64$, tāpēc tas nozīmē, ka pastāv vidēja korelācija starp šiem diviem parametriem.

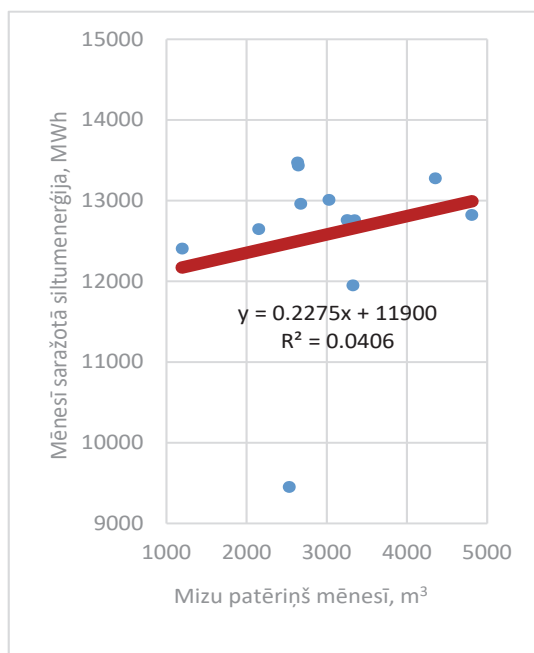
Koģenerācijas stacijā izmanto divu veidu koksnes kurināmo: mizas un šķeldu. Saražotās siltumenerģijas apjomu gadījumā, kad kurināmais ir miza, var aplūkot 1.4. attēlā, bet šķelda – 1.5. attēlā.

Gadījumā, kad miza ir kā kurināmais, vērojama slikta parametru korelācija. Datu kopums atspoguļo 4 % no savstarpēji atkarīgo mainīgo izmaiņām, kas tika aprakstīti un analizēti ar regresijas vienādojumu. Granulu ražotnes dati liecina, ka mizas sastāda 30 % no visa ražotnē izmantotā kurināmā, tādējādi šī korelācija starp parametriem nav statistiski svarīga. Lai ražotnē nodrošinātu tīrākus ražošanas procesus, jāsamazina mizas izmantošana degšanas procesos.

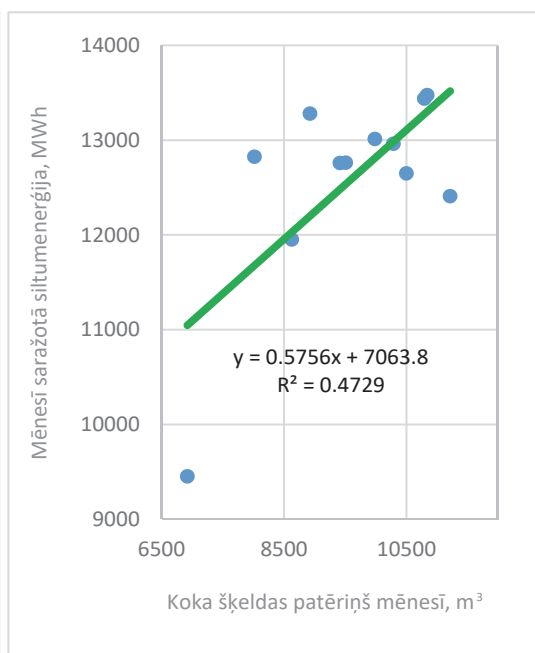
Nosakot saražotās siltumenerģijas apjomu, kas iegūts no koksnes šķeldas, kas sastāda 70 % no kopā izmantotā kurināmā, tika iegūta lineāra sakarība, kas apraksta saražotās siltumenerģijas

daudzumu atkarībā no šķeldas patēriņa (skat. 1.5. attēlu). Korelācijas koeficienta kvadrāta vērtība nozīmē, ka izmantoto datu kopums atspoguļo 47 % izmaiņu savstarpēji atkarīgajos mainīgajos, kas tika aprakstīti un analizēti ar regresijas vienādojumu. Korelācijas koeficients ir ļoti tuvu tam, kas apraksta tuvu korelāciju starp parametriem, tāpēc var secināt, ka šis neatkarīgais mainīgais – šķeldas patēriņš ir svarīgs statistiski. Korelācijas parametrs ir $r = 0,69$.

Korelāciju atšķirības nosaka abu kurināmo raksturīgās iezīmes – zemākā sadegšanas siltuma vērtība, mitrums, pelnu saturs un citi degšanas procesa efektivitāti raksturojoši parametri.



1.4. attēls. Saistība starp saražoto siltumenerģiju un mizas patēriņu.



1.5. attēls. No koksnes šķeldas saražotā siltumenerģija.

Šāda veida analīzei ir ekonomisks raksturs, jo koksnes šķelda kā kurināmais šobrīd ir dārgāka nekā miza. Pāreja uz intensīvāku koksnes mizas izmantošanu degšanas procesos nav uzskatāma par ilgtspējīgu risinājumu. Pelnu daudzums no mizu dedzināšanas ir augsts un, ja netiek nodrošināta atbilstoša to apstrāde, noglabāšana vai atgriešana atpakaļ vidē, netiek veidots noslēgts mizu aprites cikls.

Lai noteiktu tālākās saistības starp parametriem, kas ietekmē aprakstīto saistību starp produkcijas apjomu un saražoto siltumenerģiju, tika analizēta korelācija starp produkcijas apjomu un izmantoto kurināmā veidu. Ja kā kurināmais tiktu izmantota tikai miza, tad pastāvētu ļoti laba korelācija, ar koeficienta vērtību $r = 0,96$. Ja kā kurināmais tiktu izmantota tikai šķelda, pastāvētu laba korelācija, tā kā korelācijas koeficienta vērtība ir $r = 0,89$. Pamatojoties uz iepriekšējo korelācijas datu analīzi, var secināt, ka ražošanas apjoms ir tieši atkarīgs no koģenerācijas stacijā izmantots enerģētiskās koksnes veida.

1.3. Līmeņatzīmes metode

Eiropas Savienības energoefektivitātes direktīva vērsta uz energoefektivitātes pasākumiem enerģijas gala lietotāja pusē. Rūpniecības uzņēmumu tehnoloģiskajās iekārtās ievērojamu enerģijas patēriņa samazinājumu var sasniegt ar divkāršās spirāles ieviešanas paņēmieni un energopārvaldības ieviešanu.

Divkāršās pieejas izmantošana saistās ar divu spirāļu saskares laukuma vērtēšanu, kas rāda energoefektivitātes pasākumu un energopārvaldības saiti, skaidrojot, kā sasniegt pēc iespējas lielāku enerģijas patēriņa samazinājumu: jo lielāks ir divkāršo vijumu pārklāšanās laukums, jo lielāks ir ieguvums. Metodika balstās uz padziļinātu līmeņatzīmes metodes lietojumu.

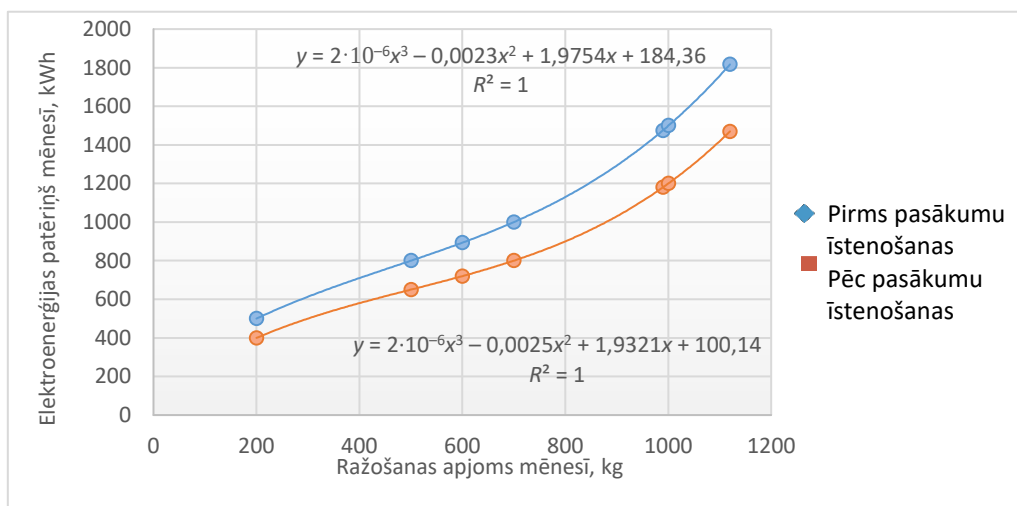
Izejas dati ir uzņēmuma atkarīgā rādītāja y (izstrādātā enerģija u. c.) izmaiņas atkarībā no neatkarīgā mainīgā x (produkcijas apjoma, kurināmā patēriņš u. c.) pirms energoefektivitātes pasākumu veikšanas un pēc tās. Energopārvaldība vienmēr sākas ar enerģijas patēriņa datu analīzi,

kas ļauj noteikt esošo situāciju rūpniecības uzņēmumā, iegūt 1. līmeņatzīmes līkni un meklēt risinājumus augstākās prioritātes energoefektivitātes pasākumu īstenošanai.

2. līmeņatzīmes līkni iegūst pēc primāro pasākumu realizācijas. Tiem seko nākamie energoefektivitātes pasākumi līdz brīdim, kamēr tiek atrastas matemātiskas sakarības enerģijas patēriņa optimizācijai. Inovatīva ir pēdējā stadija, kas paplašina energoefektivitātes un energopārvaldības saskares laukumu.

Metode testēta liela kokapstrādes uzņēmuma blakusproduktu pārstrādes ražotnei.

1. līmeņatzīme sākas ar esošās ražotnes elektroenerģijas patēriņa datu apkopošanu un apstrādi (1.7. attēls.). Pēc energopatēriņa datu analīzes tika atrasti energoefektīvi pasākumi, kuru realizācija deva enerģijas patēriņa samazinājumu. Pēc to īstenošanas jauno datu apstrāde deva jaunu līmeņatzīmes līkni.



1.6. attēls. Uzņēmuma darbības rādītāju izmaiņas pirms un pēc energoefektivitātes pasākumu veikšanas.

Absolūto vērtību izmaiņas ir raksturīgas konkrētam uzņēmumam. Lai analīzes datus varētu izmantot energopārvaldības pasākumu īstenošanai, veido indikatorus – datu relatīvās vērtības. Tās iegūst, atkarīgo mainīgo y dalot ar neatkarīgo mainīgo x . Uzņēmuma darbības indikators pēc energoefektivitātes pasākumu veikšanas nosakāms, izmantojot (1.4.) vienādojumu:

$$e_2 = \frac{E_2}{G} = 2 \cdot 10^{-6} G_2 - 0,002G + 1,932 + \frac{100,1}{G}, \quad (1.4.)$$

kur

e_2 – uzņēmuma darbības indikators pēc energoefektivitātes pasākumu veikšanas;

E_2 – elektroenerģijas patēriņš mēnesī pēc energoefektivitātes pasākumiem, kWh;

G – granulu ražošanas apjomi mēnesī pirms energoefektivitātes pasākumiem, kg;

G_2 – granulu ražošanas apjomi mēnesī pēc energoefektivitātes pasākumiem, kg.

Vienādojums (1.4.) ir energopārvaldības 3. līmeņatzīmes solis turpmākai datu analīzei un tehnoloģisko iekārtu darbības optimizācijai. Ražošanas objektu vēlamā vadīt tā, lai līmeņatzīmes vērtība ir minimāla, tad minimumam atbilstošo neatkarīgā mainīgā vērtību var noteikt aptuveni grafiski vai precīzāk, izmantojot indikatoru vienādojumus.

Minimālām indikatora vērtībām atbilstošās neatkarīgā parametra x vērtības sakrīt un atbilst optimālā saražotā apjoma vērtībai $G_{opt} = 600$ kg mēnesī. Optimizācijas vērtība dod iespēju novērtēt iespējas regulēt uzņēmuma ražību tādā veidā, ka ražotne strādā ar minimālu elektroenerģijas patēriņu uz vienu produkcijas vienību.

2. UZDEVUMS. GRANULU RAŽOŠANAS UZŅĒMUMA RAŽOTŅU DARBĪBAS RĀDĪTĀJU ANALĪZE UN “ŠAURO” VIETU NOTEIKŠANA

Katram ražotājam jāparedz un jāieplāno noteikts moments, kad ražotnes darbība tiek apturēta, un tiek veikta iekārtu apkope. Saražotās produkcijas apjoms apkopes mēnesī būs relatīvi mazāks nekā mēnešos ar pilnu ražošanas slodzi.

2.1. Veltņu kaltes iespējamie uzlabojumi

Pētāmajā kokskaidu granulū ražotnē tiek izmantota veltņu žāvētava. Promocijas darbā ir analizēta korelācija starp produkcijas apjomu un žāvētavā izmantoto kurināmā apjomu. Starp minētajiem parametriem pastāv viduvēja korelācija, ar korelācijas koeficientu $r = 0,67$. Korelācijas koeficienta kvadrāta vērtība nozīmē, ka izvēlēto datu kopums atspoguļo 46 % izmaiņu savstarpēji atkarīgos mainīgos, kas tika aprakstīti un analizēti ar regresijas vienādojumu.

Esošajā sistēmā manuāla gaisa padeve žāvētāja kurtuvē rada nepilnīgus degšanas procesus. Tā rezultātā nav iespējams kontrolēt izejmateriālu kvalitāti granulū ražošanai. Tas nozīmē, ka izejmateriāli ir atkārtoti jāapstrādā, kas ietekmē resursu patēriņu.

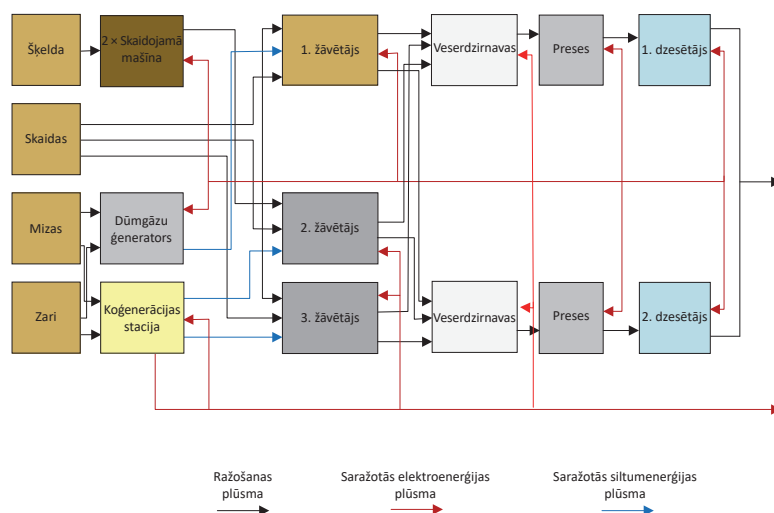
Automatizēta gaisa padeves sistēma būtu nozīmīgs uzlabojums šim ražošanas posmam, jo tā ļautu padarīt degšanas procesu pilnīgāku, samazinot nepilnīgās degšanas produktu apjomu un nodrošinot daudz balansētāku saražotās siltumenerģijas apjomu, kas ir galvenais elements žāvētavas funkciju veikšanai.

Sadeģšanas kamerā jeb kurtuvē padotajam gaisam jābūt pareizās proporcijās un maksimāli karstam. Padodot par daudz gaisa, sadeģšanas efektivitāte nepalielinās, taču tiek patērēta enerģija gaisa padevei un tā siltuma uzturēšanai nepieciešamajā līmenī. Taču, ja tiek padots nepietiekams gaisa daudzums, sadeģšanas process būs nepilnīgs, un tā rezultātā palielināsies CO₂ emisijas un nesadedzinātā kurināmā daudzums.

Granulū ražotnes efektīvas energopārvaldības sistēmas piemērs ietver testu veikšanu, lai atrastu efektīvāko darbības veidu.

2.2. Dzirnavu elektroenerģijas patēriņa samazinājums

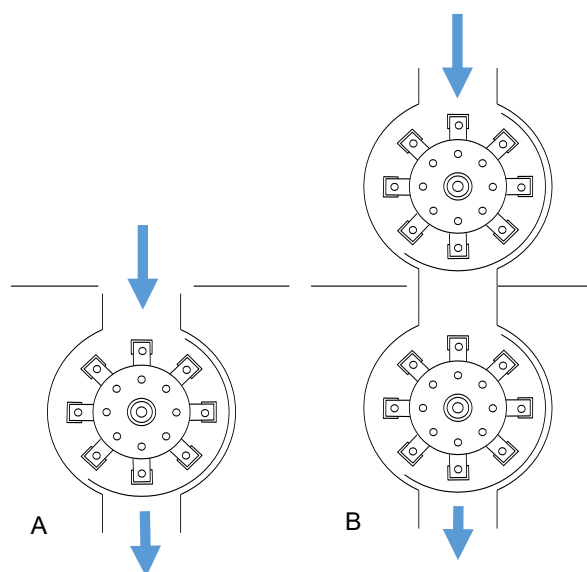
Energopārvaldības sistēma sastāv arī no eksperimentu veikšanas, lai mēģinātu atrast ekonomiski efektīvāko darbības veidu. Šajā apakšnodaļā tiek aplūkota daļa no granulū ražošanas procesa, kur sausās skaidas tiek samaltas mazākā frakcijā. Granulū ražošanas process ir parādīts 2.1. attēlā. Viens no granulū kvalitātes kritērijiem ir daļiņu izmērs, ko galvenokārt kontrolē ar dzirnavās esošajiem sietiem.



2.1. attēls. Granulū ražotnes darbības shēma.

Sausu skaidu malšanā parasti izmantoto āmuru dzirnavu principiālā shēma ir parādīta 2.2. attēlā. Dzirnavu darbības princips ir, kad skaida tiek sadauzīta, 4–8 mm plāksnei jeb āmuriem rotējot ap asi un caur sietiem, kuriem ir 5–20 mm lieli atvērumi, izspiežot samalto skaidu. Šajā

gadījumā dzirnavas elektropatēriņš uz vienu samalto tonnu un saražotās produkcijas apjoms ir atkarīgs no vairākiem faktoriem: āmuru biezuma, sieta atvēruma, izejmateriāla mitruma, izejmateriāla frakcijas, sieta platuma, elektromotora jaudas, no materiāla padeves platuma uz sietiem, gaisa plūsmām caur dzirnavām u. c.

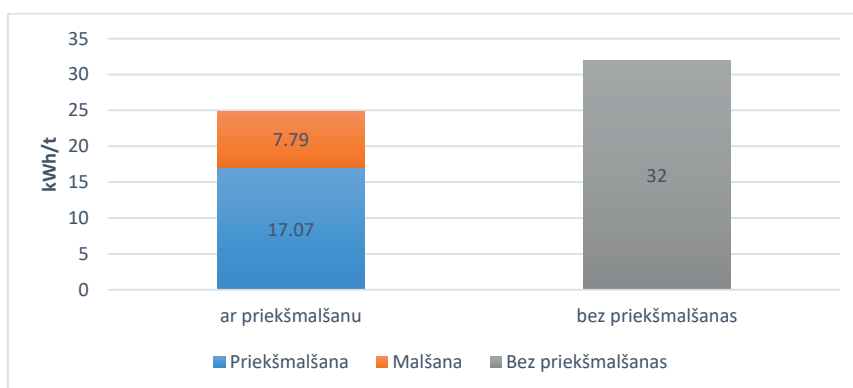


2.2. attēls. Āmuru dzirnavu principiālās shēmas. A – bez priekšmalšanas; B – ar priekšmalšanu.

Energo pārvaldības sistēmas ietvaros ir meklēta iespēja pārveidot ražošanas shēmu, lai samazinātu ražotnes elektroenerģijas patēriņu. Ierastajam malšanas procesam var veikt priekš malšanu. Priekš malšanas dzirnavām izeja atrastos tur, kur malšanas dzirnavām ir ieeja.

Uzņēmuma energosistēmas pārvaldības ietvaros veikti eksperimenti, kuru laikā mērīta sasmalcinātā produkcija un patērētā elektroenerģija, izmantojot priekšmalšanu un malšanu. Pirmajā mērījumu kārtā āmuru dzirnavas darbojās priekšmalšanas režīmā, dzirnavās tika uzstādīti divi sieti, viena sieta atvērumi bija 10 mm lieli, bet otra – 20 mm lieli. Šajā mērījumu kārtā 38 minūtēs tika saražots 10 500 kg samaltu skaidu. Elektromotora vidējais elektroenerģijas patēriņš mērījumu laikā bija 290 kVA.

Otrajā mērījumu kārtā āmuru dzirnavas darbojās malšanas režīmā, dzirnavās tika uzstādīti divi sieti, viena sieta atvērumi bija 6 mm lieli, bet otra – 7 mm lieli. Malšanas režīmā dzirnavas pārstrādāja materiālu, kas tika iegūts priekšmalšanā. Šajā mērījumu kārtā 16 minūtēs tika saražots 10 500 kg samaltu skaidu. Elektromotora vidējais elektroenerģijas patēriņš mērījumu laikā bija 311 kVA.



2.3. attēls. Malšanas režīmu elektroenerģijas patēriņš, kWh/t.

2.3. attēlā ir salīdzināts katra režīma elektroenerģijas patēriņš uz vienu samalto tonnu. Grafiki parāda, ka, veicot priekšmalšanu, elektroenerģijas patēriņš uz vienu saražoto tonnu samazinās, salīdzinot ar režīmu, kad netiek izmantota priekšmalšana.

3. UZDEVUMS. ENERGOPĀRVALDĪBAS ĪSTENOŠANAS METODIKA TEHNOLOĢISKO UZLABOJUMU ĪSTENOŠANAI. OPTIMIZĀCIJA

3.1. Veltņu kaltes darbības optimizācija

Lai sekmētu sistēmas uzlabojumus, kas attiecas uz veltņu žāvētavas jeb kaltes darbību, ko kokskaidu granulū nozarē izmanto zāģskaidu žāvēšanai, ir nepieciešams nozīmīgi samazināt cilvēciskā faktora ietekmi uz energoefektivitāti – enerģijas un resursu ietaupīšanu.

Veltņu žāvētavas sistēma sastāv no vairākām daļām, ieskaitot apkures katlu un rotējošo vai veltņu žāvētāju, kas darbina iekārtas, lai nodrošinātu žāvētāja funkcionēšanu. Veltņu žāvētavās kā siltumnesējs tiek izmantotas dūmgāzes. Procesa laikā izejmateriāls tiek padots uz žāvētavu, bet žāvēšana norisinās, kad izejmateriāls nonāk tiešā saskarē ar karstajām dūmgāzēm. Šim žāvētavas veidam ir raksturīga augsta efektivitāte, jo atkarībā no žāvētāja lieluma tas ļauj žāvēt lielus zāģskaidu apjomus īsā laika periodā, taču pastāv precizitātes ierobežojumi attiecībā uz galaproduktu parametriem.

Apkures katlā kā kurināmais galvenokārt tiek izmantotas mizas un šķelda, taču ir iespējams izmantot arī citus biomasas kurināmā veidus. Katla izmērs un tā komponentes tika pielāgotas, izmantojot aprēķinus, lai nodrošinātu efektīvu kurināmā sadegšanu.

Svarīgākie energoefektivitātes aspekti ir kurtuvju konstrukciju risinājumu energoefektivitāte, kā arī darbības un apkopes efektivitāte. Gaisa padeve ir viens no faktoriem, kas saistīts ar kurtuvēm, tas ietekmē arī siltumenerģijas ražošanas energoefektivitāti. Procesa uzlabojumi nozīmē arī automātisku gaisa padevi degšanas kamerā, lai palielinātu kurtuves efektivitāti, tādējādi arī palielinot kopējo veltņu žāvētavas efektivitāti, kas ir tieši atkarīga no dūmgāzu temperatūras.

Kurtuves energoefektivitātes koeficientu η nosaka ar apgrieztās siltuma bilances vienādojuma (3.1.) palīdzību:

$$\eta = 100 - q_3 - q_4 - q_5, \quad (3.1.)$$

kur

q_3 – ķīmiski nepilnīgi sadegšanas zudumi, %;

q_4 – mehāniski nepilnīgi sadegšanas zudumi, %;

q_5 – siltuma zudumi apkārtējā vidē, %.

Lai samazinātu ķīmiski nepilnīgas degšanas zudumus, degšanas procesiem nepieciešamā gaisa padeve kurtuvē ir jāorganizē pareizās proporcijās, nevajadzētu pieļaut liela pelnu un izdedžu daudzuma uzkrāšanos uz ārdiem, kā arī jānodrošina laba gaisa un kurināmā sajaukšanās. Iepriekšminētie nosacījumi apvienojumā ar pieejamajiem iekārtu prototipiem, kā arī iekārtu ieviešana, kas izvērtē ražošanas efektivitātes parametrus sistēmā, kalpoja par pamatu prototipa izstrādei. Tā ietver automatizētas sistēmas izveidi un vienkāršotus tehnoloģiskos risinājumus.

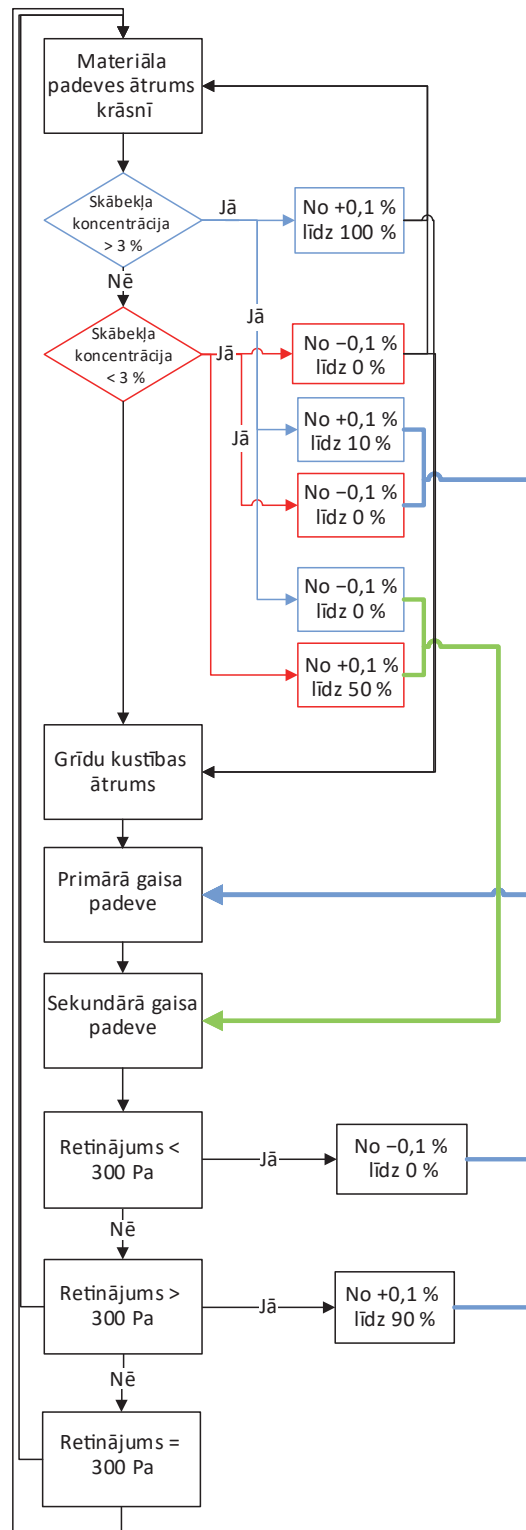
Automatizēta vadības sistēma ietver kurināmā padevi uz kurtuvi un gaisa padeves iekārtu. Tā nodrošina degšanas procesu ar augstāko iespējamo efektivitāti, pateicoties iebūvētam regulēšanas sistēmu blokam. Degšanas procesā kurtuvē veidojas karstās dūmgāzes, kas tiek izvadītas caur dūmgāzu izplūdi un padotas uz veltņu žāvētavu. Žāvētavas veltņa cilindrā mitrās zāģskaidas tiek žāvētas karsto dūmgāzu vidē – izmantojot veltņi iebūvētās plātnes un plūstošo dūmgāzu plūsmu, zāģskaidas tiek pārvietotas no žāvētavas ieejas uz tās izeju.

Dūmgāzes kopā ar izkaltēto materiālu nokļūst ciklona filtrā. Ciklons tiek izmantots, lai atdalītu sausās zāģskaidas no dūmgāzēm un tvaikiem, kas tiek izvadīti atmosfērā caur skursteni, bet sausās zāģskaidas krīt lejup un nokļūst sauso zāģskaidu bunkurā.

Gaisa padeves vārstu pirms kurtuves regulē saskaņā ar zāģskaidu mitruma rādītājiem. Tādējādi tiek regulēts degšanas process kurtuvē un nodrošināta daudz pilnīgāka sadegšana un karstākas dūmgāzes, kas nodrošina efektīvāku zāģskaidu žāvēšanu. Sistēmas uzlabojumu rezultātā gaisa padeve tiktu nodrošināta automātiski, tādējādi izslēdzot cilvēciskā faktora ietekmi uz gaisa padeves apjomu. Iekārtu vadības paneļa datu uzraudzība ļautu daudz precīzāk noteikt un nodrošināt apstākļus efektīvai sadegšanai.

Šis ir viens no veidiem, kā optimizēt eksistējošu sistēmu un noteiktā ražošanas posmā, samazinot cilvēciskā faktora ietekmi, samazināt bojātu galaproduktu skaitu un enerģijas, resursu patēriņu. Tas var radīt ikdienas saražotās produkcijas apjoma palielināšanos, jo resursi tiktu izmantoti efektīvāk, kā arī izejmateriālu kvalitāte tiktu kontrolēta.

Visefektīvākais kaltes optimizācijas variants ir automātiska vadības sistēma, kas kontrolē gaisa padevi pie attiecīga spiediena un temperatūras kurtuvē. Šīs sistēmas darbības algoritmu iespējams aplūkot un novērtēt 3.1. attēlā.

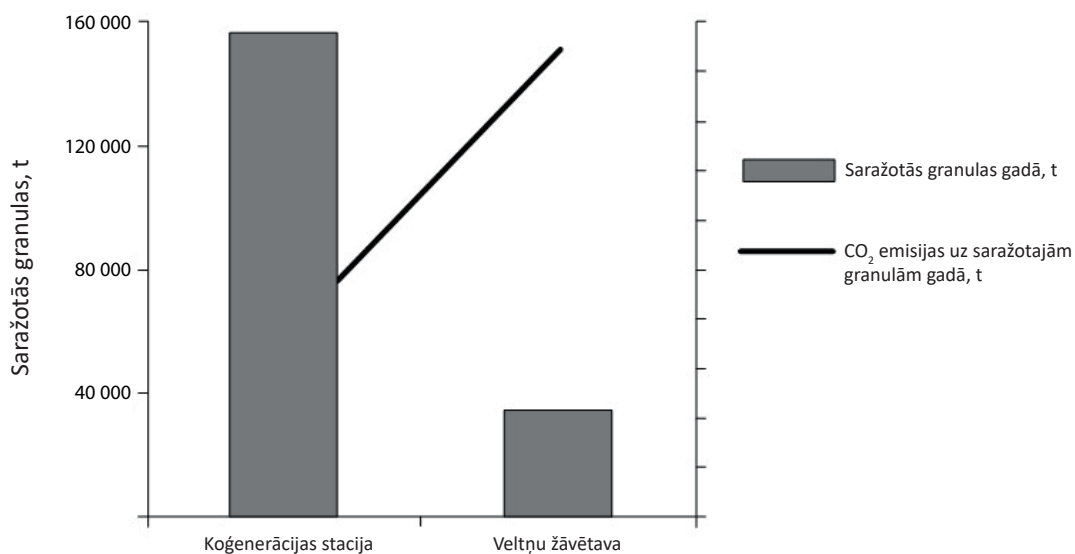


3.1. attēls. Kaltes optimizācijas automātiskās vadības algoritms.

Automātiskās regulēšanas sistēma sastāv no šādiem darbības etapiem:

1. tiek regulēts materiāla padeves biežums (nosaka 2. un 3. solī);
2. ja skābekļa koncentrācija ir lielāka par 3 %, tiek paātrināts materiāla padošanas ātrums kurtuvē un grīdu kustības ātrums, primāro gaisu padeves apjoms tiek palielināts līdz 10 %, un sekundāro gaisu padeves apjoms tiek samazināts. Pēc visu lielumu palielināšanas pāriet uz 4. soli;
3. ja skābekļa koncentrācija ir mazāka par 3 %, tiek palēnināts materiāla padošanas ātrums kurtuvē un grīdu kustības ātrums, primāro gaisu padeves apjoms tiek samazināts, un sekundāro gaisu padeves apjoms tiek palielināts līdz 50 %. Pēc visu lielumu palielināšanas pāriet uz 4. soli;
4. tiek regulēti motoru darbības ātrumi (nosaka 2. un 3. solī);
5. tiek mainīts primārā gaisa padošanas apjoms. 10 % robežās maina 2. un 3. solī, bet 7. un 8. solī maināms apjoms līdz 90 % robežai;
6. sekundārā gaisa padošanas apjoms tiek mainīts 2. un 3. solī;
7. ja kurtuvē esošais retinājums ir mazāks par 300 Pa, primārā gaisa padeves apjoms tiek samazināts un pēc parametra maiņas pāriet uz 1. soli. Ja nav mazāks, pāriet uz nākamo soli;
8. ja kurtuvē esošais retinājums ir lielāks par 300 Pa, primārā gaisa padeves apjoms tiek palielināts un pāriet uz 1. soli. Ja neatbilst – pāriet uz nākamo soli;
9. ja kurtuvē esošais retinājums ir vienāds ar 300 Pa, tad, neko nemainot, pāriet uz 1. soli.

Lai salīdzinātu CO₂ emisijas esošajā situācijā, kad ražotne izmanto divus atšķirīgas siltumenerģijas ražotājus – koģenerācijas staciju un veltņu žāvētavu, lai žāvētu granulu ražošanai nepieciešamos materiālus – tika izveidots grafiks, ko var apskatīt 3.2. attēlā.



3.2. attēls. CO₂ emisijas uz saražoto granulu apjomu.

Lai aprēķinātu emisijas, tika izmantota formula (3.1.). Aprēķinos pieņemts, ka izmantots viena veida kurināmais – koksne. Šāds pieņēmums tika veikts tādēļ, ka pašreizējā situācijā tas labāk pārstāvētu emisiju apjomu, kad ir zināmi specifisku parametru raksturīgie apjomi.

$$M_x = 10^{-3} \cdot c \cdot V_{d.kop}, \quad (3.1.)$$

kur

M_x – emisijas vienas komponentes (CO vai CO₂, vai NO_x) izplūde, g/s;

$V_{d.kop}$ – kopējais ražotnes dūmgāzu apjoms, nm³/s;

c – emisijas vienas komponentes koncentrācija, mg/nm³.

Aprēķini, kuros CO₂ emisijas apjomi uz koģenerācijas stacijas un veltnu žāvētavas ražošanas apjomiem tika pārrēķināti atsevišķi, norāda, ka emisijas no koģenerācijas stacijas ir ievērojami mazākas pie lielākiem ražošanas apjomiem.

Koģenerācijas stacija saražo vairāk nekā 80 % no kopējā ražošanas apjoma. Tas skaidri norāda, ka šīs iekārtas ir daudz efektīvākas, salīdzinot ar vecāku tehnoloģisko risinājumu – veltnu žāvētavu. Veltņu žāvētavā vajadzētu ieviest tehnoloģiskos uzlabojumus, lai nodrošinātu daudz efektīvāku darbību, cik vien iespējams automatizējot žāvētavas darbību.

3.2. Ieteikumi elektroenerģijas patēriņa optimizācijai ražotnē

3.2.1. Optimāla rūpnieciskās koģenerācijas stacijas (KS) pārvaldība elektroenerģijas tirgū nepietiekamas informācijas apstākļos

Rūpnieciskās KS tradicionālās optimizācijas metodes izmanto pieejamo siltuma uzglabāšanu iegūšanas vietā. Elektroenerģijas tirgus liberalizācija rada jaunas optimizācijas iespējas. Nepastāvīgas cenu svārstības tūlītējas piegādes elektroenerģētikas tirgū ļauj nozarei optimizēt elektroenerģijas cenu, izmantojot rūpnieciskās ražošanas elastību. Šis pētījums koncentrējas uz optimizētas ražošanas un lēmumu pieņemšanas modeļa atrašanu rūpnieciskajām iekārtām, kuru pārvaldībā atrodas un kas kontrolē elektroenerģijas ražotni uz vietas.

KS atšķirīgā būtība, kas atdala to no citām tradicionālajām elektroenerģijas spēkstacijām, ir tās spēja izmantot saražoto siltumu peļņu nesošā veidā. Siltums tiek pārdots apkures tīklam vai izmantots uz vietas rūpnieciskajiem procesiem. Galvenais kritērijs, kas atšķir rūpnieciskās KS un sabiedriskās centralizētās siltumapgādes stacijas (CSS), ir siltumenerģijas tirgus. Siltumenerģijas tirgus ir ierobežots rūpnieciskajai KS, un tā nav saistīta ar lielāko tirgu. Tas nozīmē, ka siltumenerģijas cena nesvārstās un ir fiksēta ilgu laika periodu. Tas padara elektrības slodzes plānošanas (SP) un pieprasījuma puses pārvaldības (PPP) iespējas nozarei vēl pievilcīgākas.

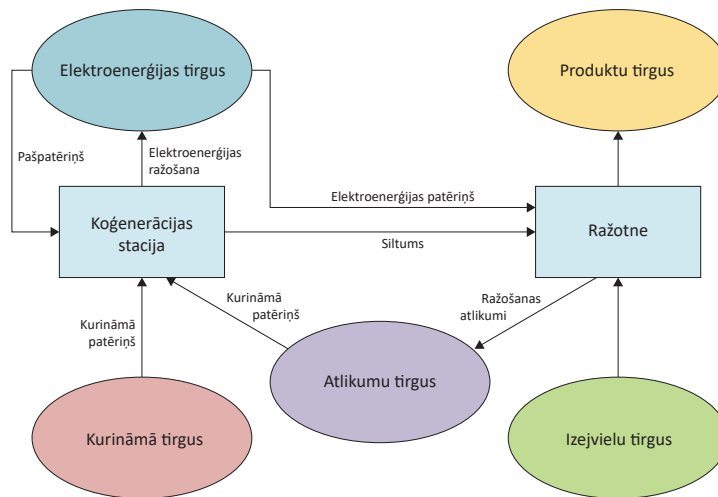
Šajā pētījumā rūpnieciskā KS tika apskatīta kopā ar rūpniecisko ražošanu, lai maksimizētu visu iekārtu kopējo peļņu. Modelim ir jāņem vērā arī rūpnieciskās ražošanas optimizācija, lai būtu iespējams novērot katra aprīkojuma ieejas un izejas mainīgo ietekmi uz lēmumiem. Galvenā loma optimālas pārvaldības punkta noteikšanā ir atšķirīgo produktu sadalīšanai pēc pastāvošajiem tirgiem. Šajā pētījumā pieņemts, ka ražošanas dalībnieks pieņem ekonomiski racionālus lēmumus.

Iepriekšējie pētījumi par optimālu KS pārvaldību. Vairāki pētījumi ir pierādījuši, ka rūpnieciskās KS optimizēta darbība kopā ar pieprasījuma puses pārvaldību (PPP) rada pozitīvu efektu uz peļņu un efektivitāti. Svarīgu vietu ieņem optimizācijas metožu izstrāde elektroenerģijas tirgus liberalizācijas apstākļos, rosinot izmantot viedās mikroenergosistēmas kopā ar optimizācijas paņēmieniem, lai palielinātu peļņu no visa ražošanas procesa. Patērētājam, kurš atrodas elektroenerģijas ražotāja teritorijā, ir izvēles brīvība iegādāties elektroenerģiju no tirgus, tādējādi izvēloties optimālo risinājumu.

Lielākais atbalsts ražošanas procesa optimizācijai, izmantojot PPP darbības, ir elektroenerģijas tirgus, kurā eksistē nepastāvīgas cenas variācijas.

Uz tirgus situāciju balstīta rūpnieciskā vietēji ražotas elektroenerģijas ražotāja pieeja. Plūsmas 3.3. attēlā attēlo finanšu plūsmas. Šā pētījuma principālā pieeja ir ražošanas procesa optimizācija, pamatojoties uz aprīkojuma ekonomiskajiem rādītājiem. Priekšnoteikums, lai to paveiktu, ir tirgus pastāvēšana. Tas nozīmē, ka katram no dotajiem izstrādājumiem (izņemot siltumu) ir jābūt brīvi pārdodamam vai nopērkamam tirgū bez jebkādiem ierobežojumiem. Ja tirgus cenas svārstās un aprīkojumam ir efektīvi izmantojamas krātuves, ir nepieciešams veikt optimizācijas modelēšanu, lai varētu maksimizēt peļņu.

Galvenie pētītie rūpniecisko KS aprakstošie rādītāji. Pētītajā kokrūpniecības nozarē tiek izmantota vietējā KS, kurināma ar biomasu, ar izejošo elektroenerģijas jaudu 6,5 MW un izejošo siltumenerģijas jaudu 15 MW. Ražotnes vidējā elektriskā jauda ir 3,2 MW. Šajā pētījumā tiek pieņemts, ka, neskaitot elektroenerģijas tirgu, pārējo tirgu svārstīgums ir ļoti zems un tajos pastāv tikai ilgtermiņa izmaiņas, tādējādi nav iespējams optimizēt tirgu saskaņā ar pārējo tirgu uzvedību.



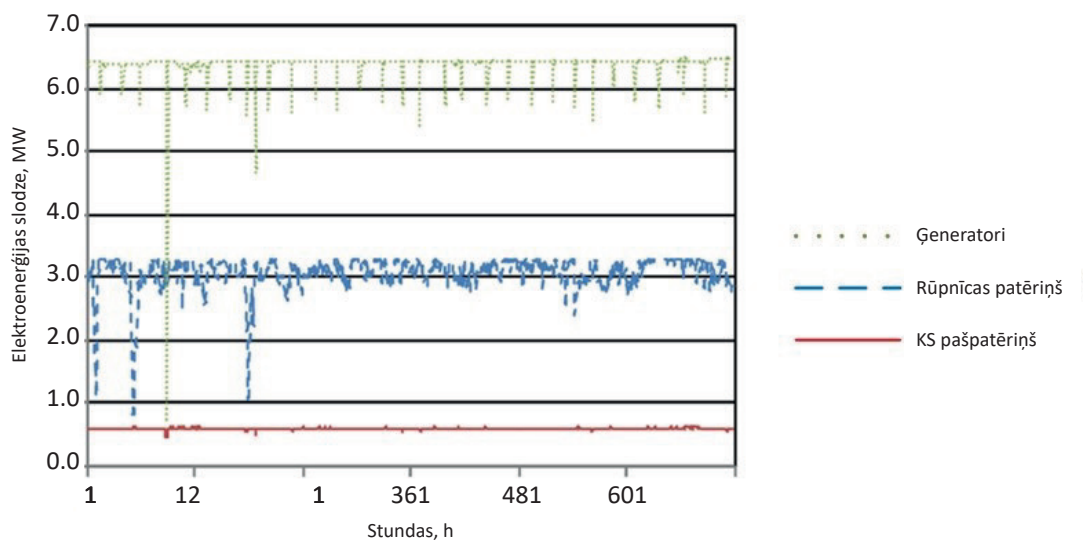
3.3. attēls. Rūpniecisko iekārtu saistība ar dažādiem tirgiem.

Elektroenerģijas tirgus ir ārkārtīgi svārstīgs, un tendences nedaudz paredzamas. Katras nākamās dienas cenas ir zināmas dienu iepriekš. Elektroenerģijas ražošana un patēriņš ir noteiktās robežās kontrolējams un regulējams. Spēja kontrolēt noslodzi plānotajās robežās pie mainīga tirgus ļauj sasniegt ievērojamus izmaksu ietaupījumus un maksimizēt ienākumus no pārdošanas.

Kokrūpniecības nozare – gadījuma izpēte. Pētītajam aprīkojumam ir viens atsevišķs savienojuma punkts ar elektroenerģijas tīklu. Tas aprīkots ar gudro mērīšanu, kas ļauj katru stundu reģistrēt importēto un eksportēto elektroenerģiju. Elektroenerģijas ražošanas kapacitāte ir lielāka nekā patēriņš, tāpēc lielākā daļa tiek eksportēta.

Optimizācijas uzdevums ir maksimizēt ieņēmumus no ienākumiem. Izmantojot tirgus cenas prognozēšanu, šos optimizācijas uzdevumus var atrisināt vēl efektīvāk. Aprīkojuma elektroenerģijas profila analīze norāda, ka tas ir atkarīgs no trīs dažādām komponentēm. Kā parādīts 3.4. attēlā, profila kritumus rada periodiski elektroenerģijas ražošanas samazinājumi, un pārējās profila svārstības rada rūpnīcas patērētās slodzes izmaiņas.

KS ražošanas svārstības radīja regulāra sodrēju pūšana, lai uzturētu katlu virsmas tīras un nodrošinātu stacijas termālo efektivitāti. Pamatojoties uz stacijas darbinieku sniegto informāciju, sodrēju pūšanas intervāls ir izvēlēts pēc empīriskas pieredzes, taču pūšanas laiku var mainīt jebkurā brīdī 24 stundu periodā. Neregulāros rūpnīcas patēriņa kritumus rada neplānota atsevišķa aprīkojuma apturēšana. KS pašpatēriņš ir samērā vienmērīgs un tiek uzskatīts par neelastīgu slodzi. Optimizācijas uzdevumu var fokusēt uz divu profilu optimizāciju – elektroenerģijas ražošanu un rūpnīcas elektroenerģijas patēriņu.



3.4. attēls. Sadalītais slodzes profils pēc atšķirīgajiem avotiem.

Rūpnīcai ir starpmateriālu rezerves uz vietas, kas pieļauj ražošanu krituma stundās un saražotā patērēšanu maksimuma stundās. Rūpnīcā ir aprēķināts, ka tā var regulēt 10 % savas patēriņa slodzes, un atlikušie 90 % ir pamatslodze, ko nav iespējams regulēt. Galvenais kritērijs, kas pieļauj šādu elastību, ir motoru nominālā jauda, kas ir augstāka nekā vidējā darba jauda. Ierobežojumi un pieņēmumi ir, ka nedrīkst traucēt peļņu, izmantojot slodzes pārslēgšanu. Pēc aprīkojuma iekšējiem aprēķiniem ienākumi no rūpnieciskajiem produktiem ievērojami pārsniedz jebkurus ieņēmumus no elektroenerģijas ražošanas vai slodzes pārslēgšanas, kas nozīmē, ka jebkuri saražotā zudumi PPP darbību dēļ nav pieļaujami.

Optimizācijas aprēķini. Optimizācijas mērķis ir maksimizēt eksportētās elektroenerģijas peļņu kopējā periodā katras dotās stundas t laikā.

$$\max_{C_t^0, M_t} \sum_t W_t^0 \cdot P_t - \sum_t C_t^0 \cdot P_t, \quad (3.2.)$$

kur

W_t^0 – optimizētā elektroenerģijas ražošana laikā t , ieskaitot apkalpošanu, MWh;

C_t^0 – optimizētais elektroenerģijas patēriņš laikā t , MWh;

P_t – elektroenerģijas tirgus tūlītējās piegādes cena laikā t , €/MWh);

M_t – binārais mainīgais, kas tiek izteikts elektroenerģijas apkopes laikā t .

Šāda veida pieejā optimums tiek aprēķināts katrai stundai atsevišķi elektroenerģijas cenu atšķirības dēļ, kas mainās katru pētījuma stundu. Pētītā aprīkojuma gadījumā sodrēju pūšanu var definēt kā plānotu obligāto apkalpošanu. Elektroenerģijas patēriņa slodzes pārslēgšanai slodzi var pārslēgt starp minimālo un maksimālo jaudu.

Optimizētais slodzes profils var tikt apstiprināts, ja peļņas palielinājums pārsniedz LS ārējās izmaksas C_{LS} . Elektroenerģijas patēriņa apjomiem jāpaliek tādiem pašiem.

$$\sum_t C_t^0 = \sum_t C_t^R \quad (3.3.)$$

Ierobežojumu vienādība nozīmē, ka rūpnieciskajai produktu ražošanai ir jāpaliek nemainīgai.

Iegūtie rezultāti. Izstrādātais optimizācijas modelis ir atrisināts, izmantojot jaukto veselo skaitļu lineārās programmēšanas metodi. Tūlītējās piegādes cenas ir balstītas uz vēsturiskajām *Elspot Estonia* cenu zonas cenām 2013. gada novembrī. Modelēšana tika veikta ar elastīgo patēriņu līdz 10 % vidējās patēriņa slodzes.

Patēriņš tika modelēts ar 10 dažādiem scenārijiem uz slodzes pārslēgšanas kapacitāti no 1–10 % ($0,01 \leq L \leq 0,1$). Jo lielāka pārslēgšanas elastība ir rūpnīcai, jo lielāku ietaupījumu tā rada. Ietaupījumu modelis starp elastību un ietaupījumu izskatās lineārs.

Slodzes pārslēgšanas kapacitāte ir daļa no patēriņa slodzes no vidējās pilnās slodzes, kas var tikt pārslēgta. Nozares pārstāvis ir apstiprinājis, ka ar dažām ražošanas procesa izmaiņām ir iespējams sasniegt šādu elastību bez jebkādam lielām pārbūvēm vai investīcijām. Rezultāti ir doti 3.1. tabulā.

3.1. tabula

Optimizācijas rezultāti

Faktiskā tūlītējās piegādes cena	42,32 €/MWh	Sākotnējā atšķirība	Optimizētā slodzes cena	Atšķirība pēc optimizācijas
Ģeneratoru vidējie ienākumi	42,30 €/MWh	–0,04 %	42,37 €/MWh	0,13 %
Vidējās patēriņa izmaksas	42,36 €/MWh	–0,10 %	41,59 €/MWh	1,72 %
Vidējie eksporta ienākumi	42,22 €/MWh	–0,23 %	43,28 €/MWh	2,27 %

Kā var redzēt tabulā, peļņas palielinājums ir daudz augstāks nekā katras darbības atsevišķie rezultāti. Tas norāda, ka pastāv kumulatīvs peļņas efekts. Modelēšanas rezultāti rāda, ka peļņas palielinājums varētu būt 2,5 % no sākotnējā “darbība kā parasti” gadījuma, lietojot optimizācijas

metodi. Nozares pārstāvis ir apstiprinājis, ka izmantotās metodes kļūda ir pieņemama un atspoguļo situāciju tik labi, cik vien to var pieņemt, izmantojot sniegtos datus.

Optimizācijas modelis parāda efektīvu tirgus situācijas izmantošanu, kad tirgus iespējas tiek izmantotas pilnībā, lai maksimizētu peļņu.

3.2.2. Rūpniecisko koģenerācijas staciju (KS) siltuma pārpalikuma efektīva izmantošana dzesēšanā

Maksimālā siltumenerģijas ražošana ir ierobežota vasarā samazinātā siltuma pieprasījuma dēļ. Rūpnieciskās KS galvenokārt strādā ar pretspiediena turbīnām, lai maksimizētu termodinamisko efektivitāti, tāpēc elektroenerģijas ražošana attiecīgi samazināsies periodos ar zemāku siltumenerģijas pieprasījumu. Tādējādi risinājumu atrašana, lai palielinātu siltumenerģijas noslodzi, ir nozīmīgs faktors gan KS elektroenerģijas ražošanas palielināšanai, gan arī stacijas ekonomiskajiem rādītājiem.

Tehniski KS vasaras periodos var darboties kondensācijas režīmā, ja stacijai ir pietiekami daudz papildu dzesēšanas iekārtu. Taču relatīvi zemā elektriskā efektivitāte un elektroenerģijas tirgus cena nenosedz mainīgo kurināmā cenu. Siltuma pārpalikuma izmantošana vietējai dzesēšanai ļauj KS palielināt elektroenerģijas jaudu. Ideālā gadījumā to var darbināt kā bāzes elektrostaciju.

Uz absorbciju balstīta dzesēšana ir vispiemērotākā dzesēšanas tehnoloģija, kas balstās uz siltuma pārpalikumu. Tādēļ šajā pētījumā rūpnieciskās dzesēšanas enerģijas ražošanai ir izvēlēts absorbcijas dzesētājs. Pētījums koncentrējas uz elektroenerģijas ražošanas kāpināšanu un plašāku izmantošanu, pārveidojot esošās koģenerācijas stacijas par triģenerācijas stacijām. Pārveidošana palīdz uzlabot visu rūpnieciskās ražošanas iekārtu ekonomisko sniegumu un palielināt peļņu.

KS darbība atvērta elektroenerģijas tirgus apstākļos. Lielākā daļa KS mainīgo izmaksu ir kurināmā izmaksas. KS tiek darbināta, pamatojoties uz tām. Normālā darbībā spēkstaciju var darbināt pat kondensācijas režīmā, ja tās ienākumi no elektroenerģijas ražošanas pārsniedz stacijas mainīgās izmaksas.

Kritiskās KS izmaksas ir izmaksas, lai ražotu vienu papildu elektroenerģijas MWh. Šajā pētījumā kritiskās izmaksas definīcija ir vienāda ar īstermiņa kritiskajām izmaksām. No KS tiek sagaidīta elektroenerģijas jaudas celšana tik ilgi, kamēr stacijas kritiskās izmaksas tiek segtas. Gadījumā, kad ienākumi pārsniedz ražošanas mainīgās izmaksas, tiek sagaidīts, ka stacijā jāražo elektroenerģija. Tradicionālo stacijas darbināšanas kritēriju var pierakstīt kā 3.4. vienādojumā:

$$W_e \cdot P_e > W_f \cdot P_f, \quad (3.4.)$$

kur

W_e – elektroenerģijas ražošana, MWh;

P_e – elektroenerģijas tūlītējās piegādes tirgus stundas cena, €/MWh;

W_f – kurināmā patēriņš, MWh;

P_f – kurināmā cena, €/MWh).

Šajā pētījumā tiek ieviests trešais KS komerciālais objekts – aukstumenerģijas ražošana. Siltumenerģijas izmantošana komerciāli izdevīgā veidā atšķir KS no elektrostacijas, kas strādā kondensācijas režīmā. Tā ļauj ražotājam būt konkurētspējīgākam elektroenerģijas tirgū, kā arī ietaupīt primāro kurināmo enerģētikas sektorā. Dzesēšanas enerģijas ieviešana ļauj KS palielināt siltumenerģijas ražošanu un ražot papildu elektroenerģiju tirgum. Parasti biomasas KS kopējā efektivitāte ir 0,85–0,9. Galvenais KS princips ir – parasti tā strādā saskaņā ar siltuma slodzi, jo kondensācijas režīmā tā nav pietiekami konkurētspējīga elektroenerģijas tirgū.

Siltumenerģijas tirgus ļauj KS izmantot pilno efektivitāti sev par labu. Ar vienu un to pašu primāro kurināmo kondensācijas elektrostacijas elektroenerģijas cena ir zemāka, un tā var pārdot saražoto elektroenerģiju tūlītējās piegādes tirgū, savukārt KS elektroenerģijas piedāvājums netiek pieņemts pārāk lielās cenas dēļ. Cenas veidošanās elektroenerģijas tūlītējās piegādes tirgū ir atkarīga no daudziem aspektiem, taču vidējā elektroenerģijas tūlītējās piegādes cena ir pārāk zema biomasai KS. Tradicionālajā kondensācijas elektrostacijā saražotās elektroenerģijas jauda tiek celta uz primārās enerģijas lietošanas efektivitātes rēķina. Lai KS elektrisko jaudu paceltu augstāk nekā to ļautu pieejamā siltumenerģijas slodze, ir jāapstiprinās nosacījums, kas parādīts formulā 3.5.

$$W_e^{\text{extra}} \cdot P_e + W_h^{\text{extra}} \cdot P_h > W_f^{\text{extra}} \cdot P_f, \quad (3.5.)$$

kur

W_e^{extra} – papildu saražotā elektroenerģija no palielinātās siltuma slodzes, MWh;

W_h^{extra} – papildu mākslīgā siltuma slodze, MWh;

P_e – elektroenerģijas cena, €/MWh;

P_f – kurināmā cena, €/MWh;

P_h – siltumenerģijas cena, €/MWh;

W_f^{extra} – nepieciešamais papildu kurināmais lielākās slodzes punktam, MWh.

Papildu saražotās siltumenerģijas cena var būt negatīva vai pozitīva atkarībā no tā, vai papildu siltumenerģija ir komerciāli vajadzīga vai tā vienkārši tiek atdzesēta. Ja tā tiek atdzesēta, kondensācijas darbībai ir negatīvas izmaksas. Ja papildu siltumenerģija ir komerciāli nepieciešama dzesēšanai, šim papildu siltumam ir pozitīva cena. Pētījumā pieejamais dzesēšanas pieprasījums tiek segts ar papildu siltumu, kas tiek ražots KS. Kad daļa no KS siltumenerģijas tiek pārvērsta komerciāli nepieciešamajā aukstajā ūdenī, stacija kļūst par trigenerācijas staciju.

Cena siltumenerģijai, kas tiek patērēta komerciāli nepieciešamajai dzesēšanai, var tikt noteikta tikai pēc alternatīvo izmaksu salīdzināšanas ar tradicionālo dzesētāju vai gaisa kondicionieru (GK) izmaksām. Dzesēšanas enerģijas cenu var aprēķināt, tikai izmantojot ietaupījumu, ko tā dod stacijai, kad elektriskās piedziņas vietējā dzesēšana tiek nomainīta uz centrālo dzesēšanu, kas balstīta uz siltuma pārpalikumu.

Patērētāja iegādātajai elektroenerģijai ir dažādas cenas sastāvdaļas, kas ir jāņem vērā. Šīs sastāvdaļas krasi atšķiras dažādās valstīs un vietās, tās ir atkarīgas no likumdošanas, kas ir specifiska atrašanās vietai. Lai noteiktu aprīkojuma elektroenerģijas ietaupījumu, nepieciešams ņemt vērā atrašanās vietai specifisko kritisko elektroenerģijas cenu P_i .

Uz absorbcijas dzesētāja balstītajai siltuma dzesēšanai pastāv lieluma atkarīgs izmaksu efekts. Tas nozīmē, ka KS darbosies tirgus apstākļos ar augstāku elektroenerģijas slodzi, ja ietaupījumi no absorbcijas dzesētāju lietošanas kopā ar papildu ieņēmumiem no elektroenerģijas ir lielāki nekā papildu kurināmā izmaksas. Biomasas spēkstacijām, kas ir izplatītas Eiropas Savienībā, parasti tiek sniegtas dažādas subsīdijas. Dzesēšana ar absorbcijas dzesētājiem ļauj KS palielināt elektroenerģijas ražošanu un saņemt papildu ienākumus no subsīdijām papildu ienākumiem no elektroenerģijas pārdošanas cenas. Uz obligātā iepirkuma komponenti balstītās subsīdijas nepieprasa ražotājam piedalīties elektroenerģijas tirgū, tāpēc šā veida subsīdijas šajā pētījumā nav ņemtas vērā.

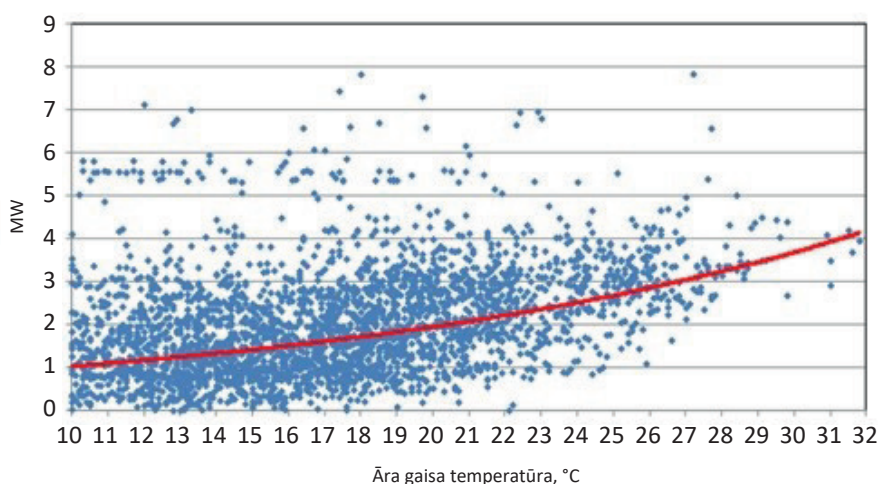
KS darbināšanai kondensācijas režīmā nepastāv šķēršļi, taču tādā gadījumā stacijai ir jāspēj tikt galā ar tirgus apstākļiem. Tas nav iespējams Baltijas valstīs, kur kurināmā cena ir augstāka nekā ienākumi no elektroenerģijas. Uz siltumenerģiju balstītu dzesēšanas iespēju izmantošanu ļoti spēcīgi ietekmē vietējā enerģētikas politika un izmaiņas šajā enerģētikas politikā. Standarta biomasas KS kopējā efektivitāte - η_n ir augstāka nekā nepieciešamā jeb pieprasītā efektivitāte - η_R pēc likumdošanas, lai varētu saņemt subsīdijas. Tādējādi stacijas var darboties daļējā kondensācijas režīmā daudz lielākā efektivitātes amplitūdā tik ilgi, kamēr tiek uzturēta minimālā kopējā efektivitāte.

Iespējas kokrūpniecības nozares KS. Tiek pētīta Igaunijas kokrūpniecība. Aprīkojumam ir nepieciešams siltums žāvēšanas procesam gaisa dzesēšanai, lai atdzesētu galaprodukciju. Papildu dzesēšana ir nepieciešama saimniecības un ofisa telpām, kuru dzesēšana šobrīd tiek veikta ar gaisa kondicionieriem. Nozarē tiek darbināta arī vietējā KS, kas saražo žāvēšanas procesam nepieciešamo siltumu. Pētāmās nozares galvenie parametri ir apkopoti 3.2. tabulā.

Žāvēšanas procesam vasaras laikā ir nepieciešams mazāk siltuma augstās apkārtējās temperatūras dēļ, pārpalikuma siltums netiek izmantots. 3.6. attēls atspoguļo aprīkojuma atlikuma siltuma apjoma saistību ar apkārtējo gaisa temperatūru siltumenerģijas ražošanas profilu pētāmajai rūpnieciskajai KS. Pētāmā KS izmanto pretspiediena turbīnu, kas padara neiespējamu siltumenerģijas ražošanas regulēšanu bez elektroenerģijas ražošanas jaudas zaudēšanas.

Galvenie pētāmā rūpnieciskā aprīkojuma rādītāji

Ievaddati	Mainīgais	Vērtība	Lielums
KS elektroenerģijas jaudas kapacitāte	W_e	6,50	MW
KS siltumenerģijas jaudas kapacitāte	W_h	18,00	MW
KS kopējā efektivitāte	η_n	0,89	
Kurināmā cena	P_f	12	€/ (MWh)
Subsīdijas, zaļā nodokļa piemaksa		53,7	€/ (MWh)
Dzesēšanas cena (ietaupījums)	S_c	0,00	€/ (MWh)
Procesu dzesēšanas gaisa plūsma		90 000	m ³ /h
Procesu dzesēšanas temperatūra		5	°C
Siltummaiņa efektivitāte		0,85	
Gaisa kondicionētāju (GK) kapacitāte		0,334	MW
GK slodzes faktors, $t > 10$ °C		1	
GK slodzes faktors, -10 °C $< t < 10$ °C		0,75	
GK slodzes faktors, $t < -10$ °C		0	
Absorbcijas dzesētāju efektivitāte	η_{ABS}	0,75	
t°C zem pilnās nepieciešamās siltuma slodzes	t_{max}	10,00	°C
Absorbcijas dzesētāju investīciju izmaksas		170 000	€/ (MWh)

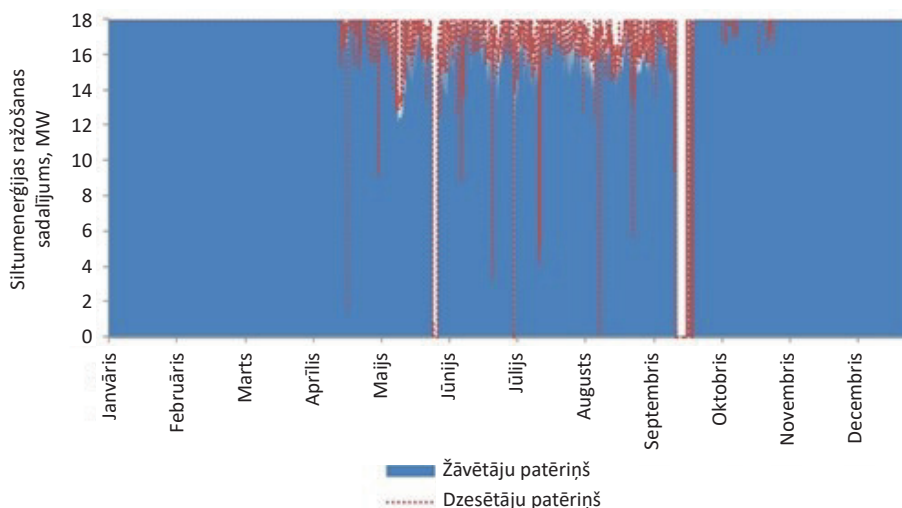


3.5. attēls. Pētītā aprīkojuma siltuma atlikuma ražošanas saistība ar āra gaisa temperatūru.

3.5. attēlā ir iekļauti modelēšanas rezultāti dzesēšanas kapacitātei, ar ko ir iespējams papildināt esošo kopējo siltumenerģijas slodzi. Atlikušos maksimuma punktus, kuros joprojām ir pieejams siltuma atlikums, var vienkārši atdzesēt, izmantojot sausus dzesētājus, kas ir uzstādīti KS, tajā pašā laikā uzturot minimālo prasīto 75 % efektivitāti.

Augstas āra gaisa temperatūras periodos kaltēšanas process patērē mazāk siltuma. No otras puses, augsta apkārtējā gaisa temperatūra prasa daudz vairāk dzesēšanas enerģijas, lai atdzesētu rūpniecisko produkciju. Tas padara dzesēšanas pieprasījumu par ideālu aizstājēju siltumenerģijas patēriņa samazinājumam. Pastāv arī normālās darbības kritumi, kas rodas plānotu vai neplānotu apkopju dēļ. Modelēšana izmanto pētītā aprīkojuma faktiskos vēsturiskos datus, šie kritumi ir iekļauti un tos nav paredzēts aizpildīt ar dzesēšanas slodzi. Lai maksimizētu elektroenerģijas ražošanu, sausajiem dzesētājiem nepieciešams nosegt atlikušos siltumenerģijas augstākos punktus, ko nevar nosegt ar dzesēšanas slodzi.

Kā norādīts 3.6. attēlā, lielāko daļu siltumenerģijas patērē kaltēšanas iekārta, un siltumenerģijas kritumi tiek nosegti vasaras periodos ar dzesēšanas enerģijas pieprasījumu. Kombinētā siltumenerģijas slodze padara ražošanas profilu daudz tuvāku bāzes slodzes stacijas profilam. Tas savukārt pieļauj daudz stabilāku darbību. Atlikuma siltumenerģijas svārstības tajā pašā apkārtējā gaisa temperatūras diapazonā rada atšķirīgas operatīvās ietekmes. Papildu dzesēšanas ierīces varētu uzlabot sistēmas uzticamību.



3.6. attēls. Pētāmā gadījuma aprīkojuma faktiskais siltumenerģijas patēriņa profils, kad papildu dzesēšanas slodze var palīdzēt izlīdzināt siltumenerģijas patēriņu vasaras periodā.

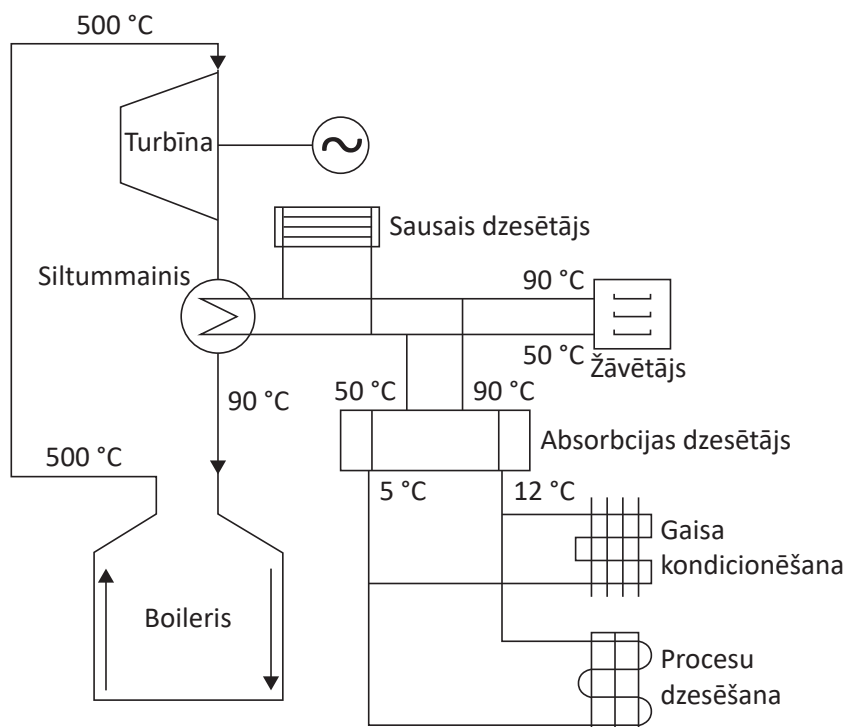
Kokrūpniecības nozares gadījuma pētījums. *Nord Pool* tūlītējās piegādes tirgus Igaunijas apgabalā, maza mēroga KS, nevar darboties kondensācijas režīmā tirgus apstākļos, jo kurināmā cenas pārsniedz elektroenerģijas tirgus cenu. Saskaņā ar Igaunijas statistikas datubāzi un valsts mežu tirdzniecības cenām vidējā biomasas kurināmā cena 2012. gadā bija 12 €/MWh). Tajā pašā gadā vidējā elektroenerģijas tirgus cena bija 39,2 €/MWh). Ja KS kopējā tehniskā efektivitāte η_n ir 89 %, tad kurināmā patēriņš pie pilnas slodzes ir 27,5 MW. Tas rada elektroenerģijas efektivitāti η_e 24 %, kas nozīmē, ka 24 % primārās enerģijas tiek pārvērsta sekundārajā enerģijā – elektrībā. Ar šādu elektroenerģijas efektivitāti spēkstacijas īstermiņa kritiskā cena būtu 50 €/MWh). Tradicionālās biomasas KS šādos apstākļos nestrādātu.

Patlaban rūpniecībā ir 0,3 MW dzesēšanas slodze saimniecības un biroja ēkām, kas šobrīd tiek dzesētas ar elektriskajiem gaisa kondicionieriem. Koksnes apstrāde pieprasa 0,8 MW dzesēšanas slodzi, lai atdzesētu produkciju. Tā tiek dzesēta ar gaisu no ārpusē un neizmanto dzesētājus. Taču, ja izmantotu siltummaini, ventilatoru elektroenerģijas patēriņš būtu mazāks. Uzņēmums zaudē daļu produkta kvalitātes vasaras mēnešu laikā dzesēšanas kapacitātes trūkuma dēļ. Kopumā esošais dzesēšanas pieprasījums ir 1,1 MW. Lai pārveidotu šo dzesēšanas kapacitāti no siltumenerģijas tīkla, ņemot vērā pārveidošanas faktorus, kopējā dzesēšanas slodze siltumenerģijas tīklā būtu 1,7 MW. Kā redzams 3.6. attēlā, siltuma atlikuma ražošana var sasniegt pat 7,8 MW, kas pārsniedz dzesēšanas pieprasījumu.

Pētāmā rūpniecība darbina KS ar izejas jaudu 6,5 MW un 18 MW, apturot darbību ikgadējās apkopes veikšanai. Siltumenerģija patlaban tiek 100 % izmantota uzņēmuma kaltēšanas procesos. Vasaras periodā kaltēšanas procesa siltumenerģijas pieprasījums mazinās paaugstinātas apkārtējās temperatūras dēļ. Taču dzesēšanas kapacitāte palielinās. Piedāvātā sistēma attīstītajai rūpnieciskajai triģenerācijai ir parādīta 3.7. attēlā.

3.7. attēlā piedāvātā procesa diagramma ir norādīta pētītā gadījuma aprīkojumam. Tā vietā, lai izmantotu visu siltumenerģiju žāvētajā un būtu atkarīgi no žāvētāja siltumenerģijas, KS var darbināt, izmantojot siltuma atlikumu dzesēšanai. Dzesēšanas pieprasījumam ir nepieciešams absorbcijas dzesētājs siltumenerģijas pārvēršanai aukstajā ūdenī. Gadījumā, ja dzesēšanas slodze nav pietiekama, lai maksimizētu elektroenerģijas ražošanu, sausie dzesētāji sāks strādāt, lai atdzesētu atlikušo siltuma daļu un maksimizētu elektroenerģijas ražošanu un līdz ar to – peļņu.

Rezultāti. Pētītā gadījuma nozares aprēķinu rezultāti dzesēšanas enerģijas ražošanā ir doti 3.3. tabulā. Kā norādīts, absorbcijas dzesētāja atmaksāšanās ilgums ir mazāks par sešiem gadiem. Pastāv arī pozitīva ietekme uz vidi samazināta primārā kurināmā patēriņa dēļ.



3.7. attēls. Piedāvātais tehniskais risinājums rūpnieciskajai KS dzesēšanas sistēmai.

3.3. tabula

Pētītā gadījuma nozares aprēķinu rezultāti

Izvad dati	Mainīgais	Vērtība	Lielums
Nepieciešamā procesu dzesēšana		1346	MWh
Procesu dzesēšanas slodze	W_{PC}	1583	MWh
Gaisa kondicionētāju slodze	W_{AC}	2491	MWh
Kopējā dzesēšanas slodze		4074	MWh
Siltumenerģijas pieprasījums dzesēšanai	W_h^C	5432	MWh
Siltumenerģijas pieprasījums žāvēšanai	W_h^H	147 507	MWh
Siltuma atlikums		6180	MWh
Siltuma atlikuma maksimums		7,8	MWh
Siltumenerģija dzesēšanai		2927	MWh
Dzesēšanas slodzes maksimums		1,7	MW
Papildu nepieciešamā kondensācija		3254	MWh
Kondensācijas maksimums		6,8	MWh
Papildu elektroenerģijas ražošana		1057	MWh
Ienākumi no papildus elektroenerģijas		105 478	€
Papildu kurināmā patēriņš		4476	MWh
Papildu kurināmā izmaksas		53 708	€
Papildu peļņa		51 770	€
Atmaksāšanās periods		5,6	Gadi

Iepriekš minētā pētāmā gadījuma aprēķini tika veikti, pieņemot, ka nepastāv siltuma zudumi vai kondensēšanās. Atmaksāšanās periods absorbcijas dzesētājam aprēķināts pēc papildu lietderīgās siltumenerģijas slodzes, ko tas rada. Šie ietaupījumi tiek skaitīti kā 0, jo mazā dzesēšanas pieprasījuma dēļ nepastāv apjoma efekts un absorbcijas dzesētāju darbības izmaksas ir tikpat lielas kā esošā dzesēšanas aprīkojuma darbības izmaksas. Galvenā peļņa šajā pētījumā nāk no KS palielinātās elektroenerģijas ražošanas.

Aprēķinu vienkāršošanas dēļ kapitālās izmaksas un procentu likmes netika ņemtas vērā. Ja tiek veikti papildu lauka izmēģinājumi, tos var ņemt vērā nākotnes pētījumos. Gadījumā, ja parādīsies operacionālie ietaupījumi, tas padarīs iespējamību labāku.

Ir jānorāda, ka šis pētījums tika veikts, ņemot vērā pastāvošos subsidēšanas mehānismus, un rezultāti ir atkarīgi no elektroenerģijas politikas. Izstrādātās metodes ir derīgas jebkurā gadījumā, pat tad, kad nepastāv subsidēšanas mehānismi, jo vienādojumus joprojām var izmantot iespējamības pētījumos. Izstrādātās metodes var izmantot jebkurā KS konversijas aprēķinos. Šis pētījums koncentrējas uz ražotāja aspektu un neņēma vērā netiešo ietekmi uz citiem tirgus dalībniekiem vai arī nacionālās enerģētikas daudzveidības aspektus.

4. UZDEVUMS. RAŽOŠANAS ATTĪSTĪBA UN TĀS ILGTSPĒJĪBAS ANALĪZE VALSTS MĒROGĀ, IZMANTOJOT SISTĒMDINAMIKAS MODELI

Energoresursu preču tirgū viens no visstraujāk augošajiem virzieniem ir granulu ražošana un patēriņš. Kopš 2000. gada granulu ražošanas apjoms pasaulē pieaudzis no 1,7 līdz 28 miljoniem tonnu 2015. gadā. Eiropa ir lielākais granulu importētājs, savukārt Amerika ir lielākais eksportētājs. Eiropas savienība (ES) patērē aptuveni 74 % pasaulē saražoto granulu. Galvenais patēriņa virziens ir siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošana. Tiek prognozēts granulu ražošanas pieaugums visos tirgos, bet sevišķi liels tas tiek prognozēts Ķīnas tirgū.

Šā brīža situācija par granulu un šķeldas eksportu Baltijas jūras reģiona valstīs liecina, ka Latvija izceļas pārējo valstu vidū ar to, ka eksportē bioproduktu ar zemu pievienoto vērtību – šķeldu. Tas nozīmē, ka no valsts aizplūst resursi, kas varētu stiprināt valsts makroekonomikas attīstību. Pēdējos gados Latvijā koksnes ciršanas apjoms ir gandrīz 12 miljonu kubikmetru gadā, no kuriem 53 % nāk no privātajiem mežiem, 47 % – no valsts mežiem. Lielākā daļa enerģētiskās koksnes tiek izmantota malkas veidā.

Pēdējos gados strauji audzis šķeldas ražošanas apjoms. Kopš 2008. gada tas ir gandrīz dubultojies. Ražošanas apjomi pieaug, jo vērojama aizvien lielāka vietējo patērētāju interese. Šķeldas ražošanai tiek izmantota gan malka, gan mežistrādes atlikumi, kā arī aizaugušā lauksaimniecības zemēs iegūstamā koksne. Lielāko daļu no šķeldas apjoma veido industriālā kurināmā šķelda, kas ražota no malkas, kā arī no kokapstrādes pārpalikumiem, un pagaidām tikai nelielu daļu veido šķelda no mežistrādes atlikumiem. Šķelda no mežistrādes atlikumiem galvenokārt tiek izmantota enerģētikas sektorā, un pieaugums skaidrojams ar pieaugošo ar biomasu darbināmo katla māju un koģenerācijas staciju skaita pieaugumu.

Granulu ražošana būtiski ietekmē enerģētiskās koksnes tirgu, jo tiek ražotas ne tikai granulas, kas tālāk tiek izmantotas kā izejviela enerģētikas sektorā, bet granulu ražošanas uzņēmumi arī konkurē par enerģētiskās koksnes resursu iegādi. Pēc šobrīd uzstādītajām jaudām Latvija jau ir uzskatāma par vienu no vadošajām granulu ražotājām Eiropā. Granulu ražošana Latvijā strauji attīstās, tomēr gandrīz 90 % saražotā granulu apjoma tiek eksportēts.

Jebkuras nozares produkta vērtību veido daudz dažādu atsevišķu pozīciju, ko var iedalīt starppatēriņā un pievienotajā vērtībā.

4.1. Sistēmdinamikas modeļa izmantošanas metodika

Sistēmdinamikas teorija ir balstīta uz saistību pētīšanu starp sistēmas uzvedību un struktūru, kas veido šo sistēmu. Tas ļauj labāk izprast sistēmas uzvedības cēloņus, ļaujot risināt un novērst sistēmas problemātisko uzvedību. Modelēšanas metode ļauj saprast kompleksu sistēmu struktūru un to dinamiku. Datorprogrammas izmanto, jo tas ir vienkāršākais veids, kā attēlot un strādāt ar sarežģītām sistēmām. Ir trīs galvenie elementi, kas veido sistēmdinamikas konceptu, un, izmantojot tos pareizi, iespējams iegūt adekvātus rezultātus:

- krājumi, plūsmas un atgriezeniskās saites;
- precīzi noteiktas sistēmas robežas;
- cēloņsakarības nevis korelācijas.

Krājumi un plūsmas ir sistēmas pamatelementi, kas veido modeļa pamatstruktūru. Krājums ir kādu resursu, informācijas vai kādas citas vērtības uzkrāšana. Tam var būt ieejošās un izejošās plūsmas. Bieži vien sistēmās sastopamas arī atgriezeniskās saites – tas nozīmē, ka plūsmu vērtības tiek noteiktas, balstoties uz krājuma vērtību.

Būtisks sistēmas koncepta elements ir precīzi definētas sistēmas robežas. Veidojot modeli, ir jāspēj definēt un saprast, kurus sistēmas elementus ir nepieciešams iekļaut modeļa izstrādē.

Pēdējais svarīgais nosacījums, ko jāievēro sistēmdinamikas modeļa izstrādē, ir cēloņsakarību noteikšana nevis korelāciju meklēšana.

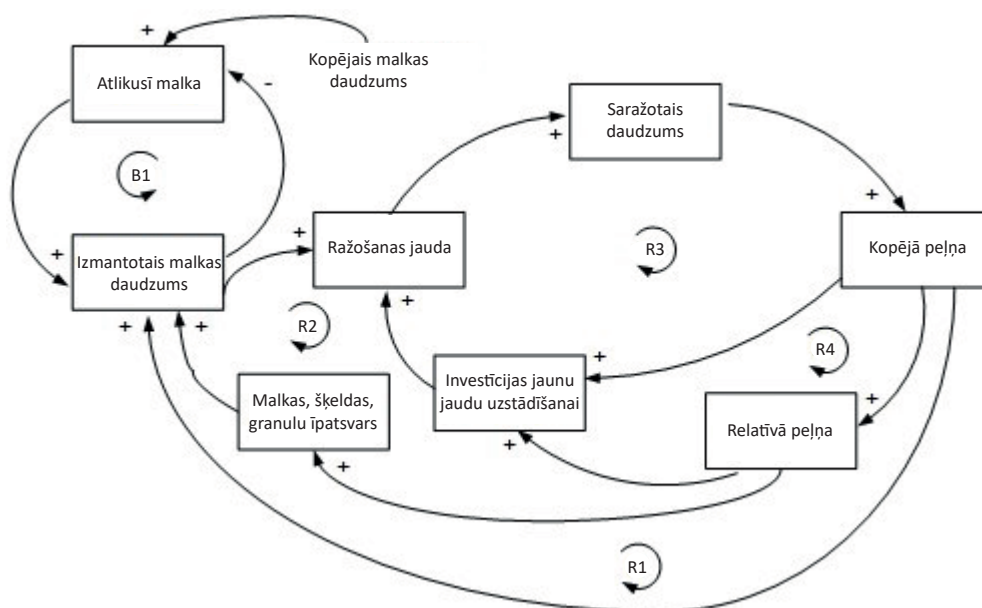
Sistēmdinamikas modelēšanai ir vairāki soļi:

- tiek formulēta pētāmā problēma un mērķi;
- dinamiskās hipotēzes izstrāde, kuras laikā tiek identificēti un definēti galvenie modeļa krājumi un plūsmas, to savstarpējā mijiedarbība;
- modeļa struktūras izstrādes datorprogrammā (struktūra un formulas);
- modeļa validācija, kad nosaka, vai modeļa struktūra un uzvedība atbilst reālās sistēmas darbībai.

Modeļa izstrādes gaitā bieži vien nākas atgriezties pie iepriekšējiem soļiem, lai izlabotu kļūdas vai papildinātu to ar iepriekš neidentificētiem elementiem. Citreiz nākas pārskatīt arī sākotnēji identificēto problēmu un izstrādāto dinamisko hipotēzi. Sistēmdinamikas modelēšanas mērķis nav veikt precīzu prognozi, bet gan noteikt, kāda varētu būt sistēmas dinamiskā attīstība noteiktā laika periodā, tāpēc rezultāti jāuztver kā iespējama attīstības virziens.

4.2. Dinamiskā hipotēze

Lai plānotu un noteiktu enerģētiskās koksnes nākotnes perspektīvas, svarīgi modelēšanas procesā iekļaut visas pamatdaļas, kas nosaka to, kā veidosies izvēle par labu kādam koksnes izmantošanas veidam. Šajā darbā salīdzināti trīs enerģētiskās koksnes izmantošanas veidi – malka, šķelda un granulas. Lai parādītu sistēmas svarīgākās sastāvdaļas un to savstarpējo mijiedarbību, tiek izmantota sistēmas cēlonisko cilpu diagramma. Tā palīdz izprast un raksturot sistēmas uzvedību.



4.1. attēls. Cēlonisko cilpu diagramma.

Cēlonisko cilpu diagramma 4.1. attēlā parāda četrus pastiprinošos (*reinforcing*) procesus R1-R4 un vienu kavējošo (*balancing*) procesu B1. Pirmā pastiprinošā cilpa R1 parāda – jo vairāk meža resursi tiek izmantoti konkrēta produkta ražošanai (malkas, šķeldas vai granulu), jo lielāku ražošanas jaudu nepieciešams uzstādīt, kas veicina lielāku ražošanas apjomu. Pieaugot saražotās produkcijas daudzumam, palielinās peļņa no produkta pārdošanas, relatīvā peļņa ir lielāka un tiks palielināta meža resursu izmantošana attiecīgā produkta ražošanai.

Otrā pastiprinošā cilpa R2 ir līdzīga R1, kur lielāks resursu daudzums nozīmē lielāku uzstādīto jaudu, saražotās produkcijas apjomu, kopējo peļņu. Lielāka peļņa nozīmē papildu resursus pētniecības jomā, palielinot relatīvo peļņas apjomu, pateicoties samazinātam izejvielu patēriņam. Pētniecības procesam nepieciešams laiks, tādēļ relatīvās peļņas pieaugums būs ar kavējumu. Tas nozīmē, ka lielāka kopējo resursu daļa tiks izmantota attiecīgā produkta ražošanai, palielinot ražošanas procesam piešķirto resursu daudzumu. Arī šis process notiek ar kavējumu.

Trešā pastiprinošā cilpa R3 darbojas no uzstādītajām jaudām. Jo lielāka uzstādītā jauda, jo vairāk saražotās produkcijas, kas nozīmē lielāku peļņu. Ja relatīvā peļņa ir lielāka nekā citiem produktiem, tad daļu peļņas iespējams novirzīt jaunu jaudu būvniecībai. Ja relatīvā peļņa ir mazāka, resursi aizies citu produktu ražošanai, un pašreizējās jaudas nebūs pilnībā noslogotas. Starp investīciju piešķiršanu jaunu jaudu celtniecībai un darbībā esošajām jaudām darbojas novēlojums, jo ir nepieciešams laiks pēc lēmuma pieņemšanas, lai veiktu jaudu iepirkumu un uzstādīšanu.

Ceturtā pastiprinošā cilpa R4 darbojas līdzīgi R3, bet šajā gadījumā, līdzīgi kā R2 gadījumā, daļu peļņas tiek novirzīta pētniecībai, veicinot relatīvās peļņas pieaugumu, palielinot konkurētspēju ar pārējiem produktiem, kas ļauj investēt daļu no peļņas jaunu jaudu uzstādīšanai.

Meža resursu izmantošanas bezgalīgu pieaugumu kavē kavējošā cilpa B1. Kopējais meža resursu daudzums enerģētikas nozarei ir ierobežots. Jo vairāk resursi aizies, piemēram, šķeldas ražošanā, jo mazāk paliks malkai un granulām. Viena produkta ražošanai izmantotais resursu daudzums nevar pārsniegt kopējo pieejamo resursu daudzumu. Sākotnēji pastiprinošās cilpas veicinās strauju produkta ražošanas pieaugumu, bet, tuvojoties pieejamā resursa limitam, kavējošās cilpas darbība pastiprināsies, un ražošanas pieauguma temps samazināsies.

Balstoties uz vēsturiskajiem datiem, izteikta prognoze, ka līdz 2030. gadam malkas patēriņš ievērojami samazināsies, kas veicinātu šķeldas un granulā ražošanas pieaugumu. Vēsturiskie dati liecina, ka pēdējo 10 gadu laikā novērojams ievērojams šķeldas un granulā ražošanas tempa pieaugums, savukārt malkas ražošanas apjomi jau šobrīd strauji samazinās. Malkas ražošanas kritums un šķeldas pieaugums varētu būt skaidrojams ar augošo pieprasījumu pēc šķeldas izmantošanas katlu mājās un koģenerācijas stacijās. Attīstās šķeldas ieguve no mežistrādes atlikumiem. Malkas samazinājums saistīts arī ar granulā ražošanas pieaugumu.

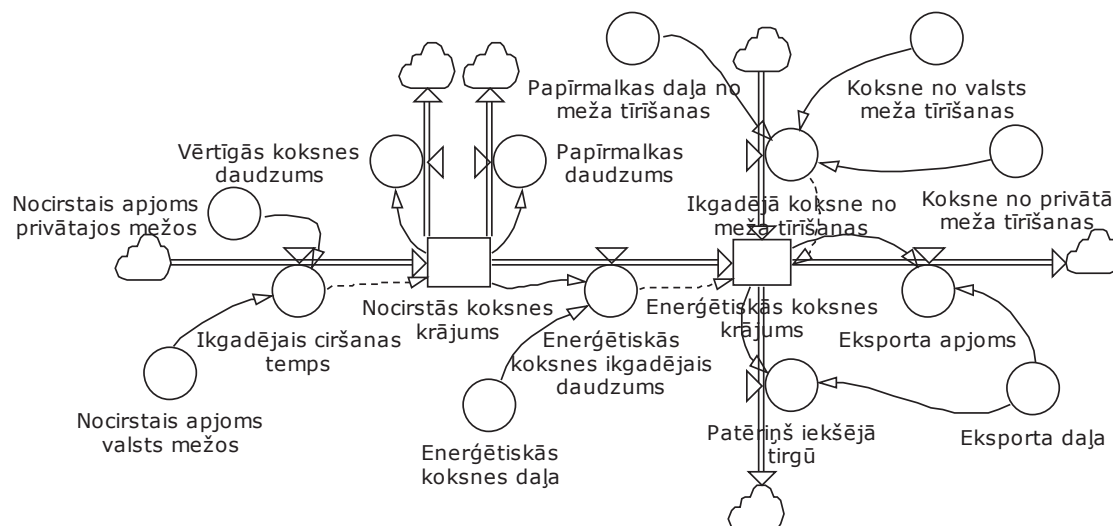
4.3. Modeļa struktūra

4.3.1. Iegūstamais koksnes apjoms

Sistēmdinamikas modelis ir izstrādāts programmā “Powersim Studio 8”. Modelī iekļauti vairāki pieņēmumi:

- siltumenerģijas tarifa pieauguma temps ir 1,5 % gadā;
- elektroenerģijas tarifa pieauguma temps ir 1,5 % gadā;
- darbaspēka algu pieaugums ir 2,5 % gadā;
- gala produktu cenas pieaugums ir 2,5 % gadā.

Modeļa pamatā ir koksnes resursa iegūšana. Koku ciršanas apjoms atkarīgs no dažādu kokrūpniecības sektoru un enerģētikas sektora pieprasījuma. Maksimālo ciršanas apjomu regulē meža likums un ar to saistītais Ministru kabineta rīkojums. Pieprasītās koksnes veids nosaka, cik daudz koksnes aiziet katram sektoram un konkrēta produkta ražošanai. Uzmanība tiek vērsta uz enerģētiskās koksnes izmantošanu, pētot malkas, šķeldas, skaidu un granulā ražošanas apjomus, tāpēc daļa, kas no nocirstās koksnes resursiem tiek izmantota ārpus enerģētikas sektora, noteikta balstoties uz pašreizējo patēriņu.



4.2. attēls. Iegūstamais koksnes apjoms.

Nocirstā koksne tiek izmantota dažādos veidos, tāpēc modeļa struktūra resursa ieguves daļai veidota kā krājums, kas apraksta kopējo galvenajā cirtē nocirstās koksnes daudzumu (*FTS*), un to regulē četras plūsmas. Ieejošā plūsma apraksta nocirstās koksnes daudzumu (*HR*), bet trīs izejošās plūsmas apraksta koksnes tālākas izmantošanas veidu. Zem nocirstā apjoma tiek skaitīts viss kopējais iegūtais koksnes resurss – gan malka, gan papīrmalka, gan zāģbalki. Kopējā nocirstās koksnes daudzumu nosaka apjoms, kas nāk no valsts pārvaldītajiem un no privātajiem mežiem.

Iegūtās koksnes daudzums izmantošanai enerģētikas sektorā (*EWS*) ieviests kā papildu krājums, ko regulē četras plūsmas. Divas ieejošās plūsmas apraksta iegūto koksnes daudzumu no galvenās cirtes un iegūto daudzumu meža tīrīšanas rezultātā (*FCR*). Meža tīrīšanā tiek iekļautas gan kopšanas, gan sanitārās, gan rekonstruktīvās un citas cirtes. Šeit netiek ieskaitīti mežizstrādes pārpalikumi – zari, celmi un galotnes. Izejošās plūsmas parāda sadalījumu starp eksportu (*EXR*) un izmantošanu iekšējā tirgū (*LR*). Enerģētiskās koksnes izmantošanas apjoms atkarīgs no enerģētikas sektora pieprasījuma.

Meža tīrīšanas rezultātā iegūtais koksnes apjoms nāk gan no privātā, gan valsts meža. Daļa no meža tīrīšanā iegūtajiem koksnes resursiem aiziet papīrmalkā, bet atlikušais nonāk enerģētiskās koksnes krājumā. Šeit netiek iekļauti celmi, zari un galotnes. Eksporta un vietējā tirgū izmantotās enerģētiskās koksnes plūsmas nosaka pēc eksporta daļas no kopējā enerģētiskās koksnes daudzuma, kas balstīts uz statistikas datiem.

4.3.2. Loģiskā funkcija

Ekonomiskais faktors ir būtisks nosacījums, izvēloties kādu produktu ražot. Modelī iekļauta loģiskā funkcija, kas salīdzina malkas, šķeldas un granulu peļņu uz vienu izmantotās koksnes kubikmetru, lai noteiktu, cik daudz enerģētiskās koksnes resursa velīt katram no produktiem. Katram produktam atvēlēto daļu apraksta ar formulu:

$$f_1 = \frac{e^{\alpha P_1}}{(e^{\alpha P_1} + e^{\alpha P_2} + e^{\alpha P_3})}, \quad (4.1.)$$

kur

f_1 – viena produkta ražošanai noteiktais koksnes daudzums (malka, šķelda vai granulas);

α – koeficients, kas parāda, cik bieži tiek pāriests no viena produkta uz otru;

P_1, P_2, P_3 – ienākumi no malkas, šķeldas un granulām, €/m³.

4.1. vienādojumā parādīts viena produkta ražošanai noteiktais koksnes daudzums. Pēc tāda paša principa aprēķina pārējiem produktiem paredzēto koksnes daļu, tikai mainot skaitītājā norādīto produkta peļņu uz attiecīgā produkta peļņu.

4.3.3. Enerģētiskās koksnes apakšmodelis

Enerģētiskās koksnes daļa ir vienāda ar malkas ražošanas apjomu. Saražotais malkas apjoms iedalās malkā galapatēriņam, šķeldā un granulā ražošanā. Šajā modeļa daļā darbojas viens krājums, kas apraksta enerģētiskās koksnes jeb saražotās malkas daudzumu (*WS*), kas tālāk var tikt izmantots dažādos veidos. Krājumam ir viena ieejošā plūsma un četras izejošās plūsmas.

Ieejošā plūsma regulē krājumā ieplūstošu enerģētiskās koksnes daudzumu (*TEWR*), un to veido vietējā tirgū izmantotais enerģētiskās koksnes daudzums (*LR*). Pie izdevīgas iepirkumu cenas granulā ražošanai iespējams izmantot arī papīrmalku. Dati liecina, ka papīrmalkas eksporta daļa nedaudz samazinās tieši granulā ražošanas jaudu pieauguma dēļ, tomēr šajā modelī papīrmalkas izmantošana granulā ražošanai netiek apskatīta, salīdzināti tiek tikai enerģētiskās koksnes resursi no zemas kvalitātes koksnes jeb malkas, kā arī ražošanas procesu un mežizstrādes pārpalikumi. Modelī ņemts vērā tas, ka daļa no vietējam tirgum paredzētās enerģētiskās koksnes aiziet kokskaidu plātņu ražošanai.

Viena no izejošajām krājuma plūsmām ir malkas ražošana galapatēriņam (*WLR*). Plūsma raksturo kopējo enerģētiskās koksnes daudzumu, kas aiziet malkas izmantošanai galapatēriņā. Šo daudzumu nosaka divu vērtību salīdzināšanas rezultātā – tiek salīdzināts, kāds ir malkas ražošanas potenciāls (*PWLP*) ar reālo darbojošos malkas apstrādes jaudu (*CWL*). Malkas ražošanas potenciāls var būt ievērojami lielāks par tās apstrādes jaudu. Ja jauda ir nepietiekama, tiek saražots tik daudz malkas, cik atļauj esošā jauda. Pēc šī principa tiek noteikts arī šķeldas un granulā ražošanas apjoms.

Potenciālais ražošanas apjoms tiek noteikts, aplūkojot kopējo enerģētikas sektora koksnes apjomu, un, ņemot daļu, kas noteikta, salīdzinot malkas, šķeldas un granulā peļņu. Lai reaģētu uz peļņas izmaiņām starp dažādu produktu veidiem, nepieciešams laiks, tādēļ modelī tiek izmantota 3. pakāpes materiāla kavējuma funkcija ar divu gadu novērojumu. Peļņas salīdzināšanas rezultātā noteiktā koksnes daļa konkrētā produkta ražošanai tiek aizkavēta un sāk darboties pēc noteikta laika perioda.

Papildu koksne enerģētikai tiek iegūta arī no kokapstrādes procesu pārpalikumiem. Šo koksni iespējams izmantot kā šķeldu vai izejmateriālu granulu ražošanai. To, kāda daļa no resursa tiks izmantota kā šķelda un cik daudz granulu ražošanai, nosaka salīdzinot šķeldas un granulu peļņu, bet malka netiek ņemta vērā. Modelī kā papildu enerģētiskās koksnes avots tiek iekļauts arī mežistrādes pārpalikums, ko iespējams izmantot enerģijas ieguvei. To izmantošana iespējama šķeldas veidā, jo augstā smilšu piejaukuma dēļ izmantošana granulu ražošanā nav iespējama. Meža šķelda piedalās granulu ražošanas procesā kā kurināmais siltumenerģijas ieguvei. Šī resursa izmantošana iespējama tikai šķeldas veidā, tas izdalīts atsevišķi.

Modelī iekļauts vēl viens papildu enerģētiskās koksnes resurss, kas nāk no ražošanas procesu pārpalikumiem. Lielākais resursa daudzums nāk no kokzāģētavām, kā arī no finiera ražošanas. Arī šī modeļa daļa izdalīta atsevišķi.

4.3.4. Ienākumu un izdevumu apakšmodelis

Katra produkta peļņa tiek rēķināta, ņemot vērā ieņēmumus no malkas, šķeldas vai granulu pārdošanas, kā arī no izdevumiem, kas saistīti ar ražošanas procesu – iekārtu kapitālizmaksas, elektroenerģijas un siltumenerģijas patēriņš un izmaksas, darbaspēka izmaksas, kā arī katra produkta ražošanai nepieciešamās papildu izmaksas.

Peļņas apakšmodeļa daļā ir divi pamatkrājumi, kas apraksta kopējos uzkrātos ienākumus un kopējos uzkrātos izdevumus (*APPC*). Tos regulē ieejošās plūsmas, kas ir ikgadējie ienākumi (*PRR*) un ikgadējie izdevumi (*PPCR*).

Izmaksu plūsmu veido kapitālizmaksas un mainīgās izmaksas. Kapitālizmaksas (*TCC*) iekļauj tikai pamataprīkojuma ikgadējās izmaksas. Mainīgās izmaksas (*TVC*) iekļauj gan izejmateriāla izmaksas granulu ražošanai, gan siltumenerģijas un elektroenerģijas izmaksas, kā arī darbaspēka izmaksas, un citas izmaksas, kas neiekļaujas iepriekšminētajās sadaļās. Izmaksu sadaļas un to modeļu struktūra parādīta turpmākajās apakšnodaļās.

Izejmateriālu izmaksas veidojas no divām daļām – šķeldas un malkas izmaksām – atkarībā no tā, cik daudz attiecīgais izejmateriāls tiek iepirkts un izmantots. Ienākumu plūsma tiek aprēķināta, ņemot vērā pārdoto granulu apjomu (*PSR*), kā arī granulu tirgus cenu (*PP*). Pieņemts, ka visu gala produktu cenas varētu pieaugt par 2,5 % gadā.

Peļņas vērtība tiek noteikta, salīdzinot ienākumu un izdevumu plūsmas. Lai granulas varētu salīdzināt ar šķeldu un malku, peļņas vērtība tiek pārrēķināta uz izmantotās koksnes tilpuma vienību.

Šķeldai un malkai peļņa tika rēķināta pēc šajā nodaļā aprakstītās modeļa struktūras. Mainījās tikai dažas izmaksu pozīcijas – piemēram, malkas daļā klāt nāca mežistrādes izmaksas, meža stādīšanas izmaksas, bet šķeldas daļā nāk klāt gan daļa no mežistrādes izmaksām, gan arī šķeldošanas izmaksas. Atsevišķi tika izdalīta arī šķelda no mežistrādes atlikumiem, kurai peļņa tika izrēķināta atsevišķi.

4.3.5. Uzstādītās apstrādes jaudas apakšmodelis

Apstrādes jaudas tiek ir tehnoloģiskais nodrošinājums, ar kuru iespējams saražot noteiktu produkcijas apjomu. Šķeldas un malkas gadījumā jauda tiek apzīmēta ar noteiktu kubikmetru daudzumu (šķeldai – beramkubikmetri, malkai – cieškubikmetri), ko iespējams saražot gada laikā, bet granulu gadījumā tās ir tonnas, ko iespējams saražot ar attiecīgi uzstādīto apstrādes jaudu.

Jaudas apakšmodeļi veido divi krājumi, kas savstarpēji savienoti ar plūsmu. Viens no krājumiem apraksta uzstādīto jaudu (*CIO*), bet otrs – jaunceļamās jaudas (*CUC*), kas vēl nav uzstādītas. Uzstādītās jaudas krājumu regulē ieejošā plūsma jeb jaunu jaudu nodošana ekspluatācijā (*CR*) un izejošā plūsma jeb savu laiku nokalpojušo jaudu norakstīšana (*DCR*).

Plūsmu, kas apraksta nokalpojušo jaudu norakstīšanu, apraksta ar materiāla aizkavējuma funkciju. Sākotnējais nolietojums tiek ņemts vērā no pašreizējās uzstādītās jaudas, bet turpinājumā aizkavējuma funkcija – pēc noteiktā tehnoloģiju kalpošanas laika (*LT*) izvada arī jaunās uzstādītās jaudas.

Ieejošā plūsma jeb jaunceļamās jaudas izejošā plūsma tiek noteikta, ņemot vērā jaunceļamās jaudas vērtību un nepieciešamo uzstādīšanas laiku (*CT*). Jaunceļamās jaudas krājumu regulē ieejošā plūsma jeb pasūtītā jauda (*OR*) un izejošā plūsma jeb jaunu jaudu nodošana ekspluatācijā. Pasūtītā jauda nevar būt negatīvs lielums, tāpēc tiek izmantota *MAX* funkcija.

Parametram paredzētajām pasūtījuma jaudām (*EOR*) jānodrošina, ka tiek pievienotas papildu jaudas, ja potenciālais ražošanas apjoms (*PPR*) to prasa. Šai vērtībai ir jākompensē

nokalpojušās jaudas un jaunceļamās jaudas krājumā radušies iztrūkumi, ņemot vērā kalpošanas laiku. Nepieciešamā jaunceļamā jauda atkarīga no nepieciešamās pasūtītās jaudas (*DOR*). Nepieciešamā pasūtītā jauda veidojas no jaudas nolietošanās tempa, kā arī, salīdzinot uzstādīto jaudu ar potenciāli iespējamo jaudas apmēru, ko atļauj resursa krājums. Šāda tehnoloģiju shēma darbojas visiem produktu veidiem.

4.3.6. Kapitālizmaksu apakšmodelis

Šajā sadaļā aprakstītas kapitālizmaksas, kas veidojas no 4.3.5. apakšnodaļā aprakstītā jaudas apakšmodeļa. Investīciju apjoms (*IR*) ir plūsma, kas nosaka jaunu jaudu uzstādīšanai nepieciešamo investīciju apjomu. Kapitālizmaksas veidots kā krājums, ko regulē ieejošā plūsma jeb kapitālizmaksu palielinājums (*CCIR*) un izejošā plūsma jeb kapitālizmaksu samazinājums (*CCDR*).

Jaunās investīcijas palielina kopējo kapitālizmaksu daļu, tātad investīciju apjoms ietekmē kapitālizmaksu palielinājumu. Nosakot kapitālizmaksu palielinājumu, tiek ņemts vērā tehnoloģiju ekonomiskais mūža ilgums (*ELT*), kā arī investīciju diskonta likme (*DR*).

Kapitālizmaksu samazinājuma aprēķinam tiek izmantota kavējuma funkcija *DELAYPPL*, kas veicina kapitālizmaksu izvadīšanu no krājuma pēc to atmaksāšanas.

Kapitālizmaksu krājuma vērtība tiek izmantota 4.3.4. apakšnodaļā parādīto kapitālizmaksu aprēķinam. Šī modeļa struktūra darbojas visiem produktu veidiem, mainoties tikai skaitliskajām vērtībām.

4.3.7. Elektroenerģijas patēriņa apakšmodelis

Būtiska ražošanas procesu izmaksu daļa ir elektroenerģijas un siltumenerģijas patēriņš. Visos ražošanas procesos nepieciešams patērēt noteiktu daudzumu enerģijas iekārtu darbināšanai vai procesu veikšanai. Apakšnodaļā aprakstīta elektroenerģijas apakšmodeļa struktūra, bet pēc līdzīga principa veidota arī siltumenerģijas apakšmodeļa struktūra.

Elektroenerģijas apakšmodelī ir divas krājuma vērtības – pašreizējais īpatnējais elektroenerģijas patēriņš (*EEC*) un elektroenerģijas patēriņš (*ER*). Pašreizējais īpatnējais elektroenerģijas patēriņš apraksta pašreizējo energoefektivitātes līmeni. Šis krājums un tā veidošanās sīkāk aprakstīta 4.3.8. apakšnodaļā.

Elektroenerģijas patēriņu regulē ieejošā plūsma jeb elektroenerģijas patēriņa pieaugums (*IER*) un izejošā plūsma jeb elektroenerģijas patēriņa samazinājums (*DER*). Elektroenerģijas pieaugumu (*IER*) nosaka jauno jaudu uzstādīšana un pašreizējais īpatnējais elektroenerģijas patēriņš. Tiek pieņemts, ka, uzstādot jaunas jaudas, tiks izvēlētas maksimāli labākās tehnoloģijas, veicinot energoefektivitātes paaugstināšanos. Elektroenerģijas patēriņa samazinājums atkarīgs no nolietoto jaudu norakstīšanas un vidējā īpatnējā elektroenerģijas patēriņa.

4.3.8. Energoefektivitātes paaugstināšanas apakšmodelis

Energoefektivitātes apakšmodelis būvēts tā, lai ņemtu vērā prognozējamo elektroenerģijas un siltumenerģijas efektivitātes paaugstināšanos nākotnes tehnoloģijām. Energoefektivitātes apakšmodelim ir trīs krājumi – pašreizējā īpatnējā elektroenerģijas patēriņa, potenciālā īpatnējā elektroenerģijas patēriņa (*PEE*) un elektroenerģijas patēriņa potenciāla (*EEP*). Krājumus savstarpēji savieno divas plūsmas, kas parāda efektivitātes līmeņa paaugstināšanos (*EEIR*).

Energoefektivitātes līmeņa paaugstināšanos nosaka, ņemot vērā potenciālo īpatnējo elektroenerģijas patēriņu un laiku, kas nepieciešams, lai to attīstītu. Potenciālā īpatnējā elektroenerģijas patēriņa krājuma vērtību regulē izejošā plūsma jeb efektivitātes līmeņa paaugstināšana, kā arī ieejošā plūsma jeb elektroenerģijas potenciāla pētniecības rezultātā noteiktais jaunais samazinājuma potenciāls (*EERR*).

Pētniecības rezultātā noteiktā jaunā potenciāla plūsma tiek noteikta no maksimālā elektroenerģijas potenciāla un pētniecībai nepieciešamā laika. Pēc šī apakšmodeļa principa veidota arī siltumenerģijas energoefektivitātes daļa.

4.3.9. Darbaspēka apakšmodelis

Darbaspēks ir būtiska katra ražošanas procesa sastāvdaļa. Darbaspēka apakšmodelis būvēts, ņemot vērā pieprasījuma pēc darbaspēka pieaugumu vai samazināšanos, balstoties uz ražošanas jaudu pieaugumu vai samazināšanos. Galvenā krājuma plūsma ir nodarbināto cilvēku

skaits, ko regulē ieejošā plūsma jeb nodarbināto cilvēku skaita pieaugums, kā arī izejošā plūsma jeb atlaisto cilvēku skaits.

Izstrādājot modeli, ņemts vērā, ka jaudu pieaugums nav proporcionāls darbaspēka pieaugumam un jaudu palielināšanas gadījumā darbaspēka pieaugums būs lēnāks. Šī nolūka dēļ tika ieviests parametrs “jaudu paaugstināšanas efekts uz pieprasījumu pēc darbiniekiem” (*EPLB*), kas atkarīgs no plānotās jaunās jaudas (*NPC*), no atsaucēs jaudas, kas apraksta kādu noteiktu darbības jaudu ar zināmu nodarbināto skaitu, kā arī no soļa, kas izsaka, pēc kāda jaudas pieauguma samazināsies nepieciešamais nodarbināto skaits uz papildu jaunās jaudas vienību. Tālāk tiek noteikts jaunais nepieciešamais darbaspēka (*NLBR*) daudzums uz jaudas vienību. Sākotnējais nepieciešamais darbaspēka daudzums (*ILBR*) tiek ņemts atbilstošajai atsaucēs jaudai. Nepieciešamais darbaspēka daudzums tiek noteikts, ņemot vērā prognozēto jauno jaudu un jauno nepieciešamo darbaspēka daudzumu. Jaunā ražošanas jauda noteikta no esošās jaudas apmēra un prognozētajām ekspluatācijā un norakstīšanai nododamajām jaudām.

$$NLR = NPC \cdot NLBR, \quad (4.2.)$$

kur

NLR – nepieciešamais darbaspēka daudzums, cilvēku skaits;

NPC – prognozētā jaunā jauda gadā, t;

NLBR – jaunais nepieciešamais darbaspēka daudzums uz jaudas vienību, cilvēku skaits uz t.

Darbaspēka krājumu regulējošās plūsmas aprēķina ar *if* funkciju, salīdzinot krājuma vērtību ar nepieciešamo darbaspēka daudzumu. Jaudas samazināšanu rezultātā nepieciešams ilgāks laiks, lai reaģētu uz nepieciešamajām darbaspēka izmaiņām, tādēļ formulā ieviests kavējuma laiks, kas nepieciešams izmaiņu uztveršanai. Pēc šāda principa darbaspēka modelis darbojas katra produkta ražošanā.

Iepriekš aprakstītajās apakšnodalās parādīti galvenie modeļa struktūru elementi, kas veido sistēmdinamikas modeļa pamatu. Modelī darbojas vēl vairākas saites un mainīgās vērtības, kas koriģē sistēmas darbību, bet parādīti paši svarīgākie modeļa elementi un paskaidroti to darbības principi.

4.4. Modeļa validācija

Modeļa validācijai ir divi posmi:

- modeļa struktūras validācijas, kurā tiek pārbaudīts, vai modeļa struktūra un tajā darbojošās savstarpējās saites starp elementiem atbilst vispārpieņemtajiem uzskatiem par reālo sistēmu;
- uzvedības validācijas, kurā tiek noteikts, vai uzvedība, ko ģenerē izveidotā modeļa struktūra, sakrīt ar reālās sistēmas uzvedību.

Modeļa struktūras validācija galvenokārt tiek veikta, konsultējoties ar attiecīgās nozares ekspertiem, kas pārzina attiecīgās nozares darbības nianšes un palīdz izstrādāt korektu sistēmas struktūru. Validēšanas posmā tiek veikta arī dažādu ekstrēmu testēšana, lai pārlicinātos, ka modelis strādā precīzi arī ekstrēmu situāciju gadījumā.

Sistēmas uzvedības validācija tiek veikta, salīdzinot sistēmas ģenerēto uzvedību ar pieejamajiem vēsturiskajiem datiem. Ja modeļa uzvedība spēj diezgan precīzi attēlot reālās sistēmas uzvedību, modelis var tikt izmantots tālākai sistēmas pētīšanai, bet, ja ar modeli neizdodas atveidot reālās sistēmas uzvedību, nepieciešams atgriezties pie modeļa struktūras un veikt tajā izmaiņas.

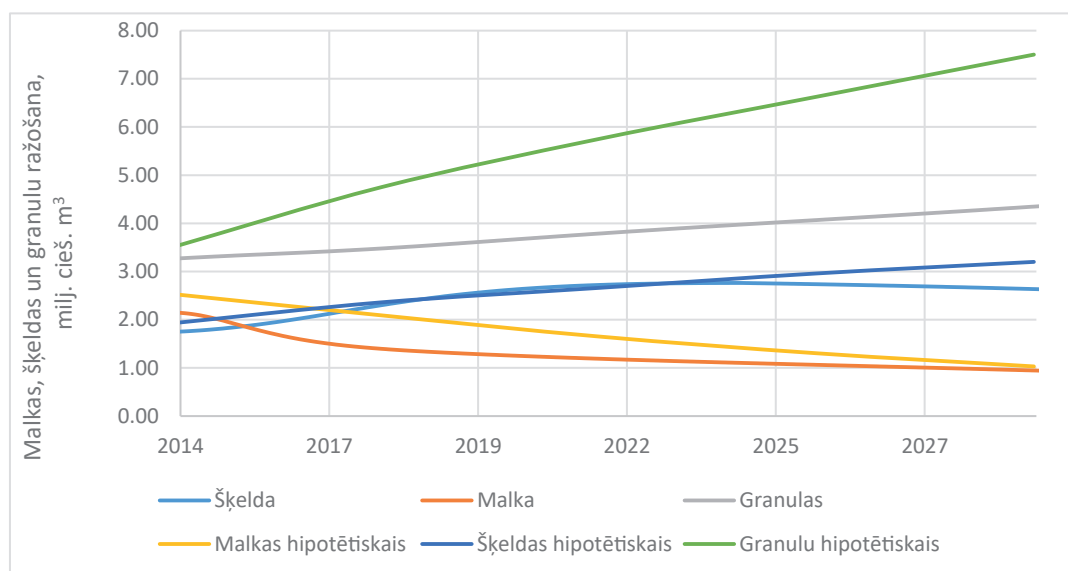
4.5. Rezultāti

Balstoties uz vēsturiskajiem datiem, tikai noteikts hipotētiskais enerģētiskās koksnes attīstības scenārijs. Salīdzinot hipotētisko scenāriju ar modeļa ģenerēto nākotnes attīstības scenāriju, redzams, ka malkas un šķeldas attīstības tendences ir līdzīgas, savukārt granulū gadījumā hipotētiskais un modeļa scenārijs būtiski atšķiras.

Visas vērtības pārrēķinātas uz malkas cieškubikmetriem, lai uzskatāmāk varētu salīdzināt produktu attīstības tendences. Pēc vēsturiskajiem datiem, hipotētiskais scenārijs paredzēja, ka šķeldai vajadzētu attīstīties līdzīgi kā granulām, tikai ar nedaudz zemāku pieauguma tempu. Modeļa ģenerētais rezultāts (4.3. attēls) rāda, ka šķeldas ražošanas apjoms varētu pieaugt līdzīgi

hipotētiskajā scenārijā paredzētajam, savukārt granulu ražošanas attīstība nebūs tik strauja kā hipotētiskajā scenārijā. To varētu skaidrot ar faktu, ka granulu ražošana Latvijā un visā pasaulē sākusi attīstīties salīdzinoši nesen, un pēdējo gadu strauja izaugsmes temps ļāvis Latviju ierindot starp vadošajām granulu ražotājām pasaulē, tomēr ierobežotu resursu gadījumā tik straujš izaugsmes temps nevar būt mūžīgs.

4.3. attēls parāda, ka jau šobrīd granulu ražošana paņem ievērojamu daļu enerģētiskās koksnes resursu, un, lai celtu granulu ražošanas apjomus pēc hipotētiskā scenārija tempa, būtu nepieciešams gandrīz pilnībā likvidēt malkas un šķeldas kā galaproduktu ražošanu un patēriņu, sākt aktīvāk izmantot papīrmalku granulu ražošanai vai arī palielināt malkas ciršanas apjomus valstī.



4.3. attēls. Enerģētiskās koksnes attīstība.

Lai saprastu, kas veido modeļa ģenerēto rezultātu, jāpievērš uzmanība peļņas daļai. Modeļa resursu izvēle par labu kādam no produktiem notiek, balstoties uz peļņas rādītājiem. Lai peļņas rādītājus varētu savstarpēji salīdzināt, tie tika attiecināti pret produkcijas ražošanai patērēto koksnes daudzumu, iegūstot īpatnējos peļņas rādītājus.

Peļņa no granulām ievērojami pārsniedz peļņu no malkas un šķeldas, un, attīstoties granulu ražošanai, šī starpība pieaug vēl vairāk. Tam skaidrojums bija redzams cēlonisko cilpu diagrammā (4.2. nodaļa). Pastiprinošās cilpas lielākas peļņas gadījumā veicina īpatnējās peļņas vērtību pieaugumu, kas veicina vēl lielāku starpību starp granulu īpatnējās peļņas vērtību un malkas, kā arī šķeldas īpatnējās peļņas vērtību. Peļņas vērtību atšķirība rāda, ka granulu ražošanas pieaugums potenciāli varētu būt vēl lielāks, bet te jāņem vērā apstākļi, kas traucē tam notikt.

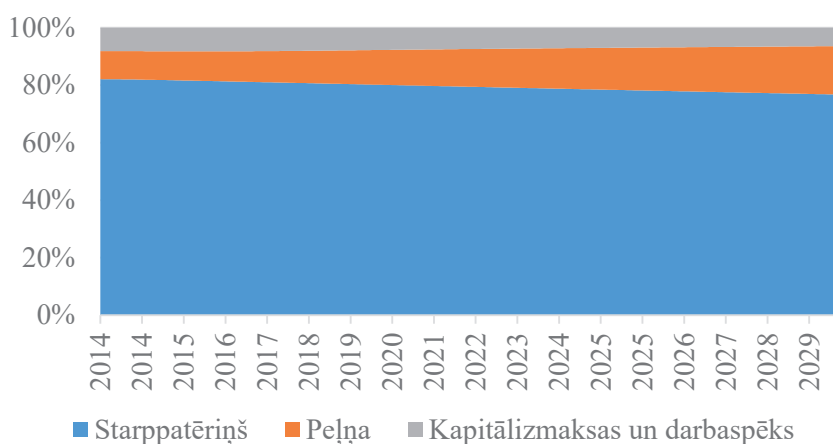
Kā redzams malkas gadījumā (4.3. attēls), tās ražošanas apjoms varētu samazināties par aptuveni 50 %, bet jāņem vērā, ka šis samazinājums notiek uz licenzētās cirmās iegūtās koksnes rēķina. Daļa no malkas resursa tiek iegūta privātajos mežos bez licences un tiek izmantota vietējās saimniecībās kā malka. Tas nozīmē, ka šī daļa malkas nekonkurē ar granulu ražošanu, tāpēc arī malkas straujāks ražošanas tempa kritums, visticamāk, nenotiks.

No modeļa iegūtais šķeldas attīstības temps ir tuvu hipotētiskajā scenārijā noteiktajam. Tiek prognozēts šķeldas ražošanas pieaugums. Jāņem vērā, ka ir divi dažādi šķeldas veidi – industriālā šķelda, kas tiek iegūta, sašķelidojot malku, vai no ražošanas procesa pārpalikumiem, un meža šķelda, kas tiek ražota no mežizstrādes pārpalikumiem – celmiem, zariem, galotnēm. Industriālo šķeldu iespējams izmantot granulu ražošanai, līdz ar to tā konkurē ar granulu ražotājiem, kamēr meža šķeldu iespējams izmantot tikai enerģētikas vajadzībām. Modeļa rezultāti rāda, ka kopējais šķeldas apjoms varētu pieaugt, bet granulu ražošanai ir lielāka peļņa, līdz ar to industriālās šķeldas kā galaprodukta ražošanas apjoms samazināsies uz granulu ražošanas pieauguma rēķina, bet kopējais šķeldas apjoms varētu pieaugt, tieši pateicoties meža šķeldas ražošanas pieaugumam. Pēdējos gados meža šķeldas izmantošanas apjoms ir sācis ievērojami pieaugt.

Kopumā rezultāti rāda, ka granulu ražošanas attīstība ir ļoti ticams scenārijs, un, ņemot vērā Eiropā strauji augošo pieprasījumu pēc granulām, pastāv ļoti liels eksporta potenciāls. Tomēr, lai

būtu iespējams ievērojami palielināt granulu eksporta apjomu, nepieciešams palielināt enerģētiskās koksnes iegūšanas apjomu, jo modelī iegūtie rezultāti rāda iekšējā tirgū nepieciešamās enerģētiskās koksnes sadalījuma struktūru, un tiek paredzēts, ka Latvijā pieaugs ne tikai saražoto granulu apjoms, bet arī patēriņš, nomainot malku un šķeldu. Īpatnējā peļņa no granulu ražošanas (4.3. attēls) ir augstāka nekā malkai un šķeldai, tāpēc seko granulu ražošanas attīstība, bet, tā kā modelī darbojas arī kavējošā cilpa, kas saistīta ar resursu pieejamību, pieauguma temps sāk samazināties. Tas nozīmē, ka granulu ražošanas apjoms pie pašreizējā enerģētiskās koksnes ieguves tempa tuvojas maksimumam un vienīgā iespēja vēl vairāk palielināt granulu ražošanas apjomu ir paaugstinot enerģētiskās koksnes ieguves apjomu.

Lai saprastu, kā šāda granulu ražošanas tempa attīstības gaita varētu ietekmēt izmaksu un peļņas savstarpējo sadalījumu, tika veikta to salīdzināšana. 4.4. attēlā redzams, ka sākotnēji lielāko daļu granulu ražošanas procesā iesaistītās naudas plūsmas veido starppatēriņš, kam seko peļņa, kā arī darbaspēka izmaksas un kapitālizmaksas. Peļņa no kopējās naudas plūsmas veido mazāk nekā 10 %.



4.4. attēls. Peļņas un izmaksu sadalījums.

Starppatēriņā galvenās izmaksas veido granulu ražošanai nepieciešamās koksnes iepirkšana un sagatavošana, kas ir būtiskākie procesa izdevumi. Zem šīs sadaļas ietilpst gan koksnes resursi, kas tiek tieši izmantoti granulu ražošanā, gan koksnes daļa, kas tiek izmantota nepieciešamās siltumenerģijas nodrošināšanai. Redzams, ka laika gaitā starppatēriņam ir tendence samazināties attiecībā pret pārējiem parametriem, savukārt peļņa ir nedaudz augusi un ir aptuveni 15 %. Modeļa izstrādes gaitā tika pieņemts, ka produktu cena varētu pieaugt par 2,5 % gadā, un šis pieaugums veicina peļņas kāpumu, savukārt procesa izejvielām šis īpatnējais peļņas rādītājs neaugs tik strauji. Tas nozīmē, ka peļņas daļai ir iespēja augt attiecībā pret starppatēriņa izmaksām.

Arī darbaspēka izmaksām un kapitālizmaksām ir tendence samazināties. Lai gan absolūtās vērtības turpina augt, to pieaugums attiecībā pret peļņu ir lēnāks. Modeļa simulācijas beigu daļā darbaspēka un kapitālizmaksas izmaksas ir mazākas nekā 10 % kopējās naudas plūsmas. Darbaspēkam to var skaidrot ar relatīvo darbaspēka pieprasījuma samazināšanos, jo tiek ņemts vērā, ka nepieciešamais darbaspēka daudzums neaug proporcionāli ražošanas jaudām, kas ir atbilstoši reālajai situācijai. Ja jaudas tiek palielinātas jau esošā uzņēmumā, tad, ņemot vērā mūsdienu augsto automatizācijas pakāpi, ražošanas uzņēmumiem jaudas palielināšana prasa mazāku skaitu papildu darbaspēka. Arī kapitālizmaksas, uzstādot lielākas jaudas, ir ievērojami zemākas, tāpēc likumsakarīga ir arī kapitālizmaksu daļas samazināšanās.

Naudas plūsmas sadalījums lielā mērā ir atkarīgs arī no iekārtu izmaksu, darbaspēka algu, tarifu, kā arī produktu un izejvielu cenu pieauguma vai samazināšanās tempa, un rezultātos parādītais grafiks atbilst aprakstītajiem pieņēmumiem.

Svarīgi ņemt vērā, ka sistēmdinamikas modelēšanas metode nav paredzēta precīzu nākotnes iznākumu prognozēšanai, bet gan attīstības dinamikas prognozēšanai, tāpēc, apskatot rezultātus, nav tik daudz jāskatās uz absolūtajām vērtībām, bet gan uz attīstības dinamiku.

Secinājumi

1. Granulu ražotnes darbības shēmu var uzlabot, ieviešot tajā priekšmalšanu. Priekšmalšanas dzirnavām jābūt pietiekami ražīgām, lai varētu nodrošināt arī materiālu malšanas dzirnavas. Var arī esošās dzirnavas atstāt kā priekšmalšanas dzirnavas un uzstādīt mazākas malšanas dzirnavas, jo to ražība palielinās, kad izmanto priekšmalšanā iegūto materiālu. Abos gadījumos tiks palielināta elektroefektivitāte uz vienu saražoto tonnu produkcijas.
2. Ražošanas procesā ieviešot priekšmalšanu, jāņem vērā tas, ka parādās vēl viena iekārta, kurai nepieciešams veikt regulāras apkopes un kurai var rasties neparedzētas dīkstāves. Uzstādot priekšmalšanas dzirnavas, mainīsies gaisa plūsmas, tāpēc ir jāpārtaisa gaisa nosūkšanas sistēma, kas rada papildu investīcijas un darbības izmaksas.
3. Optimizācijas princips ir izveidots rūpnieciskās KS vadībai atvērtā enerģijas tirgus apstākļos. Ir izveidots globālais optimālās darbības modelis elektroenerģijas eksportēšanai ražotnei ar KS. Tas var tikt izmantots rūpnieciskās KS ražošanas optimizācijai, ņemot vērā rūpnieciskās slodzes vadības iespējas, spēkstacijas slodzes plānošanu un elektroenerģijas tirgus cenu.
4. Dažādas elektroenerģijas slodzes ir jāatšķir cita no citas un jāsalīdzina ar elektroenerģijas tirgus cenu. Slodzes modeļu rezultāti palīdz precīzi noteikt elastīgās slodzes. Slodžu elastība ļauj maksimizēt ienākumus, pārslēdzot slodzi nepieciešamajā laikā. Slodžu pārslēgšana tiek veikta, ņemot vērā elektroenerģijas ražošanu un patēriņu kopā ar to ierobežojumiem.
5. Tradicionālo koģenerācijas staciju (KS) var pārveidot triģenerācijas stacijā (TS), ja ir pieejams pietiekams dzesēšanas pieprasījums. Pētījumā ir izstrādāta metode, kā aprēķināt un izvērtēt koģenerācijas stacijas pārveidošanu par triģenerācijas staciju. Gadījuma pētījums tika veikts esošai kokrūpniecības ražotnei, kas darbina vietējo KS. Pētītās stacijas faktiskie dati tika modelēti aprēķiniem.
6. Absorbcijas dzesētāju izmantošana ļauj KS kļūt par TS, kas vasaras periodos ražo arī vairāk elektroenerģijas palielinātās siltumenerģijas slodzes dēļ. Dzesēšanas enerģijas ražošana no siltumenerģijas atlikuma nozīmē ietaupījumus vides aspektā primārā kurināmā ietaupījuma dēļ. Absorbcijas dzesētāju dzesēšanas tehnoloģijas investīciju atmaksāšanās laiks ir mazāks par sešiem gadiem.
7. Galvenais pētījuma mērķis bija izveidot struktūru, ar kuras palīdzību varētu analizēt granulu ražošanas attīstības perspektīvas Latvijā. Mērķa sasniegšanai tika izstrādāts sistēmdinamikas modelis. Tika secināts, ka, papildus investējot granulu ražošanā, tiek paaugstināti īpatnējās peļņas rādītāji uz vienu saražoto vienību, salīdzinot ar malkas vai šķeldas ražošanu. Rezultātā brīvie malkas un industriālās šķeldas resursi lēnām tiek novirzīti granulu ražošanai, tādējādi samazinot malkas un šķeldas kā galapatēriņa preces izmantošanu.
8. Granulu ražošanas apmēri turpmākajos gados nespēs augt tik strauji, kā līdz šim, izejvielu resursu pieejamības dēļ. Valdība regulē ikgadējo koku ciršanas apjomu, balstoties uz ilgtspējīgas mežsaimniecības principiem, bet, lai noturētu granulu ražošanas attīstības tempu pašreizējā līmenī, būtu nepieciešams paaugstināt malkas ciršanas apjomus, importēt malku un šķeldu granulu ražošanai vai arī meklēt papildu resursus no lietderīgās koksnes. Prognozējams šķeldas ražošanas pieaugums no mežizstrādes pārpalikumiem – celmiem, zariem, galotnēm, tomēr šis resurss tikai pastarpināti var tikt izmantots granulu ražošanā – kā siltumenerģijas avots.

Priekšlikumi

1. Nākotnes pētījumiem nepieciešams izpētīt citus tirgus, kas ietekmē granulu ražotnes darbību un enerģijas ražotāju tādā pašā veidā, lai varētu optimizēt visa aprīkojuma ražošanu. Lielāko ietekmi uz peļņu radīja uzglabāšanas kapacitāte un slodzes pārvaldības darbības. Nākotnē pētījumu vajadzētu paplašināt, ņemot vērā tirgus uzvedību saistībā ar izejmateriāliem un rūpniecisko gala produkciju.
2. Būtu nepieciešams ar izstrādāto pieeju pētīt līdzīgas rūpnieciskās KS, kurām ir nepieciešama pastāvīga dzesēšana, un salīdzināt tās ar šī pētījuma rezultātiem. Ir nepieciešams veikt faktisku gadījuma izpēti konversiju, lai varētu salīdzināt praktiskos rezultātus ar šī pētījuma teorētiskajiem rezultātiem. Praktiskās konversijas testi būtu īpaši svarīgi, lai salīdzinātu uz siltumenerģiju balstītas dzesēšanas darbības ietaupījumus ar tradicionālo dzesēšanu.
3. Turpmākie pētījumi koncentrēties uz augstākas pievienotās vērtības produktiem kā furfurols, bioetanolis u. c., kas varētu attīstīties nākotnē, un uz to, kā tie ietekmēs cīņu par zemas kvalitātes koksnes resursiem.