

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

Gatis ŽOGLA

Doktora studiju programmas „Vides zinātne” doktorants

**INOVATĪVU PIEEJU IZMANTOŠANA ĒKU
ENERGOEFEKTIVITĀTES POLITISKO UN
TEHNOLOĢISKO RISINĀJUMU MODELĒŠANĀ**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs

Dr. sc. ing., profesore
A. BLUMBERGA

Rīga 2012

UDK 697.1+699.86](043.2)
Žo 210 i

Žogla G. Inovatīvu pieeju izmantošana ēku energoefektivitātes politisko un tehnoloģisko risinājumu modelēšanā. Promocijas darba kopsavilkums.- R.:RTU, 2012.- 40 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta 2012. gada 27.jūnija lēmumu, protokols Nr. 24.

Promocijas darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”. Darbs izstrādāts, pateicoties Eiropas Ekonomiskās zonas finanšu instrumenta „Sistēmiskas domāšanas integrēšana vides politikā” projektam.



ISBN 978-9934-507-11-3

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA
ZINĀTNISKĀ GRĀDA VIDES ZINĀTNES NOZARES APAKŠNOZARĒ
„VIDES INŽENIERZINĀTNE” IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ
UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora zinātniskā grāda Vides zinātnes nozares apakšnozarē „Vides inženierzinātne” iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012. gada 17. decembrī Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, 21. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

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

Docente, pētniece, Dr.sc.ing. Antra Kundziņa
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr. Paolo Bertoldi
EU Joint Research Centre, Italy

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora zinātniskā grāda Vides zinātnes nozares apakšnozarē „Vides inženierzinātne” iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Gatis Žogla(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 3 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 4 pielikumus, 122 zīmējumus un ilustrācijas, 16 tabulas, kopā 163 lappuses. Literatūras sarakstā ir 68 nosaukumi.

SATURA RĀDĪTĀJS

Darba aktualitāte	6
Darba mērķis	6
Pētījumu metodika.....	7
Darba zinātniskā novitāte	7
Darba praktiskais izmantojums	8
Publikācijas/darba aprobācija.....	8
Monogrāfijas	10
1. Sistēmdinamikas modelis ēku energoefektivitātes politikas instrumentu modelēšanai.....	11
Dinamiskās hipotēzes veidošana.....	11
Galvenie mainīgie	12
Cēloņseku diagramma.....	14
Politiku veidošana un testēšana.....	16
Modeļa struktūras principiālā shēma.....	18
Rezultāti	20
Pašreizējās energoefektivitātes politikas analīze.....	21
Iespējamo energoefektivitātes politiku analīze	24
Modeļa validācija	25
2. Ūdens siena ēku enerģijas patēriņa samazināšanai.....	26
Piedāvātā tehnoloģiska risinājuma apraksts.....	26
Tehnoloģiskā risinājuma darbības princips.....	26
Sistēmas struktūra	27
Izvirzītā mērķa sasniegšanas algoritms	28
Enerģijas patēriņa modeļa izstrāde.....	30
Sistēmas darbības rezultāti.....	33
Ūdens sienas tehnoloģijas eksperimentālā pārbaude	35
Mērījums ar sasalstošu ūdens slāni uz ēkas norobežojošās konstrukcijas ārējās virsmas	35
Ūdens sienas kopējais siltuma caurlaidības koeficients.....	37

Secinājumi.....40

Darba aktualitāte

Enerģijas patēriņš mājāsaimniecībās veido 40% no kopējā Eiropas Savienības valstu enerģijas patēriņa. Esošais ēku energoefektivitātes līmenis ir ļoti zems – vidējais apkures enerģijas patēriņš pat vairāk kā desmit reizes pārsniedz pasīvo ēku, kuru celtniecībā tiek pielietoti jaunākie energoefektivitātes tehnoloģiskie risinājumi, enerģijas patēriņu.

Lai veicinātu ēku energoefektivitātes līmeņa paaugstināšanos, 2010.gada 19.maijā tika apstiprināta Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva 2010/31/ES par ēku energoefektivitāti. Šajā direktīvā ir noteiktas prasības gandrīz nulles enerģijas ēku celtniecībai, kā arī noteikts, ka jau no 2020.gada visām jaunajām ēkām jāatbilst šim gandrīz nulles enerģijas ēku līmenim. Gandrīz nulles enerģijas ēku definīcijas izveide ir katras ES dalībvalsts uzdevums. Lai šo uzdevumu varētu izpildīt, nepieciešams apzināties tehnoloģiskos risinājumus, kas pēc iespējas tuvina ēku nulles enerģijas patēriņa līmenim.

Lai sasniegtu 2006.gada 5.aprīļa Eiropas Parlamenta un Padomes direktīvā 2006/32/EK par enerģijas galapatēriņa efektivitāti un energoefektivitātes pakalpojumiem noteikto mērķi valsts enerģijas patēriņu līdz 2016.gadam samazināt par 9%, nepieciešams veikt lielu darbu esošo enerģijas patērētāju energoefektivitātes paaugstināšanai. Tā kā lielāko daļu mājokļu sektora veido padomju laikos celtas daudzdzīvokļu ēkas, tad liela nozīme mājokļu sektora energoefektivitātes paaugstināšanā un visas valsts enerģijas patēriņa un klimata pārmaiņu samazināšanā ir esošo ēku renovācijā. Pieejamais Eiropas Savienības līdzfinansējums ēku renovācijas veikšanai ir viens no politikas instrumentiem, ar kura palīdzību ēku renovācijas process tiek veicināts, taču ir svarīgi apzināties arī citus politikas instrumentus un to ietekmi uz ēku renovācijas procesu.

Darba mērķis

Lai samazinātu ēku energoresursu patēriņu un ietekmi uz klimata pārmaiņām, nepieciešams izpētīt mājokļu energoefektivitātes tirgus struktūru un uzvedību un izstrādāt inovatīvu tehnoloģisko risinājumu politikas mērķu sasniegšanai.

Mērķa sasniegšanai tika izvirzīti šādi izpētes uzdevumi:

- Mājokļu energoefektivitātes tirgus stuktūras un uzvedības izpēte, apskatot faktorus, kas ietekmē ēku renovācijas procesa ātrumu un definējot parametrus, kuri veicina renovācijas procesa ātruma izmaiņas;

- Mājokļu energoefektivitātes tirgus sistēmdinamikas modeļa izveide, ņemot vērā ēku renovācijas procesa nelinearitāti un dažādo faktoru un parametru savstarpējo mijiedarbību;
- Balstoties uz izstrādāto mājokļu energoefektivitātes tirgus sistēmdinamikas modeli, apskatīt dažādu iespējamo politikas instrumentu ietekmi uz ēku renovācijas procesu, apskatot vai ir iespējams sasniegt Latvijas Pirmajā energoefektivitātes rīcības plānā noteikto enerģijas patēriņa samazinājumu mājokļu sektorā;
- Izveidot tehnoloģisko risinājumu, kas izmanto ūdens fāzu pārejas latento siltumu un kas veicinātu gandrīz nulles enerģijas ēku attīstību;
- Izveidot eksperimentālo iekārtu, ar kuras palīdzību noteikt izveidotā tehnoloģiskā risinājuma ietekmi uz ēkas enerģijas patēriņu.

Pētījumu metodika

Promocijas darba pētījumu metodika pamatā ir sadalīta divās savstarpēji saistītās daļās.

Mājokļu energoefektivitātes tirgus sistēmdinamikas modeļa izveide, kas veikta Eiropas Ekonomikas zonas finanšu instrumenta finansēta projekta „Sistēmiskās domāšanas integrēšana vides politikā” ietvaros. Mājokļu energoefektivitātes tirgus sistēmdinamikas modelis izveidots Powersim vidē.

Ūdens sienas teorētiskā modeļa un eksperimentālās iekārtas izveide. Izstrādājot teorētisko ūdens sienas modeli tika apskatīta sistēmas izmēru noteikšanas metodika, apskatot gan siltuma zudumu samazinājumu uz ēkas norobežojošajām konstrukcijām, gan zaudētā siltuma reģenerēšanu no zema potenciāla siltumenerģijas avota. Dinamiskais ikstundas teorētiskais ūdens sienas modelis izveidots MS Excel vidē. Eksperimentālās iekārtas izveide, siltuma plūsmas blīvuma un temperatūru sadalījuma mērījumi ļāva noteikt jaunā tehnoloģiskā risinājuma efektivitāti un darbības ierobežojumus.

Darba zinātniskā novitāte

Promocijas darba rezultātā ir izpētīta mājokļu sektora energoefektivitātes tirgus struktūra un uzvedība. Pamatojoties uz izpētes rezultātiem izveidots mājokļu sektora energoefektivitātes tirgus sistēmdinamikas modelis Powersim vidē. Veicot modelēšanu un modeļa validāciju, noteikta dažādu ēku energoefektivitātes līmeņa paaugstināšanu veicinošu politikas instrumentu ietekme uz ēku renovācijas procesa ātrumu.

Izveidots tehnoloģiskais risinājums, kas izmanto ūdens fāzu pārejas latento siltumu un kas samazina ēku enerģijas patēriņu apkurei un dzesēšanai.

Darba praktiskais izmantojums

Promocijas darbam ir liela praktiskā nozīme. Šī darba rezultātiem ir dažādas mērķā grupas:

- Politikas plānotāji – promocijas darbā ir apskatīti dažādi politikas instrumenti un to ietekme uz ēku renovācijas procesa ātrumu. Darba rezultāti ir izmantojami ēku energoefektivitātes politikas plānošanai un izvēlēto politikas instrumentu ietekmes modelēšanai;

- Energoservisa kompānijas – darbā ir apskatīta energoservisa kompāniju ietekme uz ēku renovācijas procesu. Izmantojot izstrādāto sistēmdinamikas modeli iespējams noteikt pasākumus, kas veicinātu energoservisa kompāniju aktīvāku iesašanos ēku renovācijas tirgū;

- Energoefektivitātes tehnoloģiju ražotāji – promocijas darba rezultātā izveidotais tehnoloģiskais risinājums izmantojams ēku enerģijas patēriņa samazināšanai. Energoefektivitātes tehnoloģiju ražotāji ir ieinteresēti inovatīvu risinājumu ražošanā un ieviešanā.

- Ēku iedzīvotāji – doktora darbā ir izstrādāti risinājumi, kas palīdz samazināt ēku enerģijas patēriņu, kā rezultātā ēku iedzīvotājiem tiks samazināts maksājums par ēku apkuri un dzesēšanu.

Publikācijas/darba aprobācija

1. Blumberga A., Žogla G., Laicāne I. Planning and Evaluation Tool for Energy Efficiency Policy in Housing Sector in Latvia // International Energy Program Evaluation Conference (IEPEC): Proceedings, Italy, Roma, June 12.-14, 2012. –p. 1.-12.
2. Blumberga A., Blumberga D., Bažbauers G., Žogla G., Laicāne I. Sustainable Development Modeling for Energy Sector // Global and Regional Research on Sustainable Consumption & Production: Achievements, Challenges, and Dialogues, Brazil, Rio de Janeiro, June 13.-15, 2012. – p.1.-13.
3. Blumberga A., Žogla G., Davidsen P., Moxnes E. Residential Energy Efficiency Policy in Latvia // Proceedings of the 29th International Conference of System Dynamics Society, United States of America, Vašingtona, 24.-28. July, 2011. - pp 35-36.

4. Žogla G., Blumberga A. Energy Consumption and Indoor Air Quality of Different Ventilation Possibilities in a New Apartment Building // Scientific Journal of RTU. 13. series., Vides un klimata tehnoloģijas. - 4. vol. (2010), pp 130-135.
5. Blumberga A., Žogla G., Rošā M., Blumberga D. Analysis of Green Investment Scheme for Energy Efficient Measures in Latvia // Climate Change Management. The Economic, Social and Political Elements of Climate Change. - Springer, 2010. - pp 193-206.
6. Žogla G., Blumberga A. In-Situ Heat Flow Measurements Before and after Energy Efficiency Measures in Apartment Buildings in Latvia // Dynamic Methods for Building Energy Assessment - proceedings, Belgium, Brussels, 11.-12. October, 2010. - pp 250-255.
7. Zahare D., Žogla G. Heat Gain Impact on House Energy Consumption // 50. RTU Studentu zinātniskās un tehniskās konferences materiāli 2009.gada aprīlī, Latvia, Rīga, 23.-24. April, 2009. - pp 211-211.
8. Rošā M., Blumberga A., Žogla G., Blumberga D. Analysis of Green Investment Scheme for Energy Efficiency Measures in Latvia // Climate2009, Germany, Hamburga, 2.-6. November, 2009. - pp 105-119.
9. Žogla G., Zahare D., Blumberga A., Kamenders A. Influence of Heat Gains on Typical Apartment House Heat Energy Consumption in Latvia, Simplified Calculation Method // Scientific Journal of RTU. 13. series., Vides un klimata tehnoloģijas. - Vol. 3 (2009), p. 142-146.
10. Blumberga A., Žogla G., Bulgakova J. Integration of Green Procurement in Environmental Policy Course at Riga Technical University // 3rd International Conference Environmental Science and Education in Latvia and Europe: Education and Science for Climate Change Mitigation: Conference Proceedings, Latvia, Rīga, 23.-23. October, 2009. - pp 12-13.
11. Kamenders A., Žogla G., Blumberga A. Passive House Characteristics in Latvian Cold Climate // 13th International Passive House Conference 2009: Proceedings, Germany, Frankfurte, 17.-18. April, 2009. - pp 201-207.
12. Blumberga A., Kamenders A., Žogla G. Energy Consumption of Soviet Type Buildings in Daugavpils // Scientific Journal of RTU. 13. series., Vides un klimata tehnoloģijas. - 1. vol. (2008), pp 134-139.
13. Blumberga A., Kamenders A., Žogla G. Energy Performance of Renovated Soviet Time Apartment Building // Scientific Journal of RTU. 13. series., Vides un klimata tehnoloģijas. - 1. vol. (2008), pp 127-133.

14. Blumberga D., Romagnoli F., Žogla G. NEEAP Latvia. Question about Priorities // Energy Efficiency in Buildings. Conference Proceedings, Slovenia, Ljubljana, 3.-5. June, 2008. - pp 175-184.
15. Blumberga A., Jaunzems D., Kamenders A., Žogla G. The Role of Applied Games in Studies of Environmental Engineering in Riga Technical University // Starptautiska konference "Vides izglītības saturs augstskolā": Tēžu krājums, Latvia, Rīga, 9.-9. December, 2008. - pp 3-3.
16. Žandeckis A., Žogla G., Veidenbergs I. Determination of Boiler Balance and Efficiency in Ādažu Boiler House // 48. RTU Studentu zinātniskās un tehniskās konferences materiāli, Latvia, Rīga, 27.-28. April, 2007. - pp 110-110.

Monogrāfijas

1. Blumberga A., Blumberga D., Bažbauers G., Davidsen P., Moxnes E., Dzene I., Barisa A., Žogla G., Dāce E., Bērziņa A. System Dynamics for Environmental Engineering Students. - Rīga : Rīgas Tehniskās universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, 2011. - 351 p.
2. Blumberga A., Blumberga D., Bažbauers G., Davidsen P., Moxnes E., Dzene I., Barisa A., Žogla G., Dāce E., Bērziņa A. Systemdynamic for Environmental Engineering Students. - Madona : Madonas Poligrāfists, 2010. - 318 p.
3. Blumberga A., Blumberga D., Bažbauers G., Dāce E., Bērziņa A., Žogla G., Moxnes E., Davidsen P. Integration of System Thinking in Environmental Policy. - Rīga : Rīgas Tehniskās universitātes Siltuma sistēmu un vides aizsardzības institūts, 2010. - 225 p.
4. Blumberga D., Blumberga A., Žogla G. Handbook for implementation of energy efficiency measures : Ekodoma, 2008. - 97 p.

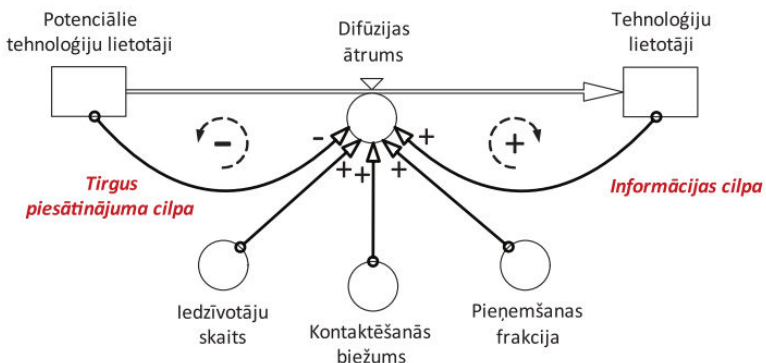
1. Sistēmdinamikas modelis ēku energoefektivitātes politikas instrumentu modelēšanai

Šajā nodaļā apskatīts Latvijas mājāsaimniecības sektors un tā energoefektivitāte. Ar sistēmdinamikas modelēšanas palīdzību izveidots modelis, kas analizē dažādu politikas instrumentu ietekmi uz ēku energoefektivitātes līmeņa izmaiņām veicot ēku renovāciju. Ar izveidotā modeļa palīdzību tiek analizēti esošie energoefektivitātes politikas instrumenti, kā arī tiek analizēti Latvijā līdz šim neizmantoti politikas instrumenti ēku energoefektivitātes paaugstināšanai.

Daudzdzīvokļu ēku siltināšanas process Latvijā līdz šim ir noticis ļoti lēni, un nav vērojamas būtiskas dinamiskas izmaiņas laikā, tāpēc problēmas identificēšanā tiek izmantota hipotētiskās problēmas uzvedības attēlošana. Modelim izvēlētais laika posms ir 70 gadi (no 2010. gada līdz 2080. gadam). Netiek apskatīts periods līdz 2010. gadam, jo izmaiņas daudzdzīvokļu ēku siltināšanas procesā ir bijušas nelielas. Tiek pieņemts, ka 70 gadi ir pietiekami ilgs periods, lai varētu novērtēt kavējumu un izmantoto politiku ietekmi.

Dinamiskās hipotēzes veidošana

Ēku siltināšanas process ir tehnoloģiju difūzija tirgū – tehnoloģijas tirgū izplatās pa S veida līkni: no sākuma tehnoloģija tiek pieņemta lēnām, tad seko eksponenciāls pieaugums un asimptotiska stabilitātes sasniegšana. Maksimums nekad reālajā dzīvē netiek sasniegts. Struktūra, kas rada S veida pieaugumu, ir pozitīvas un negatīvas atgriezeniskās saites kombinācija – abas cilpas cīnās par to, kura būs dominējošā, līdz cīņa beidzas ar ilgtermiņa līdzsvaru.



1.1.att. Vispārējais tehnoloģiju difūzijas modelis

1.1. attēlā parādīts vispārējais tehnoloģiju difūziju modelis, kuru veido divi krājumi – potenciālie tehnoloģijas lietotāji un pašreizējie tehnoloģijas lietotāji. Plūsma, kas regulē lietotāju skaita pieaugumu, ir difūzijas ātrums, kas atkarīgs no kopējā iedzīvotāju skaita, kontaktēšanās biežuma un pieņemšanas frakcijas. Potenciālie tehnoloģiju lietotāji kontaktējas ar tiem, kas jau ir ieviesuši tehnoloģiju. Kontaktēšanās biežums raksturo, cik reizes kontaktējas abu grupu pārstāvji. Daļa šo kontaktu ir rezultatīvi, un potenciālie lietotāji sāk lietot jauno tehnoloģiju, taču daļa to nedara. Pieņemšanas frakcija raksturo to, cik daudzi no tiem tehnoloģiju potenciālajiem lietotājiem, kas ir bijuši kontaktā ar tehnoloģiju lietotājiem, sāk lietot jauno tehnoloģiju. Pozitīvā cilpa ir informācijas izplatīšanās cilpa, bet negatīvā – tirgus piesātinājuma cilpa: no sākuma izplatās informācija par jauno tehnoloģiju, palielinot difūzijas ātrumu, bet tās darbību ierobežo negatīvā cilpa, kas sāk darboties brīdī, kad tirgus tuvojas piesātinājumam.

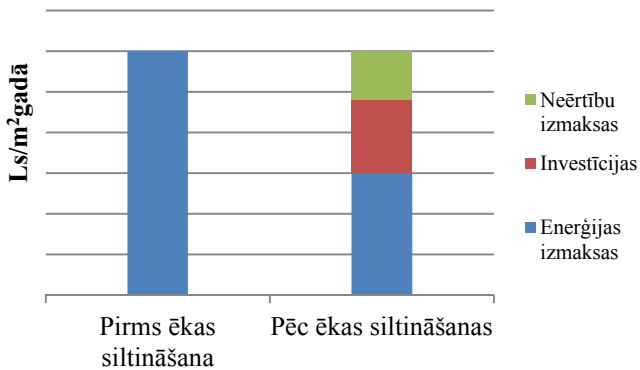
Galvenie mainīgie

Daudzdzīvokļu ēku siltināšanas procesa dinamiskās hipotēzes pamatā ir vispārējais difūzijas modelis, kas papildināts ar vairākām pozitīvajām cilpām.

Galvenie krājumi ir nesiltinātās ēkas (m^2) un siltinātās ēkas (m^2). Plūsma, kas savieno šos krājumus, ir siltināšanas temps. Tas ir atkarīgs no vairākiem parametriem.

- 1) Informētība – līdzīgi kā vispārējā difūzijas modelī, šis parametrs veido pozitīvo cilpu – pieaugot siltināto māju skaitam, pieaug siltināto un nesiltināto ēku iedzīvotāju kontaktēšanās biežums un to nesiltināto ēku iedzīvotāju skaits, kas pieņem un ievieš ideju par ēkas siltināšanu.
- 2) Neto ieguvumi – katra indivīda ieguvumi no ēkas siltināšanas, ko veido starpība starp enerģijas izmaksām pirms siltināšanas un enerģijas izmaksām pēc siltināšanas plus investīcijas ēkas siltināšanai. Šis parametrs veido otru pozitīvo cilpu – jo vairāk siltinātu ēku un jo zemākas siltināšanas izmaksas un augstāka siltināšanas darbu kvalitāte, jo vairāk ēku tiks siltinātas.
- 3) Neērtību izmaksas – realitātē maksimāli iespējamie neto ieguvumi bieži vien netiek sasniegti, jo pastāv daudzi faktori (barjeras), kas neto ieguvumus būtiski samazina, – enerģijas patēriņa samazinājums ir ievērojami zemāks nekā aprēķinātais, jo būvniecības darbu kvalitāte ir ļoti zema; faktiskās siltināšanas izmaksas pārsniedz tāmi; daudz laika jāpatērē, pārvarot administratīvās barjeras, kas saistītas ar ēkas siltināšanas procesu; daudz laika jāpatērē, lai pārliecinātu dzīvokļu īpašniekus vienoties par ēkas siltināšanu; jātērē laiks finansējuma meklēšanai utt. Jo vairāk ir šādu faktoru, jo lielākas ir neērtību izmaksas.

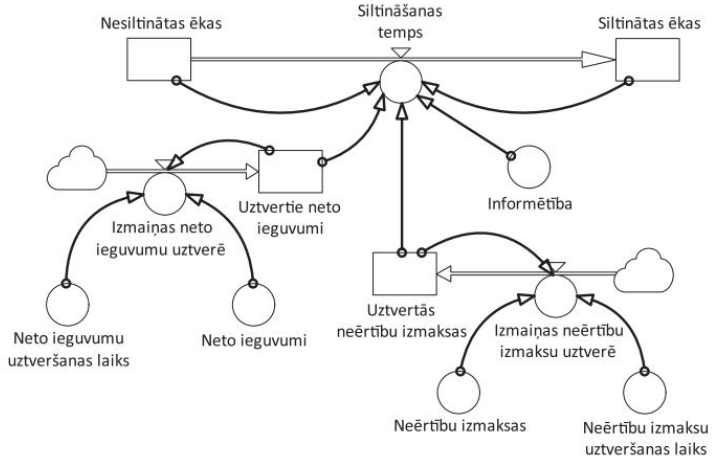
Neērtību izmaksas ir pastāvošo ēku siltināšanas barjeru izteikšana naudas izteiksmē, piemēram, lai pārvarētu neuzticēšanās barjeru – cik lielu summu vēlētos saņemt cilvēks, kas dzīvo nesiltinātā ēkā, lai viņš spētu vienoties ar kaimiņiem un pieņemtu lēmumu siltināt ēku. 1.2. attēlā parādītas enerģijas izmaksas pirms energoefektivitātes pasākumiem un izmaksas pēc energoefektivitātes pasākumiem, ko veido summa no enerģijas izmaksām pēc ēkas siltināšanas, investīcijām un neērtību izmaksām. Lai cilvēks izlemtu siltināt ēku, izmaksām pirms energoefektivitātes pasākumiem jābūt lielākām vai vienādām ar izmaksām pēc pasākumu ieviešanas. Ja izmaksas pēc pasākumu ieviešanas ir lielākas par izmaksām pirms tam, tad, visticamāk, ēka netiks siltināta.



1.2. att. Izmaksas pirms un pēc energoefektivitātes pasākumiem

Neto ieguvumi ir dinamisks lielums, jo tas ir atkarīgs no dažādiem laikā mainīgiem faktoriem: enerģijas tarifa, āra gaisa temperatūras, telpas temperatūras, siltināšanas izmaksām. Cilvēks nespēj momentāni uztvert neto ieguvumu izmaiņas – tam nepieciešams laiks. Tāpēc sistēmā tiek izveidots vēl viens krājums – uztvertie neto ieguvumi (informācija, kas tiek uzkrāta cilvēku prātā). Uztveres temps ir atkarīgs no uztveres laika. Šis laika posms, kas nepieciešams informācijas uztverei, apstrādei un rīcībai pēc informācijas saņemšanas, rada informācijas novēlojumu.

Līdzīgi kā neto ieguvumus, arī neērtību izmaksas cilvēks uztver, apstrādā un rīkojas, un šim procesam ir nepieciešams laiks, kas sistēmā rada informācijas novēlojumu, tāpēc ceturtais krājums ir uztvertās neērtību izmaksas.

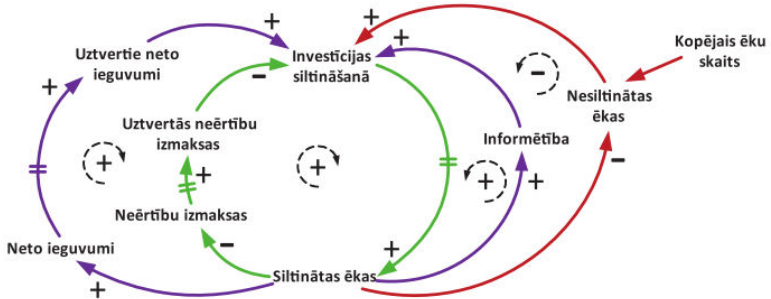


1.3. att. Hipotētiskā ēku siltināšanas sistēmas struktūra

1.3. attēlā parādīta hipotētiskā sistēmas struktūra: krājumi, plūsma, galvenie parametri un atgriezeniskās saites.

Cēloņseku diagramma

Hipotētiskā sistēmas struktūra, kas pārveidota cēlonisko cilpu diagrammā, redzama 1.4. attēlā, un tā ilustrē hipotētiskās sistēmas struktūras galvenās cilpas.



1.4. att. Ēku siltināšana – cēloņseku diagramma

Diagramma sastāv no trīs pozitīvām cilpām un vienas negatīvās cilpas. Svarīgākais lielums šajās cilpās ir siltināšanas temps – tas ir lēmums sākt siltināšanas procesu. Palielinoties siltināto ēku skaitam pozitīvajā cilpā P1 (neto ieguvumu cilpa), palielinās neto ieguvumi. Starp reālo situāciju un brīdi, kad to

uztver cilvēka prāts, paiet laiks, un bieži vien šis periods ir salīdzinoši ilgs, tāpēc rodas informācijas novēlojums. Modelī šis novēlojums ir attēlots saiknē starp neto ieguvumiem un uztvertajiem neto ieguvumiem. Šis novēlojums var ilgt pat vairākus gadus, un pastāv iespēja, ka daži cilvēki vispār ignorē šo informāciju. Palielinoties neto ieguvumiem, palielinās uztvertie neto ieguvumi, bet, palielinoties uztvertajiem neto ieguvumiem, palielinās siltināšanas temps. Palielinoties siltināšanas tempam, palielinās siltināto ēku skaits, bet tas notiek ar novēlojumu, jo paiet laiks, kamēr tiek veikti organizatoriskie un ēkas siltināšanas darbi (materiālu novēlojums). Daudzi šo cilpu ignorē, tāpēc process notiek ļoti lēni.

Palielinoties siltināto ēku skaitam pozitīvajā cilpā P2 (neērtību izmaksu cilpa), samazinās neērtību izmaksas. Starp reālo situāciju un brīdi, kad to uztver cilvēka prāts, paiet laiks, un bieži vien šis periods ir salīdzinoši ilgs, tāpēc rodas informācijas novēlojums. Modelī šis novēlojums ir attēlots saiknē starp neērtību izmaksām uztvertajām neērtību izmaksām. Šis novēlojums var ilgt pat vairākus gadus, un pastāv iespēja, ka daži cilvēki vispār ignorē šo informāciju. Samazinoties neērtību izmaksām, samazinās uztvertās neērtību izmaksas. Samazinoties neērtību izmaksām, palielinās siltināšanas temps. Palielinoties siltināšanas tempam, palielinās siltināto ēku skaits, bet tas notiek ar novēlojumu (materiālu novēlojums).

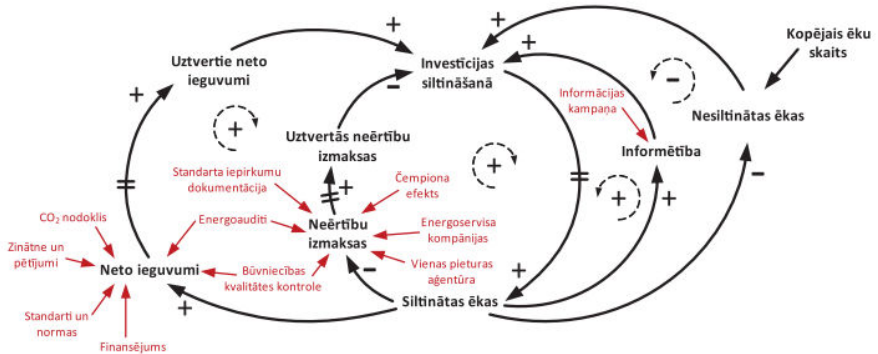
Palielinoties siltināto ēku skaitam pozitīvajā cilpā P3 („no mutēs mutē” jeb informācijas izplatīšanās cilpa), palielinās iedzīvotāju informētība. Palielinoties informētībai, palielinās siltināšanas temps. Palielinoties ēku siltināšanai, ar novēlojumu palielinās siltināto ēku skaits.

Visas trīs pozitīvās cilpas ar novēlojumu bremsē negatīvā cilpa N. Palielinoties siltināto ēku skaitam, samazinās nenosiltināto ēku skaits, tāpēc samazinās siltināšanas temps, jo vairs nav ēku, ko siltināt. Nenosiltināto

ēku skaitu ietekmē kopējais ēku skaits. Šī cilpa ieslēdzas ļoti vēlu – tā darbojas pašā difūzijas procesa noslēgumā.

Politiku veidošana un testēšana

1.5. attēlā redzamā cēlonisko cilpu diagramma ir tā pati 1.4. attēlā redzamā cēlonisko cilpu diagramma, kas papildināta ar dažādām politikām. Tās tiek izmantotas, lai mainītu trīs parametru vērtības: palielinātu neto ieguvumus, samazinātu neērtību izmaksas, palielinātu informētību un investīcijas siltināšanai.



1.5. att. Cēlonisko cilpu diagramma, papildināta ar politikām

Neto ieguvumus iespējams palielināt ar šādiem nosacījumiem.

- Ja tiek izveidoti enerģijas patēriņa standarti – esošo ēku siltināšanas gadījumā ar likumdošanu tiek noteikts minimālais īpatnējais enerģijas patēriņš (kWh/m^2 gadā) dažādiem ēku veidiem, piemēram, jaunbūvēm. Šis ir veids, kā panākt, lai enerģijas patēriņš tiek samazināts līdz noteiktam līmenim, – tas novērš iespēju, ka ēkas būvniecības vai siltināšanas gadījumā tiek izmantoti materiāli vai tehnoloģijas, kas dod tikai nelielu enerģijas patēriņa samazinājumu, tādējādi samazinot potenciālos neto ieguvumus.
- Ja tiek veikti kvalitatīvi energoauditi – energoaudits ir pirmais solis energoefektivitātes pasākumu ieviešanas ķēdē, un no tā kvalitātes ir atkarīgs viss turpmākais process. Nekvalitatīvi sagatavots energoaudits sniedz nepatiesu informāciju par teorētiski sasniedzamo enerģijas patēriņa samazinājumu un izmaksām, kas nepieciešamas, lai sasniegtu šo samazinājumu. Jo sliktākas kvalitātes energoaudits, jo mazāki neto ieguvumi. Tāpēc valstī nepieciešams izveidot sistēmu, kas nodrošina, ka energoaudītu veikšana tiek kontrolēta – valsts līmeņa institūcija uzrauga

- energoauditorus un viņu darbu, t.sk. soda tos, kas darbu veic nekvalitatīvi. Šāda sistēma daudzus gadus veiksmīgi funkcionē Somijā.
- Ja tiek atbalstīti zinātniskie pētījumi – šis ir viens no politikas instrumentiem, kura darbības rezultāti ir redzami ilgtermiņā. Jaunu tehnoloģiju un materiālu radīšana, kas ļautu samazināt enerģijas patēriņu vēl vairāk nekā pašreizējās tehnoloģijas, palielinātu neto ieguvumus. Šī instrumenta ieviešanai nepieciešama mērķtiecīga valsts programma zinātnes atbalstam.
 - Ja Tiek izveidota standarta iepirkuma dokumentācija un līgumi – viens no svarīgākajiem faktoriem, kas ietekmē neto ieguvumus, ir būvniecības kvalitāte. Tā ir tieši atkarīga no ēkas īpašnieka un būvniecības uzņēmuma savstarpējām juridiskajām attiecībām, kuru pamatā ir ēkas īpašnieka prasības par sasniedzamo enerģijas patēriņa samazinājumu un siltināšanas darbu kvalitāti. Ja tās nav iekļautas iepirkuma dokumentācijā, pastāv liela varbūtība, ka neto ieguvumi būs daudz zemāki, nekā plānots. Lai novērstu šo barjeru, valstī nepieciešams izstrādāt standarta iepirkuma un līgumu dokumentāciju, kas pieejama ikvienam ēkas īpašniekam.
 - Ja tiek veikta kvalitatīva būvuzraudzība – Latvijā siltināto ēku pieredze rāda, ka zemās būvniecības kvalitātes dēļ nav iespējams sasniegt plānotos ietaupījumus un neto ieguvumi ir zemāki nekā teorētiski iespējamie. Tas liecina, ka siltināšanas procesā vai nu nav izmantoti būvuzraugu pakalpojumi, vai arī tie ir bijuši zemas kvalitātes. Šīs barjeras novēršanai nepieciešams izveidot sistēmu, kas nodrošinātu, lai būvuzraugu darbs tiek kontrolēts – valsts līmeņa institūcija uzrauga būvuzraugu darbu, t. sk. soda tos, kas darbu veic nekvalitatīvi.
 - Ja tiek ieviestas subsīdijas – šis ir politikas instruments, kas tieši ietekmē neto ieguvumus: jo lielākas subsīdijas, jo lielāki neto ieguvumi.
 - Ja tiek palielināts tarifs – tarifs tiek palielināts, ieviešot CO₂ nodokli: jo lielāks nodoklis, jo vairāk iespējams ietaupīt pēc ēkas siltināšanas un neto ieguvumi ir augstāki.

Samazinot neērtību izmaksas, tiek samazinātas ēku siltināšanas procesa barjeras, kas saistītas ar cilvēku neuzticēšanos, kuri balstās uz nepareizu vai neesošu informāciju. Barjeras var samazināt 6 veidos.

- Veicot kvalitatīvus energoauditus – ēkas īpašniekiem, kuri lielākajā daļā gadījumu nav speciālisti energoefektivitātes jomā, nepieciešama objektīva informācija par to, kādi pasākumi veicami un kādas varētu būt plānotās izmaksas un enerģijas ietaupījumi, tāpēc nepieciešams energoaudits, kas sniedz šo informāciju. Lai tā būtu ticama, energoauditam jābūt kvalitatīvam, tāpēc valstī nepieciešams izveidot sistēmu, kas nodrošina, ka energoauditā veikšana tiek kontrolēta – valsts

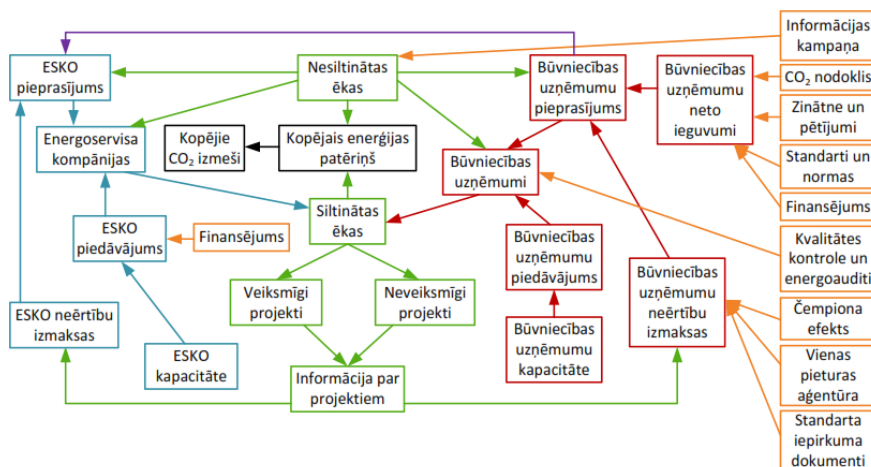
- līmeņa institūcija uzrauga energoauditorus un viņu darbu, t. sk. soda tos, kas darbu veic nekvalitatīvi. Tas samazinās neērtību izmaksas.
- Palielinot būvniecības projektu kvalitātes kontroli – viena no galvenajām siltināšanas projektu ieviešanas barjerām ir zemā būvniecības kvalitāte un ar to saistītie riski – ēku īpašnieki baidās sākt siltināšanu, jo pastāv liels risks, ka būvdarbi būs nekvalitatīvi, tāpēc nebūs iespējams samazināt enerģijas patēriņu, kā plānots. Tas, savukārt, izmainīs nākotnes naudas plūsmu un ietekmēs aizdevuma atdošanas plānus. Jo augstāks ir šis risks, jo augstākas ir neērtību izmaksas. Tāpēc jāveic valsts līmeņa pasākumi, kas šo risku samazinātu, piemēram, jāuzlabo būvuzraudzība, izveidojot tādu institucionālo un likumdošanas bāzi, kas spētu veiksmīgi atrisināt šo problēmu.
 - Paaugstinot informētības līmeni – palielinoties informētības līmenim, samazinās neērtību izmaksas, jo ar informācijas palīdzību tiek izskaidrots ēku siltināšanas process, tā ieguvumi, riski un cita informācija, kas nepieciešama, lai ēkas īpašnieks spētu izlemt siltināt ēku.
 - Izveidojot vienas pieturas aģentūras – viena no barjerām, kas palielina neērtību izmaksas, ir saistīta ar birokrātijas šķēršļu pārvarēšanu siltināšanas procesa gaitā, t. sk. projekta dokumentācijas saskaņošana pašvaldībās. Šī šķēršļa novēršanai pašvaldībās var izveidot vienas pieturas aģentūras, kas būtu vienīgais saskares punkts ar pašvaldības pārstāvjiem.
 - Izmantojot „čempiona efektu” – sabiedrībā populārs un ietekmīgs cilvēks izsaka pozitīvu viedokli par problēmas risinājumu un visi tam seko – tas momentāni samazinās neērtību izmaksas.
 - Izmantojot energoservisa kompāniju (ESKO) pakalpojumus – ESKO slēdz līgumu uz noteiktu periodu, investē savus līdzekļus un tos atpelna no ietaupītās enerģijas izmaksām. Ietaupījumi neērtību izmaksas samazinās līdz nullei, jo tie novērš visas minētās barjeras. ESKO izmantošanas gadījumā neto ieguvumi ir nulle.

Viens no šķēršļiem ēku siltināšanas procesā ir pieejamais investīciju apjoms. To var palielināt, veicot pasākumus, kas piesaista vai novirza finansējumu ēku siltināšanai.

Modeļa struktūras principiālā shēma

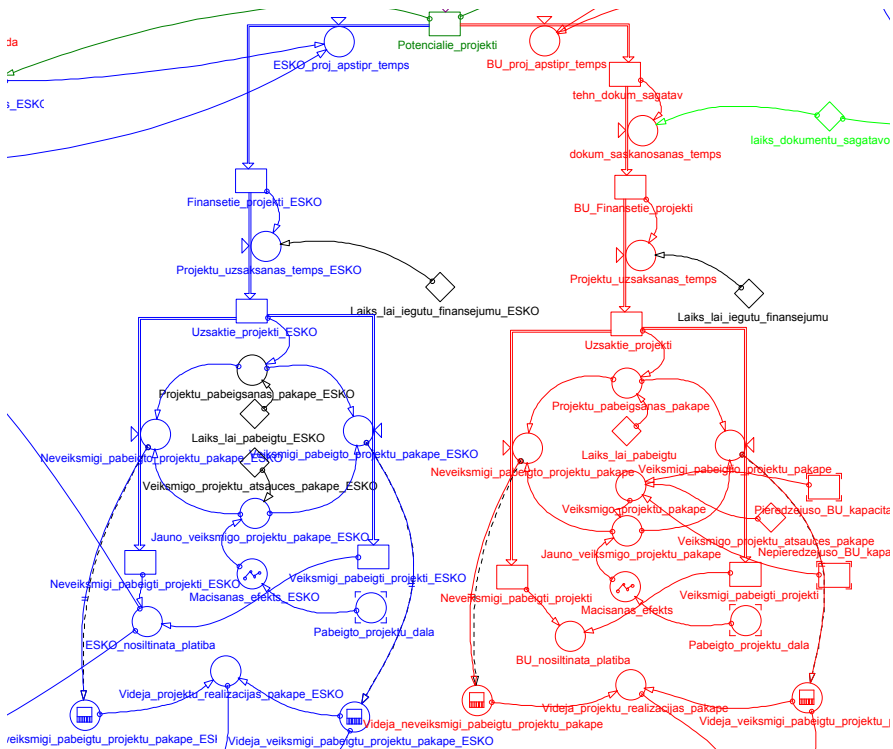
Politikas instrumentu iekļaušanai modelī tiek izmantotas dažādas spēka pielikšanas punktu metodes – mainot konstanšu un parametru vērtības, materiālu krājumu un plūsmu struktūru, sistēmas noteikumus, informācijas plūsmas struktūru un stiprinot pozitīvās cilpas. Tāpēc sākotnējā modeļa struktūra ir mainīta, un tās

principiālā shēma redzama 1.6. attēlā. Nesiltināto ēku krājums lēmumu pieņemšanas procesā sadalās divās grupās – ēkas, kuras siltina energoservisa kompānijas un ēkas, kuras siltina būvniecības uzņēmumi. Ne visas ēkas, kas ir nosiltinātas, ir veiksmīgi projekti, un informācija par tām, kā arī par veiksmīgajiem projektiem nonāk tirgū, kur to saņem to ēku īpašnieki, kuri nav siltinājuši savas ēkas. Šī informācija ietekmē neērtību izmaksu vērtību – jo vairāk neveiksmīgu projektu, jo augstākas ir neērtību izmaksas un mazāk ēku tiks siltinātas. Gan energoservisa kompāniju, gan būvniecības uzņēmumu gadījumā siltināšanas ātrums ir atkarīgs no pieprasījuma un piedāvājuma, taču atšķiras faktori, kas tos ietekmē. Būvniecības uzņēmumu piedāvājums ir atkarīgs no uzņēmumu kapacitātes, bet piedāvājums – no energoservisa kompāniju darbības, informācijas, neto ieguvumiem, neērtību izmaksām. Neto ieguvumu apjomu var izmainīt, veicot tarifa izmaiņas, ieviešot CO₂ nodokli, finansējot zinātni un pētījumus, paaugstinot standartu un normu prasības, saņemot finansējumu vai subsīdijas, bet neērtību izmaksas var samazināt ar vienas pieturas aģentūras ieviešanu, „čempiona efektu” un standarta iepirkuma dokumentācijas pieejamību. Informācija par neveiksmīgiem siltināšanas projektiem nonāk pie kvalitātes kontroles institūcijām, un tās veic darbības, kas uzlabo būvniecības uzņēmumu darbību, pastarpināti palielinot neto ieguvumus un samazinot neērtību izmaksas. Energoservisa kompāniju gadījumā piedāvājums ir atkarīgs no uzņēmumu kapacitātes un pieejamā finansējuma, bet pieprasījums – no būvniecības uzņēmumu darbības un neērtību izmaksām. Lai uzsāktu un veicinātu siltināšanas procesu, var izmantot informācijas kampaņas.



1.6. att. Izmainītās sākotnējās modeļa struktūras principiālā shēma

Sistēmdinamikas modelis tika izveidots datorprogrammas Powersim vidē. Viens no modeļa apakšmodeļiem (siltināšanas difūzijas apakšmodelis) redzams 1.7.attēlā.



1.7.att. Siltināšanas difūzijas apakšmodeļa shēma

Siltināšanas difūzijas apakšmodeļa shēmā redzama ēku plūsma no nesiltinātām ēkām uz siltinātām ēkām. Ēku siltināšanu veic vai nu būvniecības uzņēmumi vai ESKO (energoservisa kompānijas). Pārējie sistēmdinamikas modeļa apakšmodeļi, kopējais modelis un matemātiskās sakarības starp dažādiem parametriem un plūsmām aprakstīti promocijas darbā.

Rezultāti

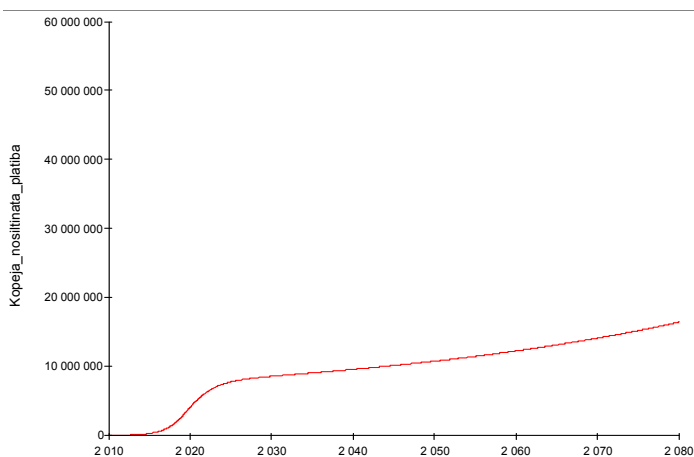
Ēku energoefektivitātes paaugstināšanas sistēmdinamikas modeļa mērķi ir:

- simulēt LR Pirmajā energoefektivitātes rīcības plānā aprakstīto politikas pasākumu rezultātu un noteikt, vai plānā nospraustie mērķi ir sasniedzami;
- analizēt LR Pirmajā energoefektivitātes rīcības plānā neiekļauto politiku ietekmi uz ēku siltināšanas procesa norisi.

Pašreizējās energoefektivitātes politikas analīze

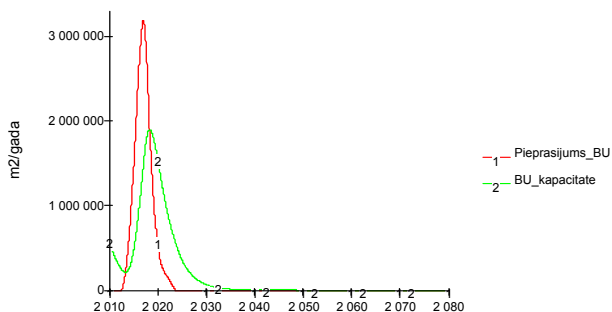
Pašreizējās politikas galvenie instrumenti ir ES līdzfinansējuma piesaistīšana ēku energoefektivitātes paaugstināšanai, energoaudita veikšana ēkās un ēku energosertificēšana, enerģijas patērētāju informēšana, kā arī tiesību aktu izstrāde energoefektivitātes paaugstināšanai ēkās saskaņā ar Direktīvas 2002/91/EC par ēku energoefektivitāti un Energoefektivitātes likuma prasībām.

2010. gadā Latvijas valdība ir apstiprinājusi, ka pieejamais ES struktūrfondu apjoms daudzdzīvokļu ēku siltināšanai ir aptuveni 44 miljoni latu. Pašreizējās politikas izvērtēšanā pārējie instrumenti netiek ņemti vērā, jo to atsevišķais efekts rīcības plānā nav analizēts, tāpēc ka sagaidāmais enerģijas ietaupījums pēc informatīvo pasākumu un normatīvo dokumentu izstrādāšanas tiek noteikts nozarei kopumā. Ietaupījums tiek aprēķināts, balstoties uz kampaņā iesaistīto dalībnieku skaitu un realizēto aktivitāšu ietekmes daļas novērtēšanu sektorā, to salīdzinot ar bāzes scenāriju, kurā nav veikti šie pasākumi. Ievadot modeli pašreizējās situācijas ievadvērtības, tika iegūts rezultāts, kas redzams 1.8. attēlā. Izmantojot energoefektivitātes politikas instrumentus, paredzams ievērojams ēku siltināšanas tempa pieaugums ap 2014.gadu. Ap 2022.gadu ēku siltināšanas temps sarūk, jo ir izsmelts pieejamais līdzfinansējums ēku siltināšanai, un turpinās lēns ēku siltināšanas process, kā rezultātā līdz 2080.gadam tiek nosiltinātas ēkas ar kopējo apkurināmo platību 16,5 miljoni m².



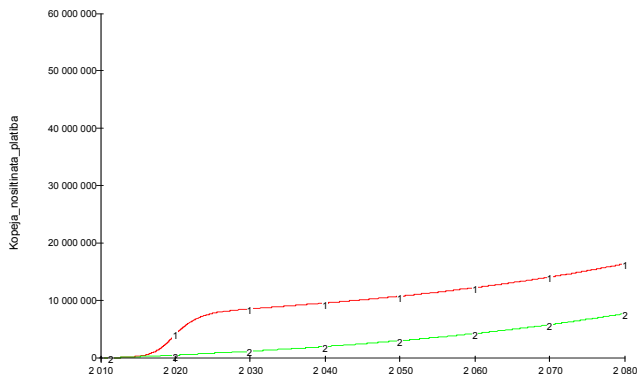
1.8. att. Pašreizējās energoefektivitātes politikas rezultātā sagaidāmais ēku siltināšanas temps

Lai sīkāk analizētu energoefektivitātes politikas ietekmi uz ēku siltināšanas procesu, apskatīti tie parametri, kas tieši ietekmē nosiltinātās platības izmaiņas. Modelī tie ir pieprasījums pēc ēku siltināšanas un piedāvājums ēku siltināšanai jeb būvniecības uzņēmumu kapacitāte. 1.9. attēlā parādītas ēku siltināšanas pieprasījuma un piedāvājuma izmaiņas, ja tiek izmantoti LR Pirmajā energoefektivitātes rīcības plānā minētie politikas instrumenti. Tajā redzams, ka pieprasījums pēc ēku siltināšanas pirmos piecus gadus strauji aug un pēc tam sarūk. Šāds liels ēku siltināšanas pieprasījums skaidrojams ar ēku siltināšanai pieejamo līdzfinansējumu. Latvijā ēku siltināšanas līdzfinansējums ir pieejams kopš 2009. gada, tāpēc, apskatot Latvijas Investīciju un attīstības aģentūrā iesniegto projektu pieteikumu skaitu līdzfinansējuma saņemšanai, redzams, ka reālā pieteikumu skaita pieauguma tendence ir līdzīga modeļa prognozētajam rezultātam – sākotnēji pieteikumu skaits ir mazāks un pakāpeniski palielinās, lai arī nekādas būtiskas izmaiņas līdzfinansējuma saņemšanas noteikumos nav veiktas. Būvniecības uzņēmumu kapacitāte jeb ēku siltināšanas piedāvājums nespēj sekot lielajam pieprasījumam novēlojuma dēļ un tikai pēc astoņiem gadiem panāk pieprasījumu. Pieprasījuma kritums saistāms ar pieejamā līdzfinansējumu beigšanos un nosiltinātās ēku platības pieaugumu.



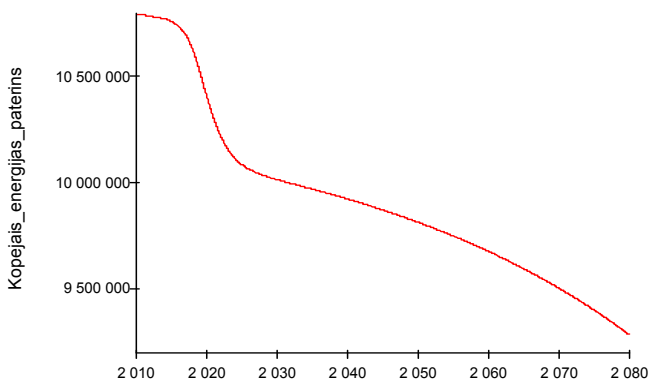
1.9. att. Ēku siltināšanas pieprasījuma un piedāvājuma izmaiņas ar pašreizējo energoefektivitātes politiku

Lai varētu novērtēt pieejamā ēku energoefektivitātes paaugstināšanas līdzfinansējuma ietekmi uz ēku siltināšanas ātrumu, tika modelēts gadījums, kad ES finansējums nav pieejams. Šīs analīzes rezultāti parādīti 1.10. attēlā. Tajā redzams, ka bez līdzfinansējuma (2. grafiks) ēku siltināšanas process notiek ar nemainīgu ātrumu, jo ēku siltināšana netiek stimulēta. 1.10. attēlā redzams, ka pēc ES struktūrfondu līdzfinansējuma iztērēšanas (1. grafiks) ēku siltināšanas process notiek ar tādu pašu tempu kā gadījumā, ja ēku siltināšanai nebūtu bijis piešķirts ES struktūrfondu līdzfinansējums (2. grafiks).



1.10. att. Ēku siltināšanas ātrums ar ES struktūrfondu līdzfinansējumu (1. grafiks) un bez tā (2. grafiks)

LR Pirmajā energoefektivitātes rīcības plānā noteiktais mērķis ir mājokļu sektora enerģijas patēriņa samazināšana par 2701 GWh līdz 2016. gadam. Ar modeli iegūtais siltumenerģijas patēriņš, izmantojot energoefektivitātes rīcības plānā noteiktās energoefektivitātes politikas, parādīts 1.11. attēlā. Tajā redzams, ka 2010. gadā visu ēku apkures siltumenerģijas patēriņš ir 10,800 TWh gadā, bet, izmantojot rīcības plānā minētos politikas instrumentus, siltumenerģijas patēriņš 2016.gadā būs 10,745 TWh gadā. Tas nozīmē, ka šajā periodā ir iespējams ietaupīt tikai 55 GWh, kas ir 2% no plānotā ietaupījuma. Nepieciešamo patēriņa samazinājumu, izmantojot šīs politikas, nevarētu sasniegt pat līdz 2080. gadam. Tas pierāda, ka šie nav vienīgie politikas instrumenti, kas izmantojami energoefektivitātes politikā Latvijā, lai sasniegtu plānotos mērķus.



1.11. att. Siltumenerģijas patēriņa izmaiņas (MWh gadā)

Iespējamo energoefektivitātes politiku analīze

Lai noteiktu dažādu energoefektivitātes politiku ietekmi uz ēku siltināšanas un enerģijas patēriņa samazinājuma tempu, izveidotā modeļa apakšmodeļos tiek mainītas faktoru ievadvērtības, pastiprinot vai pavājinot konkrētu energoefektivitātes politiku. Visas energoefektivitātes politikas papildina energoefektivitātes politiku, kas piedāvāta LR Pirmajā energoefektivitātes rīcības plānā.

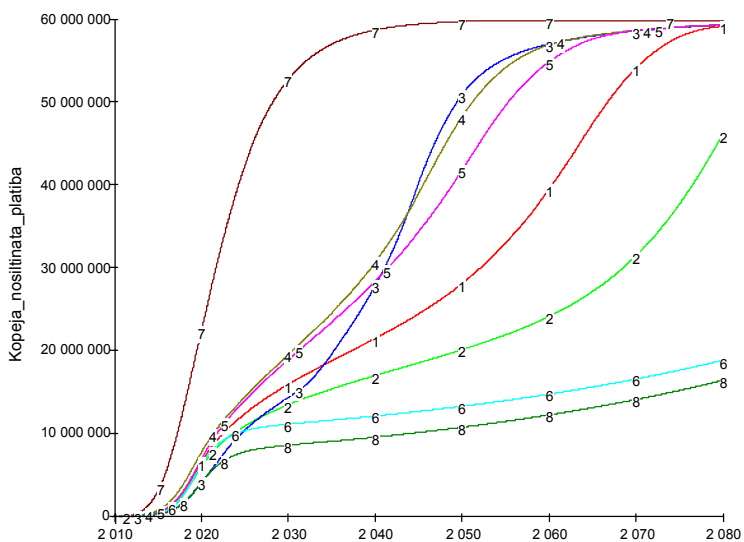
2010. gadā visu ēku siltumenerģijas patēriņš ir 10,800 TWh gadā, bet, vienlaikus izmantojot visus minētos politikas instrumentus, siltumenerģijas patēriņš būs 10,217 TWh gadā. Tas nozīmē, ka līdz 2016. gadam ir iespējams ietaupīt tikai 583 GWh, kas ir 21,6% no plānotā ietaupījuma. Nepieciešamo patēriņa samazinājumu, izmantojot šīs politikas, varētu sasniegt tikai ap 2019. gadu. Tas pierāda, ka šie nav vienīgie politikas instrumenti, kurus vajag izmantot energoefektivitātes politikā Latvijā, lai sasniegtu plānotos mērķus. 1.1. tabulā parādīta katras atsevišķās energoefektivitātes politikas ietekme uz enerģijas patēriņu ēkās 2016. gadā un LR Pirmā energoefektivitātes rīcības plāna izpildi.

1.1. tabula

Katras energoefektivitātes politikas ietekme uz ēkām līdz 2016. gadam

Nr. p. k.	Energoefektivitātes politika	Visu ēku enerģijas patēriņš 2016. gadā, GWh	Enerģijas ietaupījums līdz 2016. gadam, GWh gadā	Pirmā energoefektivitātes rīcības plāna izpilde, %
1.	Vienas pieturas aģentūras izveide	10710	90,0	3,3%
2.	CO ₂ nodokļa ieviešana	10713	86,9	3,2%
3.	Minimālo energoefektivitātes prasību paaugstināšana	10745	55,1	2,0%
4.	Zinātnes un pētījumu atbalsta pieaugums	10648	152,0	5,6%
5.	Standarta iepirkuma dokumentācijas un līgumu izveide	10706	93,3	3,5%
6.	Mērķtiecīgas informācijas kampaņas ieviešana	10732	68,1	2,5%
7.	Visas energoefektivitātes politikas vienlaikus	10217	582,5	21,6%
8.	Tikai ES struktūrfondu līdzfinansējums	10745	55,1	2,0%

1.12. attēlā parādītas visas energoefektivitātes politikas un to ietekme uz ēku nosiltināto platību.



1.12.att. Visas energoefektivitātes politikas (grafiku numerācija saskaņā ar 1.1.tabulu)

Attēlā redzama nosiltināto ēku platība un tās izmaiņas pa gadiem. Praktiski visiem politikas instrumentiem nepieciešams laiks, lai tiktu aktīvi uzsākts ēku siltināšanas process.

Modeļa validācija

Tā kā ēku renovācijas process Latvijā ir uzsākts samērā nesen, tad modeļa validāciju ar vēsturiskiem datiem ir sarežģīti veikt. Izveidotais sistēmdinamikas modelis tika validēts, izmantojot pieejamos ēku renovācijas datus no Latvijas investīciju un attīstības aģentūras, kuras pārraudzībā ir Eiropas līdzfinansējums mājsaimniecību renovācijai.

Iegūtie modeļa validācijas dati parāda to, ka izveidotais sistēmdinamikas modelis darbojas adekvāti un modelēšanas rezultāti ir izmantojami energoefektivitātes politikas instrumentu modelēšanai.

2. Ūdens siena ēku enerģijas patēriņa samazināšanai

Lai veicinātu gandrīz nulles enerģijas ēku attīstību, nepieciešams izstrādāt jaunus tehnoloģiskos risinājumus ēku enerģijas patēriņa maksimālai samazināšanai. Šajā nodaļā aprakstīts inovatīvs tehnoloģiskais risinājums, ar kura palīdzību iespējams ievērojami samazināt ēku enerģijas siltuma vadīšanas zudumus caur ēkas norobežojošajām konstrukcijām aukstā klimatā. Inovatīvais tehnoloģiskais risinājums ietver ūdens fāzu pārejas latentā siltuma izmantošanu un zaudētās enerģijas reģenerēšanu izmantojot zema potenciāla siltumenerģijas avotu (piemēram, grunts siltumu).

Piedāvātā tehnoloģiska risinājuma apraksts

Šajā nodaļā tiek aprakstīts piedāvātais tehnoloģiskais risinājums, kura mērķis ir samazināt siltumenerģijas un aukstumenerģijas patēriņu ēkā. Nodaļā tiek aprakstīti modeļa darbības principi un darbības laikā notiekošie procesi. Tiek definēti pieņēmumi, kuri jāievēro veicot siltumenerģijas patēriņu samazinošā tehnoloģiskajā risinājumā notiekošo procesu aprēķināšanu.

Tiek piedāvāts uz ēkas norobežojošo konstrukciju ārējās virsmas ierīkot cirkulējoša ūdens slāni, kura mērķis ir samazināt siltuma zudumus caur ēkas ārējām norobežojošajām konstrukcijām. Neskatoties uz to, ka ārā gaisa temperatūra ir mainīga un ziemas apstākļos Latvijā tā var noslīdēt līdz pat $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatūra uz ārējās sienas paliktu nemainīga, kas notiek pateicoties tam, ka ūdens sasalšana notiek pie $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ūdens sasalšanas laikā tiek izdalīts liels enerģijas daudzums (latentā enerģija), ar kuru iespējams samazināt siltuma vadīšanas zudumus no ēkas norobežojošajām konstrukcijām.

Tehnoloģiskā risinājuma darbības princips

Latvijā ziemas apstākļos mēdz būt ļoti krasas āra gaisa temperatūras svārstības, kuras ietekmē siltuma zudumus caur ēkas ārsienām. Siltumpāreju caur ēkas ārsienām ietekmē ēkas sienas termiskā pretestība un temperatūras starpība starp āra gaisu un telpas gaisu. Jo augstāka ēkas sienu termiskā pretestība, jo zemāki siltuma zudumi. Jo zemāka temperatūras starpība starp abām vidēm, jo mazāki siltuma zudumi. Tā kā Latvijas apstākļos temperatūras starpība starp iekštelpas un āra gaisa temperatūrām var sasniegt pat $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, tad, lai nodrošinātu augstu termisko pretestību un zemus siltuma zudumus, nāktos projektā paredzēt ārsienas ar lielu sienas biezumu.

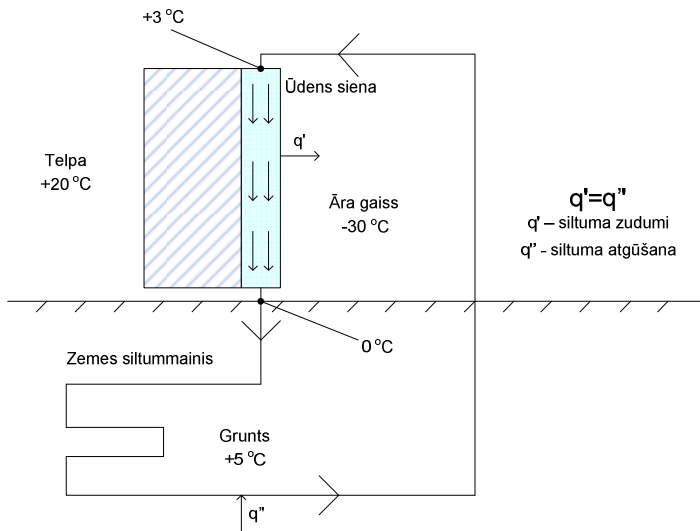
Šajā darbā tiek piedāvāts sienā ievietot siltuma avotu. Šī siltuma avota funkcijas būtu nodrošināt konstantu temperatūru uz ēkas sienas ārējās virsmas neatkarīgi no ārējās temperatūras izmaiņām. Sistēmas galvenās komponentes ir zemes kontūrs un uz ēkas norobežojošās konstrukcijas ārējās virsmas esošs ūdens

slānis. Ziemas apstākļos, kad novērojamas viszemākās ārējās temperatūras, ūdens slānis neļauj ārsienas temperatūrai noslīdēt zemākā kā 0°C . Tas tiek panākts ūdenim plūstot gar sienu un atdodot tajā uzkrāto latentu siltumenerģiju. Tiek pieņemts, ka tiks izmantota daļa no ūdens latentās enerģijas pārejot no šķidrās fāzes uz cieto fāzi. Sagaidāmais rezultāts ir tāds, ka sākotnējā laika momentā τ_0 ar sākotnējo temperatūru t_0 , kas ir lielāka par ūdens kristalizācijas temperatūru $t_{kr} = 0^{\circ}\text{C}$, ūdens sāk plūst no ārsienas augšējās malas uz leju. Kādā konkrētā laika brīdī τ ūdens ir atdzisis līdz kristalizācijas temperatūrai t_{kr} un sākas latentās enerģijas atbrīvošana nemainīgā temperatūrā. Vēl pēc kāda laika ūdens sasniedz sienas apakšējo robežu un ir atdevis daļu no fāzu pārejas latentās enerģijas. Šajā punktā sagaidāms, ka gar sienu tecēs nevis tīrs ūdens, bet gan ūdens - ledus maisījums, kur ūdens un ledus masu attiecība ir tāda pati, kā atdotās latentās enerģijas daļa. Piemēram, ja gar sienu tek 1 kg ūdens, kurš atdod 20% no sava latentā siltuma, tad sagaidāms, ka tiek iegūts maisījums, kurš veidots no 800 g ūdens un 200 g ledus. Izstrādātajā aprēķina modelī ūdens cietās – šķidrās fāzu pārejas izmantotās latentās enerģijas daudzums tiek iekļauts kā viens no mainīgajiem lielumiem.

Pēc tam, kad ūdens ir atdevis sienai savu fizisko siltumu un daļu no latentā siltuma, tas ieplūst zemes kontūrā, kur tas pilnībā atgūst to enerģijas daudzumu, kas tika zaudēts ūdenim plūstot gar sienu.

Sistēmas struktūra

Visa kopējā sistēma sastāv no divām atsevišķām sistēmām. Viena ir tā, kas atrodas uz ēkas ārējās fasādes, tā turpmāk tiks dēvēta par ūdens slāni jeb ūdens sienu un otra ir tā, kas nodrošina siltuma atgūvi caur zemes siltummaini, tā savukārt tiks dēvēta par zemes kontūru. Šīs nav vienīgās sistēmas, kuras nodrošinās visas kopējās sistēmas darbību. Pa vidu šīm sistēmām atrodas sistēma, kura nodrošina siltumnesēja cirkulāciju kontūrā un uz sienas. Šajā sistēmā tiek iekļautas tādas komponentes kā cirkulācijas sūknis un izplešanās trauks. Izplešanās trauks nepieciešams, lai kompensētu tilpuma pieaugumu, kas radies ūdenim daļēji pārejot no šķidrās fāzes cietajā. Galvenā sistēma, kura ietekmē pārējo sistēmu darbību, ir tā, kura atrodas uz ēkas ārējās fasādes. Shematiski to varētu parādīt attēlā 2.1.



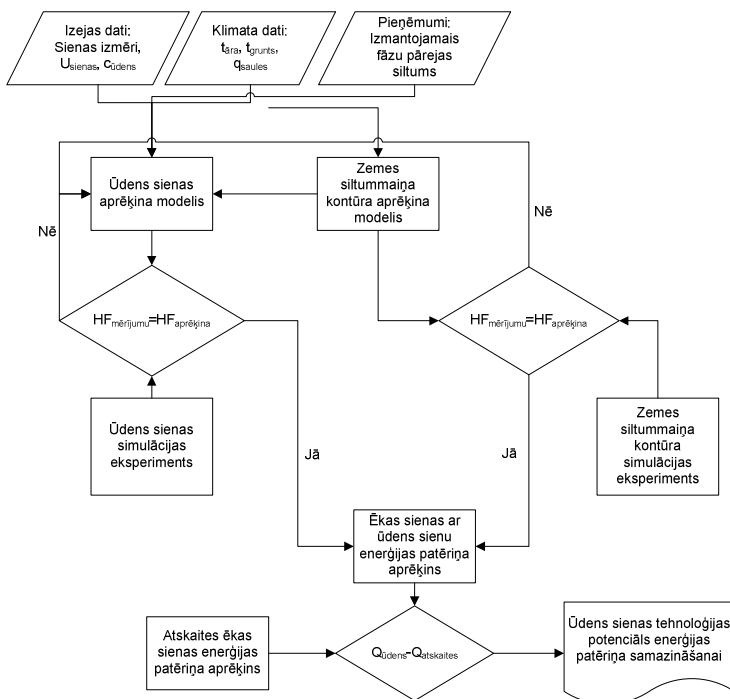
2.1.att. Sistēmas struktūra

No tā, kādi ir zudumi caur āršieni ir atkarīga cirkulācijas sistēmas darbība. Jo lielāki zudumi, jo straujāk nepieciešams cirkulēt siltumnesēju caur sistēmas komponentēm, lai nepieļautu siltumnesēja aizsalšanu un nodrošinātu efektīvu siltumenerģijas atgūvi.

Sistēmas darbība vasarā sagaidāma nedaudz citādāka. Siltumnesējs kalpo nevis kā siltuma avots, bet gan kā siltuma novadītājs. No sienas akumulētais siltums caur zemes siltummaini tiek novadīts zemē, tādējādi siltumnesējs tiek atdziestīts un sagatavots padošanai uz sienu. Siltumnesēju iespējams atdziestīt līdz aptuveni 8°C .

Izvirzītā mērķa sasniegšanas algoritms

Lai izstrādātu jaunu ūdens fāzu pārejas latentu siltumu izmantojošu tehnoloģisko risinājumu ēku siltumenerģijas zudumu samazināšanai, tika izstrādāts mērķa sasniegšanai veicamo darbību algoritms.



2.2.attēls. Inovatīvā tehnoloģiskā risinājuma – ūdens sienas sistēmas – izstrādes algoritms

Lai noskaidrotu ūdens sienas tehnoloģijas potenciālu enerģijas patēriņa samazināšanai, tika izveidoti divi ūdens sienas sistēmas aprēķinu modeļi:

1. Ūdens sienas aprēķina modelis – siltuma vadīšanas zudumu samazināšanai;
2. Zemes siltummaiņa kontūra modelis – zaudētā siltuma atgūšanai.

Abu aprēķina modeļu darbības validācijai tika veikti mērījumi, ar kuru palīdzību iespējams precizēt abu aprēķina modeļu darbību. Modeļa darbība tiek validēta, ja aprēķina modeļa siltuma plūsmas ($HF_{aprēķina}$) norobežojošajā konstrukcijā sakrīt ar siltuma plūsmām mērījumos ($HF_{mērījumu}$).

Pēc aprēķinu modeļu validācijas, kas veikta izmantojot mērījumu datus, tika izveidots divu sienu (ar ūdens sienas sistēmu un bez šīs sistēmas) dinamiskais aprēķina modelis, ar kura palīdzību tika noskaidrots jaunās ūdens sienas tehnoloģijas potenciāls enerģijas zudumu un patēriņa samazināšanai.

Energijas patēriņa modeļa izstrāde

Pēc ūdens sienas aprēķinu modeļa izstrādes un šī modeļa darbības validēšanas ar eksperimentālajiem rezultātiem tika veikta enerģijas patēriņa modeļa izstrāde, kas parāda jaunā ūdens fāzu pārejas latentā siltuma izmantojošā tehnoloģiskā risinājumu enerģijas patēriņa samazināšanas potenciālu.

Enerģijas patēriņa modelis tika izveidots 4x8 metru lielam sienas laukumam. Šādi sienas izmēri izvēlēti, jo šāds laukums var būt viengimeņes ēkas sienai.

Analizējot ziemas perioda aprēķina modeli, tika nolemts izvēlēties tādas darbības režīmus, kuru darbināšanai nepieciešams zemāks cirkulācijas sūkņa noslogojums. Savukārt vasaras periodā tika meklēts atbilstošākais darbības režīms izvērtējot cirkulācijas sūkņa darbību un temperatūras svārstību amplitūdu uz ārējās sienas. 2.1. tabulā apkopoti izvēlētie sistēmas darbības režīmi pie dažādām ārējās temperatūrām.

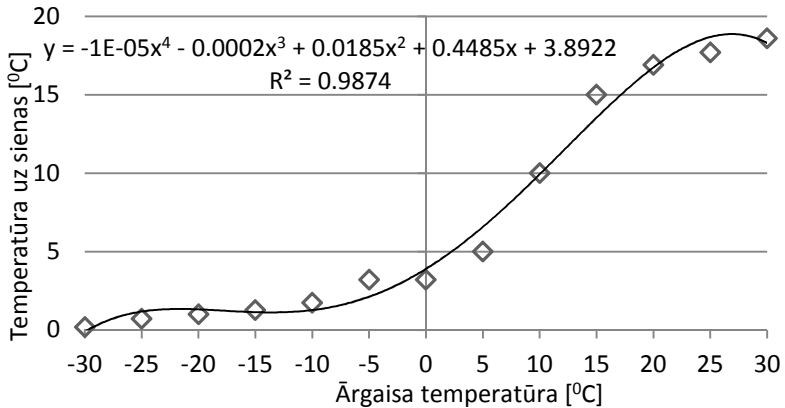
2.1. tabula

Sistēmas darbības parametri pie dažādām ārējās temperatūrām

$t_{\text{ārā}} [^{\circ}\text{C}]$	$t_{\text{ūdens siena}} [^{\circ}\text{C}]$	x	$t_{\text{turp}} [^{\circ}\text{C}]$	$t_{\text{atg}} [^{\circ}\text{C}]$	$t_{\text{gr}} [^{\circ}\text{C}]$	m [kg/s]
-30	0,19	0,3	0	3,3	6,5	0,04
-25	0,72	0,2	0	5,9	6,5	0,04
-20	1,00	0,15	0	6,4	6,5	0,04
-15	1,27	0,1	0	6,4	6,5	0,04
-10	1,75	0,05	0	6,4	6,5	0,04
-5	3,2	0	0	6,4	6,5	0,04
0	3,2	0	0	6,4	6,5	0,02
20	16,9	0	19	14,8	7	0,39
25	17,7	0	22	13,5	7	0,21
30	18,6	0	27	10,2	7	0,11

Tabulā redzams, ka ziemas periodā cirkulācijas sistēmu iespējams darbināt vienmērīgā režīmā, tādējādi panākot efektīvu darbību. Ar x, trešā kolonna, tiek apzīmēta daļa no ūdens latentās enerģijas, kura tiek izmantota sistēmas darbināšanai. Siltumnesēja latentā enerģija tiks izmantota līdz -5°C temperatūrai. Vasaras periodā sistēma tiek palaista, kad ārējās temperatūra ir vismaz 20°C , pie zemākām ārējās temperatūrām sistēmas darbība nav efektīva. 2.1. tabulā nav ierakstītas ārējās temperatūras, pie kurām sistēma netiek darbināt, 5°C , 10°C un 15°C . Pie šīm temperatūrām tiek uzskatīts, kā temperatūra uz sienas ir tāda pati kā ārējās temperatūra. Balstoties uz datiem, kuri attēloti 2.1. tabulā un pievienojot tās ārējās temperatūras, pie kurām sistēma netiek darbināta, iespējams iegūt 2.3. attēlā redzamo temperatūras grafiku. Ūdens sienas temperatūra atkarībā no ārējās temperatūras tiek aprakstīta ar ceturtās pakāpes polinomu. Aprēķinu modelī tiek

pieņemts, ka pie ārējais temperatūras $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, tiek noteikta iekštelpu temperatūra $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ un pie ārējais temperatūras $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, iekštelpu temperatūra $24\text{ }^{\circ}\text{C}$.



2.3. att. Temperatūra uz ūdens sienas atkarībā no ārējais temperatūras ar uzstādītu sistēmu

Pēc tam, kad abiem gadījumiem ir iegūts temperatūras sadalījums uz sienas pie dažādām ārējais temperatūrām, nepieciešams izveidot salīdzinošo modeli. Tiek salīdzināts, cik daudz siltumenerģijas tiek zaudēts caur sienu siltumvadīšanas ceļā gadījumā ar ūdens sienu un gadījumā bez tās. Siltuma zudumi caur sienu tiek rēķināti pēc izteiksmes 2.1.:

$$Q = k * S * \Delta t \quad (2.1.),$$

kur

Q – siltuma zudumi caur ārsienu, W ;

k – siltuma caurlaidības koeficients, $W/(m^2K)$;

S – virsmas laukums, caur kuru tiek rēķināti siltuma zudumi, m^2 ,

Δt – temperatūras starpība starp iekštelpu temperatūru un temperatūru uz sienas, $^{\circ}\text{C}$.

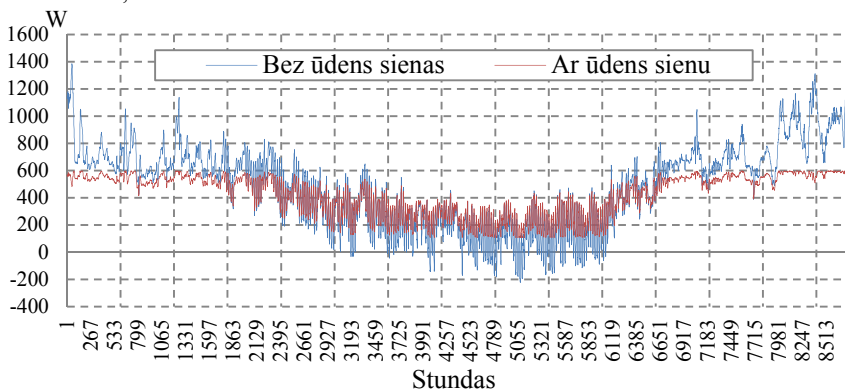
Vienādojums sastāv no trim komponentēm, no kurām divas abām sienām ir konstantas, bet trešā atšķirīga. Siltuma caurlaidības koeficients k un virsmas laukums abām sienām ir vienādi. k tiek pieņemts $1\text{ W}/(m^2K)$, kas atbilst salīdzinoši vecas ēkas sienas termiskajām īpašībām. Sienas laukums ir 32 m^2 , ko veido sienas augstums 4 m un platums 8 m .

Kā ārējais temperatūras tika izmantotas Latvijā dažādās vietās un dažādos gados iegūtas temperatūras ar laika soli viena stunda. Tas tika darīts, lai apskatītu ūdens sienas tehnoloģiskā risinājuma potenciālu Latvijas klimatā Tādējādi tika

iegūts dinamisks modelis, kurš ņem vērā temperatūras izmaiņas laikā. Gadījumā bez ūdens sienas, temperatūra uz sienas mainās ik pēc stundas un ir vienāda ar ārējais temperatūru. Gadījumā ar ūdens sienu, katras stundas temperatūra uz sienas tika noteikta pēc 2.3. attēlā redzamās sakarības. Aprēķinu modelī netika ņemta vērā sienas termiskā inerce, kas nozīmē to, ka sienā nenotiek siltumenerģijas akumulācija un līdz ar to uzreiz iestājas stacionārais siltumvadīšanas režīms.

Siltuma zudumi gadījuma ar ūdens sienu un bez tās tika apkopoti grafikā, kurš redzams attēlā 2.4. Kad vidējā siltuma plūsma ir nulle, tad iekštelpas temperatūra un temperatūra uz ēkas ārējās sienas ir vienādas. Tajos apgabalos, kur siltuma plūsmas ir pozitīvas, siltums caur ēkas sienām izplūst apkārtējā vidē, kas nozīmē to, ka ir nepieciešama telpas apkure vēlāmā iekštelpu temperatūras režīma nodrošināšanai. Savukārt, kad vidējā stundas siltuma plūsma ir zem 0, tad nepieciešams telpu dzesēt. Attēlā 2.4. ir redzams, ka gadījumā bez ūdens sienas ir vērojami pīķi siltuma plūsmā ziemas mēnešos, kas skaidrojams ar to, ka pastāv liela atšķirība starp iekštelpu un ārējais temperatūrām.

Vidējā siltuma plūsma stundā,



2.4. att. Sienas ar uzstādītu sistēmu un bez uzstādītas sistēmas salīdzinājums (klimats - Gulbene, 2002.gads)

Attēlā arī redzams, ka gadījumā ar uzstādīto sistēmu, siltuma plūsma nevienā brīdī nav novērojama virs 550 W. Tas skaidrojams ar to, ka šajā gadījumā zemākā temperatūra uz sienas var būt tikai 0°C , līdz ar to temperatūru starpība starp abām vidēm, ja ārējais temperatūra ir -30°C , ir 18°C , kas pie esošajiem sistēmas parametriem nozīmē, ka maksimālā siltuma plūsma var būt 576 W (pēc izteiksmes 2.1.). 2.4. attēlā redzams, ka gadījumā, ja tiek izmantota ūdens siena, tad ievērojami samazinās enerģijas zudumu amplitūda. Tas nozīmē, ka projektējot reālu ēku būtu iespējams ar augstāku precizitāti prognozēt maksimālos siltuma

zudumus un pīķa slodzes un līdz ar to būtu iespējams izvēlēties optimālu jaudu apkures sistēmai. Katras stundas vidējo siltuma plūsmu reizina ar vienu stundu iegūstot siltuma zudumus vai guvumus vienā stundā. Siltuma guvumi un siltuma zudumi tiek saskaitīti atsevišķi. Iegūtie rezultāti tiek apkopoti 2.2. tabulā.

2.2. tabula

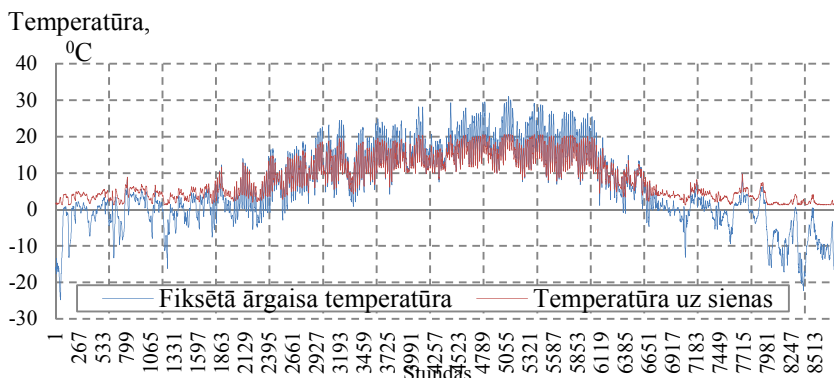
Sistēmas darbības salīdzinājums Gulbenē, 2002. gadā

	Bez ūdens sienas	Ar ūdens sienu
Apkure, MWh	4,35	3,71
Dzesēšana, kWh	29,29	0
Apkures sezona, MWh	3,37	2,55
Ietaupījums apkures sezonā, %	24,4	

Nozīmīgākā pozīcija ir siltuma zudumi apkures sezonā, kura ilgst no 1. janvāra līdz 15. aprīlim un no 1. oktobra līdz 31. decembrim.

Sistēmas darbības rezultāti

Šajā nodaļā tiek apkopoti dati par sistēmas darbību pie dažādām ārējais temperatūrām. Pielietojot jau iepriekš aprakstīto salīdzinošo aprēķina modeli, tika iegūtas vidējās stundu siltuma plūsmas no ārējas dažādās Latvijas pilsētās. Visos gadījumos redzams, ka maksimālā siltuma plūsma gadījumos ar uzstādīto sistēmu ir ap 576 W. 2.5.attēlā parādītas ārējais temperatūras un temperatūra uz sienas gadījumā ar uzstādīto sistēmu Gulbenē 2002. gadā, kuras tika iegūtas pēc 2.3. attēlā redzamā vienādojuma.



2.5. att. Temperatūra uz ūdens sienas atkarībā no ārējais temperatūras Gulbenē 2002. gadā

2.5. attēlā redzams, ka ziemas mēnešos temperatūra uz sienas visu laika periodu ir augstāka par 0 °C. Vasaras periodā tiek nodrošināts, ka augstākā temperatūra uz ēkas ārējās sienas ir 20 °C, kas ir par 10 °C zemāk kā augstākā ārējais temperatūra. Šāds temperatūras režīms dod iespēju samazināt dzesēšanas slodzes. Dažos gadījumos siena varētu tikt darbināta liekā siltuma novadīšanai.

Latvijas klimatiskajos apstākļos šāda sistēma uzrāda ievērojamus ietaupītās siltumenerģijas apjomus apkures sezonas laikā. Vidējais ietaupījums uzstādot sistēmu veido aptuveni 20%, taču šis rādītājs ir ļoti atkarīgs no tā, cik silts vai auksts bijis gads. Tabulā 2.3. apkopoti ietaupītās siltumenerģijas apjomi apkures sezonā dažādiem klimatiskajiem apstākļiem Latvijā. Apkures sezonas ilgums no 1. janvāra līdz 15. aprīlim un no 1. oktobra līdz 31. decembrim.

2.3. tabula
Ietaupītās siltumenerģijas apjomi dažādiem klimatiskajiem apstākļiem
Latvijā

Pilsēta	Gads	Ietaupījums, %	Ietaupījums, kWh
Gulbene	2002	24,3	819,4
Jelgava	2006	22,1	680,2
Dobele	2007	19,0	556,4
Rīga	2008	14,4	392,8
Ventspils	2008	12,5	328,0
Priekule	2009	21,5	690,7

Tabulā redzams, ka vidējais ietaupījums uzstādot sistēmu ir aptuveni 20%, taču šī vērtība ir ļoti atkarīga no tā, kāda ir ārējais temperatūra. Gadījumā, kad netika izmantota sistēma, katrā vasaras periodā bija nepieciešama telpas dzesēšana, taču gadījumos ar uzstādīto sistēmu nav nepieciešamības pēc papildus dzesēšanas slodzēm.

Galvenās sistēmas izmantošanas priekšrocības ir tādas, ka tiek samazinātas temperatūru svārstību amplitūdas uz ēkas ārējās sienas. Vasaras periodā maksimālā temperatūra uz ēkas ārējās sienas tika samazināta par 10 °C, kas nozīmē to, ka nav nepieciešama papildus ēkas dzesēšana. Savukārt ziemas periodā gadījumos ar uzstādītu sistēmu tiek nodrošināts, ka zudumi no ēkas ārējām nekad nav lielāki par kādu noteiktu vērtību. Tādā veidā ir iespējams ar augstu precizitāti prognozēt, kādi varētu būt maksimālie ēkas siltuma zudumi, kas savukārt nozīmē to, ka tiek atvieglota apkures katla izvēle un tiek nodrošināts, ka netiks uzstādīts apkures katls ar pārāk lielu apkures jaudu.

Ūdens sienas tehnoloģijas eksperimentālā pārbaude

Ūdens sienas tehnoloģijas eksperimentālā pārbaude tika veikta izveidojot eksperimentālo iekārtu, kas imitē ēku ar ūdens sienu uz vienas no ārējām norobežojošajām konstrukcijām.

Lai veiktu ūdens sienas darbības analīzi nepieciešams noteikt norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficientu. Kopumā mērījumos tika izmantoti divi siltuma plūsmas blīvuma sensori un septiņu dažādu temperatūru mērījumi.

Lai apstiprinātu izvirzīto hipotēzi par ūdens-ledus fāzu pārejas siltuma izmantošanu siltuma vadīšanas zudumu samazināšanai, tika veikti siltuma plūsmas blīvuma mērījumi gan norobežojošajai konstrukcijai bez ūdens uz ārējās virsmas (atskaites sienai), gan norobežojošajai konstrukcijai ar ūdeni uz ārējās virsmas (ūdens sienai).

Mērījums ar sasalstošu ūdens slāni uz ēkas norobežojošās konstrukcijas ārējās virsmas

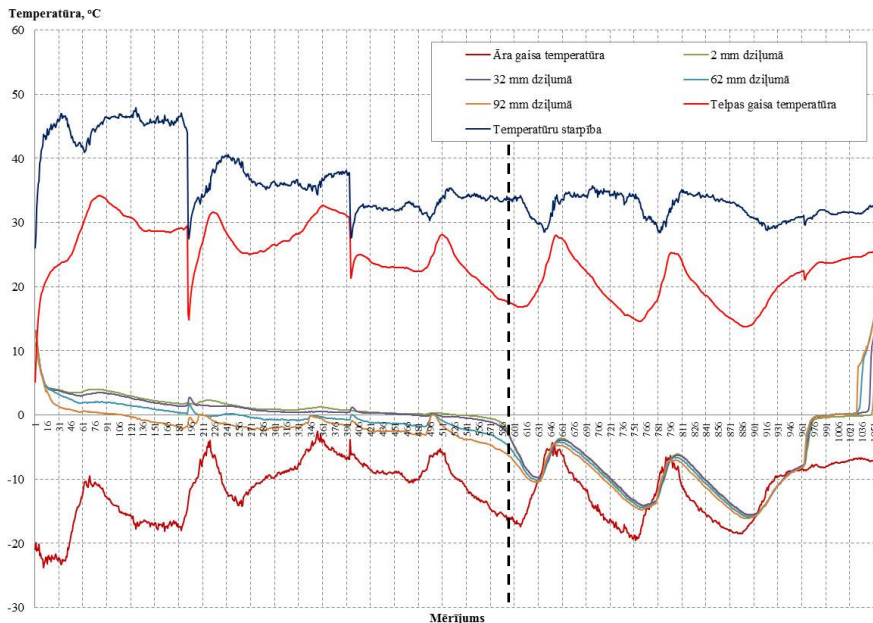
Lai noteiktu kā ūdens sasalšana un fāzu pārejas latentā siltuma izmantošana ietekmē siltuma zudumus no ēkas norobežojošās konstrukcijas, tika veikts mērījums, kad ūdens sienas konstrukcija tika piepildīta ar 120mm biezu ūdens slāni. Mērījuma rezultāti ļauj validēt ūdens sienas aprēķina modeli. Mērījums tika veikts no 2012.gada 6.februāra līdz 13.februārim. Kopējais mērījuma ilgums bija 176 stundas (7dn 8h). Mērījuma ilgumu noteica ūdens sasalšanas process. Mērījuma laikā bija nepieciešams nodrošināt visa ūdens slāņa sasalšanu un mērījumi tika veikti arī sasalušai ūdens sienas konstrukcijai. Mērījuma laikā ūdens zaudējot latentu fāzu pārejas enerģiju pāriet ledū, kas redzams 2.6.attēlā.



2.6.att. Ūdens sasalšana mērījuma laikā.

Ūdens temperatūras mērīšanai tika izmantoti K tipa termopāri un PT100 tipa temperatūras sensors. Ūdens tvertnē tika izvietots arī sildelements, kas mērījuma laikā bija izslēgts. Sildelements nepieciešams, lai varētu atkausēt sasalušo ūdeni un atgūt temperatūras sensorus un veikt atkārtotu sasalstoša ūdens mērījumu. Šis sildelements izmantojams arī grunts siltuma simulēšanai.

Mērījuma laikā izmērītās gaisa un ūdens temperatūras parādītas 2.7.attēlā.



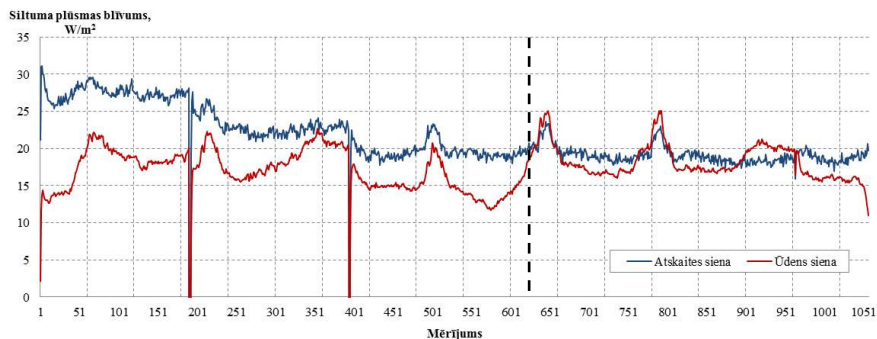
2.7.att. Izmērītās gaisa un ūdens temperatūras

Mērījuma laikā āra gaisa temperatūra bija robežās no $-2,53\text{ }^{\circ}\text{C}$ līdz $-23,85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Āra gaisa temperatūras izmaiņās redzams diennakšu cikliskums. Tā kā telpas gaisa uzturēšanai tika izvēlēts elektriskais sildītājs ar konstantu jaudu, tad diennakšu temperatūras izmaiņu cikliskums novērojams arī telpas gaisa temperatūrai.

Ūdens temperatūras izmaiņas parāda, ka ūdens sasaldana notiek sākot no ūdens virsējiem slāņiem un pakāpeniski sasilst arvien dziļāki ūdens slāņi. Visa ūdens slāņā sasaldāšanai pie konkrētajām āra gaisa temperatūrām bija nepieciešamas 56 stundas (ūdens sasaldāšanas vertikālais ātrums – $2,143\text{mm/h}$).

Pēc tam, kad viss ūdens slānis ir sasalis, ledus temperatūra dažādos dziļumos izlīdzinās un latentā siltumenerģija vairs netiek izmantota. Mērījuma beigās (sākot ar 960.mērījuma punktu) tika ieslēgts elektriskais ūdens sildītājs, kā rezultātā ledus tika izkausēts.

Siltuma plūsmas blīvums caur atskaites sienu un ūdens sienu mērījuma laikā parādīts 2.8.attēlā.

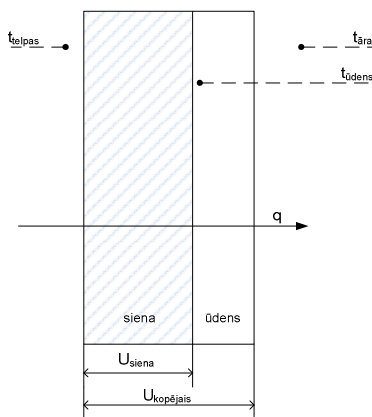


2.8.att. Siltuma plūsmas blīvuma mērījumu rezultāti

Mērījumu rezultāti uzskatāmi parāda, ka siltuma plūsma cauri sienai ar ūdeni uz robežsloksnīša konstrukcijas ārējās virsmas ir ievērojami mazāka nekā atskaites sienai (siena bez ūdens uz ārējās virsmas), kas pierāda to, ka ūdens fāzu pārejas enerģija var tikt izmantota, lai samazinātu siltuma vadīšanas zudumus caur robežsloksnīša konstrukcijām aukstā klimatā. Pēc tam kad viss ūdens ir sasalis (melnā raustītā vertikālā līnijā 2.8.attēlā) siltuma plūsmas atskaites sienā un ūdens sienā izlīdzinās, jo ir izmantota visa fāzu pārejas enerģija.

Ūdens sienas kopējais siltuma caurlaidības koeficients

Atskaites sienas siltuma caurlaidības koeficienta noteikšanai tika izmantots nomērītais siltuma plūsmas blīvums cauri atskaites sienai un temperatūru starpība starp telpas gaisu un āra gaisu.



2.9. attēls. Temperatūru mērījumu vietas ūdens sienai

Lai noteiktu sienas siltuma caurlaidības koeficientu sienai ar ūdens slāni, izmantojams sekojošs vienādojums:

$$U_{siena} = \frac{q}{t_{telpas} - t_{\text{ūdens}}}, W/(m^2K) \quad (2.2.)$$

kur

U_{siena} – sienas siltuma caurlaidības koeficients, $W/(m^2K)$;

q – siltuma plūsmas blīvums, W/m^2 ;

t_{telpas} – telpas gaisa temperatūra, $^{\circ}C$;

$t_{\text{ūdens}}$ – ūdens slāņa temperatūra pie sienas ārējās virsmas, $^{\circ}C$.

Lai noteiktu kopējo ūdens sienas siltuma caurlaidības koeficientu, kas iekļauj fāzu pārejas siltuma izmantošanu siltuma vadīšanas zudumu samazināšanai, izmantojama sekojoša sakarība:

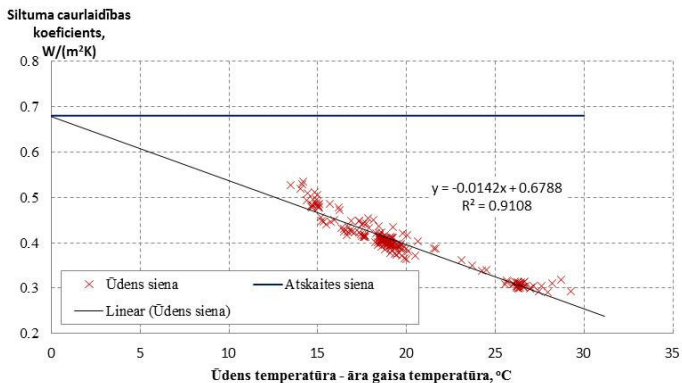
$$U_{kop} = \frac{q}{t_{telpas} - t_{\text{āra}}}, W/(m^2K) \quad (2.3)$$

kur

U_{kop} – kopējais ūdens sienas siltuma caurlaidības koeficients, $W/(m^2K)$;

$t_{\text{āra}}$ – āra gaisa temperatūra, $^{\circ}C$.

Ūdens sienas mērījumu datus iespējams analizēt arī izmantojot nevis ūdens slāņa temperatūru pie sienas, bet gan āra gaisa temperatūru. Šādā veidā iespējams noteikt kopējo ūdens sienas siltuma caurlaidības koeficientu, kas iekļauj arī pašu ūdens slāni un fāzu pārejas siltuma izmantošanu siltuma vadīšanas zudumu samazināšanai. Veicot šādu analīzi iespējams novērtēt ūdens sienas kopējā siltuma caurlaidības koeficienta izmaiņas atkarībā no āra gaisa temperatūras. Sienai bez ūdens slāņa siltuma caurlaidības koeficients nav atkarīgs no āra gaisa temperatūras un tas ir konstants. Sienai ar ūdens slāni kopējais siltuma caurlaidības koeficients mainās atkarībā no āra gaisa temperatūras. Jo zemāka āra gaisa temperatūra, jo zemāks ir sienas ar ūdens slāni kopējais siltuma caurlaidības koeficients. Sienas ar ūdens slāni mērījumu datu apstrādes rezultāti un kopējais siltuma caurlaidības koeficients parādīts 2.10. attēlā.



2.10. attēls. Ūdens sienas kopējā siltuma caurlaidības koeficienta atkarība no āra gaisa temperatūras

Attēlā parādīta ūdens sienas kopējā siltuma caurlaidības koeficienta atkarība no āra gaisa temperatūras. Uz X ass parādīta ūdens temperatūras un āra gaisa temperatūras starpība nevis telpas gaisa un āra gaisa temperatūras starpība. Tas darīts tāpēc, lai parādītu to, ka, ja šī temperatūru starpība ir 0 °C, tad sienas ar ūdens slāni kopējais siltuma caurlaidības koeficients sakrīt ar atskaites sienas (sienas bez ūdens slāņa) siltuma caurlaidības koeficientu. Mērījumu datus redzama ļoti laba kopējā ūdens sienas siltuma caurlaidības un ūdens temperatūras un āra gaisa temperatūras starpības korelācija. Pazeminoties āra gaisa temperatūrai par vienu grādu, ūdens sienas kopējais siltuma caurlaidības koeficients samazinās par 0,0142 W/(m²K). Attēlā uzskatāmi redzama starpības starp parastu siltumizolācijas materiālu, kam ir konstants siltuma caurlaidības koeficients un sienu ar ūdens slāni, kam siltuma caurlaidības koeficients ir atkarīgs no āra gaisa temperatūras. Piedāvātā tehnoloģija izmantojama aukstā klimatā, jo zemākas āra gaisa temperatūras samazina kopējo ūdens sienas siltuma caurlaidības koeficientu.

Secinājumi

1. Esošo ēku energoefektivitātes līmeņa paaugstināšana ir atkarīga ne tikai no ekonomiskiem aspektiem (investīcijas, ēkas renovācijas projekta atmaksāšanās laiks, siltumenerģijas ietaupījums, u.c.), bet arī no sociāliem aspektiem (iedzīvotāju informētība par ēku renovācijas nepieciešamību, uzticības līmeņa ergoauditoriem un būvniecības uzņēmumiem, iedzīvotāju savstarpējām attiecībām, u.c.). Līdzšinējie ēku energoefektivitātes tirgus prognozēšanas modeļi ņem vērā tikai ekonomiskos aspektus. Promocijas darba laikā izstrādātais sistēmdinamikas modelis ņem vērā ne tikai ekonomiskos, bet arī sociālos aspektus, līdz ar to tiek precīzi aprakstīta ēku energoefektivitātes tirgus darbība un visi to ietekmējošie faktori.
2. Sistēmdinamikas modeļa rezultāti parāda, ka pielietojot esošos politikas instrumentus ēku energoefektivitātes līmeņa paaugstināšanas veicināšanai, nav iespējams sasniegt nospraustos mērķus, kas deklarēti Latvijas Pirmajā energoefektivitātes rīcības plānā. Izstrādātā sistēmdinamikas modeļa prognoze parāda, ka esošo politikas instrumentu rezultātā mērķis tiks izpildīts tikai 2% apmērā. Ja tiktu izmantoti visi sistēmdinamikas modelī apskatītie politikas instrumenti, tad uz 2016.gadu nospraustais mērķis tiktu izpildīts tikai par 21,6%. Līdz ar to var secināt, ka esošā pieeja lielāko enerģijas patēriņa ietaupījumu (kas jāsasniedz saskaņā ar Eiropas Parlamenta un Padomes direktīvu 2006/32/EK par enerģijas galapatēriņa efektivitāti un energoefektivitātes pakalpojumiem) sasniegt tikai ar mājokļu energoefektivitāti paaugstinošu pasākumu palīdzību nedos gaidīto rezultātu.
3. Lai samazinātu ēku enerģijas patēriņu un tuvotos Eiropas Parlamenta un Padomes direktīvas 2010/31/ES noteiktajiem mērķiem par gandrīz nulles enerģijas patēriņa ēku būvniecību sākot no 2020.gada, nepieciešams izstrādāt inovatīvas enerģijas patēriņu samazinošas tehnoloģijas, kuras izmanto citus principus nekā līdzšinējie energoefektivitātes paaugstināšanas paņēmieni.
4. Promocijas darba laikā izstrādātā tehnoloģija, ļauj izmantot ūdens fāzu pārejas siltumu, lai samazinātu ēku enerģijas patēriņu. Izvietojot ūdens slāni uz norobežojošās konstrukcijas ārējās virsmas iespējams samazināt siltuma vadīšanas zudumus caur šīm norobežojošajām konstrukcijām, jo ūdens slānim sasilstot tiek izmantots ūdens latentais (fāzu pārejas) siltums. Izmantojot zema potenciāla siltumenerģijas avotu (grunts siltumu), iespējams atgūt ūdens fāzu pārejas laikā zaudēto siltumenerģiju.
5. Izmantojot jauno tehnoloģiju Latvijas klimatā iespējams siltumenerģijas zudumus ar siltuma vadīšanu samazināt pat par 25%.

6. Izveidotā tehnoloģija samazina apkures pīķa slodzes, jo tiek panākts, ka norobežojošo konstrukciju aukstās puses virsmas temperatūra apkures sezonas laikā nenokrīt zem ūdens fāzu pārejas temperatūras – 0°C.
7. Apvienojot izveidoto ūdens sienas tehnoloģiju ar pasīvās ēkas elementiem, iespējams panākt pasīvās ēkas standartu izpildi arī Latvijas klimatā, kas līdz šim praktiski nebija iespējams paaugstinātās apkures pīķa slodzes dēļ apkures sezonas aukstākajā periodā.

