

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Būvniecības inženierzinātņu fakultāte
Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģijas institūts

Aleksejs Prozuments

Doktora studiju programmas “Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģija” doktorants

ĒKU SILTUMENERĢIJAS PATĒRĪŅA ILGTERMIŅA NOVĒRTĒŠANAS METODOLOĢIJA

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
profesors *Dr. sc. ing.*
ANATOLIJS BORODIŅECS

Zinātniskā konsultante
docente
AMY A. KIM

RTU Izdevniecība
Rīga 2021

Prozuments, A. Ēku siltumenerģijas patēriņa ilgtermiņa novērtēšanas metodoloģija. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2021. 27 lpp.

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes “RTU P-12” 2020. gada 24. novembra lēmumu, protokols Nr. 5/20.

<https://doi.org/10.7250/9789934226199>

ISBN 978-9934-22-619-9 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2021. gada 28. maijā plkst. 13 tiešsaistē.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Aleksandrs Korjamins,
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Profesore *Dr. sc. ing.* Lilita Ozola,
Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Latvija

Profesors *Dr. sc. ing.* Nikolai Vatin,
Pētera Lielā Sanktpēterburgas Politehniskā universitāte, Krievija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Aleksejs Prozuments (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, desmit nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 28 attēli, 27 tabulas, kopā 104 lappuses. Literatūras sarakstā ir 121 avots.

SATURS

1. IEVADS	5
2. DARBA VISPĀRĒJS APRAKSTS	6
3. LITERATŪRAS APSKATS	7
4. METODOLOĢIJA	9
4.1. Vispārējā metodoloģija.....	9
4.2. Ievadparametru identifikācija	12
4.3. Modelēto scenāriju apraksts	13
4.4. Ēku fonda attīstības prognoze	14
4.5. Ēku prototipu modeļu izstrāde.....	15
5. REZULTĀTI UN TO APSPRIEŠANA	18
6. SECINĀJUMI	21
REKOMENDĀCIJAS UN TURPMĀKIE PĒTĪJUMI.....	23
PUBLIKĀCIJU SARAKSTS.....	24
LITERATŪRAS SARAKSTS	26

1. IEVADS

Mūsdienās liela uzmanība tiek pievērsta ēku ilgtspējībai un energoefektivitātei, ņemot vērā to, ka ēkas nodrošina pagaidu un pastāvīgu dzīves vidi, un šim mērķim patērē būtiskus energoresursus. Attīstītajās valstīs enerģijas patēriņš ēku nozarē ir aptuveni 40 % no kopējā gala enerģijas patēriņa, sastādot trešdaļu no kopējiem siltumnīcefektu gāzu izmešiem. Tādējādi ēku energoefektivitātes veicināšanas pasākumi nodrošina ne vien ievērojamus finansiālus ietaupījumus ilgtermiņā, bet arī ceļ ēku pievienoto tirgus vērtību, kā arī šādu ēku īpašnieku un ieinteresēto pušu sabiedrības tēlu.

Ēku energoefektivitāte ir dinamisks un strauji augošs sektors, kas ir kļuvis par atsevišķu pētniecības nozari tautsaimniecības mērogā, jo tā sekmīgai attīstībai ir nepieciešami kvalificēti speciālisti un pastāvīgu inovāciju ieviešana. Attīstoties ēku energoefektivitātes nozarei, aug arī tirgū pieejamo ilgtspējīgu produktu un risinājumu klāsts. Šī kopattīstība lielā mērā tiek veicināta, ieviešot valsts un reģionāla mēroga normatīvo aktu prasības. Daudzu valstu ilgtermiņa tautsaimniecības attīstības pārskatos enerģijas patēriņa samazināšana ēkās ir iekļauta kā viena no prioritārajām sadaļām, ko plašākā mērogā akcentē ANO vides ietekmes un klimata izmaiņu regulas.

Ēku energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumi ir viens no prioritārajiem izaicinājumiem ieinteresēto pušu vidū, jo tie paredz saistīto normatīvo aktu un uz energopatēriņa ierobežošanu balstītu valdības programmu ievērošanu, kuru rezultātā tiek būtiski samazinātas ēku apsaimniekošanas un ekspluatācijas izmaksas. Savukārt plašākā mērogā ēku energoefektivitātes pasākumi ietver atbildību ievērot (valdībām – kontrolēt; ēku īpašniekiem, nomniekiem – izpildīt) noteiktās prasības un starptautiski pieņemtās regulas, panākot ievērojamus izmaksu ietaupījumus valsts mērogā un ļaujot novirzīt ietaupītos finanšu līdzekļus citu ar ēku energopatēriņa samazināšanu saistītu apakšnozaru attīstībai.

Pētījums balstās uz hipotēzi, ka ilgtermiņa siltumenerģijas patēriņa samazināšanos dzīvojamo, sabiedrisko un ražošanas ēku fondā var novērtēt, izstrādājot metodoloģiju dažādu energoefektivitātes kritēriju optimizēšanai individuālo komponentu un ēku līmenī.

Šajā darbā tiek pētīti pašreiz spēkā esošie normatīvie akti ēku fonda siltumenerģijas patēriņa samazināšanai un energoefektivitātes paaugstināšanai Latvijā, kā arī to darbības efektivitāte ilgtermiņā. Šim mērķim tika izstrādāta ēku siltumenerģijas patēriņa ilgtermiņa novērtēšanas metodoloģija dažādiem siltumenerģijas patēriņa scenārijiem Latvijas ēku fonda kontekstā.

2. DARBA VISPĀRĒJS APRAKSTS

Tēmas aktualitāte. Ēku nozare patērē aptuveni 40 % no kopējā saražotā enerģijas apjoma, un tādējādi tai ir liels energoresursu taupības potenciāls enerģijas patēriņa optimizācijas pasākumu ceļā. Ēku energoefektivitātes paaugstināšana nodrošina ēku energopatēriņa samazināšanu, kā rezultātā tiek mazināta ietekme uz apkārtējo vidi un panākts finansiālo resursu ietaupījums ilgtermiņā.

Mērķis un uzdevumi. Šī promocijas darba mērķis ir izstrādāt visaptverošu un plaši piemērojamu ēku siltumenerģijas patēriņa samazināšanas potenciāla un enerģijas ietaupījumu potenciāla ilgtermiņa novērtēšanas metodoloģiju (pētījuma priekšmets), ņemot vērā dažādus ēku energoefektivitātes kritērijus. Darba spektrs aptver dzīvojamās, sabiedriskās un rūpnieciskās ēkas.

Zinātniskā novitāte. Šajā darbā izstrādāta potenciālo siltumenerģijas ietaupījumu novērtēšanas metodoloģija ēku fondam, kas ir izmantojama plašā mērenā un aukstā klimatiskajā reģionā, piemērojot atšķirīgus ēku enerģijas patēriņu ierobežojošos scenārijus. Pašreiz esošie aprēķinu rīki neparedz ēku renovācijas pasākumu novērtēšanu ilgtermiņā no individuālo komponentu un ēku līmeņa efektivitātes aspekta. Trūkst validētu rīku ēku renovācijas pasākumu salīdzināšanai un aprēķinam ieinteresēto pušu lietošanai. Šajā darbā izstrādātā metodoloģija ļauj salīdzināt un prioritizēt pasākumu kopu nacionālā un reģionālā ēku fonda energoefektivitātes attīstības vadlīniju izstrādei.

Praktiskais lietojums. Izstrādātā metodoloģija galvenokārt ir paredzēta ēku būvniecības nozares profesionāliem un tautsaimniecības politikas veidotājiem, izstrādājot nacionālā ēku fonda ilgtermiņa energoefektivitātes programmas un pārskatot ar ēku energoefektivitāti saistītos normatīvos aktus un vadlīnijas. Šī metodoloģija ir īpaši lietderīga valsts un sabiedriskajām organizācijām, izskatot un plānojot esošā ēku fonda energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumus un saskaroties ar ekonomiskās pamatotības novērtējumu striktu normatīvo aktu ieviešanai.

Aprobācija. Par šī darba atziņām un rezultātiem ir ziņots piecās starptautiskās konferencēs, kuru konferenču krājuma raksti ir indeksēti *Scopus/WOS* datubāzē.

3. LITERATŪRAS APSKATS

Ēku nozare ES-28 reģiona valstīs izmanto ap 55 % no kopējā saražotā elektroenerģijas patēriņa [1] un ap 40 % no kopējā gala enerģijas patēriņa [2], [3]. Ēku sektors ir trešais lielākais enerģijas patērētājs Eiropā aiz transporta un ražošanas sektora. Taču tādās valstīs kā Latvijā, Igaunijā un Ungārijā ēku enerģijas patēriņa īpatsvars ir vēl augstāks (45–50 %) zemās esošā ēku fonda energoefektivitātes dēļ, kurā dominē pēc Otrā pasaules kara būvētās ēkas (laikā no 1945. līdz 1980. gadam) [4]. Līdz pat 2002. gadam visas ēkas Latvijā tika projektētas un būvētas saskaņā ar normatīvajiem aktiem, kas bijuši spēkā PSRS laikā, taču tie nav pietiekami strikti un neatbilst mūsdienu energoefektivitātes prasībām [5]. Tā rezultātā esošajā Latvijas ēku fondā dominē būves, kurās nav tikuši veikti dziļās renovācijas pasākumi un ko raksturo nepietiekama ārējo norobežojošo būvelementu siltumizolācija, pārmērīga āra gaisa infiltrācija, kā arī kondensāta veidošanās ārējās norobežojošajās konstrukcijās [6]. Turklāt vairākums Padomju Savienības laikā būvēto ēku (būvētas laikā no 1945. līdz 1991. gadam) nav aprīkotas ar mehāniskās ventilācijas sistēmām, kā rezultātā gaisa apmaiņa tiek realizēta dabīgā veidā – ar āra gaisa infiltrāciju caur ēku ārsienu un logu rāmju neblīvumiem, kas veicina ēkas siltuma zudumus [7]. Citi būtiski siltuma zudumu avoti esošajās ēkās ir aukstuma tilti, bēniņi un vienstikla logi.

Lai arī ar dziļās renovācijas pasākumiem ēkās tiek panākts būtisks siltuma zudumu samazinājums (ārsienu siltumizolācijas slāņa palielināšana, AVK (apkures, ventilācijas un kondicionēšanas) sistēmu uzstādīšana vai modernizēšana u. c.), tāpat ir nepieciešama regulāra inženiersistēmu apkope. Lai stimulētu ēku energoefektivitātes pasākumu realizāciju jau agrīnajā ēku dzīves ciklā (projektēšanas, plānošanas un pārvaldības stadijās), ir nepieciešama kvalificētu speciālistu piesaiste. Šis aspekts uzsver ēku energoefektivitātes stratēģiju nozīmīgumu kā neatņemamu ēkas dzīves cikla sastāvdaļu. Turklāt neskaidrā energoefektivitātes prasību un normatīvo aktu vidē ir nepieciešams veicināt ciešu komunikāciju starp ēku nozares politikas veidotājiem un ēku būvniecībā un ekspluatācijā iesaistītajām pusēm (ēku projektētājiem, būvniekiem, īpašniekiem, nomniekiem u. c.) [8].

Pēdējos gados ēku energoefektivitātes modernizācijas atbalsta programmas ir kļuvušas pieejamākas un normatīvās prasības – arvien striktākas, liekot uzsvāru uz šādu stratēģisku programmu tehniski ekonomiskā novērtējuma nepieciešamību, lai investētie līdzekļi būtu pamatoti ilgtermiņā [9]. Enerģijas ietaupījumi ēku dziļās renovācijas projektos ir atkarīgi no ieviestajiem renovācijas pasākumiem un ēku sākotnējā tehniskā stāvokļa. Piemēram, ēku dziļās renovācijas un inženiersistēmu modernizācijas pasākumu rezultātā ir iespējams samazināt ēku enerģijas patēriņa rēķinus par 30 % [10]. Tomēr pastāv sociālekonomiska un tehniska rakstura šķēršļi, kas palēnina energoefektivitātes stratēģiju ieviešanu un realizāciju, piemēram, salīdzinoši ilgais ieguldīto līdzekļu atpelnīšanās laiks, nepieciešamība pēc pastāvīgas un precīzas inženiersistēmu darbības uzraudzības, apkalpošanas un kvalitātes kontroles [11]. Lai stimulētu sekmīgu ēku energoefektivitātes pasākumu un enerģijas renovācijas programmu īstenošanu, valdībām jāizstrādā obligātās prasības un efektīvi finanšu mehānismi, piesaistot ēku inženiersistēmu un siltumtehnikas nozares speciālistus [12]. ES ir noteikusi ēku energoefektivitātes paaugstināšanu kā vienu no pamata iniciatīvām, lai

sasniegtu reģiona vides, ekonomiskās un ģeopolitiskās attīstības ilgtermiņa mērķus. Direktīva par ēku energoefektivitāti nosaka ēku enerģijas patēriņa vadlīnijas un optimālos izmaksu kritērijus atsevišķu ēku renovācijā [13].

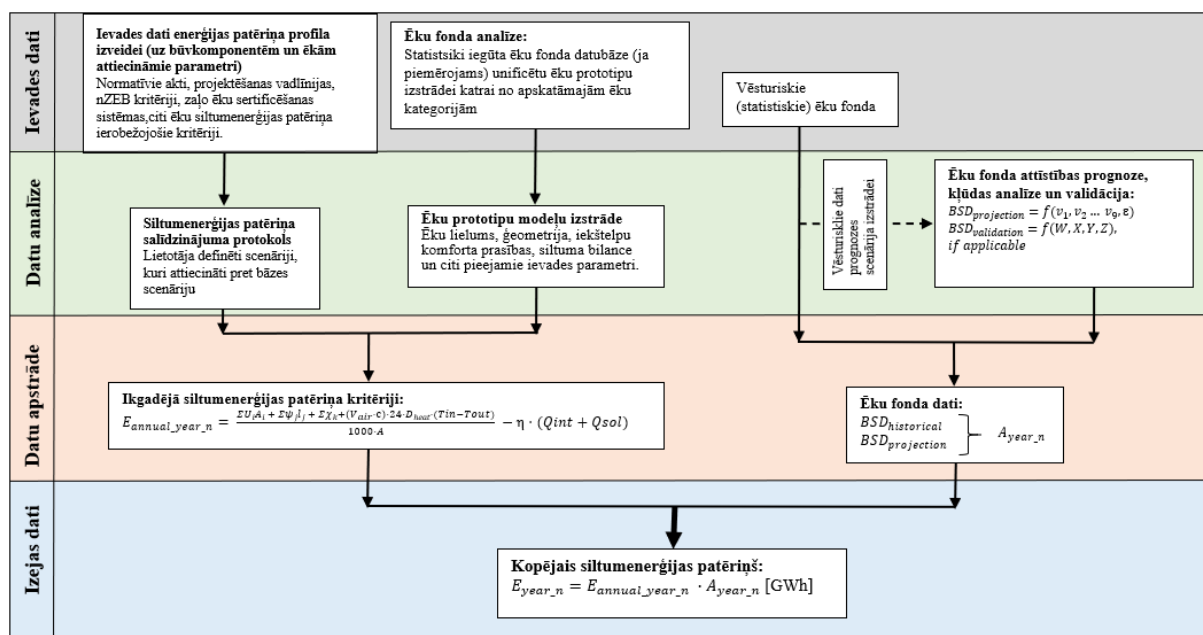
Apskatītajos literatūras avotos ir aprakstīti pētījumi par energoefektivitātes optimizēšanas tendencēm ēkās, taču tajos nav padziļinātu ēku renovācijas pasākumu novērtējuma ilgtermiņā no tehniski ekonomiskā viedokļa ēku enerģijas patēriņa optimizēšanai. Turklāt apskatītajos literatūras avotos nav atsauču uz validētu rīku pieejamību ēku renovācijas pasākumu salīdzināšanai un aprēķinam ieinteresēto pušu lietošanai.

Savukārt šajā darbā izstrādātā metodoloģija ļauj salīdzināt un prioritizēt pasākumu kopu reģionālā un nacionālā ēku fonda energoefektivitātes attīstības vadlīniju izstrādei, ko var izmantot tādas iesaistītās puses kā ēku īpašnieki, apsaimniekotāji, nomnieki, komunālo pakalpojumu piegādātāji, investori u. c.

4. METODOLOĢIJA

4.1. Vispārējā metodoloģija

Saskaņā ar definētajiem mērķiem šajā promocijas darbā izstrādāta metodoloģija ēku fonda siltumenerģijas patēriņa novērtēšanai ilgtermiņā, lai noteiktu potenciālos enerģijas ietaupījumus dažādu siltumenerģijas patēriņa scenāriju gadījumā. Izstrādātā metodoloģija ļauj novērtēt ilgtermiņa siltumenerģijas taupības potenciālu dzīvojamām, sabiedriskajām, ražošanas, militārajām u. c. ēkām reģionos, kuros ir nepieciešama telpu apkure gada aukstajā periodā. Šīs metodoloģijas darbību algoritms redzams 4.1. attēlā.



4.1. att. Vispārējās metodoloģijas algoritms ēku fonda siltumenerģijas patēriņa novērtēšanai.

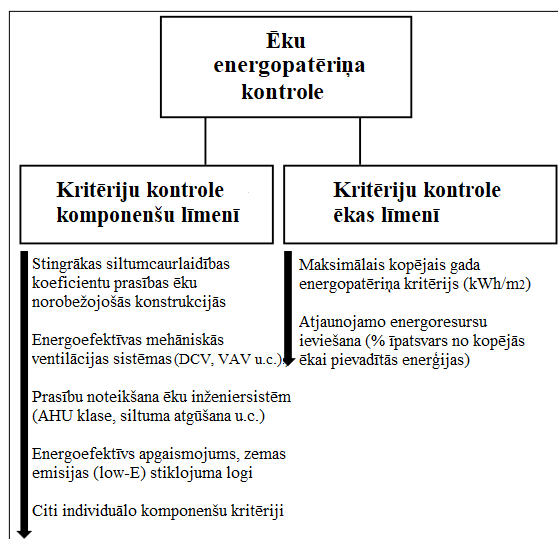
Šis algoritms apraksta vispārējās metodoloģijas soļu secību, kurā mainīgie lielumi (ievades parametri un kritēriji) ir jāievada autorizētam lietotājam. “Autorizēts lietotājs” šajā kontekstā ir ikviena iesaistītā puse, kas izmanto šo metodiku siltumenerģijas ietaupījumu aprēķina veikšanai valsts vai reģionālajā kontekstā ieguldīto līdzekļu, finanšu riska, infrastruktūras attīstības projektu ekonomiskajam novērtējumam u. c. mērķiem tautsaimniecības mērogā nozares ilgtspējības interesēs. Iesaistītās puses, kas tiek klasificētas kā autorizēti lietotāji, iekļauj energoapgādes uzņēmumus, komunālo pakalpojumu sniedzējus, valsts iestādes, finanšu institūcijas, investorus, infrastruktūru un ēku attīstītājus u. c. juridiskas vai fiziskas personas.

Datu ievades fāzē ir būtiski pārliecināties, ka iegūtais datu kopums par apskatāmo ēku kategoriju ir precīzs (vēlama arī datu sniedzēja vai trešās puses validācija), lai minimizētu novirzi un kļūdu no patiesās situācijas, kas ir īpaši svarīgi turpmāko soļu izpildē, t. i., datu analīzes un apstrādes stadijā, izstrādājot ēku modeļu prototipus un ēku fonda attīstības prognozi.

Izejas fāzē tiek iegūts ikgadējā siltumenerģijas patēriņa aprēķins visam konkrētās apskatāmās ēku kategorijas fondam, sareizinot gada n enerģijas patēriņa faktoru ar kopējo izbūvēto un renovēto ēku platību gadā n .

Ievadītie dati izstrādātās metodoloģijas algoritmā tiešā veidā ietekmē iegūtā rezultāta atbilstību patiesajai situācijai, tāpēc šis pētniecības darbs uzsver projektēšanas vadlīniju un normatīvo aktu lomu ēku energoefektivitātes uzlabošanai. Turklāt tiek uzsvērts tas, ka ēku un renovācijas projektu plānošanas un projektēšanas stadijā ir svarīgi identificēt uz komponentēm attiecināmos (individuālos) un uz ēkām attiecināmos (ēku) parametrus.

4.2. attēlā apkopoti uz ēku energoefektivitāti attiecināmie projektēšanas kritēriji komponentu un ēkas līmenī. Komponentu līmenī uzmanība tiek vērsta uz atsevišķu ēku elementu un inženiersistēmu optimizēšanu (ārējo norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficienti, AVK sistēmu efektivitāte, zema energopatēriņa apgaismojums u. c.), savukārt ēkas līmenī tiek paredzēti uz ēkas kopējā energopatēriņa samazināšanu vērsti pasākumi: a) energopatēriņa kritērijs kWh/m^2 kā ierobežojošais faktors, b) AER (atjaunojamo energoresursu) sistēmu ieviešana (saules, vēja, ģeotermālā u. c.) ēku energoapgādē (% īpatsvars no kopējās ēkai pievadītās enerģijas) u. c.



4.2. att. Kritēriju kontrole ēku enerģijas patēriņa samazināšanai komponentu un ēkas līmenī.

4.1. tabulā apkopots analītisks priekšrocību un trūkumu apskats uz ēku energoefektivitāti attiecināmu kritēriju kontrolei komponentu un ēkas līmenī.

Plašākā kontekstā šis darbs uzsver izpratni par individuālo komponentu un ēkas līmeņa kritēriju kontroli un to nozīmīgumu. Piemēram, saskaņā ar 4.1. tabulu, akcentējot uzmanību tikai uz kopējā ēkas energopatēriņa samazināšanu, mehāniskās ventilācijas sistēma, darbojoties zema energopatēriņa režīmā, var izraisīt būtisku kopējā iekštelpu mikroklimata pasliktināšanos:

- a) piegādājot nepietiekamu svaiga gaisa daudzumu, kā rezultātā rodas pazemināta gaisa apmaiņa, telpu pārkarsana u. c. negatīvi iekštelpu mikroklimata ietekmējošie faktori [14];

- b) nepietiekamas gaisa apmaiņas rezultātā no telpas netiek novadīts liekais mitrums, kas var izraisīt kondensāta veidošanos uz ārējo norobežojošo virsmu konstrukcijām [15] un būt par cēloni problēmām, kas saistītas ar mitruma uzkrāšanos.

4.1. tabula

Analītisks priekšrocību un trūkumu apskats kritēriju kontrolei komponentu un ēkas līmenī

Kritēriju kontrole komponentu līmenī		Kritēriju kontrole ēkas līmenī	
Priekšrocības	Trūkumi	Priekšrocības	Trūkumi
Katrai individuālajai ēkas komponentei ir jāatbilst noteiktam kritērijam, kas padara šo pieeju skaidru un tieši orientētu uz attiecīgās komponentes optimizēšanu ēkas energoefektivitātes paaugstināšanai	Vienas komponentes zemā energoefektivitāte nav kompensējama ar citas komponentes augsto energoefektivitāti – katrai komponentei jābūt sabalansētai un optimizētai no energoefektivitātes aspekta; pat vienas ēku kategorijas robežās piemērojamās prasības var atšķirties	Ērts kritērijs ēku energopatēriņa uzraudzīšanai un izvērtēšanai	Atsevišķos gadījumos šo kritēriju ievērošana ir sarežģīta (slimnīcās, speciālas nozīmes ēkās u. c.), tā vietā optimālāk ir piemērot individuālo komponentu kontroli/pieeju
Ēku komponentu energoefektivitātes kritēriju ievērošana palīdz sasniegt augstāku kopējo ēkas energoefektivitāti, salīdzinot ar ēkas līmeņa kritēriju ievērošanu	Ierobežotas iespējas: a) pielāgot alternatīvus risinājumus (piem., ēku norobežojošo konstrukciju siltināšana ierobežotos apstākļos); b) ieviest striktas prasības esošajām vai renovējamajām ēkām	Viena kritērija zemā energoefektivitāte ir kompensējama ar cita kritērija augsto energoefektivitāti	Iekštelpu komforta līmenis var tikt būtiski samazināts, jo šī pieeja neparedz atsevišķu uzsvāru iekštelpu gaisa kvalitātes uzlabošanai (piem., telpu pārkaršana gada siltajā periodā zema AVK sistēmas energopatēriņa darbības rezultātā)
Šī pieeja nodrošina augstāku iekštelpu gaisa kvalitāti un labvēlīgāku mikroklimatu kopumā	Šī pieeja zināmā mērā ierobežo projektētāju (arhitektu, inženieru) brīvību koriģēt individuālās sistēmas ekonomijas, estētikas u. c. nolūkos	No iesaistīto pušu viedokļa – ievērot kWh/m ² vai procentuālo energopatēriņa īpatsvaru no AER ir galīgais mērķis (bez nepieciešamības ieviest papildu energoefektivitātes pasākumus)	Šī pieeja var paaugstināt relatīvo mitrumu telpās un kondensāta veidošanos uz ēku norobežojošo konstrukciju virsmām nepietiekamas gaisa apmaiņas rezultātā
Šī pieeja zināmā mērā ierobežo projektētāju (arhitektu, inženieru) brīvību koriģēt individuālās sistēmas ekonomijas, estētikas u. c. nolūkos, nodrošinot to atbilstību normatīvajiem aktiem (projektēšanas kritērijiem), tādējādi novēršot iespējamu “manipulāciju” ar siltuma bilances datiem, neveicot detalizētu klimata analīzi		Pat tad, kad tiek sasniegts mērķis, ēkas energoefektivitāti var turpināt uzlabot, optimizējot individuālo komponentu tehnisko izpildījumu	

Promocijas darbā izstrādātajā metodikā tiek apskatīts ēku gala siltumenerģijas patēriņš (kWh/m²), kas ir ēkas līmeņa kritērijs, tāpēc ēkas siltumenerģijas patēriņa algoritms var tikt optimizēts un pielāgots dažādu individuālo komponentu uzlabošanas un modernizācijas

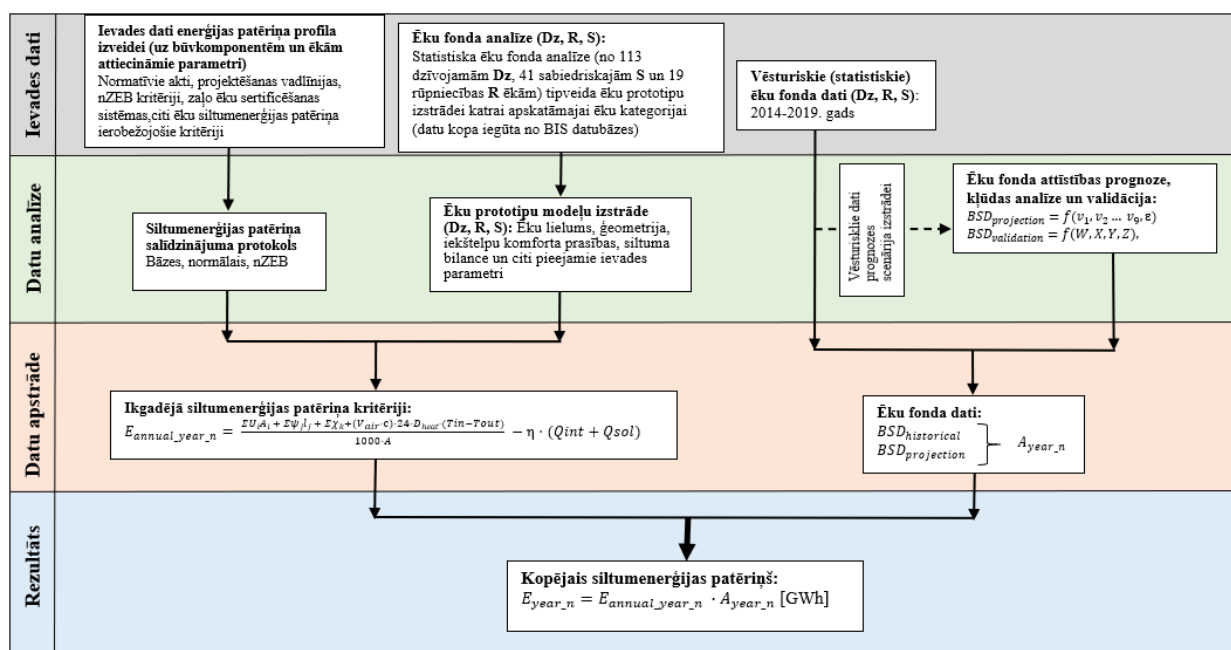
pasākumu analizēšanai, kā arī ēkas energopatēriņa īpatsvara no atjaunojamiem energoresursiem plānošanai.

Tādējādi, iegūstot un izvērtējot visus nepieciešamos kritiskos ievadparametrus (ēku energoefektivitātes kritēriji, ēku fonda dati u. c.), un ievadot tos algoritmā (4.1. att.), vispārējā metodoloģija ir pielāgojama jebkuram reģionam ar apkures nepieciešamību aukstajā gada laikā.

4.2. Ievadparametru identifikācija

Šajā promocijas darbā vispārējā metodoloģija ēku fonda siltumenerģijas patēriņa novērtēšanai ilgtermiņā, kas ir aprakstīta 4.1. nodaļā, tika adaptēta Latvijas scenārijam, izpildot šādas darbības:

- 1) identificējot vietējos normatīvos aktus, projektēšanas vadlīnijas, kas nosaka ēku siltumenerģijas patēriņa prasības (ierobežojumus);
- 2) pamatojoties uz identificētajām ēku siltumenerģijas patēriņa ierobežojošajām prasībām, izstrādājot ēku siltumenerģijas patēriņa atbilstības scenārijus;
- 3) iegūstot vēsturisko datu kopu par jaunuzbūvēto un renovēto Latvijas ēku fondu no 2014. līdz 2019. gadam;
- 4) balstoties uz iegūto vēsturisko datu kopu, kā arī ēku un būvniecības nozares ekonomiskās attīstības analīzi, izstrādājot jaunuzbūvēto un renovēto Latvijas ēku fonda attīstības prognozes matricu līdz 2030. gadam;
- 5) izstrādājot tipveida (vidēji statistisko) dzīvojamo, sabiedrisko un rūpniecības ēku prototipus ar to enerģijas patēriņa profiliem;
- 6) integrējot izstrādātos tipveida ēku prototipus ēku fonda attīstības prognozes matricā ēku fonda siltumenerģijas patēriņa novērtēšanai katrā no apskatāmajiem scenārijiem.



4.3. att. Adaptētās metodoloģijas algoritms Latvijas ēku fonda siltumenerģijas patēriņa novērtēšanai līdz 2030. gadam.

Kā norādīts, šis algoritms (4.3. att.) apraksta adaptēto metodiku Latvijas scenārijam, integrējot saistošos normatīvos aktus un projektēšanas vadlīnijas, kā arī nacionālā ēku fonda attīstības projekciju.

4.3. Modelēto scenāriju apraksts

Darbā analizēti ēku siltumenerģijas patēriņa trīs scenāriji (bāzes, normālais un *nZEB*¹), kas raksturo ēku energoefektivitātes līmeņa atbilstību dažādas stingrības normatīvo aktu prasībām un attiecīgi – siltumenerģijas patēriņu. Šie scenāriji definē ēku siltumenerģijas patēriņu noteicošās robežvērtības laika griezumā līdz 2030. gadam. Apskatītie ēku siltumenerģijas patēriņa scenāriji aprakstīti 4.2. tabulā.

4.2. tabula

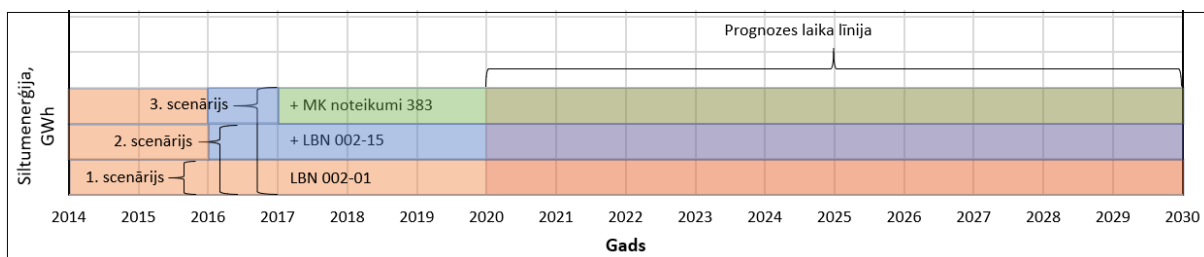
Modelēto scenāriju apraksts

Reference		Piezīmes
1. scenārijs	Bāzes	Ēku siltumenerģijas patēriņš tiek aprēķināts saskaņā ar <i>LBN 002-01</i> prasībām, pieņemot, ka šīs prasības ir spēkā visa apskatāma perioda garumā (līdz 2030. gadam)
2. scenārijs	Normālais	Ēku siltumenerģijas patēriņš 2014.–2015. gadam tiek aprēķināts saskaņā ar <i>LBN 002-01</i> (kā bāzes scenārijā), savukārt, sākot no 2016. gada – saskaņā ar <i>LBN 002-15</i>
3. scenārijs	<i>nZEB</i>	Ēku siltumenerģijas patēriņš attīstās saskaņā ar 2. scenāriju līdz 2016. gadam, savukārt, sākot no 2017. gada, jaunbūvēm stājas spēkā MK 383 noteikumi par ēku energosertifikāciju, kas no 2021. gada paredz enerģijas patēriņa atbilstību gandrīz nulles enerģijas ēku (<i>nZEB</i>) kritērijam ($\leq 40 \text{ kWh/m}^2$)
Prognoze (2021.–2030.)		Ēku siltumenerģijas patēriņš katrā no scenārijiem tiek prognozēts līdz 2030. gadam, ņemot vērā būvniecības nozares attīstības rādītājus, tautsaimniecības izaugsmes prognozes, ES fondu pieejamību u. c. faktorus

Laika līnija apskatāmajiem scenārijiem sākas no 2014. gada, jo kopš *LBN 002-01* ieviešanas 2001. gadā līdz pat *LBN 002-15* prasību ieviešanai 2015. gadā uz siltumenerģijas patēriņu attiecināmās prasības normatīvajos aktos ir palikušas nemainīgas, tāpēc ēku siltumenerģijas patēriņš visos trijos scenārijos līdz 2015. gadam būtu identisks. Turklāt, 3. scenārijs stājas spēkā tikai 2017. gadā.

Jāvērš uzmanība, ka šī darba nodošanas laikā ir stājies spēkā *LBN 002-19* (2019. gada redakcija), taču darbā apskatītais normālais scenārijs atsaucas uz *LBN 002-15* prasībām. Šo normatīvo aktu būtiskā atšķirība ir normatīvo siltuma caurlaidības koeficientu vērtību aizstāšana ar maksimāli pieļaujamajām siltuma caurlaidības koeficientu vērtībām *LBN 002-19* redakcijā, kas būtisku ietekmi uz projicēto ēku siltumenerģijas patēriņa prognozi neradītu.

¹ *nZEB* – gandrīz nulles enerģijas ēka (angļu val. – *nearly zero energy building*).



4.4. att. Ilustratīva apskatīto scenāriju laika līnija.

Ēku siltumenerģijas patēriņa aprēķins tika veikts saskaņā ar ēkas energoefektivitātes aprēķina metodi [16]. Lai iegūtu nepieciešamos ievades datus metodoloģijas projicēšanai analizējamajā laika periodā no 2020. līdz 2030. gadam, tika izstrādāta atsevišķa ēku fonda attīstības prognozes matrica.

4.4. Ēku fonda attīstības prognoze

Lai novērtētu siltumenerģijas ietaupījumus ēkās ilgtermiņā katrā no apskatāmajiem scenārijiem, bija nepieciešams izstrādāt ēku fonda attīstības prognozi, ievērojot vairākus robežnosacījumus. Pieņemot, ka normatīvo aktu prasības 2020.–2030. gada griezumā paliktu nemainīgas atbilstoši izvēlētajam scenārijam (kontrolētais mainīgais), tika sastādīta ēku fonda attīstības matrica līdz 2030. gadam (atkarīgais mainīgais). Šis solis ietvēra dažādu faktoru (mainīgo) identificēšanu, kas tiešā veidā ietekmē būvniecības nozares attīstību ilgtermiņā:

- būvniecības nozares un ekonomikas ekspertu prognozes (ekonomiskie rādītāji, būvniecības nozares attīstības tendences) (v_1);
- ES fondu pieejamība (pašreiz pieejamie un plānotie finanšu mehānismi) (v_2);
- nacionālais progressa ziņojums (v_3);
- uzņēmējdarbības un investīciju vide (v_4);
- nekustamo īpašumu tirgus (v_5);
- hipotekāro kredītu pieejamība (v_6);
- komercaizdevumu pieejamība (v_7);
- reģionālās attīstības plāni un programmas (v_8);
- demogrāfiskā analīze (v_9);
- kļūda ($\pm 5\%$) (ϵ).

Ēku fonda attīstības prognozes matricā tika apkopota virkne faktoru, kas nosaka attīstības dinamiku un virzienu. Izmantojot regulārās analīzes metodi, ēku fonda attīstības prognoze ($BSD_{\text{projection}}$) var tikt matemātiski izteikta kā vienādojums, kura funkcija satur visus iepriekš aprakstītos atkarīgos mainīgos faktorus ($v_1, \dots, v_9$):

$$BSD_{\text{projection}} = f(v_1, v_2, \dots, v_9, \epsilon). \quad (4.1.)$$

Iepriekš minētie mainīgie faktori ($v_1, \dots, v_9$) tiešā un netiešā veidā ietekmē būvniecības nozares dinamiku, tādējādi to apkopošanai vienā prognozes matricā bija nepieciešama neatkarīgu ekspertu verifikācija, kas tika veikta, sadarbojoties ar LR Ekonomikas ministrijas pārstāvjiem. Šis solis ietvēra vairākas atkārtotas prognozes matricas izstrādes, pārrunu,

korekciju un pārskata fāzes, līdz tika nonākts pie kopsaucēja, kas tika apstiprināts izmantošanai šajā darbā.

Pamatojoties uz iepriekš minēto faktoru analīzi, tika izveidota attīstības prognozes matrica Latvijas ēku fondam no 2020. līdz 2030. gadam. Trīs apskatītās ēku kategorijas iekļauj šādas būves:

- dzīvojamās ēkas (viendzīvokļa un daudzdzīvokļu ēkas, viengimeņu mājas);
- sabiedriskās ēkas (valsts institūcijas, biroju ēkas, pirmsskolas un izglītības iestādes, slimnīcas, aprūpes iestādes, viesnīcas u. c.);
- rūpnieciskās ēkas (ražošanas ēkas, spēkstacijas, noliktavas u. c.)

4.3. tabula

Ēku fonda attīstības prognozes matrica 2020–2030

Relatīvais pieaugums pret iepriekšējo gadu, %				
Gads	Dzīvojamās ēkas	Sabiedriskās ēkas	Rūpnieciskās ēkas	Piezīmes
2020	+5,0	+5,0	+2,5	Turpinās iepriekšējā plānošanas posma attīstības dinamika
2021	+2,5	+2,5	+1,25	Tuvojoties jaunajam plānošanas periodam, būvniecības nozares attīstības tempi palēninās
2022	+2,5	+2,5	+1,25	Tuvojoties jaunajam plānošanas periodam, būvniecības nozares attīstības tempi palēninās
2023	+2,5	+2,5	+1,25	Tuvojoties jaunajam plānošanas periodam, būvniecības nozares attīstības tempi palēninās
2024	–10,0	–10,0	–5,0	Pāreja uz nākamo plānošanas periodu, būvniecības apjomu kritums
2025	–5,0	–5,0	–2,5	Pāreja uz nākamo plānošanas periodu, būvniecības apjomu kritums
2026	+2,5	+2,5	+1,25	Jaunu ES fondu un privāto investīciju rezultātā, būvniecības nozare pakāpeniski sāk atgūties
2027	+2,5	+2,5	+1,25	Jaunu ES fondu un privāto investīciju rezultātā, būvniecības nozare pakāpeniski sāk atgūties
2028	+5,0	+5,0	+2,5	Turpinās iepriekšējā posma attīstības dinamika
2029	+5,0	+5,0	+2,5	Turpinās iepriekšējā posma attīstības dinamika
2030	+5,0	+5,0	+2,5	Turpinās iepriekšējā posma attīstības dinamika

4.5. Ēku prototipu modeļu izstrāde

Dati par katras individuālās ēkas inženiertehnisko stāvokli, energoefektivitātes atbilstību normatīvajiem aktiem u. c. parametriem nav publiski pieejami, tāpēc ēku siltumenerģijas patēriņa aprēķiniem tika izstrādāti tipveida dzīvojamās ēkas, sabiedriskās ēkas un rūpnieciskās ēkas modeļi. Šie tipveida prototipa modeļi tika izstrādāti, pamatojoties uz iegūto datu kopu no BIS (būvniecības informācijas sistēma). No šīs datubāzes tika iegūta informācija par 113 dzīvojamām, 41 sabiedriskajām un 19 ražošanas ēkām visā Latvijā, un uz tā pamata izveidoti šo trīs ēku kategoriju prototipi.

Katram ēkas tipam ir atšķirīgi norobežojošo konstrukciju parametri, projektējamā platība, termālā komforta un gaisa kvalitātes prasības, kā arī siltumtehniko aprēķinu specifika u. c. faktori, kas tika ņemti par pamatu ēku prototipu izstrādei.

4.4. tabula

Ievaddati ēku tipveida prototipu izstrādei

Noteicošais parametrs	Dzīvojamās ēkas	Sabiedriskās ēkas	Rūpnieciskās ēkas
Zonas aprēķina platība A , m^2	2462,50	12 485,42	3793,80
Zonas telpu vidējais augstums, m	2,5	3,0	6,0
Zonas tilpums V_{eff} , m^3	6156,25	37 456,26	22 762,8
Apkurei uzstādītā iekštelpu temperatūra T_{in} , $^{\circ}C$	19,0	19,0	17,0
Gaisa apmaiņas koeficients n , 1/h	0,55	1,50	2,00
Kopējais gaisa apmaiņas daudzums V_{air} , m^3/h	3385,90	56 184,40	45 525,60
Kopējie iekšējie siltuma ieguvumi apkures periodā Q_{int} , kWh/m^2	37,0	39,9	39,9
Saules siltuma ieguvumu summa apkures periodā Q_{sol} , kWh/m^2	13,0	13,2	13,2
Ieguvumu izmantošanas koeficients η	0,86	0,86	0,86
Apkures perioda ilgums	205,8	205,8	205,8
Vidējā āra gaisa temperatūra apkures periodā T_{out} , $^{\circ}C$	-0,57	-0,57	-0,57

Ēku norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficienti atšķiras atkarībā no ēkas tipa, un pēc tiem tiek aprēķinātas normatīvās prasības apkurei nepieciešamajam enerģijas apjomam gadā (kWh/m^2). Aprēķinot apkurei nepieciešamo enerģiju gadā (kWh/m^2) un apkopojot dzīvojamā fonda (m^2) statistikas datus par jaunbūvē un renovētajām ēkām, tika noteikts kopējais siltumenerģijas patēriņš katrā gadā (kWh) norādītajā laika posmā katram ēkas tipam (dzīvojamās, sabiedriskās un rūpnieciskās ēkas).

Normatīvie ēku norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficienti definē ēkas siltumenerģijas patēriņu, tāpēc tie tiek izmantoti par pamatu ēku siltumenerģijas patēriņa aprēķinos. Šo siltuma caurlaidības koeficientu prasības atšķiras katrai apskatāmajai ēku kategorijai, un to normatīvās vērtības ir reglamentētas Latvijas būvnormatīvā LBN 002-15. Kopš 2020. g. 1. janvāra ir stājies spēkā LBN 002-19, šajā būvnormatīvā nav noteiktas būves elementu un lineāro termisko tiltu siltuma caurlaidības koeficientu normatīvās vērtības, kā arī nav spēkā nosacījums, ka ēkas kopējais siltuma zudumu koeficients nedrīkst pārsniegt koeficienta normatīvo vērtību, līdz ar to ēku norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficientiem tiek definēta augstākā robežvērtība U , kuru atsevišķu būvju elementu un lineāro termisko tiltu aprēķina siltuma caurlaidības koeficientu vērtības nedrīkst pārsniegt.

Ikgadējais siltumenerģijas patēriņš (kWh) tika noteikts saskaņā ar MK noteikumu nr. 348 prasībām, aprēķinot īpatnējo siltumenerģijas patēriņu katras kategorijas tipveida prototipa ēkai (kWh/m^2) un apkopojot ēku fonda attīstības datus (m^2).

Tādējādi ikgadējais siltumenerģijas patēriņš (E_{annual}) katram ēkas prototipam (kWh/m^2) tika aprēķināts, izmantojot šādu vienādojuma [16]:

$$E_{\text{annual}} = \frac{\sum U_i A_i + \sum \Psi_j l_j + \sum \chi_k + (V_{\text{air}} c) \cdot 24 D_{\text{heat}} (T_{\text{in}} - T_{\text{out}})}{1000 A} - \eta (Q_{\text{int}} + Q_{\text{sol}}), \quad (4.2.)$$

- kur
- U_i – ēkas norobežojošās konstrukcijas siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$;
 - A_i – apskatāmās norobežojošās konstrukcijas virsmas laukums, m^2 ;
 - Ψ_j – lineārā termiskā tilta siltuma caurlaidības koeficients, $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;
 - l_j – lineārā termiskā tilta garums, m ;
 - χ_k – punktveida termiskā tilta siltuma caurlaidības koeficients, W/K ;
 - V_{air} – gaisa apmaiņas ražīgums, m^3/h ;
 - c – gaisa īpatnējā tilpuma siltumietilpība, $\text{Wh}/(\text{m}^3\text{K})$;
 - D_{heat} – apkures dienu skaits;
 - T_{in} – vidējā iekštelpu temperatūra novērtējuma periodā, $^{\circ}\text{C}$;
 - T_{out} – vidējā āra gaisa temperatūra novērtējuma periodā, $^{\circ}\text{C}$;
 - A – kopējais ēkas grīdas laukums, m^2 ;
 - η – ieguvumu izmantošanas koeficients apkurei saskaņā *EN ISO 13790:2009* L [17];
 - Q_{int} – visas ēkas iekšējie ieguvumi novērtējuma periodā, Wh ;
 - Q_{sol} – iekšējie ieguvumi no saules starojuma novērtējuma periodā, Wh .

5. REZULTĀTI UN TO APSPRIEŠANA

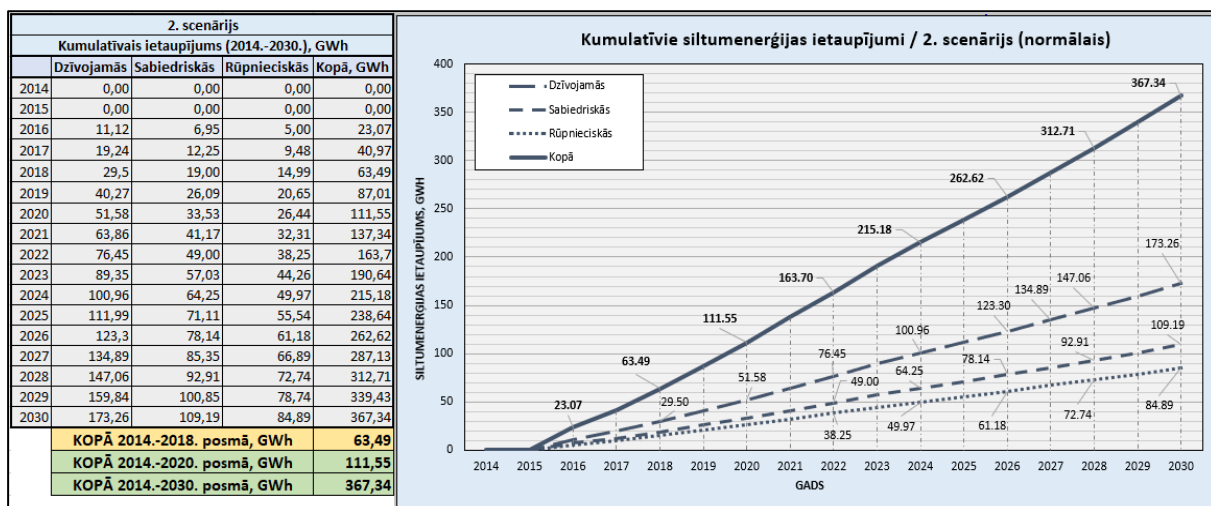
Darba rezultāti norāda, ka, ieviešot *nZEB* scenāriju, sabiedriskajās un rūpnieciskajās ēkās ilgtermiņā tiktu sasniegti ievērojami augstāki siltumenerģijas ietaupījumi, salīdzinot ar normālo scenāriju, savukārt dzīvojamās ēkās normālais un *nZEB* scenārijs ģenerētu līdzīgu kumulatīvo ietaupījuma raksturlīkni.

Pamatojoties uz izstrādāto kumulatīvo ietaupījumu ilgtermiņa prognozi, var novērot, ka līdz pat 2027. gadam nedaudz augstāks siltumenerģijas ietaupījums dzīvojamās ēkās tiktu ģenerēts, sekojot normālajam scenārijam (134,89 GWh > 131,33 GWh), savukārt sabiedriskajās un rūpnieciskajās ēkās *nZEB* scenārijs ģenerētu daudz augstākus siltumenerģijas ietaupījumus nekā normālais scenārijs jau no tā ieviešanas gada. Tādējādi 2030. gadā potenciālie projicētie kumulatīvie ietaupījumi dzīvojamām ēkām normālā un *nZEB* scenārijā atšķirtos nelielās robežās (173,26 GWh – normālais; 185,30 GWh – *nZEB*).

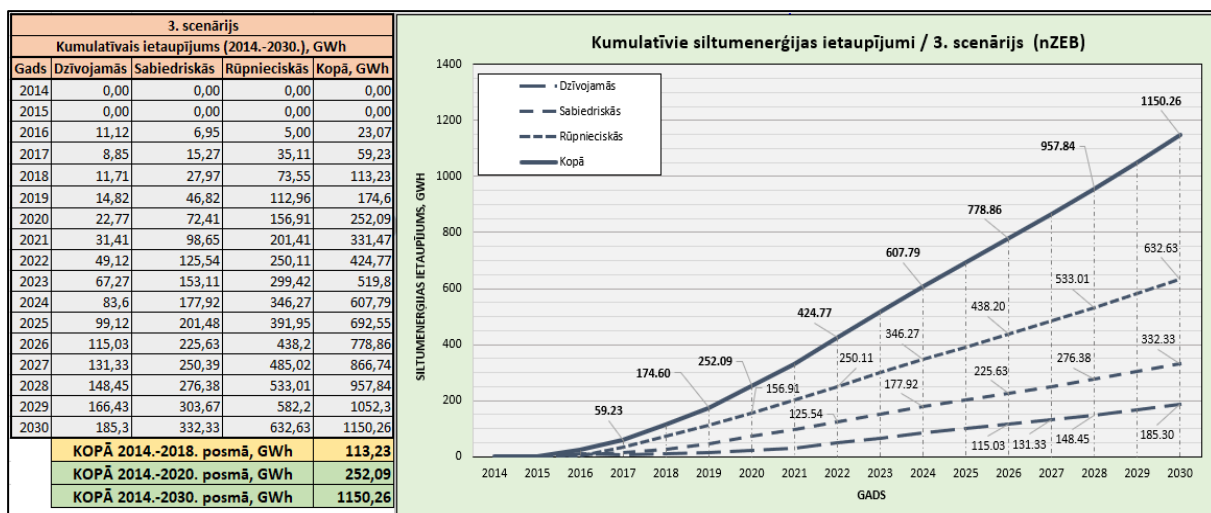
Sabiedriskajās ēkās, sākot no 2017. gada, kumulatīvo siltumenerģijas ietaupījumu līknes normālā un *nZEB* scenārijā sāktu krasi divergēt. Savukārt *nZEB* scenārijā kumulatīvo ietaupījumu līkne sabiedriskajām ēkām turpinātu lineāri pieaugt pret normālo scenāriju no 2020. līdz 2030. gadam, jo šajā laika periodā abos scenārijos iestātos nemainīgas siltuma patēriņa prasības (118,30 kWh/m² – normālā scenārijā; 45,00 kWh/m² – *nZEB* scenārijā).

Līdzīgi kā sabiedriskajās ēkās, enerģijas patēriņa un kumulatīvo siltumenerģijas ietaupījumu līkne *nZEB* scenārijā rūpnieciskajās ēkās krasi un nepārtraukti pieaugtu attiecībā pret normālā scenārija līkni. Normālā scenārijā rūpnieciskajās ēkās 2030. gadā tiktu ģenerēti 84,89 GWh lieli siltumenerģijas ietaupījumi, savukārt *nZEB* scenārijā tie būtu ievērojami augstāki – 632,63 GWh.

5.1. un 5.2. attēlā redzamas kumulatīvo ietaupījumu līknes laika periodā no 2014. līdz 2030. gadam dzīvojamās, sabiedriskajās un rūpnieciskajās ēkās normālajā un *nZEB* scenārijā.



5.1. att. Kumulatīvie siltumenerģijas ietaupījumi normālajā scenārijā.



5.2. att. Kumulatīvie siltumenerģijas ietaupījumi *nZEB* scenārijā.

Kā redzams, visos gadījumos *nZEB* scenārijā kumulatīvo siltumenerģijas ietaupījumu līkne pieaug krasāk, rūpniecisko ēku fondam sastādot lielāko daļu (>50 %) no kopējiem siltumenerģijas ietaupījumiem. Taču jāatzīmē, ka šī scenārija realizēšanai ēkām būtu jāuzstāda pārmērīgi striktas energoefektivitātes prasības, kas būtu grūti izpildāmas un prasītu vērienīgus dziļās renovācijas pasākumus salīdzinoši īsajā laika posmā (2021.–2030.). Ņemot vērā to, ka *nZEB* prasības attiecas tikai uz tām jaunbūvēm, kurām tiek paredzēts energosertifikācijas audits pirms to nodošanas ekspluatācijā (saskaņā ar MK noteikumiem nr. 383), šāda scenārija ieviešanai obligātā kārtībā būtu nepieciešamas skaidri noteiktas valdības un nozares ekspertu vadlīnijas, kā arī uz mērķa sasniegšanu orientēti finanšu atbalsta mehānismi (stimulējošie pasākumi, subsīdijas, nodokļu atvieglojumi u. c.) [18].

Papildu izaicinājumi *nZEB* scenārija realizēšanai ir saistīti ar to, ka tajā tiek akcentēta ēkas līmeņa parametru kontrole nevis individuālo būvkomponentu parametru kontrole, tādā veidā mazāk vēršot uzmanību katras atsevišķas ēkas specifikai, inženiertehniskajiem vai arhitektoniskajiem ierobežojumiem u. c. noteicošiem faktoriem. Liekot uzsvāru uz *nZEB* prasību sasniegšanu apskatāmajā ēku fondā, var identificēt vairākus izaicinājumus. Īstermiņa izaicinājums ir jaunbūvēto (vai renovēto) ēku energoefektivitātes līmeņa atbilstība projektējamajiem kritērijiem ilgākā laika griezumā, nodrošinot stabilu energoefektivitātes kritēriju izpildi arī grūti paredzamos apstākļos [19], t. i., uzturot zināma līmeņa stabilitāti krasām ārējo apstākļu izmaiņām vai inženiertehnisko sistēmu bojājumu, elektroenerģijas padeves traucējumu gadījumā [20]. Ilgtermiņa izaicinājums ēkas līmeņa parametru kontrolei, salīdzinot ar individuālo būvkomponentu kontroli, ir saistīts ar ēku noturību to dzīves cikla laikā saglabāt vides un sociālekonomisko ilgtspējību [21].

Šajā kontekstā normālais scenārijs piedāvā reāli izpildāmu un no finansiālo resursu ieguldījumu viedokļa pamatotu attīstības plānu, jo šī scenārija pamatā ir individuālo ēku komponentu kontrole – ēku norobežojošo konstrukciju siltuma caurlaidības koeficientu normēšana. Taču šī scenārija ievērošana neparedz būtiskus siltumenerģijas ietaupījumus ilgtermiņā, jo tajā definētās prasības nosaka vien minimālo kritēriju izpildi, t. i., augstākās robežvērtības siltuma caurlaidības koeficientiem, ko ēku norobežojošās konstrukcijas nedrīkst

pārsniegt [18], [22]. Savukārt, ja šo prasību izpilde tiktu papildināta ar zemas enerģijas patēriņa pasākumiem, tad siltumenerģijas ietaupījumu potenciāls ievērojami pieaugtu (īpaši dzīvojamās un sabiedriskajās ēkās) [23].

Līdzās ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehniko īpašību uzlabojumiem papildu pasākumi siltumenerģijas zudumu samazināšanai ietver mehānisko inženiersistēmu efektivitātes un ekspluatācijas optimizēšanu, kā arī elektrisko ierīču enerģijas patēriņa optimizēšanu. Dziļā ēku renovācija paredz ēku norobežojošo konstrukciju un inženiertehnisko sistēmu modernizācijas paketes, kas var ģenerēt atšķirīgus rezultātus atkarībā no piemērojamajiem renovācijas pasākumiem un ēkas tipa [24], [25]. Piemēram, slimnīcās, laboratorijās, militārajās būvēs var būt nepieciešama pastiprināta ventilācijas sistēma un lielas noslodzes ventilācijas iekārtas, lai šīs ēkas atbilstu to specifiskajām ekspluatācijas prasībām [26]. Šie aspekti promocijas darbā atsevišķi apskatīti netika, jo darbā tika pētīts dažādu ēku siltumenerģijas patēriņa reglamentējošo prasību ieviešanas ietekme ilgtermiņā.

6. SECINĀJUMI

1. Sekojot definētajiem priekšnosacījumiem, šajā darbā izstrādāta metodoloģija ilgtermiņa siltumenerģijas ietaupījumu potenciāla novērtēšanai dzīvojamās, sabiedriskajās un rūpnieciskajās ēkās Latvijā līdz 2030. gadam. Potenciālie siltumenerģijas ietaupījumi tika analizēti jaunajām un renovētajām ēkām trīs ēku siltumenerģijas patēriņa scenārijos.
2. Izstrādātā ēku fonda attīstības prognozes matrica norāda, ka tuvākajā dekādē jaunuzbūvēto un renovēto ēku skaits ik gadu lēnām pieaugs ar nelielu stagnāciju 2024. un 2025. gadā, kas ir saistīts ar pāreju uz nākamo ES fondu finansējumu plānošanas periodu. Šajā laikā ir paredzams neliels kritums ēku fonda attīstībā investoru piesardzības dēļ. Taču tiek paredzēts, ka nākamajā posmā ēku nozares attīstība pakāpeniski atgriezīsies iepriekšējā attīstības tempā un turpinās stabilu izaugsmes tendenci līdz 2030. gadam.
3. Pieaugošā ēku fonda attīstības prognozes raksturlīkne ir par pamatu ēku nozares centrālajai lomai enerģijas taupības pasākumu ieviešanā. Ēku energoefektivitātes paaugstināšana un ar to saistītie ilgtermiņa ieguvumi ir ēku īpašnieku, nomnieku, apsaimniekotāju, infrastruktūras pārvaldītāju u. c. iesaistīto pušu interesēs.
4. Darba rezultāti uzsver augsto normatīvo aktu lomu ēku siltumenerģijas patēriņa samazināšanā. Tomēr viena konkrēta siltumenerģijas patēriņa samazināšanas scenārija ieviešana visā ēku fondā nav optimāls ilgtermiņa nozares tālākas attīstības faktors, jo tas var radīt jaunus inženiertehniskus un ekonomiskus izaicinājumus jaunu ēku būvniecības un esošo ēku renovācijas projektu attīstībā.
5. Vairākas ES valstis pēdējos gados ir ieviesušas arvien stingrākus ēku energoefektivitāti reglamentējošus normatīvos aktus, kā rezultātā to ēku fonds nozares dalībniekiem ir kļuvis ievērojami energoefektīvāks, ilgtspējīgāks un pievilcīgāks no ekspluatācijas viedokļa. Turklāt šajā darbā analizētie literatūras avoti norāda, ka noteikta daļa jaunuzbūvēto un renovēto ēku tiek projektētas atbilstoši kritērijiem, kas atsevišķos gadījumos būtiski pārsniedz normatīvo aktu prasības, palielinot kopējos kumulatīvos siltumenerģijas ietaupījumus.
6. Siltumenerģijas patēriņa samazināšanai renovētajās ēkās ir pārdomātāk likt uzsvaru uz individuālo ēkas komponentu optimizāciju, kas ļauj uzlabot ēkas energoefektivitāti, nomainot, papildinot vai uzlabojot elementus, piemēram, logu nomainīšana, papildu siltumizolācijas slāņa integrēšana norobežojošās konstrukcijās, AVK sistēmas modernizēšana, ēku automatizācijas sistēmu ierīkošana u. c. pasākumi.
7. Kumulatīvie siltumenerģijas ietaupījumu aprēķinu rezultāti norāda, ka normālā scenārija gadījumā līdz 2030. gadam tiktu ietaupīts 367,34 GWh siltumenerģijas, savukārt *nZEB* scenārija gadījumā tiktu ietaupīts 1150,26 GWh siltumenerģijas. Tomēr būtiski ietaupījumi *nZEB* scenārijā tiktu iegūti pārmērīgi striktu un grūti īstenojamu energoefektivitātes kritēriju ieviešanas rezultātā (jo īpaši sabiedriskajā un rūpniecisko ēku sektorā), kas var neattaisnot ieguldītos līdzekļus. Šis scenārijs paredz ēku atbilstību gandrīz nulles enerģijas patēriņa kritērijiem, kas paredz vērienīgus

investoru un pašvaldību ieguldījumus, kā arī augsti kvalificētu speciālistu piesaisti (no projektēšanas līdz montāžas stadijai). Tādējādi šis scenārijs apraksta zināmā mērā “agresīvu” iniciatīvu, ņemot vērā paredzamos izaicinājumus ieinteresētajām pusēm un potenciālo risku izraisīt būvniecības industrijas attīstības kavēšanos vai pat stagnāciju. Tas savukārt negatīvi ietekmēs turpmāko investīciju piesaisti, darba tirgu, nacionālo IKP un kopējo ekonomisko attīstību valstī ilgtermiņā. Taču ir jāatzīmē, ka būvniecības nozares attīstības dinamika var būtiski diverģēt no šajā darbā izstrādātās prognozes matricas, un tādā gadījumā arī potenciālo siltumenerģijas ietaupījumu projekcija atšķirsies.

8. Lai arī pastāv labi zināmi tehniska rakstura pasākumi ēku siltumenerģijas patēriņa samazināšanai (piemēram, papildu siltumizolācijas ierīkošana, AVK sistēmas modernizēšana u. c.), regulāra inženiertehnisko sistēmu pārbaude un apkalpošana ir būtisks faktors energopatēriņa līmeņa uzturēšanai projektējamajā diapazonā. Vairākas ES dalībvalstis ir paziņojušas par to ilgtermiņa stratēģijām nacionālā mērogā ēku energoefektivitātes uzlabošanai. Šī mērķa sasniegšana ietver šādus starpdisciplināros apakšsoļus: a) pastāvīga nozares speciālistu sagatavošana; b) sabiedrības iesaiste un izglītojošas kampaņas par ieguvumiem no ēku energoefektivitātes; c) ēku energoefektivitātes uzraudzība un energoauditu veikšana; d) skaidras un izpildāmas reglamentējošās prasības; e) ēku siltumenerģijas patēriņa samazināšanas uzstādījumu un nacionālo vadlīniju ievērošana; f) finansiālo atbalsta programmu identificēšana un pieejamība energoaudita vai ēku energoefektivitātes pasākumu realizēšanai.

REKOMENDĀCIJAS UN TURPMĀKIE PĒTĪJUMI

Izstrādātā metodoloģija ir izmantojama ne vien šī pētniecības darba mērķiem, bet arī plašākā spektrā, ievadot nepieciešamos robežnosacījumus. Pastāvīga energoauditu veikšana esošajā ēku fondā, kā arī energoauditu paplašināšana ārpus dzīvojamā un sabiedrisko ēku spektra būtiski sekmētu turpmāko pētniecību šajā nozarē. Turklāt ēku energoefektivitāti reglamentējošās prasības attīstītajās valstīs kļūst arvien stingrākas, tāpēc vienu un to pašu ēku siltumenerģijas efektivitāti paaugstinošo tehnisko aspektu uzlabošanas pasākumu turpināšana vairs negarantēs būtiskus siltumenerģijas ietaupījumus. Tādējādi nākotnē arvien vairāk uzmanības būs jāpievērš stingrākām prasībām attiecībā uz ēku ekspluatāciju un uzturēšanu, ēku iekārtām, mehāniskajām sistēmām u. c. aspektiem.

PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

1. Prozuments, A., Kim, A. & Borodinecs, A. Evaluation of the Building Stock Thermal Performance Under Various Building Code Compliance Scenarios: The Case of Latvia. ASCE- Construction Research Congress. Tempe, Arizona. March, 2020.
2. Prozuments, A., Borodinecs, A., Odiņeca, T., Nemova, D. Long-Term Buildings' Space Heating Estimation Method. In: Proceedings of ECE 2019. Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 70. Cham: Springer, 2020. pp. 539–550. ISBN 978-3-030-42350-6. e-ISBN 978-3-030-42351-3. ISSN 2366-2557. Available from: doi:10.1007/978-3-030-42351-3_47.
3. Borodinecs A., Geikins A., Prozuments A. (2020) Energy Consumption and Retrofitting Potential of Latvian Unclassified Buildings. In: Littlewood J., Howlett R., Capozzoli A., Jain L. (eds) Sustainability in Energy and Buildings. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol. 163. Springer, Singapore.
4. Prozuments, A., Borodinecs, A. B., Zemitis, J., Strelets, K. I. The effect of the air duct tightness on the stability of the indoor air parameters. Magazine of Civil Engineering. 2020. 97 (5). Article No. 9710. DOI: 10.18720/MCE.97.10.
5. Borodinecs, A., Prozuments, A., Zajecs, D., Bebre, G. Hydrothermal Performance of the External Wooded Frame Wall Structure Reinforced with Ballistic Panels. In: 12th Nordic Symposium on Building Physics (NSB 2020), Estonia, Tallinn, 6–9 September, 2020. Igaunija: E3S Web of Conferences, 2020, pp. 1–8. ISSN 2555-0403. Available from: doi:10.1051/e3sconf/202017207005.
6. Prozuments A., Borodinecs A., Zajacs A., Zemitis J. Retrofitting of fire stations in cold climate regions. Magazine of Civil Engineering. 2019. No. 06. pp. 85–92. doi: 10.18720/MCE.90.8.
7. Kim, Amy & Wang, Shuoqi & McCunn, Lindsay & Prozuments, Aleksejs & Swanson, Troy & Lokan, Kim. (2019). Commissioning the Acoustical Performance of an Open Office Space Following the Latest Healthy Building Standard: A Case Study. Acoustics. 1. 473–492. 10.3390/acoustics1030027.
8. Borodinecs, A., Bogdanovičs, R., Prozuments, A., Tihana, J., Gaujēna, B. Evaluation of Hybrid Heating Systems with a Combination of Fossil and Renewable Energy Sources. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, vol. 297, pp. 1–6. ISSN 1755-1307. e-ISSN 1755-1315. Available from: doi:10.1088/1755-1315/297/1/012050.
9. Prozuments, A., Borodinecs, A., Križmane, M. A Review Study on Specific Requirements for Refurbishment of Military Buildings in Cold Climates. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Latvia, Riga, 25–27 September, 2019. -: IOP Publishing, 2019, pp. 1–10. ISSN 1757-8981. Available from: doi:10.1088/1757-8981/660/1/012016.

10. Zemītis, J., Lūsis, J., Borodīņecs, A., Prozuments, A. Report on Study Findings Regarding Pollution Levels in Indoor Shooting Ranges and Ventilation System Design to Limit Them. In: Proceedings of the 4th International Conference on Building Energy & Environment 2018, Australia, Melbourne, 5–9 February, 2018. Melbourne: RMIT University, 2018, pp. 121–126. ISBN 978-0-646-98213-7.
11. Borodīņecs, A., Zemītis, J., Dobelis, M., Kaļinka, M., Prozuments, A., Šteinerte, K. Modular Retrofitting Solution of Buildings based on 3D Scanning. *Procedia Engineering*, 2017, Vol. 205, pp. 160–166. ISSN 1877-7058.
Available from: doi:10.1016/j.proeng.2017.09.948.
12. Prozuments, A., Borodīņecs, A. Indoor Air Stratification in Warm Air Supply Systems. *ASHRAE Journal*, 2017, Vol. 59, pp. 54–65. ISSN 0364-9962.
13. Prozuments, A., Vanags, I., Borodīņecs, A., Millers, R., Tumanova, K. A Study of the Passive Cooling Potential in Simulated Building in Latvian Climate Conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, Vol. 251: 3rd International Conference on Innovative Materials, Structures and Technologies (IMST 2017), pp. 1–8. ISSN 1757-8981. Available from: doi:10.1088/1757-899X/251/1/012052.
14. Prozuments, A., Borodīņecs, A., Strutinska, D., Nefedova, A., Bykova, J. Survey-based Study on Sportsmen Performance under Different Air Parameters in Sport Halls. In: CLIMA 2016 – proceedings of the 12th REHVA World Congress, Denmark, Aalborg, 22–25 May, 2016. Aalborg: Aalborg University, Department of Civil Engineering, 2016, pp. 1–8. e-ISBN 87-91606-32-2.
15. Zajacs, A., Zemītis, J., Prozuments, A., Tihomirova, K., Borodīņecs, A. Sustainable City Development: Implementation Practices in Riga. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, Vol. 725–726, pp. 1470–1476. ISSN 1662-7482.
Available from: doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.1470.
16. Prozuments A., Borodīņecs A. Testing the use of an active chilled beam technology in a hospital ward mock-up. *REHVA journal*, Vol. 2015, No. 08, pp. 49–52, May 2015.
17. Prozuments, A., Zemītis, J., Borodīņecs, A. Prevention of the Indoor Air Stratification in Warm Air Supply Systems. In: Proceedings of the 9th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning and the 3rd International Conference on Building Energy and Environment, China, Tianjin, 12–15 July, 2015. Tianjin: 2015, pp. 1–8. ISBN 978-194327809-1.
18. Zemītis, J., Borodīņecs, A., Prozuments, A. Passive Use of Solar Energy in Double Skin Facades for Reduction of Cooling Loads. In: Proceedings of World Renewable Energy Forum (WREF 2012), United States of America, Denver, 13 May–17 Jul., 2012. Denver: American Solar Energy Society, 2012, pp. 1–6. ISBN 978-1-938547-04-1.
19. Prozuments, A., Borodīņecs, A. The Optimal Operating Range of VAV Supply Units. In: ASHRAE/REHVA/SCANVAC Seventh International Cold Climate HVAC Conference Proceedings, Canada, Calgary, 12–14 November, 2012. Calgary: 2012, pp. 265–270.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] European Union, “The 28 member countries of the EU,” *Europa.eu*, 2020. [Online]. Available: https://europa.eu/european-union/about-eu/countries_en#tab-0-1.
- [2] E. D. 2012/27/EU, “EU Parliament, Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC Text with EEA relevance,” 2012.
- [3] EUBD, “European Buildings Database; <https://ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-database>,” 2017.
- [4] D. Bosseboeuf, “Energy Efficiency Trends and Policies in the Household and Tertiary Sectors,” no. June, p. 97, 2015.
- [5] A. Borodinecs, A. Kreslins, and E. Dzelzitis, “General Requirements for the Energy Performance of Buildings in Latvia,” in *Clima 2007 WellBeing Indoors*, 2007.
- [6] A. Ozolins and A. Jakovics, “Risks of condensate formation and mould growth in buildings under Latvian climate conditions,” *Earth Relat. Env. Sci. Env. Eng.*, 2013.
- [7] J. Zemitis and A. Borodinecs, “Indoor Air Quality in Multi-Storey Apartment Buildings after Refurbishment,” in *5th International Scientific Conference “Civil Engineering ‘15”*, 2015.
- [8] H. L. Kangas, D. Lazarevic, and P. Kivimaa, “Technical skills, disinterest and non-functional regulation: Barriers to building energy efficiency in Finland viewed by energy service companies,” *Energy Policy*, vol. 114, no. December 2017, pp. 63–76, 2018.
- [9] N. Aste, P. Caputo, M. Buzzetti, and M. Fattore, “Energy efficiency in buildings: What drives the investments? the case of Lombardy Region,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 20, pp. 27–37, 2016.
- [10] P. Lazzeroni *et al.*, “Energy efficiency measures for buildings in Hebron city and their expected impacts in the distribution grid,” *Energy Procedia*, vol. 134, pp. 121–130, 2017.
- [11] G. Di Foggia, “Energy efficiency measures in buildings for achieving sustainable development goals,” *Heliyon*, vol. 4, no. 11, p. e00953, 2018.
- [12] M. Alam *et al.*, “Government championed strategies to overcome the barriers to public building energy efficiency retrofit projects,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 44, no. September 2018, pp. 56–69, 2019.
- [13] “EPBD,” 2018.
- [14] A. Prozuments, I. Vanags, A. Borodinecs, R. Millers, and K. Tumanova, “A study of the passive cooling potential in simulated building in Latvian climate conditions,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 251, no. 1, 2017.
- [15] A. Borodinecs, A. Prozuments, J. Zemitis, D. Zajecs, and G. Bebre, “Hydrothermal performance of the external wooded frame wall structure reinforced with ballistic panels,” in *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 172.

- [16] Minister of Economic Affairs and Communications, "Methodology for calculating the energy performance of buildings," 2014.
- [17] "LV EN ISO 13790:2009 'Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling.'"
- [18] A. Prozuments, A. Kim, and A. Borodinecs, "Evaluation of the Building Stock Thermal Performance under Various Building Code Compliance Scenarios: The Case of Latvia," in *Construction Research Congress 2020*, 2020.
- [19] L. Belussi *et al.*, "A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions," *J. Build. Eng.*, vol. 25, no. December 2018, 2019.
- [20] S. Wang, A. A. Kim, and D. A. Reed, "Embedded Distribution Systems for Enhanced Energy Resilience," *J. Sol. Energy Eng.*, vol. 139, no. February, pp. 1–9, 2017.
- [21] "EN ISO/TR 52003-2:2017 Energy performance of buildings. Indicators, requirements, ratings and certificates."
- [22] A. Prozuments, A. Borodinecs, T. Odineca, and D. Nemova, "Long-Term Buildings' Space Heating Estimation Method," *Lect. Notes Civ. Eng.*, vol. 70, pp. 539–550, 2020.
- [23] A. Levesque, R. C. Pietzcker, and G. Luderer, "Halving energy demand from buildings : The impact of low consumption practices," *Technol. Forecast. Soc. Chang.*, vol. 146, no. April, pp. 253–266, 2019.
- [24] A. Borodinecs, A. Geikins, and A. Prozuments, "Energy consumption and retrofitting potential of Latvian unclassified buildings," in *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2020, vol. 163, pp. 319–326.
- [25] A. Prozuments, A. Borodinecs, and J. Zemitis, "Survey based evaluation of indoor environment in an administrative military facility," *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.*, vol. 27, no. 2, pp. 96–107, 2020.
- [26] A. Prozuments, A. Borodinecs, and M. Krizmane, "A review study on specific requirements for refurbishment of military buildings in cold climates," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 660, no. 1, 2019.