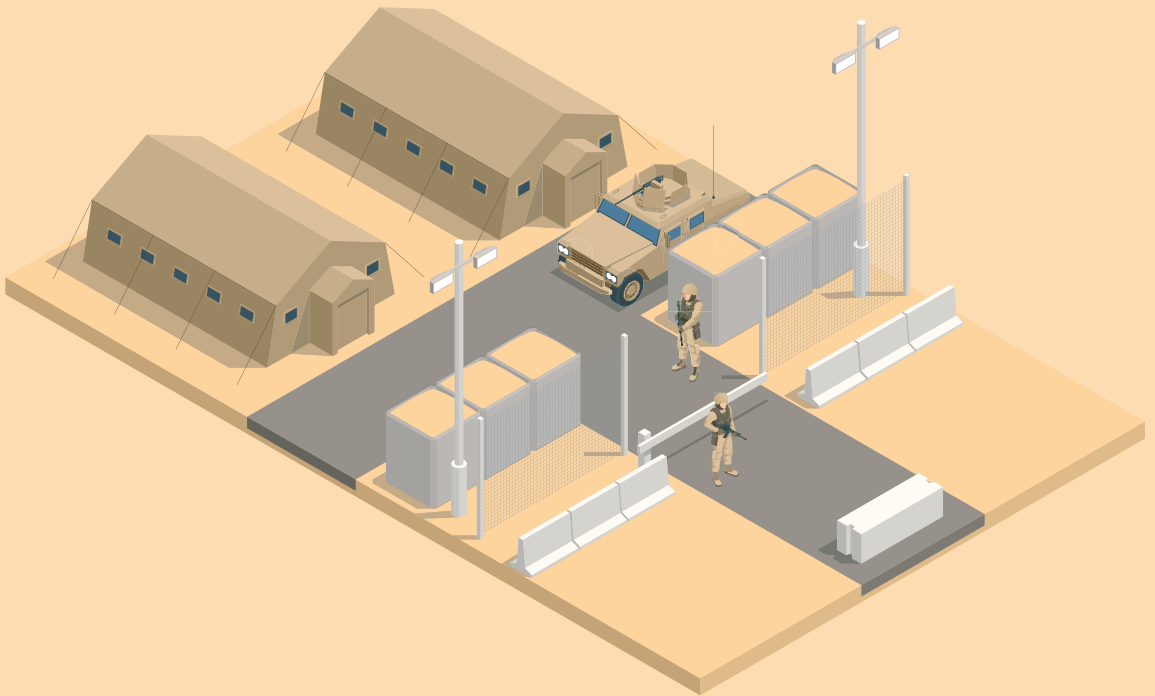


**Aleksandrs Geikins**

# NEKLASIFICĒTO ĒKU ENERGOEFEKTIVITĀTES NOTEIKŠANAS METODOLOĢIJA

Promocijas darba kopsavilkums



**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Būvniecības inženierzinātņu fakultāte  
Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģiju institūts

**Aleksandrs Geikins**

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

**NEKLASIFICĒTO ĒKU  
ENERGOEFEKTIVITĀTES NOTEIKŠANAS  
METODOLOĢIJA**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskie vadītāji:

Profesors *Dr. sc. ing.*  
ANATOLIJS BORODIŅECS

Profesors *Dr. sc. ing.*  
ALEKSANDRS KORJAKINS

RTU Izdevniecība  
Rīga 2022

Geikins A. Neklasificēto ēku energoefektivitātes noteikšanas metodoloģija. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2022. – 52 lpp.

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes “RTU P-12” 2022. gada 9. jūlijā lēmumu, protokols Nr. 2/22.



NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Reģionālās  
attīstības fonds

---

I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

Promocijas darbs tapis ar ES FONDI 2014–2020 darbības programmas “Izaugsme un nodarbinātība” 1.1.1. specifiskā atbalsta mērķa “Palielināt Latvijas zinātnisko institūciju pētniecisko un inovatīvo kapacitāti un spēju piesaistīt ārējo finansējumu, ieguldot cilvēkresursos un infrastruktūrā” 1. kārtā, projekta iesnieguma Nr.1.1.1.1/16/A/048 “Neklasificēto ēku gandrīz nulles enerģijas ēku risinājumi” un Rīgas Tehniskās universitātes Doktorantūras pētniecības grantu programmas atbalstu.

<https://doi.org/10.7250/9789934228254>

ISBN 978-9934-22-825-4 (pdf)

**PROMOCIJAS DARBS**  
**IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI**  
**RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2022. gada 11. oktobrī plkst. 13.00 Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības inženierzinātņu fakultātē, Ķīpsalas ielā 6 A, 546. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors Dr. of Sc. *Valerii Deshko*,  
Ukrainas Nacionālā tehniskā universitāte, Ukraina

Asociētais profesors *Ph. D. Lakatos Ákos*,  
Debrecenas Universitāte, Ungārija

Docente *Dr. sc. ing. Kristina Ļebedeva*,  
Rīgas Tehniskā universitāte

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.

Aleksandrs Geikins .....

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, piecas nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 85 attēli, 30 tabulu, kopā 130 lappušu. Literatūras sarakstā ir 104 nosaukumi.

## Saturs

IEVADS .....	6
Promocijas darba aktualitāte .....	7
Promocijas darba mērķis un uzdevumi .....	7
Promocijas darba hipotēze .....	8
Pētniecības metodes .....	8
Promocijas darba zinātniskā novitāte .....	9
Promocijas darba praktiskā nozīme .....	9
Promocijas darba struktūra un apraksts .....	10
Promocijas darba aprobācija .....	10
1. ESOSĀS SITUĀCIJAS ANALĪZE NEKLASIFICĒTO ĒKU ENERGOEFEKTIVĪTĀTES JOMĀ .....	12
1.1. Kopējie Eiropas Savienības un Latvijas Republikas stratēģiskie mērķi .....	12
1.2. Vidējais īpatnējais enerģijas patēriņš Latvijas Republikas Aizsardzības ministrijas (AM) valdījumā esošajām ēkām .....	13
1.3. Vidējais īpatnējais enerģijas patēriņš Latvijas Republikas Iekšlietu ministrijas valdījumā esošajām ēkām (ugunsdzēsības un policijas iecirkņi) .....	15
1.4. Enerģijas patēriņš karstā ūdens sagatavošanai .....	16
1.5. Siltumenerģijas patēriņš neklasificētās ēkās .....	17
Siltumenerģijas patēriņš speciālās nozīmes centros .....	18
2. NEKLASIFICĒTO ĒKU SISTEMATIZĀCIJA .....	21
2.1. Neklasificēto ēku sistematizācijas nepieciešamība .....	21
2.2. Neklasificēto ēku sistematizācijas principi .....	22
2.3. Neklasificēto ēku telpu izmantošanas specifika .....	22
2.4. Telšu sistematizācija .....	23
2.5. Latvijas policijas, ugunsdzēsības dienestu ēku un Latvijas aizsardzības spēku ēku iedalījums pēc uzbūvēšanas gadiem .....	23
3. NEKLASIFICĒTO ĒKU ENERGOEFEKTIVĪTĀTES NOTEIKŠANAS METODOLOĢIJA .....	25
3.1. Neklasificētu ēku energoefektivitāte .....	28
3.2. Ēku un telts siltuma zudumu noteikšanas modelis .....	30
3.3. Spēkā esošo likumdošanas prasību pielāgošana .....	30

4. PĒTĪJUMS PAR ENERGOAUDITĀ IEVADĀMO DATU ROBEŽVĒRTĪBĀM.....	32
4.1. Metodoloģija .....	32
4.2. Gaisa apmaiņas daudzuma noteikšana neklasificētās ēkās .....	32
4.3. Formastērpa ietekme uz termisko komfortu.....	33
4.4. Militāro formu un to sastāvdaļu siltumizolācija. Termiskā komfortā teorētiskais novērtējums. Cilvēka ķermeņa termiskais līdzsvars .....	34
4.5. Iekštelpu gaisa kvalitātes pētījums .....	37
4.6. Aptauja par ēku iekštelpu komfortu militārajā objektā un tās rezultātu apkopojums ....	40
5. REZULTĀTU UN VALIDĀCIJAS PRAKTISKĀ IZMANTOŠANA .....	41
5.1. Neklasificētu ēku enerģijas patēriņa novērtējums dažādās Latvijas pilsētās .....	41
5.2. Neklasificēto ēku renovācijas scenāriju izstrāde.....	42
5.3. Modulārā ballistiski izturīga koka karkasa siltināšanas risinājuma izstrāde.....	45
5.4. Saules enerģijas izmantošanas potenciāla novērtējums .....	47
5.5. Iespējamās ekonomiskās ietekmes aprēķins, realizējot neklasificēto ēku energoefektivitātes paaugstināšanas programmas.....	48
SECINĀJUMI.....	50
LITERATŪRAS SARAKSTS.....	52

## IEVADS

Saskaņā ar Starptautiskās Enerģētikas aģentūras (*IEA*) ziņojumu enerģijas patēriņš 2018. gadā pieauga visstraujāk pēdējā desmitgadē, un CO<sub>2</sub> emisijas pieauga līdz rekordaugstam līmenim. Kopējais enerģijas galapatēriņš pasaulē ēku sektorā 2019. gadā (salīdzinot ar 2018. gadu) bija nemainīgs un veidoja aptuveni 35–40 % [1], CO<sub>2</sub> emisijas no ēkām sasniegušas kulminācijas vērtību – aptuveni 28 % no kopējām ar enerģiju saistītām CO<sub>2</sub> emisijām pasaulē [2]. *Covid-19* pandēmija bija lielākais satricinājums globālajai enerģētikas sistēmai, un 2020. gadā bija novērojams enerģijas patēriņa samazinājums gandrīz par 8 %, sasniedzot zemāko līmeni kopš 2010. gada. 2022. gadā sākumā globālo enerģētikas sistēmu satricināja ģeopolitiskā situācija pasaulē, protams, jau tagad var novērot izmaiņas energoresursu izmantošanas bilancē, taču vēl nav apstrādāti reālie dati, lai varētu tos analizēt, tāpēc promocijas darbs balstās 2021. gada reāli pieejamos *IEA*, *EUROSTAT* un Latvijas Centrālā statistikas pārvaldes datos.

2021. gadā ekonomiskā aktivitāte un enerģijas izmantošana atjaunojās valstīs visā pasaulē, un globālais enerģijas pieprasījums palielinājās par 4,6 %, ko veicināja spēcīga globālā ekonomika un lielākas apkures un dzesēšanas vajadzības. Gandrīz 70 % no globālā enerģijas pieprasījuma pieauguma ir jaunattīstības tirgos un jaunattīstības valstīs, kur pieprasījums pieauga līdz 3,4 % virs 2019. gada līmeņa. Pieprasījums pēc visām degvielām pieauga, sākot ar dabasgāzi, oglēm, pat saules un vēja enerģijas apjomam pieaugot par divciparu skaitli. Energoefektivitātes uzlabojumi bija nepilnīgi.

Energoefektivitāte pasaules ekonomikā turpināja uzlaboties, un primārās enerģijas intensitāte pasaulē samazinājās par 1,3 %. Tomēr tas bija zemāks uzlabojums, nekā novērots iepriekšējos gados. Paredzams, ka energoefektivitātes tendences atgriezīsies 10 gadu vidējā līmenī pēc sliktākā gada pēdējo 10 gadu laikā. Tomēr uzlabojumu līmenis ir jādubulto, salīdzinot ar pašreizējo līmeni, lai tas atbilstu *IEA* neto nulles emisiju scenārijam līdz 2050. gadam.

Mūsdienās tikai apmēram uz vienu trešdaļu enerģijas galapatēriņa attiecas obligātā energoefektivitātes politika, piemēram, kodeksi un standarti, un pēdējos gados to pārklājuma pieaugums ir neliels. Arī centieni stiprināt pašreizējo energoefektivitātes politiku 2021. gadā bija vāji. Kodeksu un standartu teritoriālā pārklājuma un likumiskā spēka palielināšana ir energoefektivitātes ieguvumu galvenais virzītājspēks.

Starptautiskās Enerģētikas aģentūras (*IEA*) ziņojumā ir atzīmēts normatīvā regulējuma bāzes trūkums energoefektivitātes jomā, kas vēlreiz apstiprina promocijas darba tēmas aktualitāti un pareizību.

Šobrīd Latvijā nav pieejamas īpašas neklasificēto ēku energoefektivitātes noteikšanas metodoloģijas.

Nenoteiktība, specializētu normatīvo aktu trūkums, kas paredz ekspluatācijas īpatnības, un – rezultātā – esošās reglamentējošās bāzes trūkums; civilās būvniecības regulējošo

normatīvo aktu izmantošana, kuros nav noteikti kritēriji, ko ir jāņem vērā, veicot aprēķinus un pieņemot konkrētus tehniskus lēmumus, kas turpmāk nosaka neklasificētās ēkas energoefektivitāti – tas viss izraisa neklasificētu ēku energoefektivitātes samazināšanos, ekspluatācijas izmaksu pieaugumu, būtisku neatbilstību parādīšanos starp teorētiskajiem (aprēķinātajiem) un praktiskajiem datiem, kā rezultātā tiek sagrozītas plānoto un iegūto rezultātu vērtības.

## Promocijas darba aktualitāte

Tieši vērsta normatīvā regulējuma trūkums un ierobežots specializēto izdevumu un statistikas datu daudzums nedod iespēju pieņemt skaidrus, konsolidētus lēmumus, plānojot iespējamās ekonomiskās un enerģētiskās izmaksas, kas var rasties, īstenojot neklasificēto ēku energoefektivitātes paaugstināšanas projektus vai panākot energopatēriņa stagnāciju, ņemot vērā pastāvīgi pieaugošo energoresursu pieprasījumu.

Mūsdienu literatūrā trūkst empīrisku pētījumu, lai pārbaudītu piedāvātās teorētiskās koncepcijas, līdz ar to šim promocijas darbam ar analītisku izpētes veidu, kas iekļauj statistisko datu apkopojumu, Eiropas Savienības un Amerikas Savienoto Valstu normatīvo aktu izpēti, iekļaujot trūkstošās tehniskās vērtības Latvijas Republikas normatīvajā bāzē, aptaujas veikšanu, laboratorijas un lauku pētījumu veikšanu, matemātisku un termodinamisku, teorētisku, kā arī praktisku piemēru aprēķinu veikšanu, ņemot vērā dinamiskā modelēšanas rīka izmantošanas un lietošanas specifiku, kā arī iespējamās ekonomiskās ietekmes aprēķināšanu, ir jāapstiprina neatgriezenisku nepieciešamību veikt pasākumus energoefektivitātes uzlabošanai, sistematizācijai un aprēķina vērtību papildināšanai esošajā normatīvajā bāzē, kā arī datormodelēšanas risinājumu izmantošanu un tipiskā dizaina piemērošanu ar tehniskiem risinājumiem neklasificēto ēku būvniecībā vai renovācijā.

## Promocijas darba mērķis un uzdevumi

Promocijas darba **mērķis** ir izstrādāt neklasificēto ēku energoefektivitātes noteikšanas metodoloģiju, kas tiks vērsta uz neklasificētu ēku energopatēriņa samazināšanu un ieteikumiem to tehniskai apskatei. Ieteikumi tiks vērsti uz renovācijas un energoapgādes unificētu risinājumu izstrādi, vienlaikus nodrošinot augstu veicamo darbu kvalitāti, ar nosacījumu piesaistīt minimālu personāla skaitu šāda veida ēku rekonstrukcijai.

Promocijas darba mērķa sasniegšanai tika noteikti vairāki **uzdevumi**.

1. Izpētīt esošos Eiropas Savienības un Latvijas Republikas stratēģiskos mērķus un rīcības virzienus energoefektivitātē, to tendences un izaicinājumus. Veikt spēkā esošās likumdošanas aktu apskatu ar to iespējamo piemērošanu neklasificēto ēku kontekstā.
2. Apkopot, analizēt, veikt secinājumus par esošo neklasificēto ēku enerģijas patēriņa statistiskiem datiem un pētāmo objektu saņemtajiem praktiskajiem rādītājiem. Veikt neklasificēto ēku portfolio analīzi Latvijā, proti, salīdzinot dažādu dienestu ēku vecumu.



3. Veikt ēku kopumu sākotnējo analīzi un klasifikāciju atbilstoši tipoloģijai.
4. Pēc neklasificētās ēkas dažādām funkcionālām, konstruktīvajām un citām pazīmēm veikt tās sistematizāciju tipveida energoefektivitātes risinājumu ieviešanai, kas vēlāk varētu būt replicējami uz līdzīgām ēkām, lai turpmāk modelējot varētu veikt analīzi par energoefektivitāti uzlabojošo pasākumu ietekmi uz ēku kopējo energoefektivitāti, nepiesaistot to konkrētai adresei un atrašanās vietai.
5. Veikt pētījumu par energoaudita ievadāmo datu robežvērtībām.
6. Izstrādāt neklasificēto ēku energoefektivitātes noteikšanas metodoloģiju, ņemot vērā specifiskās ietekmējošo faktoru vērtības, aprēķina metodes un reglamentējošās likumdošanas prasības.

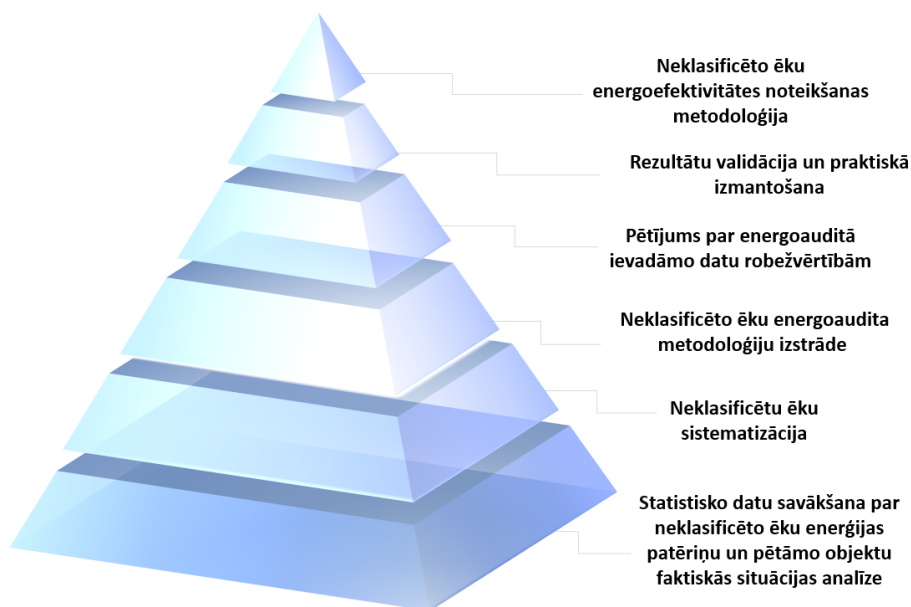
### **Promocijas darba hipotēze**

Izstrādāta neklasificēto ēku energoefektivitātes noteikšanas metodoloģija ar vadlīnijām neklasificēto ēku tehniskās apsekošanai, kuras tās galvenais mērķis ir izveidot vienotu energoefektivitātes novērtējumu, ņemot vērā neklasificēto ēku izmantošanas specifiku, un tā spēs nodrošināt neklasificēto ēku ilgtspējīgas renovācijas un energoapgādes risinājumu izstrādi.

### **Pētniecības metodes**

Mērķa sasniegšanai nepieciešams veikt pētījumu, nodrošinot pilnu empīrisku ciklu, sākot no faktu un datu apkopošanas, grupēšanas un hipotēzes veidošanas līdz hipotēzes pārbaudei no jaunā praktiski apkopotā materiāla, kā arī līdz pētījuma rezultātu validācijai, t. i., kompleksu pasākumu kopums ar mērķi pierādīt pētījuma laikā iegūto datu ticamību un datu gatavības pamatojumu.

Izpētie kritēriji, kas izmantoti neklasificēto ēku energopatēriņa samazināšanas metodoloģijas izstrādes laikā, redzami 1. attēlā.



1. att. Izpētītie kritēriji, kas izmantoti neklasificēto ēku energoefektivitātes noteikšanas metodoloģijas izstrādes laikā.

### **Promocijas darba zinātniskā novitāte**

Patlaban Latvijā nav izstrādāta ēku enerģijas patēriņa noteikšanas metodika, t. sk. energoefektivitātes noteikšanas metodoloģija pagaidu būvēm un pastāvīgi izvietotajām neklasificētajām ēkām.

### **Promocijas darba praktiskā nozīme**

Neklasificēto ēku energoefektivitātes noteikšanas metodoloģijas izstrāde un plānošanas rīka izveidošana, veicot detalizētu energopatēriņa un notiekošo procesu izpēti no energoefektivitātes paaugstināšanas viedokļa esošajās un projektējamās neklasificētās ēkās prognozējamo klimata izmaiņu ietekmē, bez šaubām radīs primārās enerģijas kopējā patēriņa samazinājumu, un tā rezultātā samazināsies siltumnīcefekta gāzu emisijas apjoms, kas vienlaikus ietekmēs izpētīto ēku veidu kopējo izmantošanas efektivitāti un apsaimniekošanas izmaksas. Tāpēc dažādiem attīstības scenārijiem ir svarīga energopatēriņa prognozēšanas

metodoloģijas un novērtēšanas rīka esamība, kas ņems vērā šīs nākotnes tendences ilgtermiņa attīstības plānošanas posmā.

## Promocijas darba struktūra un apraksts

Darbs ir strukturēts piecās nodaļās.

1. nodaļā veikta esošas situācija analīze neklasificēto ēku energoefektivitātes jomā: apskatīti kopējie Eiropas Savienības un Latvijas Republikas (LR) stratēģiskie mērķi; novērtēts vidējais īpatnējais enerģijas patēriņš LR Aizsardzības ministrijas (AM) un Iekšlietu ministrijas (IeM) valdījumā esošajām ēkām. Tika veikts plašs piedāvāto enerģijas patēriņa prognozēšanas metodikas pētījums.

2. nodaļā veikta neklasificēto ēku sistematizācija pēc dažādiem parametriem: funkcionāliem mērķiem, stāvu skaita, ilgmūžības, sienu materiāliem un sienu konstrukcijas.

3. nodaļā aprakstīta neklasificēto ēku energoefektivitātes noteikšanas metodoloģijas izstrādes gaita. Tika izpētīti ēku energoefektivitāti ietekmējošie faktori. Aprakstīta izstrādātā pētījuma metodoloģija, kā arī izstrādāts ēku un teltis siltuma zudumu noteikšanas modelis. Veikta analīze par spēkā esošās likumdošanas prasībām un to pielāgošanu neklasificētam ēkām.

4. nodaļā aprakstīts pētījums par energoaudītā ievadāmo datu robežvērtībām, kas balstās uz: veikto aptauju par ēku iekštelpas komfortu militārajā objektā un rezultātu apkopojumiem, iekštelpu gaisa kvalitātes (*IAQ*) mērījumiem dažāda tipa neklasificēto ēku telpās (kazarmās, administratīvajās ēkās, ēdnīcās, ugunsdzēsēju depo utt. Veikta gaisa apmaiņas daudzuma noteikšana neklasificētās ēkās, kā arī veikts specifisks pētījums, kas tieši saistīts ar promocijas darba tēmu – formastērpa ietekme uz termisko komfortu.

5. nodaļā aprakstīta rezultātu validācija praktiskā izmantošana. Izstrādāti neklasificēto ēku renovācijas scenāriji. Izstrādāts un simulēts modulāra ballistiski izturīga koka karkasa siltināšanas risinājums un apskatīta tā izmantošana neklasificēto ēku renovācijā. Aprēķināts saules enerģijas izmantošanas potenciāls esošajās neklasificētās ēkās. Veikts iespējamās ekonomiskās ietekmes aprēķins, realizējot neklasificēto ēku energoefektivitātes paaugstināšanas programmas, kas ļauj autoram noslēgt promocijas darbu ar secinājumiem.

## Promocijas darba aprobācija

Par promocijas darba rezultātiem ir **ziņots piecās starptautiskās konferencēs**, publicēti **12 zinātniskie raksti** (11 citēti *SCOPUS* datubāzē).

1. **Geikins, A.,** Borodinecs, A., Jacnevs, V. Estimation of Energy Profile and Possible Energy Savings of Unclassified Buildings. Buildings. 2022; 12(7):974. <https://doi.org/10.3390/buildings12070974> (SCOPUS).
2. Borodinecs, A., **Geikins, A.,** Barone, E., Jacnevs, V., Prozuments, A. Solution of Bullet Proof Wooden Frame Construction Panel with a Built-In Air Duct. Buildings, 2022, 12 (1), 30. DOI: 10.3390/buildings12010030 (SCOPUS).

3. Zemītis, J., Borodinecs, A., Bogdanovics, R., **Geikins, A.** A case study of thermal comfort in a temporary shelter. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 2021, 29 (2), pp. 139–149. DOI: 10.5755/j01.sace.29.2.29240 (SCOPUS).
4. Borodinecs, A., **Geikins, A.**, Prozumants, A. Energy consumption and retrofitting potential of Latvian unclassified buildings. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2020, 163, pp. 319–326. DOI: 10.1007/978-981-32-9868-2\_27 (SCOPUS).
5. Borodinecs, A., **Geikins, A.**, Smirnovs, S. Energy Performance of Temporary Shelters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, 660 (1), 012017. DOI:10.1088/1757-899X/660/1/012017. (SCOPUS).
6. **Geikins, A.**, Borodinecs, A., Daksa, G., Bogdanovics, R., Zajecs, D. Typology of Unclassified Buildings and Specifics of Input Parameters for Energy Audits in Latvia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, 290 (1), 012131 DOI: 10.1088/1755-1315/290/1/012131 (SCOPUS).
7. Borodinecs, A., **Geikins, A.**, Zemītis, J. Life-Cycle Assessment of Apartment Building Renovation in Latvia. *ASHRAE Transaction*, 2018, 1, 1.–9. lpp. ISSN 2378-2129.
8. Borodinecs, A., Zemītis, J., **Geikins, A.**, Bykova, Y., Nefedova, A. Energy-Efficient Construction in the Climatic Conditions of Latvia. *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2018, 3, pp. 41–48. ISSN 2304-6295. DOI:10.18720/CUBS.66.4.
9. Tumanova, K., Borodinecs, A., **Geikins, A.** The Analysis of the Hot Water Consumption and Energy Performance before and after Renovation in Multi-Apartment Buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, 251 (1), 012058. DOI:10.1088/1757-899X/251/1/012058; (SCOPUS).
10. Borodinecs, A., Zemītis, J., Dobelis, M., Kaļinka, M., **Geikins, A.** Development of Prefabricated Modular Retrofitting Solution for Post-World War II Buildings. 10th International Conference on Environmental Engineering, *ICEE 2017*, 2017, enviro.2017.252. DOI:10.3846/enviro.2017.252; (SCOPUS).
11. Zemītis, J., Borodinecs, A., **Geikins, A.**, Kalames, T., Kuusk, K. Ventilation System Design in Three European Geo Cluster. *Energy Procedia*, 2016, Vol. 96, 285.–293. lpp. ISSN 1876-6102. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.15. (SCOPUS).
12. Borodinecs, A., Zemītis, J., Millers, R., Tumanova, K., **Geikins, A.**, Nefedova, A. Specifics of Multi-Apartment Building Deep Complex Retrofitting. *CESB 2016 – Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future*, 2016, pp. 49–55. DOI:10.1016/j.egypro. 2016.09.151 (SCOPUS).

# 1. ESOŠĀS SITUĀCIJAS ANALĪZE NEKLASIFICĒTO ĒKU ENERGOEFEKTIVITĀTES JOMĀ

## 1.1. Kopējie Eiropas Savienības un Latvijas Republikas stratēģiskie mērķi

Klimata pārmaiņu jautājumi, t. sk. siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju samazināšana un oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>) piesaiste, ir Eiropas Savienības (ES) uzmanības centrā, un tie ir ļoti būtiski arī Latvijai. Latvija ir ratificējusi Apvienoto Nāciju Organizācijas (ANO) Vispārējo konvenciju par klimata pārmaiņām, tās Kioto protokolu un Kioto protokola Dohas grozījumu, kā arī Parīzes nolīgumu. Latvijas Ilgtspējīgas attīstības stratēģijā līdz 2030. gadam *Latvija 2030* noteikts, ka “Latvija – mūsu mājas – zaļa un sakopta, radoša un ērti sasniedzama vieta pasaules telpā, par kuras ilgtspējīgu attīstību mēs esam atbildīgi nākamo paaudžu priekšā”. Saskaņā ar Latvijas Nacionālo enerģētikas un klimata plānu (NEKP) līdz 2030. gadam nepieciešams samazināt kopējo Latvijas SEG emisiju apjomu par 60 %, salīdzinot ar 1990. gada kopējo Latvijas SEG emisiju apjomu.

ES direktīvā *2012/27/ES* par energoefektivitāti [3] un ES direktīvā *2010/31/ES* par ēku energoefektivitāti [4] aicina rīkoties nekavējoties, lai samazinātu oglekļa dioksīda emisijas un paaugstinātu atjaunojamo energoresursu izmantošanas īpatsvaru. Priekšlikumā Direktīvas *2012/27/ES* grozījumiem ir noteikts pienākums panākt jaunus enerģijas galapatēriņa ikgadējos ietaupījumus 0,8 % apmērā 2021.–2030. gada periodā.

Nacionālajā attīstības plānā (NAP 2027) arī noteikts rīcības virziens energoefektivitātē, enerģijas ražošanā, un tās rīcības virziena mērķis ir nodrošināt tautsaimniecībai nepieciešamo energoresursu ilgtspējīgu izmantošanu, veicinot resursu tirgu pieejamību, sektoru energointensitātes un emisiju intensitātes samazināšanos un vietējo atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanos kopējā patērētajā apjomā.

Rīcības virziena ietvaros veicamie uzdevumi:

- ✓ energoefektivitātes programmas valsts un pašvaldību sabiedrisko ēku sektorā;
- ✓ atbalsts inovatīvu enerģētikas un energoefektivitātes tehnoloģiju projektiem;
- ✓ atjaunojamo energoresursu izmantošana enerģijas ražošanā, samazinot atkarību no fosilajiem energoresursiem un energoefektivitātes veicināšana centralizētajā siltumapgādē.

Pieņemot Energoefektivitātes direktīvu *2012/27/ES*, Eiropas Savienības valstis, arī Latvija, ir nolēmušas veikt dažādus pasākumus, lai uzlabotu gan enerģijas ražošanas un piegādes, gan patērēšanas efektivitāti. Direktīva paredz arī obligātu mērķi – katrai valstij katru gadu ir jānodrošina galapatērētāju energoefektivitātes pasākumi, kas ļautu ietaupīt 1,5 % no visas valstī gala patērētājiem piegādātās enerģijas.

Koncepcija piedāvā risinājumu šo saistību izpildei, kas paredz, sākot no 2014. gadu, katru gadu renovēt 3 % **valstij piederušo ēku, to vidū** arī neklasificēto ēku (militārās ēkas, policijas ēkas un ugunsdzēsēju depo) kopējās platības, ko izmanto tiešās pārvaldes funkciju veikšanai.

Kā norāda Direktīva 2012/27/ES par energoefektivitāti, viena no lielākajām potenciālajām energoefektivitātes paaugstināšanas jomām ir pilsētu esošā apbūve, kur noteikta uzmanība ir pievēršama **valsts un pašvaldību īpašumā esošajām ēkām, kam jākalpo par paraugu pārējai sabiedrībai** [5]. Saskaņā ar Direktīvas 5. panta prasībām dalībvalstis līdz 2013. gada 31. decembrim sagatavo un publisko to centrālās valdības apsildāmo un/vai dzesējamo ēku sarakstu, kuru kopējā izmantojamā platība ir lielāka par 500 m<sup>2</sup>, un, sākot no 2015. gada 9. jūlija, to ēku sarakstu, kuru kopējā izmantojamā platība ir lielāka par 250 m<sup>2</sup>, izņemot ēkas, uz kurām attiecas izņēmumi. Direktīva neizvirza prasības ēkām, kas ir kultūrvēsturiskie pieminekļi, kulta ēkas vai arī tiek izmantotas valsts aizsardzības struktūrām.

Vadoties pēc Direktīvas 2012/27/ES 5. panta izvirzītajām prasībām, Latvijas Ekonomikas ministrija (EM) deleģēja uzdevumu valsts un pašvaldību īpašumā esošajiem ēku uzturētājiem – sagatavot un sniegt EM tālākai apstrādei informāciju par viņu padotībā esošo nekustamo īpašumu enerģijas patēriņu (NĪEP).

Neskatoties uz Direktīvā 2012/27/ES noteiktajiem iespējamajiem atvieglojumiem, vadoties pēc kopējās ANO, ES un Latvijas Republikas pieņemtās koncepcijas klimata pārmaiņu jautājumos, Latvijas Republikas Aizsardzības ministrija (AM) sagatavojusi un iesniegusi EM apstrādei Direktīvā pieprasīto NĪEP informāciju, kā arī izstrādājusi energoresursu patēriņu.

Neatliekamie pasākumi ietver bojātu jumtu segumu uzturēšanu/labošānu, logu nomainīšanu, telpu sildelementu nomainīšanu un ikgadēju pārskata sagatavošanu par elektroenerģijas un citu energoresursu patēriņu.

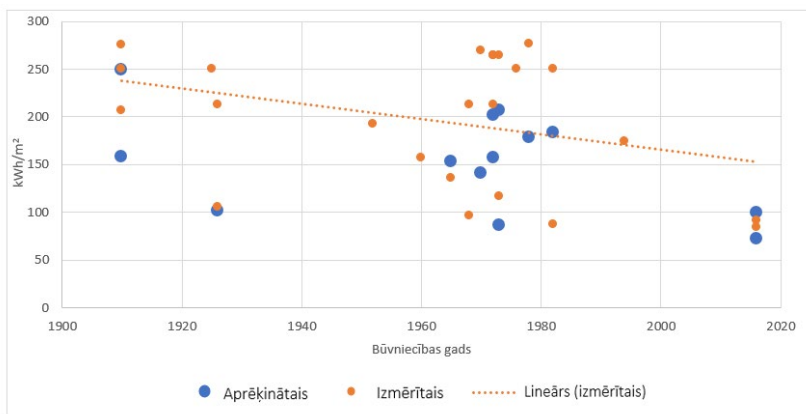
Savukārt nepieciešamie pasākumi paredz **energoaudita veikšanu**, apkures (ogļu un šķidrā fosilā kurināmā) katlu nomainīšanu, azbestcimenta jumtu nomainīšanu (Eiropas Padomes direktīva 87/217/EEK), **ēku energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumus** (siltināšana), elektroenerģijas patēriņa samazinājumu, AM valdījumā esošajās ēkās strādājošo darbinieku izglītošanu un energoresursu patēriņa samazināšanas programmas izpildes kontroli.

## **1.2. Vidējais īpatnējais enerģijas patēriņš Latvijas Republikas Aizsardzības ministrijas (AM) valdījumā esošajām ēkām**

Lielākā neklasificēto ēku daļa ir celta pirms 1990. gada, izmantojot tipiskus Padomju Savienības celtniecības projektus. Zemo enerģijas cenu un ierobežotās siltumizolācijas pieejamības dēļ tika būvētas galvenokārt ķieģeļu ārsienas un neapsildīti bēniņi ar ļoti minimālu bēniņu plātņu siltumizolāciju. Viencaurules apkures sistēmas un dabiskā ventilācija ir visizplatītākie tehniskie risinājumi visu veidu neklasificētajās ēkās, izņemot dažas ļoti specifiskas ēkas, piemēram, garāžas, munīcijas telpas, iekštelpu šaušanas laukumus utt. Līdzās sākotnējiem sliktajiem tehniskajiem parametriem neklasificētajās ēkās nav bijusi arī pareiza enerģijas pārvaldība vai energoauditi, ņemot vērā datu privātumu un ierobežotu piekļuvi šādām ēkām.

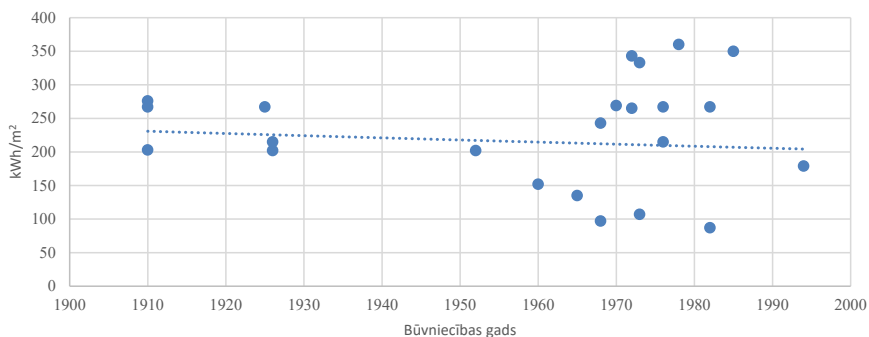
Pēc Latvijas Ekonomikas ministrijas datiem vidējais kopējais enerģijas patēriņš militārajām ēkām, kas uzceltas pirms 1990. gada, ir 212 kWh/m<sup>2</sup> gadā. Mērījumu dati par

neklasificētām ēkām ar mainīgiem būvniecības datumiem ir apkopoti 1.1. un 1.2. attēlā. Mērījumi tika veikti divos dažādos periodos. Pirmo reizi tie tika veikti laika posmā no 2011. līdz 2014. gadam, otro reizi – no 2014. līdz 2016. gadam. Dažām ēkām saskaņā ar vietējiem noteikumiem tika aprēķināts arī teorētiskais enerģijas patēriņš.



1.1. att. Aprēķinātais un izmērītais gada kopējais enerģijas patēriņš militārām ēkām, kas celtas dažādu celtniecības gados. Aprēķina periods: 2014–2016.

1.1. un 1.2. attēlā redzams, ka vidējais enerģijas patēriņš nedaudz samazinās, pieaugot ēku celtniecības gadam. Kopējais vidējais 2011.–2014. gadā izmērītais enerģijas patēriņš militārajām ēkām ir 230 kWh/m<sup>2</sup> gadā (1.2. att.). Aprēķinātās vērtības iegūtas saskaņā ar Latvijas oficiālo aprēķinu procedūru, ko nosaka MK noteikumi Nr. 348 “Ēkas energoefektivitātes aprēķināšanas metodika”. Šī procedūra galvenokārt balstās *EN ISO 13790: 2009 L* datos.



1.2. att. Aprēķinātais kopējais gada enerģijas patēriņš militārajām ēkām, aprēķina periods: 2011–2014.

To pašu ēku mērījumus atkārtoja pāris gadus vēlāk, lai noskaidrotu, vai nav notikušas izmaiņas, jo iepriekšējos gados bija sākusās aktīvas informācijas kampaņas un stājās spēkā ES

direktīvas par energoefektivitāti. Tomēr rezultāti parādīja, ka, lai arī enerģijas patēriņš ir nedaudz mazāks, šis samazinājums ir niecīgs.

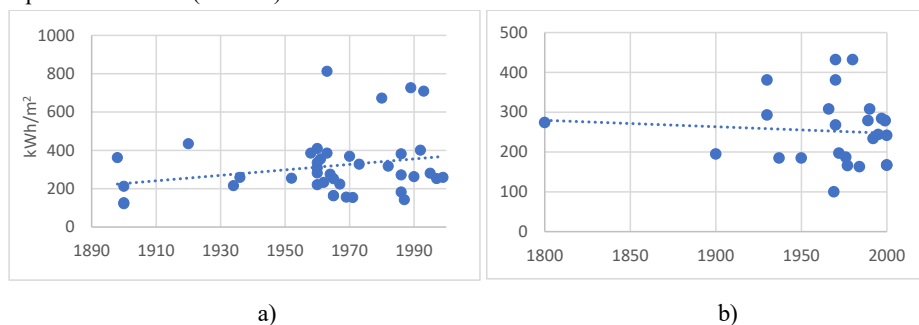
Izmērītais enerģijas patēriņš abos periodos ir ievērojami lielāks nekā teorētiski aprēķinātās vērtības. Vidējais auditoru aprēķinātais teorētiskais enerģijas patēriņš analizētajām ēkām ir 153 kWh/m<sup>2</sup>, kas ir par 39 % mazāks nekā 2014.–2016. gadā izmērītais. Šāda atšķirība var rasties tāpēc, ka ir nepareizi noteiktas tādas sākotnējās iestatītās vērtības kā karstā ūdens patēriņš, iekštelpu temperatūra, pieplūdes gaisa apmaiņa, ēkas norobežojošo materiālu hermētiskums utt. Šīs vērtības ir noteiktas vietējās normās daudzdzīvokļu ēkām un biroju ēkām.

**Dati par neklasificētām ēkām vietējās normās nav stingri noteikti, un enerģijas auditori parasti izmanto datus par civilām ēkām.**

### 1.3. Vidējais īpatnējais enerģijas patēriņš Latvijas Republikas Iekšlietu ministrijas valdījumā esošajām ēkām (ugunsdzēsības un policijas iecirkņi)

Līdzīga situācija vērojama arī policijā un ugunsdzēsības dienestos, kur jāņem vērā karstā ūdens patēriņa īpatnības un ventilācijas ātrums. Jāatzīmē arī siltumenerģijas uzkrāšanas nozīme jebkurās ēkās, kas faktiski ietekmē enerģijas ražošanas vienību galīgo uzstādīto jaudu. Laiks un pieredze ļauj pamatoti secināt, ka termiskās “baterijas” lielākas enerģijas uzkrāšanai var būt efektīvākas un ievērojami lētākas nekā tradicionālās elektriskās baterijas. Elektriskajām baterijām un siltumenerģijas akumulēšanai ir sava nozīme elektrotīkla stabilizēšanā. Siltumenerģijas uzkrāšanai, kā arī baterijām jābūt neatņemamai nākotnes enerģijas infrastruktūras sastāvdaļai [6].

Policijas iecirkņos izmērītais vidējais gada enerģijas patēriņš ir 252 kWh/m<sup>2</sup>, ugunsdzēsības iecirkņos – 317 kWh/m<sup>2</sup>. Palielinātu enerģijas patēriņu ugunsdzēsēju iecirkņu ēkās var izskaidrot ar stingrākām prasībām attiecībā uz ventilācijas ātrumu un jaunu tehnoloģisko ierīču ieviešanu, piemēram, speciālu ventilācijas sistēmu ugunsdzēsēju mašīnu izplūdes caurulēm (1.3. att.).



1.3. att. Izmērītais vidējais kopējais gada enerģijas patēriņš ugunsdzēsības (a) un policijas (b) iecirkņos, mērīšanas periods: 2011.–2014.



Iepriekš minēto ēku izmērītais enerģijas patēriņš ievērojami pārsniedz daudzdzīvokļu ēku enerģijas patēriņu. Tipiska Latvijas daudzdzīvokļu māja katru gadu patērē 190 kWh/m<sup>2</sup> apkurei un karstā ūdens sagatavošanai [7], [8].

### 1.4. Enerģijas patēriņš karstā ūdens sagatavošanai

Karstā ūdens patēriņš modernām ēkām ar zemu enerģijas patēriņu veido ievērojamu daļu ēku kopējā enerģijas patēriņa profila, jo tehnoloģiskas vai iemītnieku virzītas taupīšanas metodes izmantotā ūdens daudzumu var ietekmēt tikai nedaudz. Lai veiktu precīzus energoauditus, sākotnēji iestatītās vērtības precīzi jānosaka iepriekš, ņemot vērā valsts noteiktās prasības, kā arī vietējo lietotāju paradumu uzskaiti, izmantotos tehniskos risinājumus, apkopes procedūras utt.

Pie neklasificētām ēkām pieder tādas ēkas kā kazarmas un ugunsdzēsības dienesta ēkas, kurās galvenokārt ir kopīgas vannasistabas un virtuves. Šāda veida ēku karstā ūdens patēriņš ir līdzīgs koplītnēm. Galvenās karstā ūdens patēriņa atšķirības starp koplītnēm un neklasificētām ēkām ar kopīgām dušām varētu būt aktīvāka dušas lietošana neklasificētās ēkās, jo ir lielāka darba un apmācības slodze, atšķirīgs apģērba veids, dažādi ēdiena pagatavošanas principi, telpu tīrīšanas prasības utt.

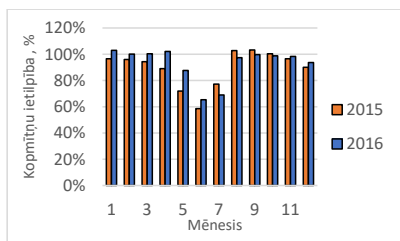
Saskaņā ar Latvijas būvnormatīvu (LBN 221, 2015) standarta karstā ūdens patēriņš vienai personai ir 105 l/dienā daudzdzīvokļu ēkai, 80 l/dienā koplītnēm ar kopīgu virtuvi un dušām katrā stāvā un 180 l/dienā viesnīcu istabās ar atsevišķām dušām. Tomēr iepriekš veiktā karstā ūdens patēriņa analīze [9] liecina par ievērojami zemākām patēriņa vērtībām.

1.1. tabula

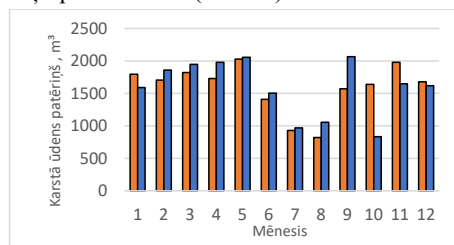
Vidējais karstā ūdens patēriņš daudzdzīvokļu ēkās, l/dienā vienai personai

Novērošanas gads			Vidēji
2013	2014	2015	
43,6	40,9	41,4	42,0

Ņemot vērā to, ka karstā ūdens patēriņš ir tieši saistīts ar cilvēku skaitu ēkā, vispirms tika noteikts šis lielums un salīdzināts ar ūdens patēriņu pa mēnešiem (1.4. att.).



a)



b)

1.4. att. Koplītnju ietilpība (a) un izmērītā karstā ūdens patēriņš katram mēnesim (b).

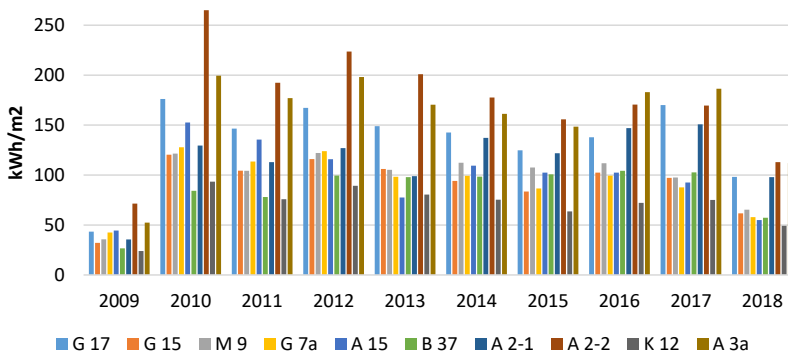
Kopējais vidējais iedzīvotāju skaits bija 765 cilvēki, maksimālais skaits – 880 personas – septembrī, minimālais – 499 – jūnijā. Kopējais vidējais karstā ūdens patēriņš abās koplītnēs

2016. gadā bija 64,9 m<sup>3</sup>/cilv. un 2015. gadā – 67,2 m<sup>3</sup>/cilv., kas ir par 17 % mazāks nekā noteikts Latvijas būvnormatīvā. Arī karstā ūdens patēriņš jūlijā un augustā, salīdzinot ar ziemas sezonu, ir gandrīz par 27 % mazāks. To var izskaidrot ar faktu, ka vasarā cilvēki mazāk uzturas kopmītnēs, tādējādi samazinās ūdens patēriņš, jo cilvēki bieži pavada laiku ārpus telpām un pie dabiskiem ūdens avotiem.

### 1.5. Siltumenerģijas patēriņš neklasificētās ēkās

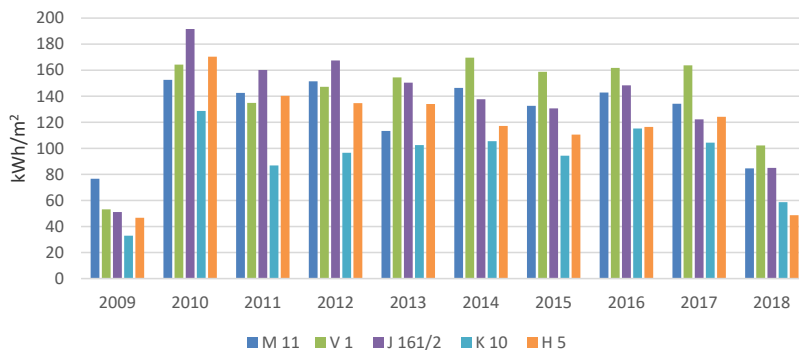
Neklasificētu ēku kopējā siltumenerģijas patēriņa analīzei tika izvēlēts policijas iecirkņu, ugunsdzēsības iecirkņu un **militāro ēku** (speciālās nozīmes centru) kopums. Pārsvārā tās bija administratīvās ēkas, biroju ēkas dežurdaļām un brigādēm, kas veic operatīvo darbu, kazarmas un ēdnīcas.

Siltumenerģijas patēriņš iekļauj siltuma enerģiju apkurei un karstā ūdens sagatavošanai.



1.5. att. Policijas iecirkņu ikgadējais siltumenerģijas patēriņš (informācija par adresēm ir apzināti slēpta).

Kā redzams, siltumenerģijas patēriņš katrai ēkai ir atšķirīgs gadu no gada, un tas parāda vienu no svarīgākajiem īpašam nolūkam izmantojamo ēku raksturlielumiem – siltumenerģijas patēriņš ir ne tikai ēkas siltumizolācijas un ārējā gaisa temperatūras funkcija, to izteikti ietekmē arī lietotāju uzvedība, kas mainās un ir atkarīga no operatīvajam personālam uzticētā uzdevuma un citiem cilvēkfaktoriem.



1.6. att. Ugunsdzēsības iecirkņu ikgadējais siltumenerģijas patēriņš (informācija par adresēm ir apzināti slēpta).

Pētītajām ēkām ir slikti siltuma parametri, kas skaidrojams ar to, ka ēkas celtas pirms 1990. gada, kad nacionālajos būvnormatīvos dažādu mājokļu elementu  $U$  vērtību normatīvās vērtības bija noteiktas daudz augstākas nekā pašreiz. Aprēķināts, ka policijas iecirkņu vidējais gada siltuma patēriņš ir  $112 \text{ kWh/m}^2$ , savukārt ugunsdzēsēju iecirkņu –  $121 \text{ kWh/m}^2$ .

### Siltumenerģijas patēriņš speciālās nozīmes centros

Neklasificētu ēku kopējā siltumenerģijas patēriņa analīzei tika atlasītas un analizētas 15 speciālajiem mērķiem paredzētas ēkas. Kopējā speciālās nozīmes teritorija ir  $190 \text{ tūkst. m}^2$ , aptuveni  $100 \text{ tūkst. m}^2$  aizņem neklasificētas īpašam nolūkam paredzētas ēkas, kas ir savienotas ar centralizētās siltumapgādes tīkliem (kopmītnes, noliktavas, mācību telpas, telpas sportam, peldbaseins, guļamistabas, koplietošanas telpas). Centra atrašanās vieta redzama 1.7. attēlā.

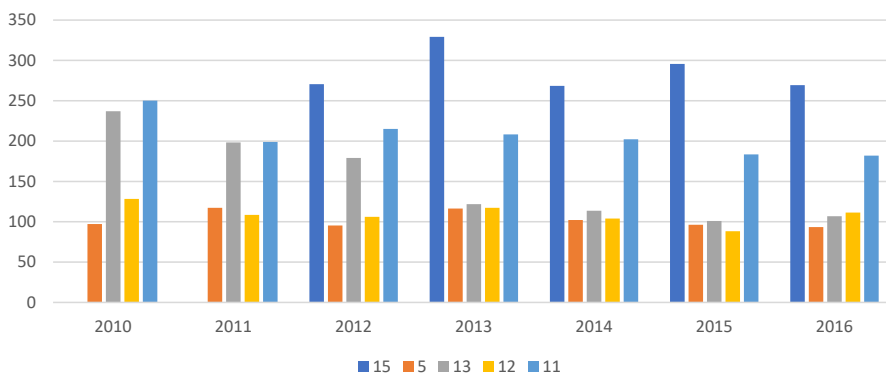


1.7. att. Speciālās nozīmes centra ēku atrašanās vieta.

Tika izpētītas centra ēkas, katrai no tām definēts izmantošanas mērķis. Rūpīgi tika izpētīta centralizētās siltumapgādes tīkla shēma, noteikta siltumtīklu atrašanās vieta. Pēc detalizēta apskata turpmākajai izpētei tika noteikti cauruļvadu diametri un garums. Ēkas ir apzīmētas ar cipariem, to izmantošanas mērķis nav norādīts, jo šī informācija ir uzskatāma par sensitīvu.

Apsekojuma laikā tika secināts, ka lielākajai daļai ēku siltumenerģijas patēriņa sadalījums ir nevienmērīgs, kas izskaidrojams ar ēkas ekspluatācijas mērķi un izlases veida izmantošanu, kad tas ir nepieciešams. Dažas ēkas tiek izmantotas kā noliktavas ļoti dažādiem mērķiem un ar īpašām siltuma prasībām, kurām dažreiz nav nepieciešama papildu siltuma padeve.

Pārbaudot visas ēkas, tika konstatēts, ka tikai piecas ēkas ir aprīkotas ar siltumenerģijas skaitītāju. Siltumenerģijas skaitītāji tika uzstādīti tikai tajās ēkās, kur siltumenerģijas patēriņš bija nemainīgs vai regulārs. Siltumenerģija lielākoties ir nepieciešama ēkām, ko izmanto cilvēki vai vietējais personāls, piemēram, sporta zālei, peldbaseinam, kopmītnēm, mācību telpām utt. 1.8. attēlā redzams siltumenerģijas patēriņš neklasificētām speciālajām ēkām pēdējo septiņu gadu laikā.



1.8. att. Siltumenerģijas patēriņš neklasificētām speciālajām ēkām (informācija par adresi ir apzināti slēpta).

Siltumenerģijas patēriņš tiek norādīts MWh/m<sup>2</sup> bez korekcijām pēc apkures grādu dienām, jo iekšējās temperatūras iestatījumi **īpašam mērķim paredzētām ēkām nav stingri noteikti**. Āra temperatūrai ir zināma ietekme uz siltumenerģijas patēriņu jebkurai ēkai, taču šajā gadījumā izšķiroša ietekme ir noslogojuma profilam un konstrukcijas siltumizolācijai. Kā redzams, ēkā Nr. 13 kopš 2013. gada ir ievērojami zemāki siltumenerģijas patēriņi, un tas ir saistīts ar ēku renovācijas pasākumiem, kas tika veikti 2012. gadā. Vidējais siltumenerģijas patēriņš pirms renovācijas bija vidēji 204 kWh/m<sup>2</sup>, pēc atjaunošanas siltumenerģijas patēriņš tika samazināts vairāk nekā uz pusi, vidēji sasniedzot 110 kWh/m<sup>2</sup>. Atlikušajām vērtībām vidējā absolūtā novirze ir 7,92 % robežās. Siltumenerģijas patēriņš ēkai Nr. 15 ir daudz lielāks, ņemot vērā tās izmantošanas mērķi, kas saistīts ar lielu ūdens patēriņu. Ēka Nr. 15 ir atvērta kopš 2012. gada.

Apkopojot iepriekšminēto, jāsecina, ka neklasificēto ēku energoefektivitāte varētu būt un vajadzētu būt paaugstināma. Energoefektivitātes uzlabošanu var sasniegt, gan sistematizējot datus, gan ar izmaiņām normatīvajos aktos, nosakot dažādas prasības, tehnoloģiskām izmaiņām, gan vadības un organizatoriskiem uzlabojumiem valsts īpašumā (neklasificētas ēkas) esošajām ēkām, gan ar individuālo patērētāju uzvedības maiņu, kas panākta, patērētājus izglītojot un informējot, neizmirstot pētījuma sektora specifiku.

## 2. NEKLASIFICĒTO ĒKU SISTEMATIZĀCIJA

Neklasificēto ēku energoefektivitātes risinājumi ir aktuāls jautājums, it īpaši tāpēc, ka liela daļa neklasificēto ēku tiek uzturētas par publiskiem līdzekļiem.

Neklasificēto ēku sistematizācija ir nepieciešama, lai optimizētu energoefektivitāti paaugstinošus risinājumus un turpmāk varētu veikt analīzi par energoefektivitāti uzlabojošo pasākumu ietekmi uz ēku kopējo energoefektivitāti, nepiesaistot to konkrētai adresei un atrašanās vietai, kā arī plānotu veicamos pasākumus attiecībā uz neklasificēto ēku portfolio. Tādējādi tiks nodrošināta ierobežotas piekļuves datu aizsardzība pirms gala lēmuma pieņemšanas un speciālistu pieaicināšanas, lai veiktu ēku apsekošanu klātienē.

Attiecībā uz energoefektivitātes paaugstināšanu nozīmīgi ēkas raksturojošie parametri ir funkcionālās, konstruktīvās, lietošanas mērķa, vēlamā vai noteiktā iekštelpu vides kvalitātes līmeņa un citām pazīmēm.

Klasificējot ēkas, iespējams radīt tipveida risinājumus, kas vēlāk replicējami uz līdzīgām ēkām (neklasificēto ēku sistematizācija ļauj turpmāk sākt darbu pie tipveida modeļu izveides).

Tipveida risinājumu radīšanu ievērojami atvieglo modelēšanas rīki. Izmantojot kādu no vienotajiem formātiem, piemēram, *\*.ifc*, iespējams izmantot dažādus rīkus energopatēriņa analīzei.

Papildus tam tipveida modeļu izveide palīdz novērtēt termisko tiltu ietekmi un sagatavot katalogu ar tipveida risinājumiem, tādējādi nodrošinot vienādu pieeju energoaudita veikšanai neatkarīgi no izvēlēta darbu veicēja pieredzes.

Īslaicīgām būvēm, piemēram, teltīm, arī iespējami energoefektivitātes paaugstināšanas risinājumi. Promocijas darbā apskatīti arī telšu sistematizācijas principi, kā arī veicamie pasākumi energopatēriņa samazināšanai. Darbā aplūkoti neklasificēto ēku portfolio Latvijā, salīdzinot dažādu dienestu ēku vecumu.

ASV armija izmanto tipveida ēku dizainu, lai novērtētu dažādu kompleksu renovācijas pasākumu lietderību un energoefektivitāti. Tipveida ēku modeļa izmantošana ļauj nodrošināt konfidencialitāti un datu aizsardzību pirms gala lēmumu pieņemšanas.

### 2.1. Neklasificēto ēku sistematizācijas nepieciešamība

Neklasificēto ēku sistematizācija ir nepieciešama, lai turpmāk varētu veikt analīzi par energoefektivitāti uzlabojošo pasākumu ietekmi uz ēku kopējo energoefektivitāti, nepiesaistot to konkrētai adresei un atrašanās vietai. Tādējādi tiks nodrošināta ierobežotas piekļuves datu aizsardzība pirms gala lēmuma pieņemšanas un speciālistu pieaicināšanas, lai veiktu ēku apsekošanu klātienē.

Viens no šī promocijas darba mērķiem ir sistematizēt neklasificētās ēkas pēc dažādām funkcionālām, konstruktīvajām un citām pazīmēm. Neklasificēto ēku sistematizācija ļaus turpmāk sākt darbu pie tipveida modeļu izveides.

## 2.2. Neklasificēto ēku sistematizācijas principi

Ēku ir iespējams sistematizēt pēc vairākiem parametriem. Izšķir ekspluatācijas īpašības, plānojuma parametrus, funkcionālo nozīmi utt.

Pētījumā izvēlēti vairāki būtiski parametri, kas ietekmē energoapgādes risinājumu izvēli, standartizētā modeļa izveidi un tipveida energoefektivitātes pasākumu izstrādi: funkcionalitāte, stāvu skaits, ilgmūžība, materiāls un būvniecības gads. Papildus tam ēku sistematizācijā var izmantot arī plānojuma parametrus: plānojuma shēmas, ēku funkcionālo zonēšanu un citus.

## 2.3. Neklasificēto ēku telpu izmantošanas specifika

Lai pareizi noteiktu iekštelpu temperatūras režīmu gada laikā un izvēlētos nepieciešamo gaisa apmaiņas daudzumu, kā arī noteiktu norobežojošo konstrukciju siltumtehnikās īpašības, ir nepieciešams noteikt neklasificēto ēku telpu izmantošanas specifiku.

Lielākoties telpas izmantošanas specifika atbilst biroju un publisko ēku izmantošanas vajadzībām. Galvenā atšķirība, kas jāņem vērā, izstrādājot energoauditu, ir lielāka kaitīgo vielu koncentrācija un siltuma zudumu intensitāte.

2.1. tabula

Neklasificēto ēku telpu specifika

Telpas veids	Publiskas ēkas	Neklasificēto ēku specifika
Administratīvas telpas	Biroju telpas un ar to saistītas palīgtelpas	Specializēts apgārbis, uniformas lielāka CLO vērtība, ierobežotas iespējas aizmanot pasīvas vedināšanas un dzesēšanas risinājumus.
Noliktavas	Kancelejas preces, inventārs, biroju tehnika	Sprādzienbīstamie materiāli, munīcija, pārtikas produkti.
Garāžas	Vieglās automašīnas	Smagas un bruņu automašīnas. Auto remonta darbnīcas (ierobežotas iespējas veikt remontdarbus civilos autoservisos), krāsošanas darbnīcas.
Ēdnīca	Dažādie ēdieni, vienmērīga apmeklētāju plūsma	Liels apmeklētāju skaits vienlaikus, stingras diētiskas prasības. Lielāka gaisa apmaiņa un ūdens patēriņš.
Viesnīcas un kopmītnes	Prognozējams un vienmērīgs ūdens patēriņš	Lielāks karstā ūdens patēriņš lielākas darba, vingrošanas un treniņu slodzes dēļ. Kazarmās lielāks apdzīvotības līmenis.
Iekštelpu šautuves	Civīlā šautuve – nelielu kalibru izmantošana	Lielu kalibru izmantošana, aktīva noslodze

## 2.4. Telšu sistematizācija

Ņemot vērā to, ka pētījumā gaitā plānots izstrādāt telšu mobilos energoapgādes risinājumus, tiek veikta arī telšu sistematizācija. Galvenokārt tiek apskatītas teltis, kas paredzētas cilvēku izvietošanai. Pētījumā sagatavots sistematizācijas piemērs uz aizsardzības spēku ēku pamata un, proti, sīkāk tiks apskatīts militārās teltis. Aizsardzības spēku ēkas ir kazarmas, mācību ēkas, biroju ēkas, šautuves, garāžas, dienesta viesnīcas, noliktavas, munīciju glabātuves, ēdnīcas, sporta zāles, medicīnas telpas un citas. Pie dzīvojamām ēkām pieskaitāmas kazarmas un dienesta viesnīcas, savukārt mācību ēkas, biroju ēkas, noliktavas, ēdnīcas, sporta zāles ir sabiedriskas ēkas.

Pēc **funkcionāliem mērķiem** militārās teltis var iedalīt:

- pārgājiena teltis;
- nometņu teltis.

Pēc **konstrukcijas** teltis var būt:

- karkasa;
- bezkarkasa;
- piepūšamas.

## 2.5. Latvijas policijas, ugunsdzēsības dienestu ēku un Latvijas aizsardzības spēku ēku iedalījums pēc uzbūvēšanas gadiem

Pētījumā gaitā sagatavota informācija, balstoties uz:

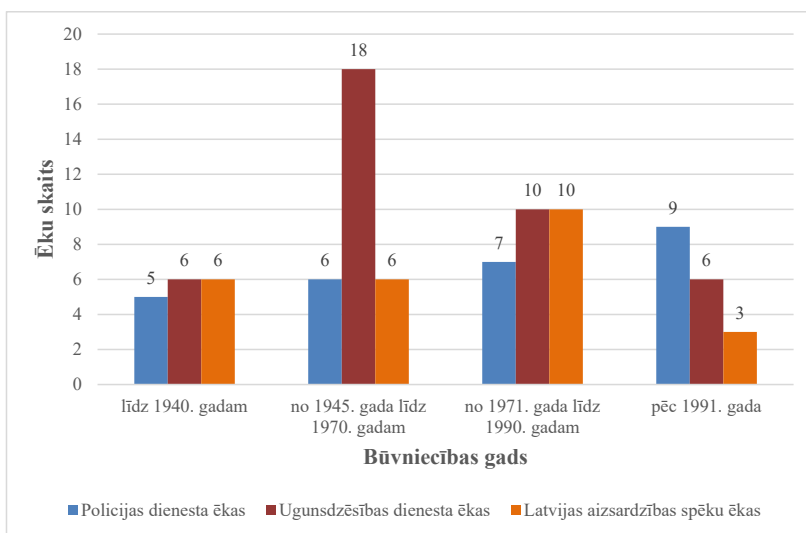
1) valsts institūciju īpašumā, valdījumā un lietošanā esošās ēkas ar kopējo platību virs 250 m<sup>2</sup> uz 09.07.2015. saskaņā ar Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvas 2010/27/ES par energoefektivitāti 5. panta 5. punktu (sagatavota pēc valsts institūciju sniegtās informācijas);

2) valsts institūciju īpašumā, valdījumā un lietošanā esošās ēkas ar kopējo platību virs 250 m<sup>2</sup> uz 09.07.2017. saskaņā ar Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvas 2010/27/ES par energoefektivitāti 5. panta 5. punktu (sagatavota pēc valsts institūciju sniegtās informācijas).

Ņemot vērā būvniecības nozares attīstību Latvijas teritorijā, var iedalīt četrus laika posmus, iedalīt ēkas pēc uzbūvēšanas gadiem. Pirmajā kategorijā ir pirmskara ēkas (uzbūvētas līdz 1940. gadam), otrajā kategorijā ietilpst ēkas, kas uzbūvētas no 1945. līdz 1970. gadam. Trešā kategorija ietver ēkas, kas uzbūvētas periodā no 1971. līdz 1990. gadam. Ēkas, kas celtas pēc 1991. gada, tiek iekļautas ceturtajā kategorijā.

Kopā apskatītas 92 ēkas, no kurām 27 ir policijas dienestu ēkas, 40 – ugunsdzēsības dienestu ēkas un 25 Latvijas aizsardzības spēku ēkas. Dienestu ēku iedalījums pēc uzbūvēšanas gadiem redzams 2.1. attēlā.





2.1. att. Dienesta ēku iedalījums pēc uzbūvēšanas gadiem.

Ēku iedalījumu pēc to vidējā vecuma var apskatīt arī pa dienestiem. Šādi dati apkopoti 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Ēku iedalījums, ņemot vērā vidējo vecumu

Dienests	Ēku skaits	Vidējais vecums (gadi)	Ēku, kas jaunākas par vidējo vecumu, skaits	Ēku, kas vecākas par vidējo vecumu, skaits
Policijas dienests	27	49,7	20 (74 %)	7 (26 %)
Ugunsdzēsības dienests	40	55	22 (55 %)	18 (45 %)
Aizsardzības spēki	25	54,8	17 (68 %)	8 (32 %)
Kopā	92	53,4	59 (64,1 %)	33 (35,9 %)

### 3. NEKLASIFICĒTO ĒKU ENERGOEFEKTIVITĀTES NOTEIKŠANAS METODOLOĢIJA

Promocijas darba mērķis ir energopatēriņa prognozēšanas metodoloģijas izstrāde neklasificētu ēku energopatēriņa samazināšanai un ieteikumiem to tehniskai apskatei. Ieteikumi tiek vērsti uz renovācijas un ergoapgādes unificētu risinājumu izstrādi, vienlaikus nodrošinot augstu veicamo darbu kvalitāti, ar nosacījumu piesaistīt minimālu personāla skaitu šāda veida ēku rekonstrukcijai.

Promocijas darba mērķa sasniegšanai bija nepieciešams veikt pētījumu, nodrošinot pilnu empīrisku ciklu, sākot no faktu un datu apkopošanas, grupēšanas un hipotēzes veidošanas līdz hipotēzes pārbaudei no jaunā empīriskā materiāla, kā arī līdz pētījuma rezultātu validācijai, t. i., kompleksu pasākumu kopums, lai pierādītu pētījuma laikā iegūto datu ticamību un datu gatavības pamatojumu.

Vispārējā gadījumā apkurei vai dzesēšanai nepieciešamo enerģiju aprēķina periodam nosaka kā starpību starp izdalīto siltumu un siltuma zudumiem apskatāmā periodā.

$$Q_a = Q_z - \eta_u \cdot Q_i, \text{ Wh}, \quad (3.1.)$$

kur:  $Q_a$  – ēkas apkurei nepieciešamā enerģija (Wh);

$Q_z$  – kopējie siltuma zudumi apkurei (Wh);

$Q_i$  – kopējais izdalītais siltums apkures režīmā (Wh),

$\eta_u$  – izdalītā siltuma utilizācijas faktors.

$$Q_{dz} = Q_z - \eta_u \cdot Q_s, \text{ Wh}, \quad (3.2.)$$

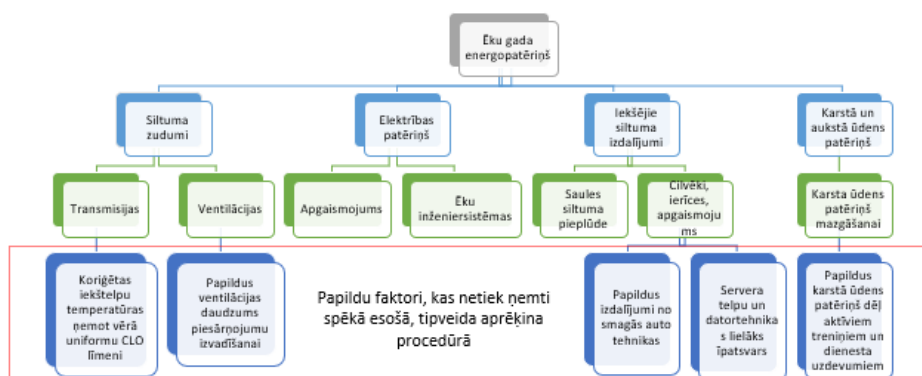
kur:  $Q_{dz}$  – ēkas dzesēšanai nepieciešamā enerģija (Wh);

$Q_{iz}$  – kopējie siltuma izdalījumi; (Wh);

$Q_s$  – kopēja siltuma plūsma (Wh);

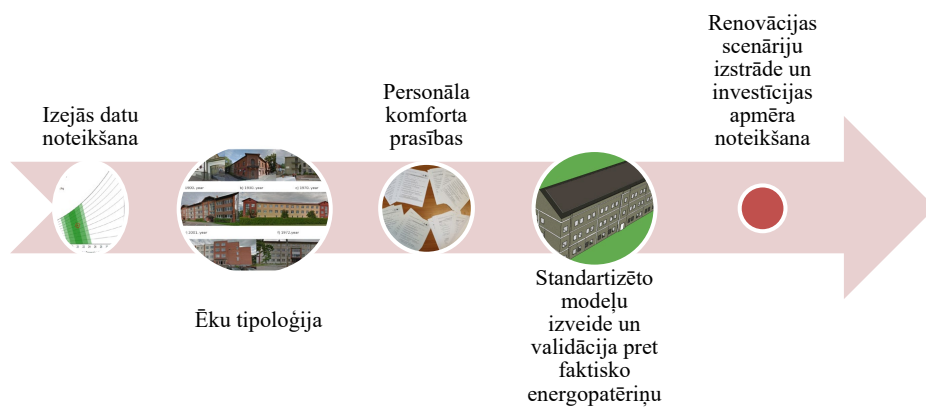
$\eta_u$  – siltuma zudumu utilizācijas faktors.

Lai noteiktu precīzu gada enerģijas patēriņu, ir jāņem vērā visi iespējamie atsevišķie enerģijas patēriņa veidi, ko var iedalīt siltuma zudumos, elektrības patēriņā un karstā ūdens patēriņā. No tiem ir jāatņem iekšējie pieplūdumi, kas rodas no saules. Kā arī dažādiem citiem siltuma avotiem, piemēram, silvēkiem, ierīcēm, apgaismojuma, karstā ūdens caurulēm. 3.1. attēlā apkopoti visi faktori, kas ietekmē kopējo ēkas energopatēriņu un ir jāņem vērā, izstrādājot ergoauditus. Atsevišķi ir izdalīti specifiskie faktori, kas raksturīgi tieši neklasificētām ēkām.

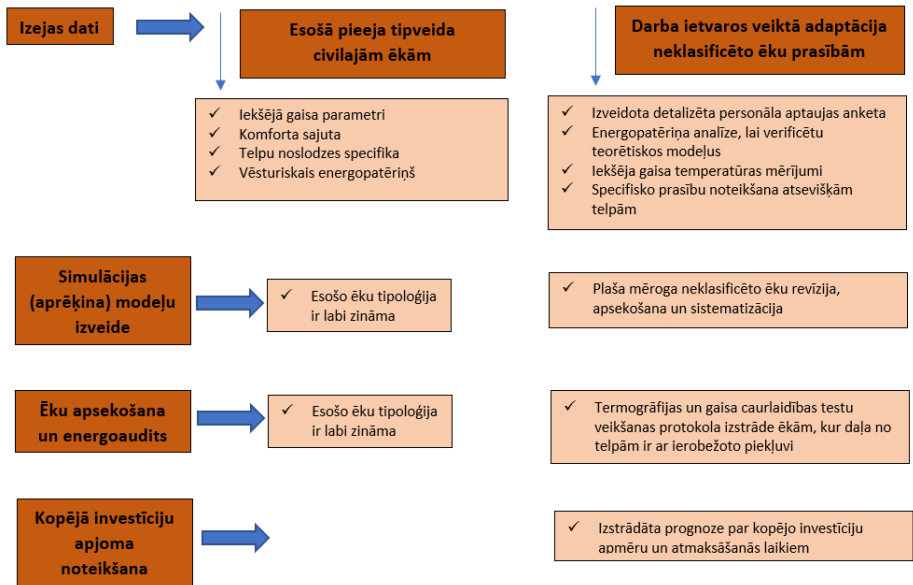


3.1. att. Ēku energoefektivitātes ietekmējošie faktori.

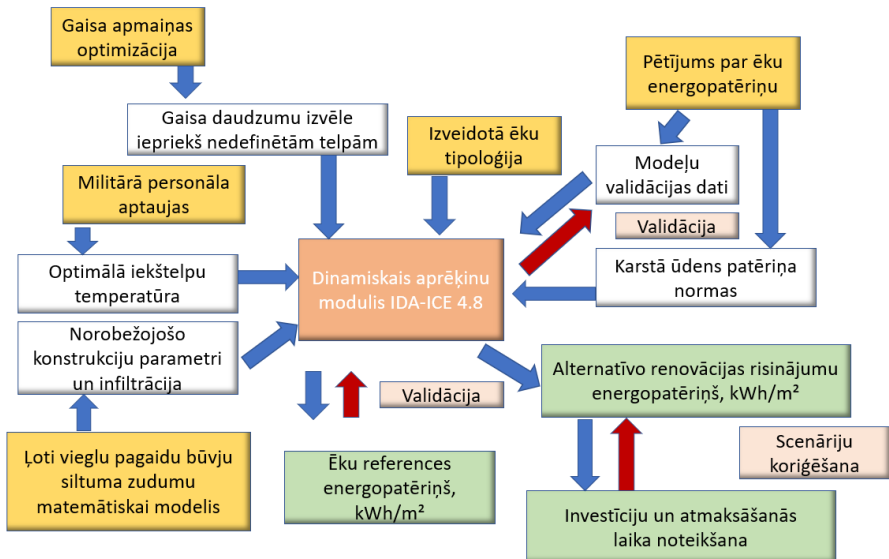
Darba savstarpējo procesu iedarbība un darba pētījuma struktūra redzama 3.2.–3.4. attēlā.



3.2. att. Darba savstarpējo procesu iedarbība.



3.3. att. Darba pētījuma struktūra.



3.4. att. Darba pētījuma struktūra.

### 3.1. Neklasificētu ēku energoefektivitāte

Datubāzes, kas ietvertu katras atsevišķas neklasificētas ēkas būvniecības datus un ekspluatācijas parametrus, publiski nav pieejamas, tāpēc bija jāizstrādā detalizēti prototipu modeļi, kas pārstāvētu tipisku militāro, policijas un ugunsdzēsēju depo ēku. Bez tam ēkas prototipa modeļi ir nepieciešami, lai veiktu siltumenerģijas patēriņa aprēķinu izvēlētajām ēkām, jo katrai no neklasificētajām ēku apakškategoriām var būt atšķirīgas konstrukcijas īpašības un prasības attiecībā uz būvprojektu, materiāliem, siltuma pārnese koeficientiem, iekštelpu komforta līmeni un citiem siltuma parametriem.

Ēkas būvniecības elementu standartizētie siltuma pārnese koeficienti lielā mērā nosaka ēkas siltumenerģijas patēriņu un līdz ar to ir siltumenerģijas patēriņa vienādojuma pamatā. Šos koeficientus definē Latvijas būvnormatīvs *LBN 002-19* “Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika” [10] (siltuma pārnese koeficientu normatīvās vērtības nepieciešamā gada siltumenerģija ( $\text{kWh/m}^2$ ) prototipam tika aprēķināta saskaņā ar MK noteikumiem Nr. 222 “Ēku energoefektivitātes aprēķina metodes un ēku energosertifikācijas noteikumi” [11], kas minēta *LBN 002-19*. Gada siltumenerģijas patēriņš ( $\text{kWh}$ ) šajā laika skalā katrai ēku kategorijai (dzīvojamā, publiskā, rūpnieciskā) tika noteikts, aprēķinot konkrētu siltumenerģijas patēriņu ( $\text{kWh/m}^2$ ) un apkopojot datus par attiecīgā ēku fonda platību ( $\text{m}^2$ ). Tādējādi gada siltumenerģijas pieprasījumu prototipa ēkai ( $\text{kWh/m}^2$ ) var noteikt, izmantojot vienādojumu:

$$E_{gada} = \frac{\sum U_i A_i + \sum \psi_j l_j + \sum \chi_k + (V_g \cdot c) \cdot 24 \cdot D \cdot \text{apk} \cdot (T_{\text{iekš}} - T_{\text{ār}})}{1000 \cdot A} - \eta (Q_{\text{int}} + Q_{\text{sol}}). \quad (3.3.)$$

#### Militārās ēkas

Lai salīdzinātu faktisko enerģijas patēriņu ar teorētisko enerģijas patēriņu, 2011.–2016. gadā vienā un tajā pašā militāro ēku grupā tika veikta energorevīzija un mērījumi. **Enerģijas patēriņš samazinās atbilstoši ēkas būvniecības datumam, un tas liecina, ka, laikam ejot, pakāpeniski uzlabojas ēku siltumefektivitātes nodrošināšanas prakse.** Dažām ēkām, iespējams, tikusi veikta enerģijas modernizēšana, kas uzlaboja siltumefektivitāti (3.5. att.) [12].



utt.). Vidējais izmērītais gada enerģijas patēriņš policijas iecirkņiem ir 252 kWh/m<sup>2</sup>, ugunsdzēsēju depo – 317 kWh/m<sup>2</sup>.

### 3.2. Ēku un telts siltuma zudumu noteikšanas modelis

Šajā promocijas darba apakšsadaļā tiek apskatītas metodes siltuma zudumu aprēķināšanai no teltīm ar mērķi samazināt enerģijas patēriņu apkurei un uzlabot komfortu. Siltuma zudumu aprēķināšanas metodes teltīm būtībā neatšķiras no siltuma zudumu aprēķināšanas ēkām, ir tikai nelielas modifikācijas.

Katras aprēķināšanas metodes pamatā ir neatgriezenisks process – siltumapmaiņa, kas var ietvert trīs atsevišķus siltuma enerģijas izplatīšanas veidus (siltumvadīšanu, siltuma konvekciju, starošanu) dažādās kombinācijās.

Darba struktūra bija šāda: vispirms īsi tika aplūkota siltumapmaiņas teorija [13], [14], kas tika izmantota aprēķinos. Tālāk – aprakstītas metodes siltuma zudumu noteikšanai teltīm, un sniegti konkrēti aprēķināšanas piemēri. Visbeidzot tika salīdzināti aprēķinātie dati ar vērtībām, kas bija iegūtas ar mērinstrumentiem [15], [16], kā arī koriģēti daži koeficienti.

Ēku energopatēriņa analīzes un energoaudits tiek veikts, balstoties un telpu siltuma bilanci (3.4. vienādojums) un cilvēka ķermeņa siltuma bilanci (3.5. vienādojums):

$$L = \frac{\sum(Q_C)n + Q_A}{\Delta T} = \sum_n(h_t A)n + pcV_a, \quad (3.4.)$$

$$\dot{Q}_{con} + \dot{Q}_{rad} = A_{cl} \cdot h_{c+rr}(T_{cl} - T_{op}). \quad (3.5.)$$

**Patlaban Latvijā nepastāv specifiska metodoloģija neklasificēto ēku energoauditu veikšanai, šādos gadījumos tiek izmantotas parastās aprēķina metodes.**

Lai veiktu neklasificēto ēku korektu enerģijas patēriņa novērtējumu, ir nepieciešams veikt šādu ēku padziļinātu energoauditus, ņemot vērā to ekspluatācijas specifiku.

Kā rāda veikto neklasificēto ēku energoauditu rezultātu salīdzinājums ar reāli izmērītajiem datiem, rezultāti būtiski atšķiras, un to var skaidrot ar neklasificēto ēku specifiku un arī to, ka šādu ēku energoizvērtējumam ir **jāizmanto specifiski izejas dati – izdalītā siltuma lielums**, mitruma režīms, gaisa apmaiņas daudzums, karstā ūdens patēriņš u. tml.

### 3.3. Spēkā esošo likumdošanas prasību pielāgošana

Latvijas Republikā spēkā esošie normatīvi tieša veidā nenosaka energoaudītā ievadāmos datus, ko izmanto neklasificēto ēku energoauditu veikšanai, izvēloties aprēķina temperatūras, gaisa apmaiņas daudzumus, izdalīto siltumu, darbības režīmus, apgaismojuma energopatēriņu, karstā ūdens patēriņu utt.

Tādējādi ir nepieciešams izmantot jau esošo datus, kā arī adaptēt tos specifiskajām vajadzībām. 3.1. tabulā parādīts Latvijas Republikā spēkā esošo normatīvu apskats un to lietojums neklasificētām ēkām. 3.1. tabulas pilnā versija ir atrodamā promocijas darbā.

## 3.1. tabula

Spēkā esošo normatīvu, kas tiek izmantoti energopatēriņa aprēķinā, apskats

Normatīva nosaukums	Normatīvs reglamentē	Pielietojums neklasificētām ēkām
<i>LBN 002-19</i> “Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika”	Normatīva 1.–4.2. tabulām nosaka Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnikas rādītājus un to vērtības; normatīva IV pants nosaka Ēku gaiscaurlaidību un energoefektivitātes rādītājus	Kazarmas var tikt pieņemtas kā dzīvojamās ēkas; administratīvās ēkas, štābi, mācību telpas, ēdnīcas var tikt pieņemtas kā publiskās ēkas; garāžas, remontdarbnīcas kā ražošanas ēkas
<i>LVS CR 1752:2008</i> “Ēku ventilācija – Iekštelpu vides projektēšanas kritēriji”	Normatīvs reglamentē nepieciešamās telpu temperatūras, ventilācijas gaisa daudzumus, gaisa plūsmas ātrumus darba zonā un pieļaujamo trokšņu līmeni; tiek dotas arī vadlīnijas par metaboliski izdalītā siltuma daudzumu no personas un apģērbtības līmeni atkarībā no uzvilktajām drēbēm	Standarta 1. tabulu var izmantot, lai noteiktu nepieciešamos gaisa daudzumus neklasificēto ēku mācību telpās, kafetērijās, un štābos, pielīdzinot tos ofisu ēkām
<i>LVS EN ISO 7730:2006</i> “Siltuma vides ergonomika. Termālā komforta analītiska noteikšana un interpretācija, izmantojot paredzamā vidējā balsojuma (PMV) un paredzamā neapmierināto personu procenta (PPD) indeksu kalkulāciju un lokālā termālā komforta kritērijus”	Normatīvs reglamentē, kā raksturot un noteikt termālā komforta līmeni cilvēkiem atkarībā no telpas gaisa temperatūras, starojuma temperatūras, gaisa plūsmas ātruma un gaisa mitruma	Standartu var izmantot visām neklasificētajām ēkām, lai prognozētu vai raksturotu iekštelpu termālā komforta līmeni



## 4. PĒTĪJUMS PAR ENERGOAUDITĀ IEVADĀMO DATU ROBEŽVĒRTĪBĀM

### 4.1. Metodoloģija

Vērtējot neklasificēto ēku energoefektivitātes raksturojumus, jāpievērš uzmanība arī iekštelpu gaisa kvalitātei un iekštelpu komfortam (*IAQ*). Lai objektīvi noteiktu *IAQ* dislocētā kontingenta apmierinātības/neapmierinātības līmeni, militārajos objektos (speciālās nozīmes centros) tiek veikta karavīru rakstiska aptauja par iekštelpas komfortu, kā arī nodrošināts ilgstošs pētīto ēku iekštelpu gaisa kvalitātes, relatīvā mitruma un temperatūras monitorings. Iekštelpu gaisa kvalitātes parametri pētīti administratīvajā ēkā Nr. 2, kazarmās Nr. 6., Nr. 9 un ēdnīcās ēkā Nr. 7 (1.7. att.). Mērījumi tiek veikti apkures sezonas laikā. Sensori izvietoti telpās ar lielāko dienesta darbinieku koncentrāciju un atstāti iekštelpās vismaz uz mēnesi. Pētīto gaisa parametru reālo vērtību nolasīšana tiek nodrošināta ar sensora iestatījumiem un veikta katras piecas minūtes.

### 4.2. Gaisa apmaiņas daudzuma noteikšana neklasificētās ēkās

Viens no pamatzdevumiem energoaudītu veikšanā ir precīzu siltuma enerģijas zudumu noteikšana. Parasti šis process sastāv no divām daļām – siltuma zudumu, kas rodas caur norobežojošām konstrukcijām, aprēķins un enerģijas patēriņš, kas tiek zaudēts ēku ventilācijas dēļ. Ja pirmais no šiem ir salīdzinoši vienkārši aprēķināms, jo ir nepieciešams zināt tikai ēku norobežojošo konstrukciju specifiskos laukumus un siltumvadāmības koeficientus, tad ar otro ir sarežģītāk. Tas ir tādēļ, ka, lai noteiktu, cik enerģijas gada laikā tiek pazaudēts ventilācijas sistēmu dēļ, ir jāzina vairāki parametri, kas var dinamiski mainīties un nebūt vienādi ne tikai savstarpēji līdzīgām ēkām, bet arī vienai ēkai tās dažādos dzīves ciklos. Šie parametri ir: paredzētais ventilācijas gaisa apjoms; ventilācijas iekārtu darbības režīms; ventilācijas iekārtu siltuma atgūšanas efektivitāte; ēkas vispārējā gaisa caurlaidība, kas ietekmē nekontrolēti infiltrētā gaisa apjomu.

Neklasificēto ēku definīcija ietver ēkas ar ļoti dažādu izmantošanas veidu, kas nozīmē, ka to ventilācijas gaisa apjoms var būt ļoti atšķirīgs. Jāņem vērā, ka daudzās neklasificētās ēkās ir telpas ar lokālu gaisa piesārņojuma avotu, piemēram, garāžas, munīciju glabātavas, noliktavas, šautuves, rūpnīcdarbnīcas u. c. Ēku enerģijas patēriņa bilancē ventilācijas gaisa uzsildīšana un elektroenerģija tā pārvietošanai veido ļoti nozīmīgu daļu, īpaši ēkām, kam ir laba siltumizolācija. Veicot šādu ēku energoaudītu vai izstrādājot ēkas energoefektivitātes novērtējumu, ir jāņem vērā dati par ventilācijas gaisa apjomu.

Ņemot vērā to, ka Latvijas būvnormatīvi **nenosaka nepieciešamo minimālo ventilācijas gaisa daudzumu**, kā arī nedod norādes par lielumiem, ko vajadzētu pieņemt, ir jālieto citu valstu normatīvi. Promocijas darbā ir atspoguļots ventilācijas gaisa daudzums, ņemot vērā telpu izmantošanas veidu un lietoto normatīvu. Balstoties uz tiem, ir iespējams aptuveni aplēst,

kādam būtu jābūt gaisa apmaiņas daudzumam tādās neklasificētās ēkās kā ugunsdzēsēju depo vai militārās tehnikas garāžai.

Lai parādītu, cik nozīmīgu daļu no kopējā enerģijas patēriņa var veidot ventilācijas sistēmas, promocijas darba gaitā veikta gaisa apmaiņas daudzuma noteikšana šautuvēm un principiālas ventilācijas sistēmas shēmas izstrāde.

### 4.3. Formastērpa ietekme uz termisko komfortu

Siltuma zudumu, kas rodas transmisijas ceļā, noteikšanai ir nepieciešams zināt norobežojošo konstrukciju laukumu un tā siltumcaurlaidības koeficientus. Ir jāņem vērā ārgaisa temperatūra un iestatītā iekšgaisa temperatūra. Ārgaisa temperatūru ietekmēt nav iespējams, savukārt iekštelpu temperatūru var iestatīt atbilstoši ēkas izmantojuma veidam un cilvēku apģērba siltumizolācijas līmenim.

Galvenie mainīgie parametri, kas ietekmē termālo komfortu, ir apkārtējās vides un cilvēka individuālie parametri. Ja darbiniekam nepārtraukti ir paaugstināta karstuma sajūta, ir grūtāk koncentrēties darbam un kvalitatīvi veikt savus pienākumus.

Mūsdienās ir pierādīts, ka komfortablos apstākļos darbinieka produktivitāte ir daudz augstāka. Taču ēkās, kur darbiniekiem ir pienākums valkāt formastērpus ar augstāku siltumizolācijas līmeni, iespējams, **nav nepieciešams uzturēt standarta gaisa temperatūru**. Darbinieku komforta līmenis var saglabāties optimāls arī 2–3 grādus zemākā temperatūrā, tādējādi ietaupot līdzekļus uz siltumenerģijas rēķina. Teorētiski šādi tiek iegūti divi pozitīvi efekti – uzlabotas darbinieku darba spējas un produktivitāte, kā arī ietaupīti līdzekļi par apkuri.

Pretējs efekts varētu rasties, ja ēkas ir aprīkotas ar gaisa kondicionēšanas iekārtām un vasaras apstākļos telpas būtu nepieciešams papildus dzesēt. Iepriekš minētais vairāk ir attiecināms uz štābu darbiniekiem, kuriem ikdienu lielākoties ir jāpavada iekštelpās, taču ne mazāk svarīgi ir pievērst uzmanību arī karavīru apģērba komplektācijai, kādā tie dodas uzdevumos un ilgstošu laiku pavada apvidū ar mainīgām fiziskām slodzēm. Arī šajā gadījumā apģērba siltumizolācija tieši ietekmē cilvēka darba spējas un sniegumu. Promocijas darbā šajā pētījuma apakšsadaļā detalizēti aplūkota formastērpa ietekme uz termisko komfortu, cilvēka labsajūtu un ēkas energoefektivitāti.

Zemāk redzamajā 4.1. tabulā apkopota informācija par komforta līmeņiem un to salīdzinājums dažādos griezumos.

4.1. tabula

Komforta novērtējums un tam atbilstošās temperatūras sajūtas

BALSU SKAITS		TEMPERATŪRAS SAJŪTA	$ET^{(4)}$	KOMFORTA SAJŪTA	$\bar{T}_s^{(5)}$	% $A_{sw}^{(6)}$
(1)	(2)	(3)				
		1 Ļoti auksti	10 °C	Nekomfortabli	30 °C	
1	-3	2 Auksti	15 °C		30,5 °C	
2	-2	3 Vēsi	20 °C	Mazliet nekomfortabli	32 °C	

#### 4.1. tabulas turpinājums



3	-1	4 Mazliet vēsi	25 °C	Komfortabli	32,5 °C	
4	0	5 Neitrāli	30 °C	Mazliet nekomfortabli	34 °C	6
5	+1	6 Mazliet silti	35 °C	Ļoti nekomfortabli	35 °C	
6	+2	7 Silti			–	20
7	+3	8 Karsti	40 °C		–	40
						60
		9 Ļoti karsti	45 °C		–	80
				Ierobežots	$(T_{core} - \bar{T}_s)$	100

#### 4.4. Militāro formu un to sastāvdaļu siltumizolācija. Termiskā komfortā teorētiskais novērtējums. Cilvēka ķermeņa termiskais līdzsvars






Ņemot vērā to, ka militārais apģērbs ir specifisks un krietni atšķiras no civilā rakstura drēbēm, tad aprēķiniem ir nepieciešami konkrēti šī tipa apģērba *CLO* vērtības. Promocijas darba apkopotie siltumizolācijas dati tipiskām armijas formas sastāvdaļām dažādos apstākļos, lai gūtu aptuvenu priekšstatu par kopējo siltumizolācijas līmeni dažādās kombinācijās. 4.2. tabulā redzami attēli ar Latvijas Republikas Nacionālo bruņoto spēku karavīriem izsniegto apģērbu vairākiem līmeņiem. Šeit nav uzskaitīti cimdi, galvassegas un apavi.

4.2. tabula


#### Formastērpa elementi

	<p><b>1. līmeņa apakšveļa</b> Sastāvdaļas: T krekls, īsās apakšbikses (bokseršorti). Galvenās auduma īpašības: * izvada un atgrūž mitrumu, * nekairina ādu, * ātri žūstošs, * aizsargā pret UV starojumu, * antibakteriāls. Paredzēta: kā apakšveļa zem pārējiem lauka formastērpa slāņiem.</p>
	<p><b>2. līmeņa apakšveļa</b> Sastāvdaļas: krekls ar garām piedurknēm, garās apakšbikses. Galvenās auduma īpašības: * izvada un atgrūž mitrumu, * nekairina ādu, * ātri žūstošs, * aizsargā pret UV starojumu, * antibakteriāls. Paredzēta: kā apakšveļa zem pārējiem laukaformastērpa slāņiem.</p>

## 4.2. tabulas turpinājums

	<p><b>3. līmeņa apakšveļa</b>  Sastāvdaļas: biezs krekls (ar rāvējslēdzēju) ar garām piedurknēm, biezas garās apakšbikses.  Galvenās auduma īpašības:  * izvada un atgrūž mitrumu,  * nekairina ādu,  * ātri žūstošs,  * aizsargā pret UV starojumu,  * saglabā ķermeņa siltumu.  Paredzēta: kā apakšveļa zem pārējiem lauka formastērpa slāņiem.</p>
	<p><b>Vēsa laika kostīms</b>  Sastāvdaļas: jaka, bikses.  Galvenās auduma īpašības:  * saglabā ķermeņa siltumu,  * laba gaisa caurlaidība,  * elastīgums,  * aizsargā pret UV starojumu.  Paredzēts: kā atsevišķs lauka formas tērps kopā ar citiem lauka formastērpa slāņiem.</p>
	<p><b>Lauka formas tērps</b>  Sastāvdaļas: lauka formas tērpa cepure, jaka, bikses.  Galvenās īpašības:  * kalpo kā pamata kaujas formastērps,  * ir ar vienotu maskēšanās rakstu,  * nodrošina vizuālo maskēšanos un tuvā distancē norāda uz piederību LR,  * nodrošina maskēšanos <i>NIR</i> diapazonā,  * audums ir impregnēts pret insektiem  Paredzēts: kā atsevišķs pamata lauka formastērps kopā ar citiem lauka formastērpa slāņiem.</p>
	<p><b>Lietus kostīms</b>  Sastāvdaļas: jaka, bikses.  Galvenās īpašības:  * ūdensnecaurlaidīgs audums,  * laba gaisa caurlaidība,  * pasargā no vēja,  * ir ar vienotu maskēšanās rakstu,  * nodrošina vizuālo maskēšanos un tuvā distancē norāda uz piederību LR,  * nodrošina maskēšanos <i>NIR</i> diapazonā.  Paredzēts: kā atsevišķs pamata lauka formastērps kopā ar citiem lauka formastērpa slāņiem.</p>
	<p><b>Ziemas virsjaka</b>  Sastāvdaļas: jaka.  Galvenās īpašības:  * saglabā ķermeņa siltumu,  * aizsargā no lietus un sniega,  * aizsargā no vēja.  Paredzēta: kā atsevišķs lauka formastērpa slānis kopā ar citiem lauka formastērpa slāņiem.</p>

## 4.2. tabulas turpinājums

	<p><b>Īpaši auksta laika kostīms</b>  Sastāvdaļas: jaka, bikses.  Galvenās īpašības:  * saglabā ķermeņa siltumu,  * aizsargā no lietus un sniega,  * aizsargā no vēja.  Paredzēts: kā atsevišķs lauka formastērps kopā ar citiem lauka formastērpa slāņiem.</p>
---	---

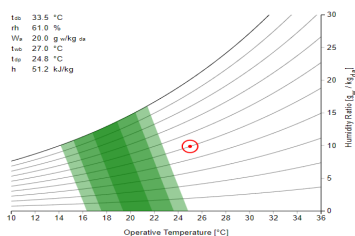
Normālos apstākļos iekštelpās strādājoša karavīra apģērbs sastāv galvenokārt no 1. līmeņa apakšveļas un lauka kaujas formastērpa.



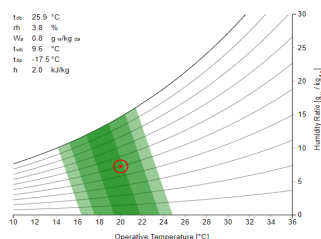
### 4.1. att. Iekštelpās strādājoša karavīra apģērbs.

Lai novērtētu militārā personāla termisko komfortu ofisa apstākļos, jāņem vērā militārā apģērba specifika un *CLO* vērtības. Šim nolūkam Latvijas Republikas Nacionālo bruņoto spēku karavīru lauka kaujas formastērpu var pielīdzināt ASV karavīru formastērpa, kura aptuvenā *CLO* vērtība ir 1.4.

Izmantojot Kalifornijas Universitātes (Bērkli) izstrādāto termiskā komforta kalkulatoru, veikts aprēķinu piemērs iekštelpu klimata un apģērba siltumizolācijas atbilstību *ASHRAE 55/2017* un *EN-15251 "Indoor Environmental Criteria"* prasību noteikšanai, pieņemot dažādu iekštelpu gaisa temperatūru un noteiktu uniformas *CLO* vērtību. Pieņemot iekštelpu gaisa temperatūru 25 °C un apģērba *CLO* vērtību 1.4., redzams, ka šie kritēji atrodas ārpus komforta zonas (4.2. att.). Samazinot iekštelpu gaisa temperatūru līdz 20 °C, *ASHRAE 55/2020* [17] un *EN-15251 "Indoor Environmental Criteria"* [18] prasības tiek izpildītas (4.3. att.).



4.2. att. Komforta zona ar militāro apģērbu iekštelpu gaisa temperatūrā 25 °C, relatīvā mitruma 50 %, apģērba *CLO* vērtības 1.4.



4.3. att. Komforta zona ar militāro apģērbu iekštelpu gaisa temperatūrā 20 °C, relatīvā mitruma 50 %, apģērba *CLO* vērtības 1.4.

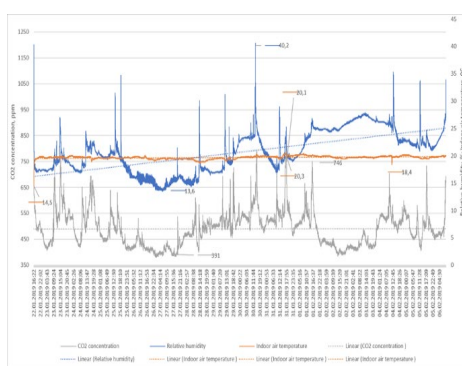
Cilvēka ķermeņa siltuma zudumu aprēķināšana ir sarežģīts īslaicīgas siltuma pārneses uzdevums, kas ietver izstarošanu, konvekciju, siltuma vadīšanu un iztvaikošanu, kā arī daudzus citus mainīgos faktorus, sākot no ādas mitruma un beidzot ar apģērba sastāvu. Promocijas darbā apskatīti tādi procesi kā ķermeņa kopējais enerģijas ražošanas ātrums, metabolisma ātrums dažādu aktivitāšu laikā, ķermeņa izstarošanas siltuma zudumi.

## 4.5. Iekštelpu gaisa kvalitātes pētījums

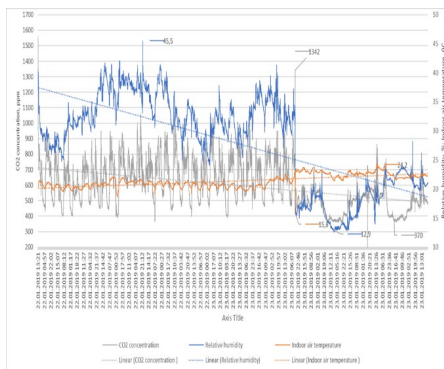
Lai uzraudzītu dažādu parametru, šajā gadījumā – gaisa temperatūras, relatīvā mitruma un CO<sub>2</sub> koncentrāciju, izmaiņas diennaktī, tika veiktas vairākas mērījumu sērijas. No speciālās nozīmes centra kazarmām tika izvēlētas divas ēkas – ēka Nr. 6 un ēka Nr. 9 (1.6. att.). Ēka Nr. 9 uzcelta Latvijas Republikas pirmās brīvvalsts laikā. Tai ir trīs virszemes stāvi, viens pazemes stāvs. Ēkas kopēja platība – 2388 m<sup>2</sup>, būvtilpums – 11 530 m<sup>3</sup>. Ēkā nav mehāniskās pieplūdes-nosūces ventilācijas.

Ēka Nr. 6 uzcelta 1910. gadā. Tai ir trīs virszemes stāvi, viens pazemes stāvs. Ēkas kopēja platība – 2387 m<sup>2</sup>, būvtilpums – 11 990 m<sup>3</sup>. Ēkas daļējas renovācijas laikā nosiltinātas ēkas norobežojošās konstrukcijas, uzmontēta mehāniskā pieplūdes-nosūces ventilācijas sistēma. Apkure vienai un otrai ēkai ir nodrošināta, pieslēdzot ēku siltumzglus centralizētajai rajona siltumapgādes sistēmai. Vienai kazarmai mērījumi tika veikti divās dažādās telpās, no kurām viena ir sardzes telpa, otra – sanāksmju telpa trešajā stāvā. Otrai kazarmai mērījumi tika veikti trīs dažādās telpās: mācību centrā – otrajā stāvā, guļamtelpā un kopīgajā birojā – trešajā stāvā. Pārbaudes notika janvārī, februārī un martā.

Rezultāti, kas parāda sardzes telpas un sanāksmju telpas iekšējās vides parametru izmaiņas diennaktī, redzami 4.4.attēlā un 4.5. attēlā.

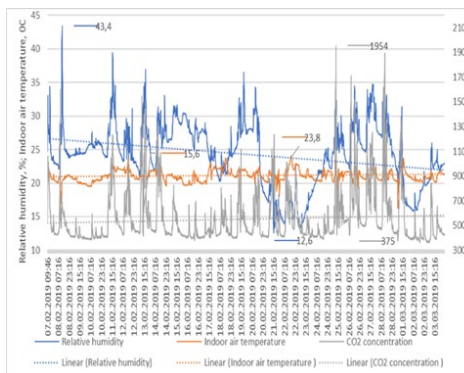


4.4. att. Mitruma, gaisa temperatūras un oglekļa dioksīda koncentrācijas (*IAQ*) parametri sardzes telpā.

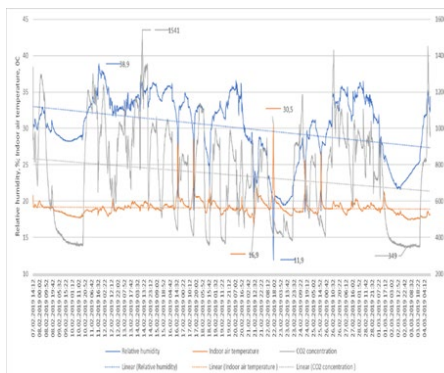


4.5. att. Mitruma, gaisa temperatūras un oglekļa dioksīda koncentrācijas (*IAQ*) parametri trešā stāva sanāksmju telpā.

Mērījumu rezultāti, kas attēlo mācību centra, guļamtelpas un koplietošanas telpas vides parametru izmaiņas diennaktī, redzami 4.6. attēlā un 4.7. attēlā.



4.6. att. Mitruma, gaisa temperatūras un oglekļa dioksīda koncentrācijas (*IAQ*) parametri otrā stāva mācību centrā.

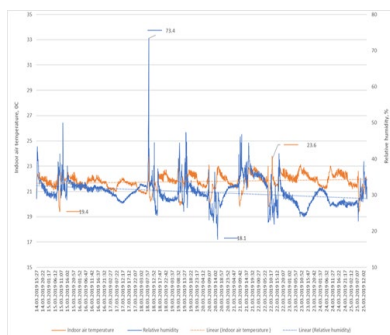


4.7. att. Mitruma, gaisa temperatūras un oglekļa dioksīda koncentrācijas (*IAQ*) parametri trešā stāva guļamtelpās.

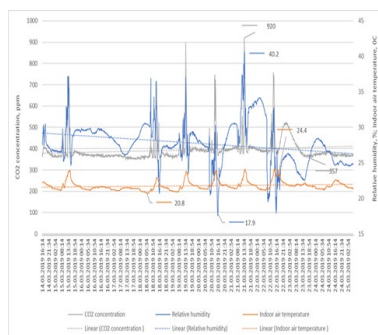
Pētījuma gaitā tika veikti iekštelpu temperatūras, relatīvā mitruma un gaisa kvalitātes mērījumi speciālās nozīmes centra ēdnīcas ēkā, kur uzstādīti universāli sensori gaisa parametru mērīšanai – temperatūras, mitruma sensori un oglekļa dioksīda koncentrācijas sensori.

Ēdnīcas ēka tika nodota ekspluatācijā 1960. gadā. Tā ir divstāvu ķieģeļu būve ar dzelzsbetona pārsegumiem. Būvtilpums – 5274 m<sup>3</sup>. Ēka tika daļēji renovēta – nomainīti logi, ēkas fasāde siltināta ar akmeņi vati un apšūta ar skārdu, uzstādīta mehāniskā pieplūdes-nosūces ventilācija. Ēka tiek ekspluatēta 5/12 režīmā. Apkure ēkai ir nodrošināta, pieslēdzot ēkas siltumzglu centralizētajai rajona siltumapgādes sistēmai.

Mērījumu rezultāti, kas attēlo ēdnīcas ēka iekštelpas vides parametru izmaiņas diennaktī, redzami 4.8. attēlā un 4.9. attēlā.



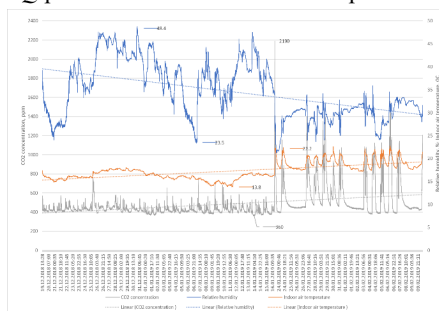
4.8. att. Mitruma, gaisa temperatūras parametri karsto ēdienu gatavošanas telpā.



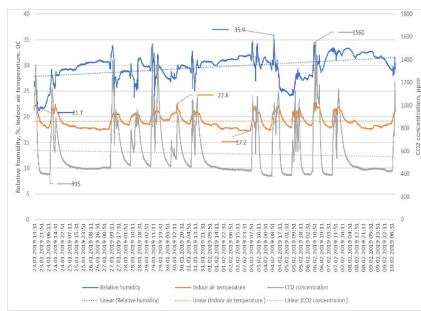
4.9. att. Mitruma, gaisa temperatūras un oglekļa dioksīda koncentrācijas (*IAQ*) parametri pusdienu zālē.

Veiktā pētījuma, vienā no speciālās nozīmes centra administratīvajam ēkām tika uzstādīti universāli sensori gaisa parametru mērīšanai – temperatūras, mitruma sensori un ogļskābās gāzes koncentrācijas sensori.

No speciālās nozīmes centra administratīvajām ēkām tika izvēlēta 1977. gadā būvētā divstāvu ēka ar būvtilpumu 3666 m<sup>3</sup>. Iepriekš ēka netika renovēta. Ēka tiek ekspluatēta 7/24. Ēkā nav mehāniskās pieplūdes-nosūces ventilācijas. Apkure ēkai ir nodrošināta, pieslēdzot ēkas siltumzglu centralizētajai rajona siltumapgādes sistēmai. Gaisa parametru mērierīces tika uzstādītas ēkas pirmajā un otrajā stāvā, darba zonās un atpūtas zonā. Mērījumi tika veikti no 2018. gada decembra līdz 2019. gada februārim (ieskaitot). 4.10. attēlā un 4.11. attēlā apkopoti *IAQ* parametri administratīvās ēkas pirmā un otrā stāva darba zonās.



4.10. att. Mitruma, gaisa temperatūras un ogļskābās gāzes koncentrācijas (*IAQ*) parametri administratīvās ēkas pirmā stāva darba zonās.



4.11. att. Mitruma, gaisa temperatūras un ogļskābās gāzes koncentrācijas (*IAQ*) parametri administratīvās ēkas otrā stāva darba zonās.

Promocijas darba gaitā veikti iekšēja gaisa parametru mērījumi kazarmās, kas izbūvētas pirms 1960. gada un 70. gadu vidū. Tām ir zems apdzīvotības (noslodzes) līmenis – maz personāla un ļoti plašas telpas. Pētījumā laikā veikti vairāk nekā 1 000 000 mērījumu, kazarmas atrašanās vietas un mērījumu datumu gadi apzināti tiek slēpti. Mērījumu dati apkopoti 4.3. tabulā.

4.3. tabula

Vidējie dati

	Temperatūra telpās (t, °C)	Relatīvais mitrums (%)	CO <sub>2</sub> koncentrācija telpās (PPM)
Kazarma 006 01	19,8	32,6	586
Kazarma 006 02	20,1	25,6	778
Kazarma 4 01	18,5	37,5	739
Kazarma 4 02	21,0	35,2	560
Kazarma 4 03	19,3	41,7	–
Kazarma 2 01	17,3	34,6	487
Kazarma 2 02	19,8	–	–
Kazarma 2 03	17,3	32,6	587
Kazarma 3 01	18,4	30,3	753
Kazarma 3 02	20,1	24,3	550



#### 4.3. tabulas turpinājums

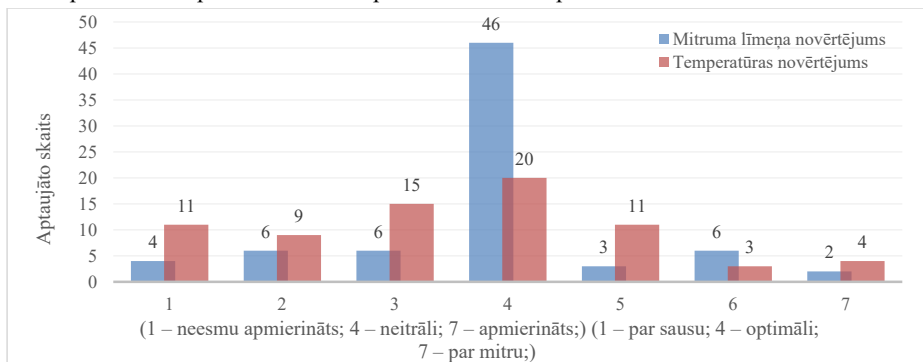
Kazarma 3_03	19,0	29,2	564
Kazarma 3_04	17,6	24,3	551
Kazarma 5_01 (virtuve)	20,3	19,2	–
Kazarma 5_02 virtuve pie izejas	19,5	25,7	394
Kazarma 5_03 pie saņemšanas	18,9	23,6	374

Analizējot datus, secināts, ka kazarmu iekšējā gaisa vidējie dati ir šādi: relatīvais mitrums – 29,7 %, temperatūra telpās – 19,1 °C, CO<sub>2</sub> koncentrācija telpās – 576,9 PPM.

#### 4.6. Aptauja par ēku iekštelpu komfortu militārajā objektā un tās rezultātu apkopojums

Aptaujā piedalījās 73 dažāda vecuma un dzimuma respondenti, atradoties savās darbvietās vai pildot ikdienas dienesta pienākumus. Tika apsekotas trīs ēku grupas.

Respondentiem tika piedāvāts aizpildīt anketas veidlapu, sniedzot atbildi uz jautājumiem, kas kopumā varētu palīdzēt raksturot pētītās ēkas iekštelpu komfortu.



4.12. att. Militārā objekta ēku aptaujas par iekštelpu komfortu respondentu apmierinātības indikators iekštelpas gaisa temperatūrai.

Veikto aptaujas grafiku analīze spilgti ilustrē problēmu ar iekštelpu komfortu pētījamās ēkās. Vairākums respondentu sniedz negatīvus vērtējumus par gaisa iekštelpu temperatūru, relatīvo mitrumu un gaisa kvalitāti. Darbā atsevišķi grafiskā veidā netiek ilustrētas respondentu atbildes par akustisko stāvokli un jūtamo nepatīkamo smaku iekštelpās, taču sniegtās rakstiskās aptaujas atbildes lielā mērā atspoguļo respondentu neapmierinātību.

## 5. REZULTĀTU UN VALIDĀCIJAS PRAKTISKĀ IZMANTOŠANA

### 5.1. Neklasificētu ēku enerģijas patēriņa novērtējums dažādās Latvijas pilsētās

Lai apstiprinātu dinamiskos enerģijas aprēķinus un novērtētu dažādus modernizēšanas scenārijus, tika veikts enerģijas patēriņa teorētiskais novērtējums atbilstoši Latvijas klimatiskajiem apstākļiem, kas ir līdzīgi visā Baltijas reģionā. Šim nolūkam tika izvēlēta tipiska Latvijas ugunsdzēsēju depo ēka. Tipisks ugunsdzēsēju depo ir mazstāvu ēka. Ir vairāki izmaksu ziņā optimāli risinājumi attiecībā uz zemu ēku būvniecību un modernizēšanu, ko var viegli piemērot ugunsdzēsēju depo. Tomēr, salīdzinot ar dzīvojamajām un sabiedriskajām ēkām, ugunsdzēsēju depo modernizēšana ir sarežģītāka. Šāda veida ēkām ir īpašas prasības attiecībā uz ventilāciju ugunsdzēsības mašīnu izplūdes un karstā ūdens patēriņa dēļ, kam ir skaidri noteiktas maksimālās slodzes uz personāla maiņu.

Vispirms tika analizēta nerenovēta ēka. 5.1. tabulā apkopoti dati par nerenovētu ēku enerģijas patēriņu ar darbības līmeni 2,0 MET, 1,4 CLO garāžā un 1,2 MET, 0,85 CLO biroja daļā. Netika ņemts vērā karstā ūdens enerģijas patēriņš.

5.1. tabula

Nerenovētu ēku enerģijas patēriņš, kWh/m<sup>2</sup>

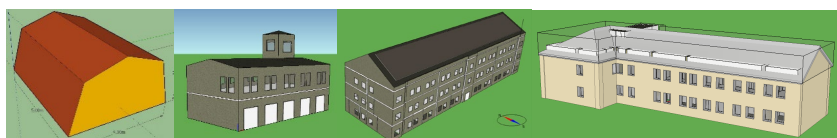
	Rīga	Liepāja	Gulbene	Daugavpils
Apkurei, ventilācijai un gaisa kondicionēšanai (HVAC) patērētā elektrība	0	0	0	0
Centralizētā apkure	136,2	123,2	160,7	151,5

Pētījuma gaitā analizēti trīs modernizēšanas scenāriji. Pirmais jeb pamatscenārijs ietver norobežojošo konstrukciju siltumizolāciju saskaņā ar Latvijas normatīviem aktiem un mehāniskās ventilācijas sistēmas uzstādīšanu bez izplūdes gaisa siltuma rekuperācijas. Otrais scenārijs ir līdzīgs pirmajam, taču tajā paredzēta izplūdes gaisa siltuma rekuperācijas iekārtas uzstādīšana. Trešais scenārijs ir nopietnas modernizēšanas pieeja, kas ir piemērota Latvijas klimatiskajiem apstākļiem. Tā ietver efektīvākas izplūdes gaisa siltuma rekuperācijas iekārtas uzstādīšanu, labāku norobežojošās konstrukcijas hermētiskumu un papildu siltumizolāciju, kas atbilst pasīvās mājas standartprasībām.

Pētījuma rezultāti liecina, ka mehāniskās ventilācijas sistēmas ierīkošana bez izplūdes gaisa siltuma rekuperācijas iekārtas būtiski palielina enerģijas patēriņu pat ļoti izolētai ēkai. Savukārt izplūdes gaisa siltuma rekuperācijas iekārtas uzstādīšana nodrošina siltumenerģijas patēriņa samazināšanos par 165,8 kWh/m<sup>2</sup> jeb 72%. Tomēr ir ievērojams elektroenerģijas patēriņa pieaugums, lai darbinātu gaisa apstrādes iekārtu, kas vidēji palielina patēriņu par 25 kWh/m<sup>2</sup>.

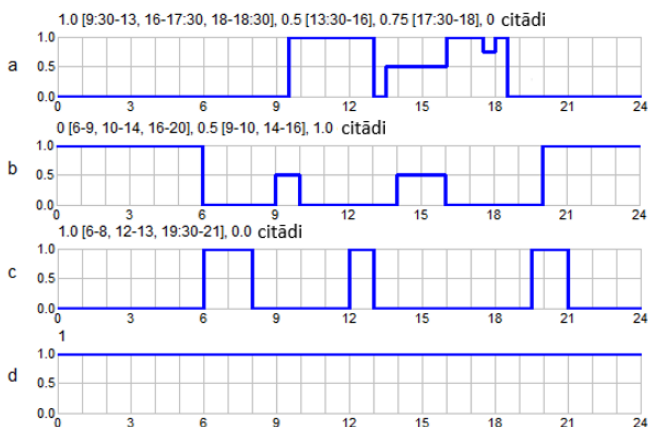
## 5.2. Neklasificēto ēku renovācijas scenāriju izstrāde

Kopumā izmērītais enerģijas patēriņš izvēlētajās neklasificētajās ēkās ir ievērojami lielāks nekā enerģijas patēriņš civilajās ēkās (dzīvojamās un sabiedriskās), kur kopējais siltumenerģijas patēriņš apkurei un karstā ūdens sagatavošanai ir  $190 \text{ kWh/m}^2$ . Šis apakšsadaļas mērķis ir definēt neklasificētu ēku galvenos parametrus, lai izstrādātu vadlīnijas neklasificētu ēku renovācijai reģionos, kuros ir pieprasījums pēc telpu apsildes. Balstoties uz neklasificēto izveidot ēku tipoloģiju, tika izstrādāti standartizēti modeļi (5.1. att.).



5.1. att. Neklasificēto ēku izstrādātie standartizētie modeļi.

Balstoties uz veiktiem mērījumiem un cilvēku aptaujām, tika sagatavoti katras ēkas veida tipveida izejas dati: iekštelpu temperatūra, cilvēku skaits un to uzturēšanas specifika, norobežojošo konstrukciju gaisa caurlaidība.

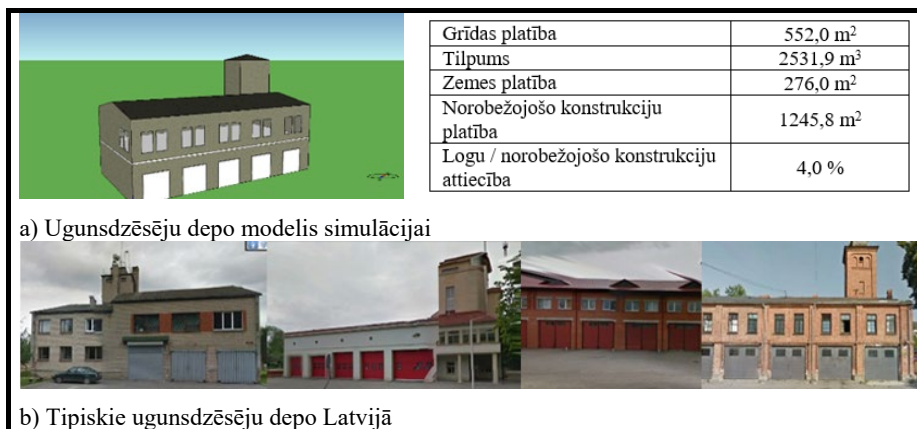


5.2. att. Noslogojuma un apgaismojuma grafiki.

Darba gaitā veikts pētījums par nerenovēto ugunsdzēsēju depo enerģijas patēriņu, lai parādītu renovācijas pasākumu ietekmi (divi simulācijas scenāriji). Pirmajā scenārijā modifikācijas pakete ietver logu nomaiņu un papildu siltumizolācijas slāņa izmantošanu (+ 50 mm). Otrajā scenārijā 2 modifikācijas pakete ietver pirmo scenāriju ar izplūdes gaisa siltuma rekuperācijas sistēmu ventilācijai, izmantojot rotējošu siltummaini ar efektivitāti 86 %. Gaisa infiltrācijas ātrums modernizētām ēkām:  $1,5 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$ ; ārējo norobežojošo konstrukciju  $U$  vērtība:  $0,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ; mehāniskās ventilācijas ātrums:  $n - 1 = 2$  bez rekuperācijas.

Pirmais scenārijs: fasādes modernizēšana bez siltuma rekuperācijas sistēmas.

Otrais scenārijs: fasādes modernizēšana ar siltuma rekuperācijas sistēmu ventilācijai.



5.3. att. Ugunsdzēsēju depo prototipa modelis, kas izstrādāts ar programmatūru

*IDA-ICE v4.8.*

Divu scenāriju simulācija tika veikta ar *IDA-ICE v 4.8* programmatūras palīdzību, pamatojoties uz izstrādāto prototipa modeli, kas pārstāv tipisku ugunsdzēsēju depo. 40 analizēto ugunsdzēsēju depo tipoloģija norāda par kopējiem būvniecības principiem, proti, pirmais stāvs tiek izmantots ugunsdzēsības automobiļu novietošanai, savukārt otrais stāvs tiek izmantots personāla vajadzībām un pārvaldei. Lielākajai daļai ugunsdzēsēju depo ir līdzīgs stāvu iekārtojums un noslogojuma specifika.

Lai modelētu un salīdzinātu dažādo renovācijas pasākumu ietekmi militārajās kazarmās, tika veikts vēl viens pētījums. Gada laikapstākļu dinamiskā simulācijas modelī tika veikti, izmantojot klimata failu trīs pilsētām: Daugavpils (*WMO: 265440*), Rīga (*WMO: 264220*) un Liepāja (*WMO: 264060*).

Visām simulācijām tika izmantots vienots ēkas modelis (5.4. att.), kura platība ir 618,0 m<sup>2</sup>, tilpums – 1936,1 m<sup>3</sup>. Modeļa norobežojošo konstrukciju platība ir 1254,1 m<sup>2</sup>, kur 7,0 % ir logu laukums. Visām zonām ir identiski iestatītie temperatūras punkti: minimālā temperatūra – 21 °C, maksimālā – 25 °C. Scenāriju simulācijas un to rezultātu apraksti apkopoti 5.2. tabulā.



5.4. att. Ēkas modelis – kazarmas Latvijā.

5.2. tabula

Renovācijas scenāriji un to simulācijas rezultātu apraksts

	$U$ vērtības, $W/(m^2 \cdot K)$	No vēja atkarīgas infiltrācijas gaisa plūsuma pie spiediena starpības 50 Pa, $m^3/(h \cdot m^2 \text{ ārējo virsmu})$	Izplūdes gaisa siltuma rekuperācija, %	Gaisa apmaiņas norma, $ACH$	Atrašanās vieta	$HVAC$ elektrība, $kWh/m^2$	Centrālā siltumapgāde, $kWh/m^2$
1. scenārijs	Logi – 2,6 Sienas – 0,9 Grīda – 0,8 Jumts – 0,9	4	0	0,5	Daugavpils	0	222,7
					Rīga	0	201,4
					Liepāja	0	190,5
2. scenārijs	Logi – 1,1 Sienas – 0,16 Grīda – 0,16 Jumts – 0,10	1,5	0	0,5	Daugavpils	0	94,4
					Rīga	0	85,3
					Liepāja	0	79,5
3. scenārijs	Logi – 1,1 Sienas – 0,16 Grīda – 0,16 Jumts – 0,10	1,5	80	0,5	Daugavpils	6,2	50
					Rīga	6,2	43,7
					Liepāja	6,2	39,4
4. scenārijs	Logi – 1,1 Sienas – 0,16 Grīda – 0,16 Jumts – 0,10	1,5	80	0,5*	Daugavpils	13,0	72
					Rīga	13,0	63,4
					Liepāja	13,0	58,8

\* Scenārijos astoņām kazarmu dzīvojamām istabām ir paaugstināta gaisa apmaiņas norma, kas ir  $2,5 \text{ l}/(s \cdot m^2)$  saskaņā ar Somijas nacionālo būvnormatīvu D2.

Rezultāti parādīja, ka pastāv 30 % ietaupījuma potenciāls, izmantojot tikai fasāžu modernizāciju, un līdz 83 % ietaupījuma potenciāls, ja tiek veikta nopietna enerģijas

modernizēšana, aprīkojot ēku ar izplūdes gaisa siltuma rekuperācijas ventilācijas sistēmu. Vēl viens pētījums, kas tika veikts, lai modelētu un salīdzinātu dažādo renovācijas pasākumu ietekmi militārajās kazarmās, parādīja, ka ievērojamus ietaupījumus var panākt, apvienojot energoefektivitātes pasākumus (5.3. tab.).

5.3. tabula

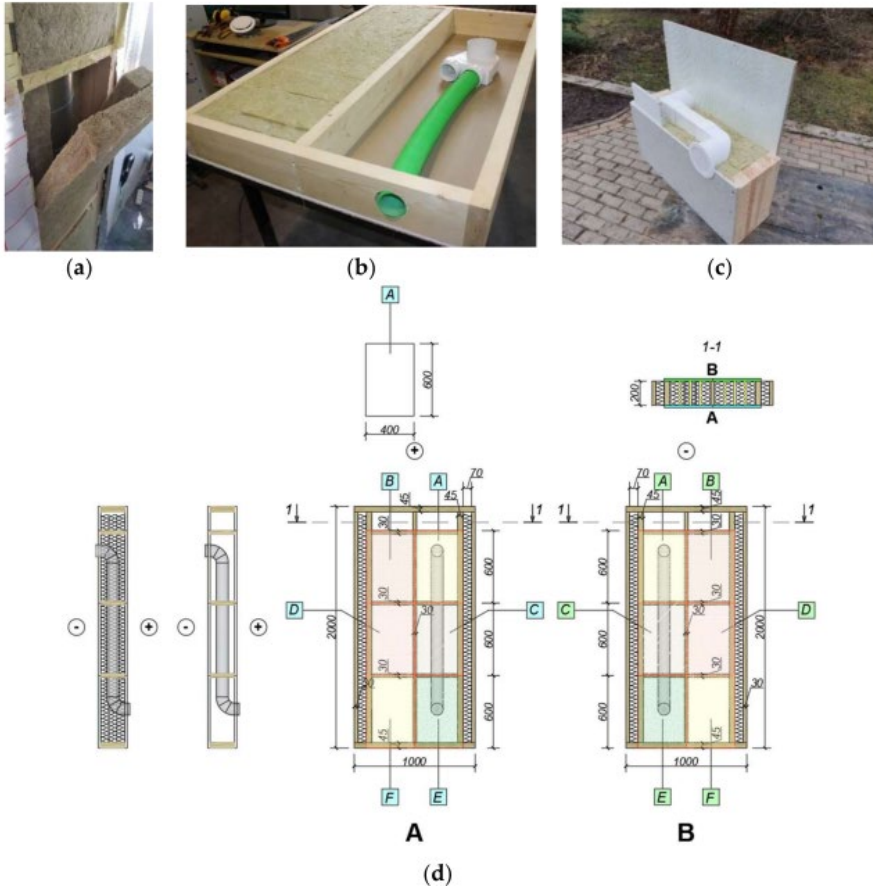
Militāro kazarmu renovācijas potenciāls (gadījuma pētījums)

Infiltrācija, m <sup>3</sup>	Sistēmas apraksts	Energijas patēriņš, kWh/m <sup>2</sup>	
		Apkure	Elektrība
	Ar ventilāciju + siltuma rekuperāciju	86,5	
4	Ar ventilāciju + siltuma rekuperāciju+logu U vērtību 1,1	79,8	5,1
1,5	Ar ventilāciju + siltuma rekuperāciju+logu U vērtību 1,1	76,3	5,1
1,5	Ar ventilāciju + siltuma rekuperāciju+logu U vērtību 1,1/sienu U vērtību 0,17	25,5	5,1
	Ar ventilāciju + bez siltuma rekuperācijas + logu U vērtību 1,1/sienu U vērtību 0,17	58,1	

### 5.3. Modulārā ballistiski izturīga koka karkasa siltināšanas risinājuma izstrāde

Personāla drošība ir galvenā prioritāte neklasificētās ēkās, īpaši militārās ēkās. Tomēr iekštelpu gaisa kvalitātei un siltuma komfortam ir tiešā ietekme uz personālā produktivitāti un spēju koncentrēties pienākumiem un ietekmēt lēmumu pieņemšanu stresa apstākļos [19]. Ēku būvniecībā arvien izplatītāka kļūst koka konstrukciju izmantošana, arvien izplatītāks ir arī koka karkasa konstrukciju lietojums jaunu ēku celtniecībā, kā arī esošo ēku modernizēšanā/renovācijā. Modulārā koka karkasa konstrukcija lieliski atbilst neklasificēto ēku vajadzībām, ļaujot būtiski samazināt būvniecības laiku un integrēt dažādus aktīvus un pasīvus elementus, piemēram, svaiga gaisa padeves kanālus. Promocijas darbā gaitā veikts pētījums par 12 mm bieza aramīda ballistisko paneli. Tika modelēti dažādu modulāro ārsienu risinājumi, analizēts ballistiskais koka konstrukcijas panelis ar iestrādātu gaisa vadu, pārbaudīta to siltumvadītspēja. Galvenā piedāvātās tehnoloģijas priekšrocība ir ātra un kvalitatīva neklasificētu ēku moduļu būvniecība, kas nodrošina visas mūsdienu prasības ne tikai drošībai, bet arī energoefektivitātei un iekštelpu gaisa kvalitātei.

Pētījumu gaitā izgatavotas atsevišķas demonstrācijas sienas ar iebūvētiem kanāliem (5.5. att.). Tas ļāva pārbaudīt sienu montāžas kopējo efektivitāti un novērtēt papildu ballistisko aizsardzības integrāciju. Tika ņemti vērā dažādi ventilācijas kanāli. Galvenais mērķis bija izveidot izkārtojumu, kas novērstu lodes iespiešanos.



5.5. att. Koka karkasa testa konstrukcija ar iestrādātu gaisa vadu: a) tērauda kanāls; b) elastīgs plastmasas kanāls; c) plastmasas kanāli; d) pārbaudes sienas izmēri.

Pētījumu rezultātā konstatēts, ka ložu izturīgas koka karkasa konstrukcijas var nodrošināt gan cilvēku aizsardzību nejaudas apšaudes vai uzbrukuma gadījumā, gan visas ēkas energoefektivitāti. Veiktās simulācijas ir parādījušas, ka iebūvētajam gaisa kanālam nav negatīvas ietekmes uz sienas siltuma pārnesei koeficientu. Tomēr cirkulācijas gaisa temperatūra nedrīkst būt zemāka par +20 °C. Siltuma pārnesei koeficients samazinās līdz 0,346 W/(m<sup>2</sup>·K), ja gaisa temperatūra pazeminās līdz -5 °C. Šādu risinājumu var izmantot kombinācijā ar mehānisko ventilāciju, kas aprīkota ar rekuperācijas iekārtu. Citos gadījumos to var izmantot kā lokālās āra gaisa padeves atveres ar garumu 0,5 m vai īsāku.

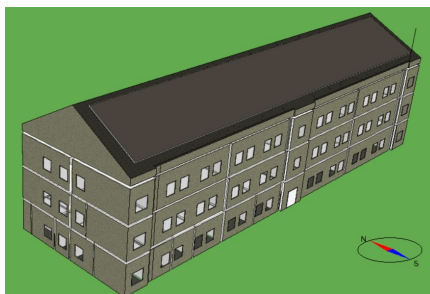
Ložu necaurlaidīgu paneli var novietot tikai vienā pusē, kas ievērojami samazina būvniecības izmaksas, vienlaikus nedaudz apdraudot ballistisko drošību. Papildu aramīda pamatne samazina šo risku. Telpas plānojumā jāņem vērā iespējamie negadījumi un jānovērs

darbagaldu novietošana tuvu ventilācijas atverēm. Droša vieta šādu lokālu ārējām virsmām ventilācijas atveru uzstādīšanai ir zem griestiem. Vieglu koka karkasa konstrukciju ar ballistisku aizsardzību var ieteikt izmantot pagaidu militārajās vai citās pilsētīnās, tādējādi nodrošinot energoefektivitāti un cilvēku drošību nejaušanas apšaudes gadījumā.

#### 5.4. Saules enerģijas izmantošanas potenciāla novērtējums

Viena no NEKP 2021.–2030. gada galvenajiem prioritātēm ir energoefektivitātes pasākumu īstenošana ēkās un atjaunojamo energoresursu (AER) tehnoloģiju integrēšana ēkās. Darbā tika aprēķināts enerģijas ražošanas potenciāls (izmantojot saules enerģiju) neklasificēto ēku energoefektivitātes paaugstināšanai.

Neklasificēto ēku energoefektivitātes paaugstināšanai tika izskatīti scenāriji enerģijas ražošanai uz vietas, izmantojot atjaunojamus enerģijas avotus – saules kolektorus un paneļus. Pirmais scenārijs: saules kolektori siltuma un karsta ūdens sagatavošanai. Modelēta un simulēta reāla ēka (5.6. att.), tās parametri apkopoti 5.4. tabulā, saules kolektoru parametri – 5.4. tabulā. Ņemot vērā to, ka šī ir pilsētiņa un katra ēka novietota citādi (1.7. att.), tika veiktas dažādas simulācijas dažādām ēku orientācijām (pret debespusēm). Lai noteiktu visaugstāko saules kolektoru veiktspēju, saules kolektoru orientācija tika simulēta pret visam debespusēm. Otrais scenārijs: PV – elektroenerģijas ražošanai. Visi ēkas parametri ir līdzīgi kā pirmajā gadījumā (5.4. tab.).



5.6. att. Ēkas modelis.



Modelētās ēkas parametri

Ēkas parametri	
Atrašanās vieta	Rīga
Apkurināmās grīdas laukums	3297,2 m <sup>2</sup>
Tilpums	11664,5 m <sup>3</sup>
Zemes platība	832,1 m <sup>2</sup>
Logu / norobežojošo konstrukciju attiecība	6,4 %
Vidējā U vērtība	0,9682 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Jumta sānu zona	504 m <sup>2</sup>
Jumta slīpums	30°
1. scenārijs: Saules kolektoru parametri	
Kolektoru platība	385 m <sup>2</sup>
Kolektoru daudzums	180
Platība aizņemtā ar kolektoriem	76
2. scenārijs: PV parametri	
PV paneļu daudzums	32
Nominālā jauda	576 W
MPP spriegums	132 V
MPP strāva	4,37 A
Kopējā jauda	18,43 kW <sub>p</sub>
PV platība	371,2 m <sup>2</sup>

Simulācijas rezultātus iespējams izmantot militāro pašpietiekamo kopienu (militāras pilsētiņas, militāras bāzes utt.) energoapgādes risinājumu izstrādei, piemēram, paredzot saražotās enerģijas daudzumu dienas laikā un salāgojot to ar enerģijas izmantošanas profilu.

## 5.5. Iespējamās ekonomiskās ietekmes aprēķins, realizējot neklasificēto ēku energoefektivitātes paaugstināšanas programmas

Mūsdienu apstākļos sakarā ar neklasificēto ēku novecojušā fonda morālā un fiziskā nolietojuma pieaugumu rodas steidzama nepieciešamība tā renovācijā. Renovācijas mērķis ir nodrošināt esošā morāli un fiziski novecojušā fonda atbilstību sociālajām un tehniskajām normām, standartiem un pagaidu atrašanās vai uzturēšanās nosacījumiem šajās ēkās. Alternatīva iespēja neklasificēto ēku novecojušā fonda rekonstrukcijai ir ēku nojaukšana un jaunu ēku būvniecība atbrīvotajā teritorijā. Tomēr, ņemot vērā to, ka pašlaik neklasificēto ēku būvniecības attīstībai trūkst pietiekamu tehnisko un materiālo resursu, renovācija ir vienīgais veids, kā saglabāt un palielināt esošo fondu. Ēku renovācija galvenokārt ir vērsta uz to energoefektivitātes paaugstināšanu [20]. Būtiska energoresursu ietaupīšana ir ēkas ārējo norobežojošo konstrukciju siltināšanas paaugstināšana, pieplūdes-izplūdes ventilācijas uzstādīšana ar gaisa siltuma rekuperatoru, kas ļauj samazināt ēkas apkures sistēmas slodzi, apkures sistēmas modernizācija, energoefektīva apgaismojuma uzstādīšana, kā arī saules siltumenerģijas iekārtu izmantošana – saules kolektori. Liela nozīme energoresursu ietaupīšanā ir arī iepriekš minēto inženiersistēmu un ierīču darba vadības procesu automatizācijai.

Iespējamās ekonomiskās ietekmes aprēķins, realizējot neklasificēto ēku energoefektivitātes paaugstināšanas programmas, balstās uz 2019. gada novembrī realizēto

administratīvo ēku (divas blakus esošām ēkas un galvenais jaunpiebūvētais korpuss) renovācijas projektu. Ēkas pamatdaļa uzbūvēta 1930. gadā, tā ir viena divstāvu ķieģeļu ēka ar cokola stāvu. 1989. gadā tika piebūvēts jauns korpuss – trīsstāvu ķieģeļu mūra ēka ar pagrabstāvu. Administratīvās ēkas kopējā izmantojamā platība ir 2288,10 m<sup>2</sup>.

Lai samazinātu siltuma zudumus caur ēkas fasādēm, projektēšanas dokumentācijā tika paredzēta ēku kompleksā siltumizolācija, izmantojot 150 mm biezu siltumizolācijas materiālu ar īpatnējo siltumvadītspēju 0,036 W/(m<sup>2</sup>·K). Bēniņu pārseguma siltināšanas projektēšanā tika paredzēts izmantot 350 mm biezu siltumizolācijas materiālu ar īpatnējo siltumvadītspēju 0,035 W/(m<sup>2</sup>·K). Projekta realizācijas gaitā tika pilnībā nomainīts renovēto ēku jumta segums un veikta ēkas pamatu siltināšana.

Viencaurules apkures sistēma tika nomainīta ar divcauruļu. Visās ēkas telpās tika uzstādīti jauni radiatori ar regulēšanas armatūru. Tika veikta daļēja ēkas siltummezgla rekonstrukcija. Pilnībā tika rekonstruēta pieplūdes-izplūdes ventilācija. Tika ierīkota ventilācijas sistēma ar nosūces gaisa siltuma utilizāciju (85 % efektivitāte).

Tika ierīkota arī saules kolektoru sistēma, lai nodrošinātu aukstā ūdens priekšsildīšanu, kas tiek izmantots karstā ūdens apgādes sistēmā. Visā ēkā tika uzstādīta LED armatūra, automatizēti uzstādīto inženiersistēmu kontroles un vadības procesi ar *online* monitoringa iespēju.

Darbu veikšanas laikā tika izpildītas visas pamatmetodes, kas ļauj maksimāli samazināt energoresursu patēriņu, uzlabot siltuma komfortu un gaisa kvalitāti, kā arī renovētās ēkas kopējo tehnisko stāvokli, kas savukārt var būt nepieciešamo veicamo **pasākumu minimums, īstenojot energoefektivitātes projektus neklasificētās ēkās** un nosakot (aprēķinot) iespējamo ekonomisko ietekmi. Projekta kopējās izmaksas bija 308,93 EUR/m<sup>2</sup>.

Protams, ņemot vērā ģeopolitisko situāciju pasaulē jau tagad novērojamas būvniecības cenu kāpums, taču tā ir parejoša parādība, tāpēc darbā visi aprēķini tika veikti, pamatojoties uz 2018. gadā veiktā *INK ANALYTICS* zinātniskā statistikas pētījuma iegūtajiem datiem pēc Latvijas Republikas Ekonomikas ministrijas pasūtījuma “Pētījums par prognozētām izmaiņām darbaspēka un būvmateriālu izmaksās būvniecības nozarē Latvijā laika periodā no 2018. līdz 2022. gadam”.

Kopumā promocijas darba gaitā izskatītas 92 neklasificētas ēkas, no kurām 27 ēkas pieder Valsts policijai (VP), 40 ēkas – Ugunsdzēsības dienestam (VUGD), 25 ēkas ir LR Aizsardzības ministrijas (AM) valdījumā. Analizēto ēku kopējā izmantojamā platība ( $S_{\Sigma}$ ) – 127 466,9 m<sup>2</sup>.

Saskaņā ar promocijas darbā norādītajām vērtībām vidējais īpatnējais patēriņš Latvijas Republikas Aizsardzības ministrijas (AM) valdījumā esošajām ēkām ir 230 kWh/m<sup>2</sup> gadā, vidējais īpatnējais enerģijas patēriņš Latvijas Republikas Iekšlietu ministrijas (IeM) valdījumā esošajām ēkām (policijas iecirkņos) izmērītais vidējais gada enerģijas patēriņš – 252 kWh/m<sup>2</sup>, savukārt ugunsdzēsības iecirkņos – 317 kWh/m<sup>2</sup>. Lai noteiktu prognozēto ekonomisko ietekmi, tiek ņemta vērā vidējā aritmētiskā enerģijas patēriņa vērtība neklasificētajās ēkās:

$$Q_{\text{vid. AM, IeM}} = (230 \text{ kWh/m}^2 + 252 \text{ kWh/m}^2 + 317 \text{ kWh/m}^2) / 3 = 266,33 \text{ kWh/m}^2 \text{ gadā.}$$

Zinot  $Q_{\text{vid. AM, IeM}}$ ,  $C_{2019}$  un  $S_{\Sigma}$  vērtības, var noteikt iespējamās kopējās apkures pakalpojumu izmaksas ( $C_{\text{kopējas 2019}}$ ) nekvalificētām ēkām 2019. gadā:

$$C_{\text{kopējas 2019}} = (Q_{\text{vid. AM, IeM}} \times C_{2019}) \times S_{\Sigma} = (266,33 \text{ kWh/m}^2 \times 0,058 \text{ EUR/kWh}) \times 127\,466,9 \text{ m}^2 = 1\,968\,999,05 \text{ EUR gadā.}$$

Pieņemot, ka nekvalificētu ēku renovācijas beigās var uzlabot energoefektivitātes rādītājus un samazināt enerģijas izmaksas par 54,59 %, kopējais iespējamo izmaksu ietaupījums veido 1 074 876,58 EUR gadā jeb 8,43 EUR/m<sup>2</sup>.

## SECINĀJUMI

Promocijas darba sākumposmā neklasificēto ēku segmentā detalizētā enerģijas patēriņa datu analīze un pētāmo objektu saņemtie praktiskie rādītāji spilgti liecināja par promocijas darbā izskatīto jautājumu aktualitāti, pētītās tematikas izvēles pareizību, kā arī iespējamo turpmāko ekonomisko ieguvumu, ņemot vērā promocijas darbā sniegtos norādījumus un skaidrojumus.

1. Klimata pārmaiņu jautājumi, t. sk. siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju samazināšana un oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>) piesaiste, ir Eiropas Savienības (ES) uzmanības centrā un ir ļoti būtiska arī Latvijai. Latvijas Ilgtspējīgas attīstības stratēģijā līdz 2030. gadam "Latvija 2030" noteikts, ka "Latvija – mūsu mājas – zaļa un sakopta, radoša un ērti sasniedzama vieta pasaules telpā, par kuras ilgtspējīgu attīstību mēs esam atbildīgi nākamo paaudžu priekšā".
2. Pieņemot Energoefektivitātes direktīvu *2012/27/ES*, Eiropas Savienības valstis, arī Latvija, ir nolēmušas veikt dažādus pasākumus, lai uzlabotu gan enerģijas ražošanas un piegādes, gan patērišanas efektivitāti. Direktīva paredz arī obligātu mērķi – katrai valstij katru gadu ir jānodrošina galapatērētāju energoefektivitātes pasākumi, kas ļautu ietaupīt 1,5 % no visas valstī galapatērētājiem piegādātās enerģijas.
3. Atbilstoši Energoefektivitātes direktīvai, sākot no 2014. gada, dalībvalstīm katru gadu jārenovē 3 % no to valstij piederošo ēku, **to vidū arī neklasificētas ēkas**, tādas kā militārās ēkas, policijas ēkas un ugunsdzēsēju depo. Apkopojot promocijas darbā veikto pētījumu, konstatēts, ka neklasificēto ēku energoefektivitāti var un vajag paaugstināt. Energoefektivitātes uzlabošanu var sasniegt, gan sistematizējot datus, gan ar izmaiņām normatīvajos aktos, nosakot dažādas prasības tehnoloģiskām izmaiņām, gan veicot vadības un organizatoriskos uzlabojumus valsts īpašumā (neklasificētas ēkas) esošajām ēkām, gan mainot individuālo patērētāju uzvedību, kas panākta, patērētājus izglītojot un informējot, neizmirstot pētītā sektora specifiku.
4. Darbs aplūko neklasificēto ēku portfolio Latvijā, salīdzinot dažādu dienestu ēku vecumu. Balstoties pētījuma rezultātos, piedāvāta optimālākā ēku energoefektivitātes noteikšanas metodoloģija. Metodoloģijas pamatā ir statistiskās un mašīnmācīšanās metode – hibrīdmetode, kas ietver gan inženiertehnisko, gan statistisko modeļu apvienojumu un kā ieejas datus statistiskajiem modeļiem izmanto inženiertehnisko modeļu izejas datus. Šo modeļu mērķis ir kompensēt dažus ierobežojumus, kas saistīti ar fizisko modelēšanu, izmantojot elastīgo statistisko pieeju. Modeļu izstrādes

darbplūsmas, kas paredzētas atsevišķām ēkām, prasa ievērojamu piepūli, kas būtu pārāk dārgi laika un izmaksu dēļ, piemērojot šo metodi centros, kuros bieži ietilpst simtiem daudzveidīga lietojuma ēku. Mazāki centri var efektīvi izmantot tradicionālo *BIM* pieeju, lai pētītu modernizācijas scenārijus, taču lielākajiem centriem tos izmantot nevar. Statistisko un izklājlapu modeļu kombināciju, kas, iespējams, pilnībā neaptver atsevišķu pilsētiņas ēku unikālās arhitektūras iezīmes, programmnodrošinājuma prasības un sistēmu konfigurācijas, joprojām var izmantot, lai precīzi prognozētu ietaupījumus, kas rodas, ieviešot dažādus modernizēšanas pasākumus. Neklasificētu ēku, kas galvenokārt atrodas ziemeļu klimatā, izpēte rāda, ka enerģijas patēriņš lielākoties ir saistīts ar apkures, dzesēšanas un karstā ūdens sagatavošanas mērķiem. Par enerģijas patēriņu mākslīgajam apgaismojumam var pieņemt tā vidējās vērtības sabiedriskām ēkām atkarībā no cilvēku aktivitātes un nepieciešamā apgaismojuma luksos, kas norādītas Eiropas un citu valstu standartos un būvnormatīvos. Apsverot iespējamus enerģijas avotus, ir svarīgi atzīmēt, ka enerģijas avotus (fosilo vai atjaunojamo kurināmo) apkurei, dzesēšanai un karstā ūdens sagatavošanai neklasificētām ēkām var izvēlēties, pamatojoties uz esošajām vajadzībām un iespējām, atkarībā no ēkas veida (stacionāras vai pārvietojamas) un citiem tehniski ekonomiskiem parametriem.

5. Balstoties promocijas darbā iegūtajos reālajos fizikālajos un ekonomiskajos datos, tika aprēķināts iespējamais ekonomiskais efekts, ko var iegūt ar nosacījumu, ka neklasificētajās ēkās tiek īstenotas 54,59 % energoefektivitātes programmas, sasniedzot kopējo potenciālo izmaksu ietaupījumu EUR 1 074 876,58 apmērā gadā jeb 8,43 EUR/m<sup>2</sup>.
6. Neklasificētu ēku energoefektivitātes risinājumi ir aktuāls jautājums, it īpaši tāpēc, ka liela daļa neklasificēto ēku tiek uzturēta par publiskajiem līdzekļiem un uzturēšanās izmaksu samazinājums dot iespēju ietaupīto līdzekļu pārdalīšanai un novirzīšanai neklasificēto ēku segmentu attīstībai, kā arī sniedz atbalstu klimata pārmaiņu problēmu risināšanā.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] F. Ascione, R. F. De Masi, M. Mastellone, and G. P. Vanoli, "Building rating systems: A novel review about capabilities, current limits and open issues," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 76, 2022, doi: 10.1016/j.scs.2021.103498.
- [2] UNEP, "2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction," *Glob. Status Rep.*, 2020.
- [3] European Commission, "Energy Efficiency Directive," *Ec.Europa.Eu*, 2015.
- [4] *DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the energy performance of buildings*. 2010, p. 23.
- [5] M. Rubina and A. Cers, *Siltumapgādes optimizācija*. 2016.
- [6] M. MacCracken, "Better than Batteries: Creating Resiliency in District Energy Systems Utilizing Thermal Energy Storage," 2018.
- [7] A. Zajacs, "Assessment of Development Scenarios of District Heating Systems.," 2017.
- [8] A. Borodinecs, A. Rodriguez-Gabriel, O. Tatarchenko, and E. Al., *Handbook on Buildings Renovation in Central Baltic Region*. 2015.
- [9] K. Tumanova and A. Borodinecs, "The Extensive Analysis of Circumstances between Heat Consumption of Multi-apartment Buildings and Information Campaigns," in *Energy Procedia*, 2016, vol. 96, doi: 10.1016/j.egypro.2016.09.171.
- [10] Cabinet of Ministers Republic of Latvia, *Regulations Regarding the Latvian Construction Standard LBN 002-19, Thermotechnics of Building Envelopes*.
- [11] Cabinet of Ministers Republic of Latvia, *Cabinet Regulation No. 222 "Methods for calculating the energy performance of buildings and rules for energy certification of buildings."* 2021.
- [12] A. Geikins, A. Borodinecs, and A. Prozuments, "Neklasificētu ēku sistematizācija Typology of unclassified buildings," no. 1, 2018.
- [13] Y. Cengel and A. Ghajar, *Heat and Mass Transfer. Fundamentals and Applications*. 2015.
- [14] T. Bergman, L. A. S. Lavine, F. P. Incropera, and D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 2011.
- [15] P. N. Chaloux, "Heat Retention Test on Tent Liners. AMXRE-MED-896, Mechanical Engineering Division, US Army Natick Laboratories," 1964.
- [16] C. J. Monego and H. J. Rasor, "Heat Retention Properties of Tent Liners. Textile Series Report No. 122; US Army Quartermaster Research and Engineering Center, Natick, MA, AD 292050," 1962.
- [17] ASHRAE, *ANSI/ASHRAE Standard 55-2020*, vol. 2, no. 1. 2020.
- [18] BS EN 15251, "BS EN 15251," *Indoor Environ. input parameters Des. Assess. energy Perform. Build.*, 2007.
- [19] A. Borodinecs, A. Geikins, E. Barone, V. Jacnevs, and A. Prozuments, "Solution of Bullet Proof Wooden Frame Construction Panel with a Built-In Air Duct," *Buildings*, vol. 12, no. 1, 2022, doi: 10.3390/buildings12010030.
- [20] K. Tumanova, A. Borodinecs, and A. Geikins, "The analysis of the hot water consumption and energy performance before and after renovation in multi-Apartment buildings," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 251, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/251/1/012058.



**Aleksandrs Geikins** dzimis 1978. gadā Daugavpilī. Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) ieguvis inženiera grādu bionikā un protezēšanā (2004) un inženierzinātņu maģistra grādu siltuma, gāzes un ūdens inženiersistēmās (2008).

A. Geikins ir praktizējošs sertificēts speciālists ar 20 gadu pieredzi ēku inženiersistēmu būvdarbu vadīšanā, būvuzraudzībā, projektēšanā, kā arī pētnieks ar pieredzi ēku energoefektivitātes jomā. Kopš 2017. gada piedalās pētniecības projektu realizācijā. Ir 12 zinātnisko rakstu autors/līdzautors.

Kopš 2012. gada A. Geikins ir Valsts aizsardzības militāro objektu un iepirkumu centra inženiertehniskais speciālists un turpina veikt pētniecības un pedagoģisko darbu RTU, kā arī sertificēta speciālista pienākumus būvniecībā. Saņēmis Latvijas Republikas Nacionālo bruņotu spēku Pateicību un Goda rakstu par teicamu starpresoru sadarbību un ieguldīto darbu.

Galvenie zinātniskās darbības virzieni saistīti ar ugunsdrošību, ēku inženiersistēmu risinājumu teorētiskajiem un praktiskajiem izmeklējumiem lietderīgai un drošai energoresursu izmantošanai ēku projektēšanas, būvēšanas un ekspluatācijas stadijās.