

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

MAĢISTRA DARBS

RĪGA 2021

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS, MATEMĀTIKAS UN OPTOMETRIJAS FAKULTĀTE

**GUDRO ĒKU VADĪBAS SISTĒMU FUNKCIONĀLO
IESPĒJU PILNVEIDOŠANA
ENERGOEFEKTIVITĀTES UN TERMISKĀ
KOMFORTA PAAUGSTINĀŠANAI**

MAĢISTRA DARBS

Autors: **Kirils Solovjovs**
Studenta apliecības Nr.: ks05020
Darba vadītājs: Dr. Phys. Andris Jakovičs

RĪGA 2021

ANOTĀCIJA

Gudro ēku vadības sistēmas ir salīdzinoši jauns izgudrojums ar pietiekami lielu potenciālu. Pareizi izmantotas, tās spēj ne vien padarīt cilvēka ikdienu ērtāku, bet arī ietaupīt enerģiju, no kuras liela daļa pagaidām tiek iegūta no neatjaunojamiem dabas resursiem.

Maģistra darba mērķis: izstrādāt sistēmu, kas spēj centralizēti savākt, sinhronizēt, uzglabāt un analizēt informāciju no dažādām ēku vadības sistēmām; izstrādāt telpu klimata kontroles modeli un – uz tā bāzes – algoritmu konkrētai gudrajai ēkai – Alojas novada uzņēmējdarbības atbalsta centram – bibliotēkai „SALA”.

Pēc ēkas papildināšanas ar trūkstošajām komponentēm un konfigurācijas veikšanas, autors izstrādāja vairākus vadības algoritmus, no kuriem daži tika pārbaudīti empīriski un citi teorētiski. Izstrādātie algoritmi uzlabo termiskā komforta un energoefektivitātes balansu.

Atslēgvārdi: gudrās ēkas, temperatūras kontrole, energoefektivitāte, ēku vadības sistēmas, termiskais komforts.

ABSTRACT

Building management systems for smart buildings is a relatively novel invention with a large potential. When used correctly it can make human lives easier and also save energy most of which is currently procured from non-renewable resources.

The goal of this master's thesis is to build a system that can fetch, synchronize, store, and analyse information in a centralized manner; create an indoor climate control model and, based on that, an algorithm for a specific smart building – Aloja Municipality business support centre – library “SALA”.

After supplementing the building with the missing components and configuration, author designed multiple algorithms, some of which were empirically tested, and others – theoretically verified. The algorithms do indeed improve the balance of thermal comfort and energy efficiency.

Keywords: smart buildings, temperature control, energy efficiency, building management systems, thermal comfort.

SATURS

APZĪMĒJUMU SARAKSTS.....	1
IEVADS.....	2
1. TEORĒTISKĀ BĀZE UN LITERATŪRAS APSKATS.....	4
1.1. Literatūras apskata veikšanas metodoloģija.....	4
1.2. Ēku energoefektivitāte un termiskais komforts.....	5
1.3. Gandrīz nulles enerģijas ēkas.....	8
1.4. Ēku vadības sistēmas.....	9
2. BIBLIOTĒKA „SALA”.....	15
2.1. Ēkas būvniecībai izmantoto būvmateriālu raksturojums.....	16
2.2. Ēkas sistēmas.....	17
2.2.1. Siltuma mezgls.....	19
2.2.2. <i>Ģeotermālais siltumsūkņis</i>	19
2.2.3. Saules kolektori siltā ūdens uzsildīšanai.....	20
2.2.4. Ventilācijas sistēma.....	21
2.2.5. <i>Grīdu dzesēšanas/apkures sistēma</i>	22
2.2.6. Saules enerģijas ieguves (fotovoltāžas) sistēma.....	24
3. DATU APSTRĀDE UN ANALĪZE.....	26
3.1. Aparatūras uzlabojumi un papildu aparatūras uzstādīšana.....	26
3.2. Datu savākšana.....	30
3.3. Datu priekšapstrāde.....	34
3.3.1. Manuāla apstrāde.....	35
3.3.2. Automatizēta apstrāde.....	36
3.4. Datu vizualizācija.....	38
3.4.1. Tiešsaistes reāllaika vizualizācija.....	39
3.4.2. Analītiskais vizualizācijas rīks.....	42
3.5. Datu analīze un modeļi.....	44
3.5.1. Datu analīze.....	45
3.5.2. Potenciālie modeļi algoritmu vajadzībām.....	53
4. PIEDĀVĀTIE VADĪBAS ALGORITMI.....	56
4.1. Apsvērumi algoritmu izstrādei gNEĒ / pasīvajām ēkām.....	57
4.2. Algoritms enerģijas patēriņa samazinājumam ārpus darba laika.....	58
4.3. Algoritms CO ₂ līmeņa efektīvai regulācijai.....	59
4.4. Algoritms telpu pasargāšanai no saules starojuma.....	60
4.5. Telpas temperatūras režīma uzturēšana, izmantojot neironu tīklu.....	61
5. REZULTĀTI.....	63
6. SECINĀJUMI.....	64
PATEICĪBAS.....	66
ATTĒLU RĀDĪTĀJS.....	67
IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI.....	69

PIELIKUMU SARAKSTS.....	72
PIELIKUMS NR. 1: “ĒKAS TEHNISKĀ PROJEKTA STĀVA PLĀNS UN DETAĻAS”...	73
PIELIKUMS NR. 2: “ĒKAS ENERGOSERTIFIKĀTS”.....	75
PIELIKUMS NR. 3: “UZKRĀTO DATU FORMĀTA PARAUGS”.....	77
PIELIKUMS NR. 4: “UZKRĀTO DATU FORMĀTA KOLONNU NOSAUKUMI”.....	78
PIELIKUMS NR. 5: “IZSTRĀDĀTO PROGRAMMATŪRAS BLOKU SARAKSTS”.....	80

APZĪMĒJUMU SARAKSTS

ĒVS (*BMS – Building Management System*) – ēku vadības sistēma, arī gudro ēku vadības sistēma – automatizācijas sistēma, kas kontrolē ēkas inženiersistēmas

gNEĒ (*NZEB – near-zero energy building*) – gandrīz nulles enerģijas ēka

LĢIA – Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra

TCP/IP – protokolu komplekts, ar kura palīdzību dažādas iekārtas internetā var savstarpēji sazināties

API (Application Programming Interface) – lietojumprogrammas saskarne ir veids kā dažādām datorprogrammām sazināties savā starpā

MODBUS – datu saziņas protokols, ko industriālā elektronika izmanto savstarpējā saziņā

MODBUS-over-TCP – *MODBUS* protokola veids, kas tiek sūtīts izmantots *TCP/IP*, tādējādi ļaujot saslēgt vairākas iekārtas, ko atdala internets

UTC – koordinētais universālais laiks

kWh/(m²·y) – mērvienība, ar ko mēra normēto gada energopatēriņu uz apsildāmo platību

radio-bāzētais tīkls – bezvadu radio sensoru tīkls, ko izstrādājis J.Teličko un kas sastāv no bāzes stacijas, signāla pastiprinātājiem un temperatūras-mitruma sensoriem

Uponor – šajā darbā izmantots, lai norādītu uz konkrētā ražotāja grīdu dzesēšanas/apkures sistēmu

ERAF projekts – projekts „Viedo risinājumu gandrīz nulles enerģijas ēkām izstrāde, optimizācija un ilgtspējas izpēte reāla klimata apstākļos” (Nr. 1.1.1.1/16/A/192), kurā piedalījās Latvijas Universitātes Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātes Skaitliskās modelēšanas institūta kolēģi J.Teličko, S.Gendelis, šī darba vadītājs A.Jakovičs un šī darba autors – K.Solovjovs

IEVADS

Gudro ēku vadības sistēmas ir salīdzinoši jauns izgudrojums ar pietiekami lielu potenciālu. Pareizi izmantotas, tās spēj ne vien padarīt cilvēka ikdienu ērtāku, bet arī ietaupīt energoresursus, no kuriem daudzi pagaidām tiek iegūti no neatjaunojamiem dabas resursiem.

Identificējot energoefektivitāti kā būtisku izaicinājumu, valstis, pārnacionālās organizācijas un pat indivīdi pēdējo vismaz 20 gadu laikā ir uzstādījuši dažādus mērķus un radījuši dažādus standartus, kas palīdz mazināt enerģijas patēriņu, tajā pašā laikā Latvijas realitātē joprojām krasi atšķiras no vēlamā. Lai gan ēku energoefektivitāte palēnām uzlabojas, tomēr progress nav pietiekams, turklāt tas pamatā notiek, pateicoties labāku pasīvo materiālu izvēlei, nevis gudro ēku ieviešanai.

Šis **inženierfizikas pētījums** ir autora divu gadu darba rezultāts, kurā autors uz Alojas novada uzņēmējdarbības atbalsta centra – bibliotēkas „SALA” – piemēra analizē ēku vadības sistēmu nepilnības un piedāvā risinājumus Latvijas apstākļiem.

Maģistra darba mērķi ir:

1. radīt „virsbūvi”, kas spēj savienot dažādas ēku vadības sistēmas un to daļas, tādējādi centralizēti sinhronizējot, uzglabājot informāciju no tām un nodrošinot iespēju to analizēt;
2. izstrādāt telpu klimata kontroles modeli un – uz tā bāzes – algoritmu konkrētai gandrīz nulles enerģijas gudrajai ēkai – Alojas novada uzņēmējdarbības atbalsta centram – bibliotēkai „SALA”.

Ņemot vērā ēkā pieejamo aparatūras klāstu un ierobežotās iespējas to papildināt, maģistra darba mērķa sasniegšanai autors fokusējas uz esošās situācijas un pieejamo vadības metožu detalizētu aprakstu, rekomendāciju sniegšanu vadības metodēm un algoritmiem, kas varētu sniegt vislabāko energoefektivitātes un termiskā komforta balansu, kā arī ieteikumu sniegšanu par konkrētu papildu aktuatoru uzstādīšanu, tādējādi sagatavojot pamatu rekomendāciju praktiskai ieviešanai nākotnē.

Šajā darbā autors izmanto sekojošas **metodes mērķa sasniegšanai**:

- esošās situācijas (aktuatoru, sensoru un datu kvalitātes) novērtēšana;
- papildu aparatūras uzstādīšana sadarbībā ar Latvijas Universitātes Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātes Skaitliskās modelēšanas institūta kolēģiem;
- datu savākšanas un apstrādes sistēmas izstrāde;

- datu kvantitatīvā un kvalitatīvā analīze;
- algoritmu izstrāde un to novērtēšana.

Gudro ēku vadības sistēmu piedāvātās iespējas bieži vien netiek pilnvērtīgi izmantotas, jo to konfigurācija netiek pielāgota mērķa sasniegšanai, tās ir nepieejamas, to dati nav ērti apstrādājami, ko apliecina gan autora kolēģu pieredze, strādājot ar ēkām Jelgavas ielā 1, Rīgā, un Jelgavas ielā 3, Rīgā, gan arī pētījumi.⁽¹⁾ Ņemot vērā iepriekš minēto, šī darba ietvaros tiek formulēta **nulles hipotēze** – neatkarīgi no gudro ēku vadības sistēmu komponentu daudzuma, kvalitātes un konfigurācijas, gandrīz nulles enerģijas ēkās nav iespējams sasniegt energoefektivitātes un termiskā komforta vienlaicīgu uzlabošanu.

Balstoties uz nulles hipotēzi, formulēta **alternatīvā hipotēze** – pabeidzot gudro ēku vadības sistēmu komponentu instalāciju un konfigurāciju gandrīz nulles enerģijas ēkās, ir iespējams nodrošināt sistēmas funkcionēšanu atbilstoši tās iecerētajiem mērķiem, tādējādi novērojot kvantificējamus uzlabojumus gan energoefektivitātē, gan termiskajā komfortā pret ēku bez gudro ēku vadības sistēmas.

Darbs ir sadalīts nodaļās. Darba sākumā tiek apskatīta teorētiskā bāze un veikta literatūras izpēte, tad seko Alojās novada uzņēmējdarbības atbalsta centra – bibliotēkas „SALA” – un tā sistēmu apraksts, pēc kā aprakstīta datu apstrāde un analīze un tad piedāvātie vadības algoritmi. Darbs tiek noslēgts ar rezultātiem un secinājumiem.

Darba rezultāti tika izmantoti projektā „Viedo risinājumu gandrīz nulles enerģijas ēkām izstrāde, optimizācija un ilgtspējas izpēte reāla klimata apstākļos” (Nr. 1.1.1.1/16/A/192) (turpmāk – ERAF projekts) un tie ir publicēti projekta atskaitēs, t.sk. praktiskās informācijas kopumā, kas pieejams interneta vietnē www.eem.lv. Tādējādi šī maģistra darba saturā ir atrodamas manī personīgi rakstītais teksts, informācija un secinājumi, kas ir publicēti vai vēl tiks publicēti, izplatot ERAF projekta rezultātus. ERAF projektā piedalījās arī Latvijas Universitātes Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātes Skaitliskās modelēšanas institūta kolēģi J.Teličko, S.Gendelis un šī darba vadītājs A.Jakovičs.

Mans pienesums minētajā projektā ir datu apstrādes un analīzes sistēmas izveide, daļēja algoritmu izstrāde un 17 atskaites lapas, ko veido nodaļas „*Software for remote monitoring of thermal comfort parameters in indoor spaces*”, „*Remote monitoring, graphical analysis, and correction of the BMS data*”, „*Developing tools to improve the energy efficiency using meteorological data and operational forecasting*” ar apakšnodaļām, kā arī sniegtais atbalsts kolēģiem datu ievākšanas aparatūras¹ uzstādīšanā un konfigurēšanā.⁽²⁾

¹ Datu ievākšanas aparatūras izveidi un uzstādīšanu veica J.Teličko.

1. TEORĒTISKĀ BĀZE UN LITERATŪRAS APSKATS

Šajā nodaļā ir aprakstīta darba teorētiskā bāze, kas balstīta uz publikācijām žurnālos, standartiem, tehnisko literatūru, kā arī citu autoru, tajā skaitā Latvijas Universitātes Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātes Skaitliskās modelēšanas institūta, pētījumiem.

1.1. Literatūras apskata veikšanas metodoloģija

Lai noskaidrotu zinātnes šobrīd sasniegto gudro ēku vadības sistēmu kontroles modeļu izstrādes jomā, nepieciešams veikt literatūras apskatu.

Nemot vērā maģistra darba mērķi tiek noteikti vairāki nodalīti izpētes jautājumi, kas katrs nosaka atsevišķu literatūras meklēšanas kategoriju ar saviem atslēgas vārdiem un to kombinācijām (atslēgas vārdi norādīti tādā valodā, kā tie meklēti; ja atslēgas vārdi meklēti vairākās valodās, tad tie norādīti vienā no tām):

1. Kādas prasības eksistē ēku energoefektivitātei un termiskajam komfortam?

thermal comfort, efficiency, buildings; latv. termiskais komforts, efektivitāte, ēkas;

2. Kas ir nulles enerģijas ēkas, kā tās iedalās un cik enerģijas tās patērē?

near-zero energy buildings, performance, consumption; latv. gandrīz nulles enerģijas ēkas, veiktspēja, patēriņš;

3. Kādi ēku vadības algoritmi jau eksistē?

building management system algorithms; ēku vadības sistēmu algoritmi;

4. Kā var tikt izmantotas operatīvās prognozes?

smart home, climate, prediction; latv. viedā māja, klimats, prognozes.

Atslēgas vārdi izmantoti, lai atrastu rakstus zinātniskajās datubāzēs (*SpringerLink, ACM Digital Library, IEEE Xplore un ScienceDirect*) un žurnālos, rīkā *Google Scholar*, kā arī ražotāju (piemēram, ēku vadības sistēmu) tehniskajā literatūrā un Internetā. Papildus izmantoti darba vadītāja rekomendētie literatūras avoti.

Pēc tam kategorijās, kur, spriežot pēc atrasto avotu daudzuma un satura, ir redzama nepieciešamība atrast papildu avotus, tie tiek meklēti, izmantojot atsauču metodi, t.i. sekojot šādiem soļiem:

1. tiek caurskatītas katra attiecīgajā kategorijā atrastā avota atsauces;
2. atsaucēm, kuru nosaukums liecina par atbilstošu saturu, tiek sameklēta un izlasīta anotācija;

3. ja anotācija norāda, ka raksts vai pētījums satur vajadzīgo informāciju, un šo rakstu ir iespējams iegūt lasīšanai, raksts tiek pievienots lasāmo rakstu sarakstam; ja rakstu nav iespējams iegūt lasīšanai, tad tā atslēgas vārdi tiek pievienoti meklējamiem atslēgas vārdiem cerībā atrast līdzīgus alternatīvus rakstus.

Šādā veidā tiek iegūts pilnīgs priekšstats par katru no izpētes jautājumiem. Izmantotie avoti ir norādīti darba noslēgumā, kā arī uz tiem ir atsauces viscaur darba tekstam.

1.2. Ēku energoefektivitāte un termiskais komforts

Energoefektivitāte ir kļuvusi par lielas daļas pasaules valstu politisko prioritāti un arī Eiropas Savienība ēku energoefektivitāti ir noteikusi par savu stratēģisko ilgtermiņa mērķi, pieņemot 2010. gada 19. maija Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīvu 2010/31/ES.(3) Tā spēlē būtisku lomu gan uzņēmumu savstarpējā konkurencē, gan valstu līmenī enerģētikas drošības jomā un, protams, visas pasaules līmenī ogļskābās gāzes izmešu samazināšanas un klimata neitralitātes kontekstā.

Termodinamisko energoefektivitāti var definēt, kā procesa raksturlielumu, ko izsaka

formula $E_e[\%] = \frac{Q_{ou}[J]}{Q_i[J]}$, kur Q_i ir procesa patērētā enerģija, Q_{ou} ir lietderīgi izvadītā

enerģija, bet E_e ir energoefektivitāte. Kā norāda Pattersons, „lietderīgi” patērētā enerģija ir šajā kontekstā ir subjektīvi definējama.(4) Piemēram, elektriskais eļļas sildītājs pārvērš siltumā gandrīz 100% tam pievadītās elektroenerģijas, bet vai visu siltumenerģiju, ko tas izvada, var uzskatīt par lietderīgu? Gaisa temperatūru starpības izraisītas konvekcijas rezultātā daļa no enerģijas tiks izmantota, lai sildītu telpas, kurā novietots sildītājs, griestus.

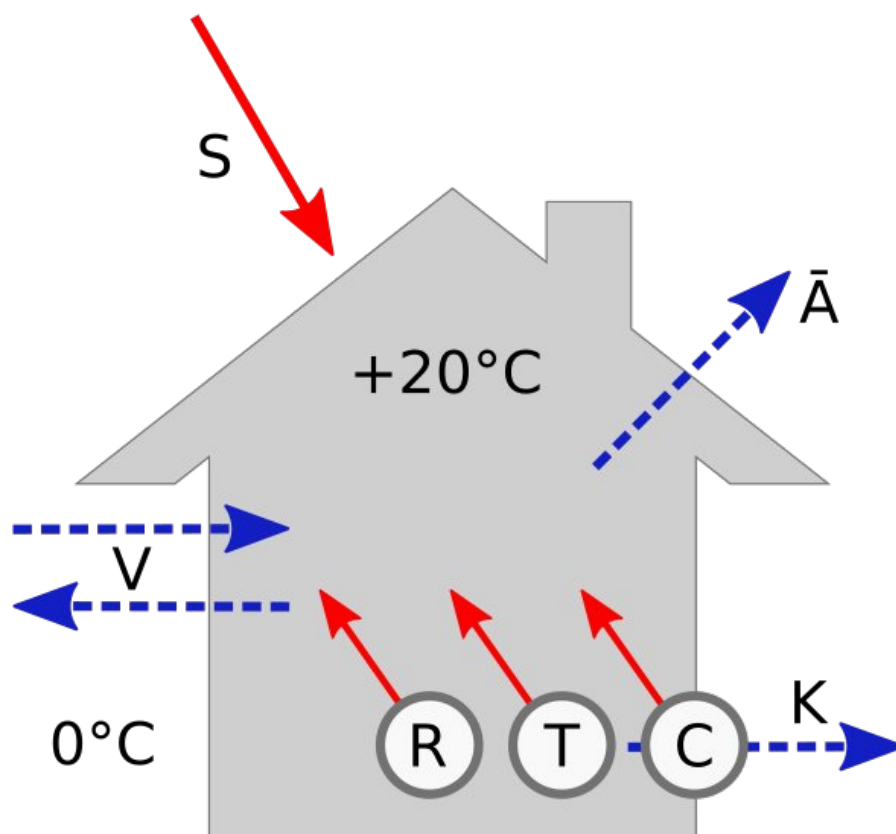
No otras puses, veicot domu eksperimentu, kurā mēs uzsildām dzīvojamo platību līdz 20 °C gaisa temperatūrai, tad 21, 25 grādu gaisa temperatūrai, pēc tam līdz 30 vai 35 – eļļas sildītājs darba savu darbu un turpina ļoti efektīvi pārvērst elektroenerģiju siltumenerģijā. Mums kļūst par karstu un, neizslēdzot sildītāju, ieslēdzam gaisa dzesēšanas iekārtu, kas lieko siltumu izvada ārpusē telpas. Abas iekārtas veic savu darbu un patērē enerģiju, taču to kopējā un līdz ar to arī vidējā energoefektivitāte tiecas uz nulli, jo gaisa temperatūra telpā nemainās.

Domu eksperimentā izvēlētā robeža, pie kuras iedomātajai personai rodas vēlme ieslēgt dzesēšanas iekārtu (vai saprātīgai personai – vienkārši izslēgt sildītāju), arī ir subjektīva, kā norāda Auciems un Szokolay, tā ir atkarīga no vides faktoriem (gaisa temperatūra, kustības ātrums un mitrums un apkārtējo virsmu siltumstarojums), individuāliem faktoriem (apģērbs

2 Vērā neņemama daļa aizplūst kā elektromagnētiskie viļņi no vadiem un gaisma no diožu indikatoriem.

un vielmaiņas ātrums, kas atkarīgs no personas veicamās aktivitātes) un citiem faktiem (patērētā pārtika, aklimatizācija, ķermeņa masas indekss (zemādas tauki) un ķermeņa poza, vecums un dzimums, veselības stāvoklis).(5)

Ēku energoefektivitāti iespējams novērtēt, veidojot siltuma apmaiņas procesu modeli, bet jebkurā gadījumā jāpatur prātā, ka modelis tikai aptuveni aprakstīs reālo fizikālo procesu tendences.(6) Eksistē dažādi siltuma apmaiņas procesu modeļi, kas pamatā atšķiras ar to parametru skaitu un līdz ar to detalizācijas pakāpi.(7) Tie var iekļaut tādus siltuma devējus kā apkures iekārtas, ventilācijas pievadus (ar apsildes funkcionalitāti), cilvēku un mājdzīvniekus, sauli, lieljaudas elektrotehniku u.c. Kā siltuma zudumu aģentus var minēt ārējās virsmas (sienas, griesti, grīda, logi u.tml.), ventilācijas pievadu un izvadu, objektu un personu pārvietošanu starp iekštelpām un ārtelpām u.c. (1.1.att., ar zilo krāsu apzīmēti siltuma zudumi).



1.1. att. Vienkāršs ēkas siltuma balansa modelis apkures sezonā.

Siltuma modeļi var ņemt vērā siltuma procesus, kas pārnēs siltumu konvekcijas, starojuma un tiešas pārnese (vadīšanas) formā (1.1. tabula).

Attēlā izmantotie siltuma aģenti un to procesi

<i>Apz.</i>	<i>Atšifrējums</i>	<i>Galvenais siltuma apmaiņas procesa veids</i>
S	solārā radiācija	starojums
Ā	ārējā virsma	konvekcija → konvekcija-starojums
V	ventilācija	konvekcija
R	apkures iekārtas	atkarīgs no iekārtas veida
T	tehnika	pamatā starojums; konvekcija, ja iekārtai ir ventilators
C	cilvēki, siltasiņu dzīvnieki	konvekcija, starojums, vadīšana
K	iekšt. ♦ ārt. pārvietošanās	siltuma pārnese ar izplūstošu gaisu, ūdeni u.tml.

Nemot vērā faktiskās energoefektivitātes un arī termiskā komforta galīgo subjektivitāti, Eiropas Savienībā ir pieņemts(3) mērīt ēku energoefektivitāti, sadalot ēkas klasēs no A līdz F līdzīgi kā sadzīves tehnikai. Ēkas ieskaitīšana vienā vai otrā klasē atkarīga no apkurei patērējamās enerģijas gadā uz vienu kvadrātmētru. Atbilstoši atšķirīgiem klimatiskajiem apstākļiem, katra valsts nosaka savas klašu robežas. Latvijai tās ir:(8)

A klase – 40 kWh/(m²·y) vai mazāk;

B klase – vairāk par 40 kWh/(m²·y), bet ne vairāk par 60 kWh/(m²·y);

C klase – vairāk par 60 kWh/(m²·y), bet ne vairāk par 80 kWh/(m²·y);

D klase – vairāk par 80 kWh/(m²·y), bet ne vairāk par 100 kWh/(m²·y);

E klase – vairāk par 100 kWh/(m²·y), bet ne vairāk par 150 kWh/(m²·y);

F klase – vairāk par 150 kWh/(m²·y).

Papildus tam pieļaujamas atkāpes, ja telpu augstums pārsniedz 350 cm vai telpas ir nedzīvojamās. Būtiski, ka apkurei patērējamā enerģija, kas tiek izmantota ēkas sertifikācijā, nav faktiski patērētā enerģija, bet gan teorētiski patērētā enerģija, t.i. nav pieļaujams „šmaukties” un sertificēšanas izpratnē uzlabot energoefektivitāti, samazinot iekštelpu temperatūru vai gaisa cirkulāciju. Šo patēriņu ietekmē būvkonstrukciju kvalitāte, izvēlētie materiāli u.tml. Formulas(9) paredz veikt datu ekstrapolāciju un korekciju gan pret klimatiskajiem apstākļiem, gan iekštelpu temperatūru.

Izmantojot tuvināto aprēķinu metodi, varam secināt, ka Latvijas klimatiskajos apstākļos ēkas iekštelpu gaisa temperatūras paaugstināšana apkures sezonā par vienu grādu patērēs

vidēji par 5% vairāk enerģijas. Izejot no pieņēmuma, ka apkures sezonas āra gaisa temperatūra ir vidēji 0 °C, bet vēlamā iekštelpu temperatūra 20 °C, 20 grādu temperatūras gradienta noturēšanai patērētā enerģija – 100%. Tā kā siltuma zudumi pārnesei ir tieši proporcionāli temperatūras starpībai, tad $\frac{100\%}{20\text{ }^{\circ}\text{C}}=5\frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$.

Ne vien sertifikācija, bet arī faktiski patērētā enerģija ēkas ekspluatācijā (tās samazināšana) ir svarīgs faktors. Tāpēc ir vērts diskutēt par faktiskās energoefektivitātes un termiskā komforta balansu. Līdz ar to nepieciešamas metodes un sistēmas, kas ļauj uzstādīt dažādus režīmus un sistēmu parametrus ēkas ekspluatācijā.

1.3. Gandrīz nulles enerģijas ēkas

Nenoliedzot gandrīz nulles enerģijas ēku pozitīvo pienesumu iepriekšējās nodaļas sākumā minēto mērķu sasniegšanai, to nosaukumu var daļēji uzskatīt par mārketinga saukli, jo viens no nosacījumiem, lai iegūtu gNEĒ statusu ir A klase. Kritērijiem, lai dzīvojama ēka tiktu uzskatīta par A klases energoefektīvu ēku, tā drīkst patērēt ne vairāk kā ¼ no enerģijas, ko patērē visefektīvākā ēka (F klases ēka). Tādējādi autors uzskata, ka vārds „gandrīz” nosaukumā „gandrīz nulles enerģijas ēka” ir nedaudz pārspīlēts, tomēr vienlaicīgi nenoliedz, ka gNEĒ ēkas un to sertifikācija ir solis pareizā virzienā.

Bez jau minētā kritērija (A energoefektivitātes klase), lai ēku varētu uzskatīt par gNEĒ, tai jāatbilst vēl sekojošām prasībām:(8)

1. jānodrošina telpu mikroklimata atbilstību normatīvo aktu prasībām būvniecības, higiēnas un darba aizsardzības jomā;
2. kopējais primārās enerģijas patēriņš apkurei, karstā ūdens apgādei, mehāniskajai ventilācijai, dzesēšanai, apgaismojumam sastāda ne vairāk kā 95 kWh/(m²·y);
3. jābūt ierīkotai rekuperācijas vai tml. sistēmai, kas nodrošina ne mazāk kā 75 % ventilācijas siltuma zudumu atgūšanu apkures periodā;
4. vismaz daļēji³ jānodrošina atjaunojamās enerģijas (piemēram, vējš, saule, zemes siltums, koksne, t.sk. granulas, ja audzēta atjaunojamās plantācijās) izmantošanu.

Runājot par gNEĒ, jāpiemin arī pasīvo ēku jēdziens, ko deviņdesmitajos gados „standartizējuši” Feists un Adamsons. Standarts paredz atšķirīgas prasības atkarībā no teritorijas klimatiskajiem apstākļiem, nosakot siltumizolācijas siltumpārnese koeficientu

3 Precīza daļa nav definēta.

maksimālās robežas diapazonā no 0,09 līdz 0,75 W/(m²K), bet logiem – no 0,45 līdz 1,4 W/(m²K). Kopīgais ar gNEĒ standartu ir prasība pēc ventilācijas rekuperācijas, taču ēkas izbūvei nav definētas nekādas prasības par atjaunojamiem resursiem. Šo privāto „standartu” un atbilstību tam pagaidām nepārbauda ne Latvijas valdība, ne Eiropas Savienība.

Lai gan visi minētie standarti principā runā par statistiskiem ēkas parametriem (materiālu kvalitāti, siltumizolāciju, rekuperācijas efektivitāti u.tml.), no ēkas uzturētāja perspektīvas tik un tā ir vērts iegūt papildu energoetaupījumu. Gudrās ēkas var palīdzēt iegūt papildu energoetaupījumu, bet nemaina vai nepalīdz iegūt gandrīz nulles enerģijas ēkas statusu, jo to nosaka pēc „juridiskiem” un statistiskiem kritērijiem.

1.4. Ēku vadības sistēmas

Ēku vadības sistēmas (ĒVS) ir inteligenti kontrolieru tīkli, kas veidoti uz mikroprocesora (datorsistēmas vai iegultas datorsistēmas) bāzes, un tiek lietoti, lai pārraudzītu un kontrolētu ēkas sistēmas, t.sk. apkuri, kondicionēšanu, ventilāciju, apkuri, hidrauliku u.tml. (10)

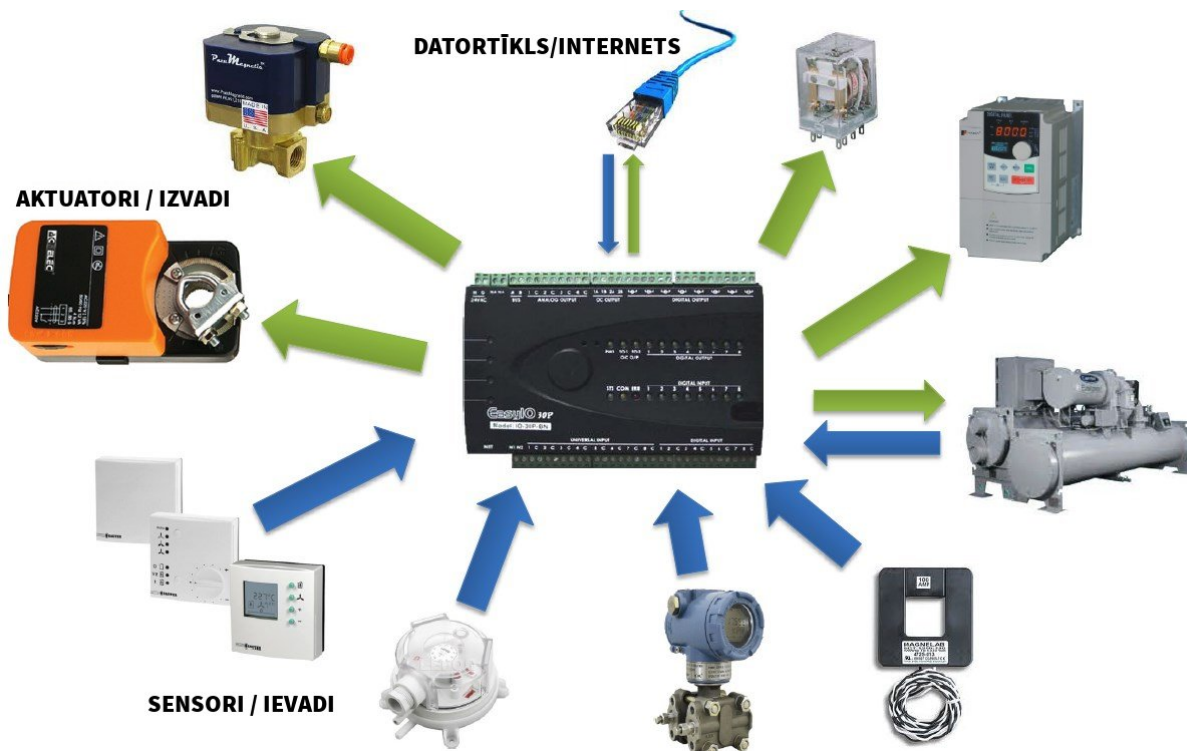
ĒVS sastāv no:(11)

- jau pieminētā kontroliera (fiziskās iekārtas);
- programmatūras, kas atrodas šajā kontrolierī un kuras uzdevums ir nodrošināt pārējo komponentu salāgotu darbību;
- programmatūrā esošajiem algoritmiem, ja tādi tiek pielietoti; šajā gadījumā algoritmi apraksta, kā konkrētām izmaiņās sensoros jāietekmē konkrēti aktuatori pie noteiktiem sistēmas iestatījumiem;
- rūpnīcas jeb noklusētajiem (angl. *default*) iestatījumiem;
- kontroles paneļiem, slēdžiem u.tml., kas ļauj lietotājiem ietekmēt sistēmas darbību, piemēram, uzstādot telpas vēlamo (mērķa) gaisa temperatūru;
- ievadiem jeb sensoriem, kas var mērīt jebkādas lielumus, kuru savākšana būtu lietderīga un ko fizikāli iespējams nomērīt;
- izvadiem jeb aktuatoriem;
- interneta savienojumam un attālinātās saskarnes, ja tāda paredzēta.

ĒVS darbība tiek organizēta (1.2. att.) tādējādi, ka ĒVS mikroprocesors (saukts arī par kontrolieri) savāc datus no dažādiem ievadiem, pamatā sensoriem, kā arī kontroles paneļiem, kuros datus ievada speciālistu vai iedzīvotāju, ko saglabā iekšējā atmiņā, kas parasti ir samērā

neliela. Apvienojot šos datus ar rūpnīcas uzstādījumiem un ieprogrammētajiem algoritmiem, kontrolieris tad kontrolē izvadus jeb aktuatorus, atverot/aizverot vārstus, darbinot elektriskos relejus un elektromotorus, regulējot potenciometrus u.tml.

Modernākās sistēmās ir iespēja izmantot datortīkla savienojumu, lai aplūkotu datus (t.sk. vēsturiskos), kā arī mainītu ĒVS uzstādījumus un atsevišķos gadījumos tieši kontrolētu atsevišķus aktuatorus.



1.2. att. ĒVS darbības principi un vadības ķēdes. Tulkots no (10).

Ja ĒVS piesaistīto aktuatoru izvēle ir uzskatāma par pašsaprotamu – jākontrolē viss, ko praktiski iespējams kontrolēt (protams, ņemot vērā pieejamo budžetu) un kas var atstāt ietekmi uz ēkas uzvedību, īpaši termisko komfortu un faktisko energoefektivitāti –, tad par sensoru izvēli nepieciešama diskusija.

ĒVS mēdz iekļaut sekojošus sensorus:(12)

- iekštelpu temperatūra, lai būtu iespējams novērtēt, vai telpā ir sasniegts vēlamais termiskais komforts;
- gaisa mitrums, jo tas ietekmē cilvēka labsajūtu un temperatūras uztveri; šo sensoru iespējams izmantot arī aptuvenai cilvēku skaita noteikšanai;
- āra temperatūra, lai varētu novērtēt temperatūras starpību un laicīgi paredzēt temperatūras izmaiņu iekštelpās;

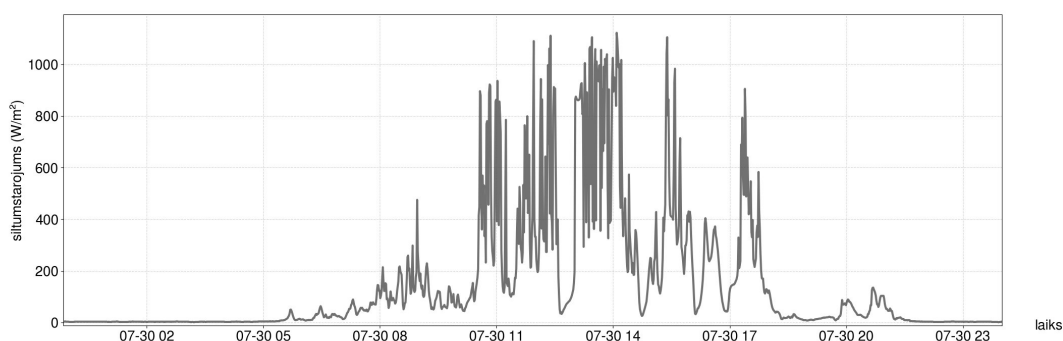
- siltumnesēju temperatūra, ko var izmantot, lai precīzāk noteiktu vārstu stāvokli, kā arī to, vai siltumnesējs jāturpina sildīt;
- kustību sensori, kas palīdz saprast, vai konkrētajā telpā atrodas cilvēki;
- durvju/logu pozīcijas sensori, tādējādi ļaujot nesildīt/nedzesēt telpu, kurā ilgstoši atvērtas durvis vai logs;
- vēja ātrums un virziens, jo tas var ietekmēt siltumatdeves intensitāti no virsmas;
- Saules pozīcijas sensors (iespējams aizvietot ar algoritmu) un solārā starojuma sensors, kas var radīt strauju temperatūras pieaugu iekštelpās, ja ēkā ārsienā atrodas lielas stiklotas platības;
- gaisa plūsmas ātrums telpā, lai kontrolētu ventilācijas darbību, vienlaikus nodrošinot normatīviem atbilstošu plūsmas ātrumu;
- CO₂ līmenis telpā, lai iegūtu datus par to, vai nepieciešams atsākt piespiedu ventilāciju un cik aktīvi; šo sensoru iespējams izmantot arī aptuvenai cilvēku skaita noteikšanai;
- CO₂ līmenis izvadā kopsakarībā ar iepriekšējo sensoru ļaus pārliecināties, vai ventilācijas sistēma strādā pietiekami aktīvi;
- dažādu enerģijas veidu patēriņš, lai varētu novērtēt ēkas faktisko energoefektivitāti;
- atjaunojamo enerģijas avotu (piemēram, saules paneļu) piegādātā enerģija, ļaus precizēt informāciju par patērēto neatjaunojamo enerģiju;
- aktuatoru stāvokļi, lai būtu iespējams pārliecināties, ka konkrētais aktuators ir nostrādājis, un pamanīt sistēmas kļūmes;
- dažādi ventilācijas sistēmas parametri, piemēram plūsmu ātrumi, temperatūras, bufertilpņu aizpildījums un temperatūras, spiedienu gradienti u.tml. ir nepieciešami, lai pārliecinātos par korektu sistēmu darbību, laikus pamanītu un novērstu avārijas situācijas un palīdzētu analizēt un interpretēt savāktos datus;
- u.c.

Šis saraksts nesatur visus iespējamus iemeslus un pielietojumus konkrētā sensora sniegto datu vākšanai.

Papildus minētajam ĒVS kontrolierim būtu vērtīgi zināt pulksteņa laiku un datumu, lai var laicīgi pielāgot telpu parametrus paredzētajam noslodzes grafikam un plānotajam lietojuma veidam, kā arī samazināt enerģijas patēriņu nakts stundās. Tāpat arī operatīvā meteoroloģiskā prognoze nāktu par labu ĒVS darbībai, jo kvalitatīvas prognozes gadījumā

ļautu pieņemt apsteidzošus lēmumus par aktuatoru ieslēgšanu, piemēram, sāks dzesēt telpas pirms intensīvas un ilgstošas saules starojuma ietekmes.

Jāpiemin, ka, neskatoties uz prognozes esamību, jau pieminētais solārais starojums var ļoti ātri mainīt savu intensitāti (vērtību), tādējādi neparedzami un strauji ietekmējot termisko komfortu ja ēkās ārsienās atrodas lielas stiklotas platības. Kā piemēru šim fenomenam var skatīt 1.3. attēlu.



1.3. att. Solārā siltumstarojuma vērtība 2020. gada 30. jūnijā.

Ēku vadības sistēmas var dalīt dažādās grupās, atbilstoši to „gudrības” pakāpei jeb klasei(2):

0. visi aktuatori ir nepārtraukti ieslēgti vai to nav;⁴
1. aktuatorus iespējams kontrolēt ar roku:
 - 1.1. decentralizēti – katrs aktuators (piemēram, vienas telpas sildītājs) tiek regulēts atsevišķi;
 - 1.2. centralizēti – eksistē centrāls punkts, kas ļauj regulēt vairākus aktuatorus (piemēram, visu telpu apkuri) reizē;
 - 1.3. apvienoti (*federated*) – telpas tiek sadalītas grupās (zonās), un katrai grupai ir savs centrālais punkts, kas to regulē; šādā gadījumā zonas var savstarpēji sazināties vai nesazināties;
2. aktuatori tiek kontrolēti balstoties uz pulksteņa laiku vai datumu; šīs klases ĒVS pielietošana ir problemātiska situācijās, kur ekspluatācijas režīms nav laikā standartizēts, piemēram, neregulāri semināri bibliotēkā (konkrētā telpā atrodas līdz pat 50 cilvēkiem pretstatā 2 cilvēkiem ikdienā);

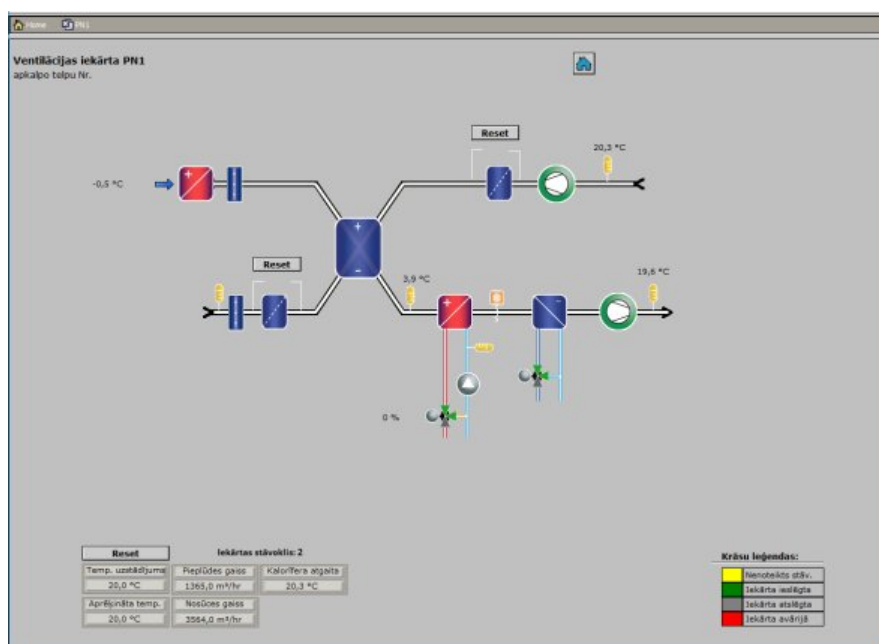
⁴ Lai gan tā nav gudro ēku vadības sistēma, autors darbā lieto 0. līmeni, lai apzīmētu ēku bez ĒVS.

3. aktuatori tiek kontrolēti, izmantojot iepriekš definētas formulas, kas par ievaddatiem izmanto sensoru datus (gaismas sensori, gāzu sensori un daudzi citi) vai arī ārējus datus, kā, piemēram, operatīvās meteoroloģiskās prognozes;
4. aktuatori tiek kontrolēti, izmantojot mākslīgo intelektu; ĒVS ņem vērā telpu lietošanas paradumus, balsoties uz tajā ievadītajiem dati par nepieciešamo komforta līmeni dažādos telpu pielietojuma gadījumos un sensoru datiem; lai veiksmīgi izmantotu mākslīgā intelekta ēku vadības sistēmu, ir nepieciešams savākt lielu daudzumu vēsturisko datu gan no sensoriem (piemēram, telpas gaisa temperatūru, mitrumu, CO₂ līmeni u.tml.), gan no patēriņa skaitītājiem, t.sk. elektrības, ūdens, siltuma skaitītājiem.

Par „gudro ēku” var uzskatīt jebkuru ēku, kurā ir 2. vai augstāka klases ĒVS, jo, jau sākot ar otro līmeni, parādās iespēja izmantot automatizētus procesus, lai kontrolētu ēku.

ĒVS datu pārsūtīšanai un izgūšanai tipiski izmanto(2) *meter-bus*, *KNX*, *DALI BACnet*, *MODBUS* vai citus patentētus komerciālus (tā sauktos „slēgtos”) protokols, dažos gadījumos atbalstot vairākus vienlaicīgi vai dodot iespēju izvēlēties. Slēgto protokolu galvenais mīnuss ir tas, ka bieži vien nepieciešams speciāls dārgs aparātūras adapteris, lai sistēmu saslēgtu ar sensoriem, aktuatoriem vai citām sistēmām, kas konkrēto protokolu neatbalsta, bet dažos gadījumos tas vispār nav iespējams.

Datu uzkrāšanai ĒVS izmanto vai nu iekšējo atmiņu (parasti maza izmēra) vai atmiņas karti, vai atsevišķos gadījumos cieto disku. Mūsdienās ar vien biežāk novērojams, ka dati tiek glabāti mākoņpakalpojumā, ko nodrošina iekārtas ražotājs. Šīs tendences straujāka attīstības vērojama amatieru ĒVS jeb „viedo māju” un „viedo dzīvokļu” sektorā. Galvenie šīs pieejas mīnusi ir datu pieejamība (kas notiks, ja ražotājs bankrotēs un pārtrauks uzturēt pakalpojumu, vai ilgstoši pazudīs interneta savienojums) un konfidencialitāte (ražotājs un citas trešās puses var redzēt mūsu datus).(13) Pat tad, ja apskatām klasiskos risinājumus, tiem vēsturiski nav veikti gandrīz nekādi informācijas drošības (pieejamība, konfidencialitāte, integritāte) pasākumi, jo šo iekārtu sākotnējās versijas ļoti ilgu laiku nebija paredzēts pieslēgt internetam un interneta atbalsts tajās parādījies patērētāju spiediena rezultātā bez adekvātas sagatavošanās.



1.4. att. Daļa no bibliotēkas „SALA” ĒVS tīmekļa saskarnes.

Attiecībā uz datu apstrādi, klasiskajiem ĒVS parasti nav digitālās izejas/ieejas un/vai tie ir slēgtas sistēmas, kas prasa specifiskas zināšanas to uzturēšanai un attīstībai, kā arī bieži vien prasa specifiskas palīgiekārtas (piemēram, strādā tikai ar datoru ar Windows operētājsistēmu un/vai vecām programmatūras versijām). Līdz ar to jāpaļaujas uz vājiem un nepilnīgiem (1.4. att.) iebūvētajiem vizualizācijas rīkiem, ja tiem vispār izdodas piekļūt. Pētāmās ēkas gadījumā saskarnei varēja piekļūt, vienīgi lietojot datorprogrammu *Microsoft Internet Explorer*.

Kopumā ēku digitalizācijā un ĒVS trūkst vienota standarta un, ņemot vērā tirgus ekonomiku, ir maz ticams, ka tāds varētu parādīties. Eksistē ļoti daudz ražotāji un vairāki savstarpēji nesaderīgi protokoli. ĒVS sistēmas nav ērti lietojamas, un izgūt datus mašīnlasāmā formā ir sarežģīti. Tāpēc dažreiz labākais risinājums ir izstrādāt uz atvērtām tehnoloģijām balstītu ĒVS sistēmu daļu apkopotāju, kas spēj savākt visu informāciju centralizēti, sinhronizēt un uzglabāt to, pēc tam dodot iespēju to vizualizēt un analizēt.

2. BIBLIOTĒKA „SALA”

Saskaņā ar Ministru kabineta noteikumiem(8) visām jaunbūvēm Latvijā kopš 2021. gada ir jāatbilst gNEĒ prasībām. Līdz ar to tālākai izpētei izvēlēta nesen ekspluatācijā nodota publiska lietojuma gNEĒ – Alojas novada uzņēmējdarbības atbalsta centrs – bibliotēka „SALA”. Publiska ēka izvēlēta tāpēc, ka tādā veidā var nodrošināt vieglāku piekļuvi un papildu aparatūras uzstādīšanas saskaņošanu. Turklāt tā ir ne vien gNEĒ, bet arī pasīvās būves standartiem atbilstoša ēka.

Aloja atrodas aptuveni 100 kilometru attālumā no Rīgas un pilsētā dzīvo aptuveni 1200 iedzīvotāju.(14)

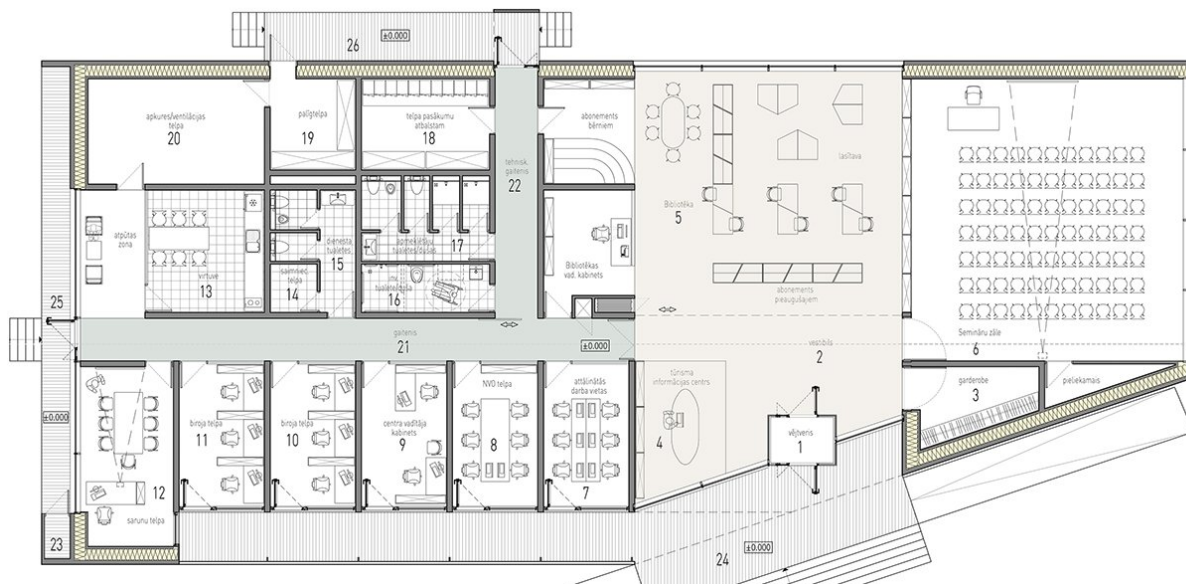


2.1. att. Ēkas novietojums. Fotografija ©LĢIA, 2016-2018.

2016. gadā šī **viena stāva ēka** uzbūvēta Ungurpils dzirnavu ezera krastā aptuveni pusotra kilometra attālumā no pilsētas. (2.1. attēla centrā). Ēku no ziemeļiem 100 metru

attālumā sedz lapu koku masīvs, 50 metrus uz austrumiem atrodas ezers, bet dienvidos un rietumos – privātmāju grupas, aiz kurām atrodas lauksaimniecības zeme.

Ēkas augstums ir 5,22 m, bet kopējā platība – 625,1 m². Iekštelpu platība – 526,2 m². Iekštelpu augstums no grīdas līdz griestiem – 3,00 m.



2.2. att. Ēkas plāns.

Ēka sastāv no bibliotēkas, lasītavas, priekštelpas, semināru zāles, kas paredzēta 75 cilvēkiem, 6 darba/sarunu telpām, kā arī tehniskajām telpām, labierīcībām un gaiteņiem. 2.2. attēlā norādīts plānotais ēkas telpu lietojums, kas realitātē nedaudz atšķiras. Būtiskākās izmaiņas ir tās, ka siena starp telpām Nr. 9 un Nr. 10. ir atbīdāma un ikdienā stāv atvērtā stāvoklī, kā arī atšķiras atpūtas zonas un virtuves plānojums.

Ēka uzbūvēta, izmantojot Norvēģijas finanšu instrumenta līdzfinansējumu, kas bija viens no motivatoriem ēkas izbūvei par gNEĒ un pasīvās enerģijas ēku.

2.1. Ēkas būvniecībai izmantoto būvmateriālu raksturojums

Ēkas tehniskais projekts(15), kura sastāvā esošais stāva plāns un detaļas pievienotas 1. pielikumā, satur informāciju par ēkas ārsienu, grīdu un griestu konstrukcijām izmantotajiem materiāliem, to savstarpējo novietojumu, biezumu un siltumīpašībām. Uz ēkas jumta izvietots jumta dārzs.

„Ēkai ir lentveida pamati, uz kuriem balstās plātne 250 mm biezumā, virs kuras iestrādāts siltumizolācijas slānis 300 mm biezumā. Pamatu izstāde aizņēma 2 mēnešus. Ēkas tapšanā lietots daudzveidīgs materiālu klāsts – betons, koks, metāls u.c.. Ļoti plaši izmantots koks – gan kā karkass, gan kā apdares materiāls. Tam ir divi iemesli: pirmkārt, liels uzsvars

tika likts uz dabīgu materiālu izmantošanu, otrkārt, tieši ar īpašo koka apstrādes tehniku iespējams sasniegt dizaina konceptu. Priekšroka lielākoties dota vietējiem materiāliem.

Viens no būves raksturlielumiem ir ēkas augstā energoefektivitāte. Lai to nodrošinātu, ēkas arhitektoniskais risinājums pilnībā atbilst pasīvās ēkas enerģijas patēriņa kritērijiem. Aprēķins veikts izmantojot *Passive House Planning Package* programmu.

Apkures sistēmas un karstā ūdens apgādes siltuma avots izmantots siltuma sūkns ar ģeotermālo siltumapgādi no dziļurbuma zondēm. Tas nokomplektēts ar automātikas un vadības elementiem. Ēkā nav izvietots neviens radiators, kā arī tai nav kondicionieru. Vasarās ēka tiek dzesēta izmantojot grīdas.”(16)

Saskaņā ar projekta dokumentācijā(17) iekļautajiem *Passive House Planning Package* programmas aprēķiniem, ārsienu kopējais (visu izmantoto materiālu) siltumapmaiņas koeficients ir 0,086 W/(m²·K), jumta – 0,060 W/(m²·K), bet grīdas – 0,075 W/(m²·K).

Atbilstoši ēkas energosertifikātam(18), kas iekļauts 2. pielikumā, ēkas sertificētais kopējais gada patēriņš ir 38,10 kWh/(m²·y)

2.2. Ēkas sistēmas

Ēkā ir visas nepieciešamās sistēmas, lai tā varētu funkcionēt visa gada garumā kā nedzīvojamā ēkā. Tālākajās apakšnodaļās aprakstītas minētās sistēmas.

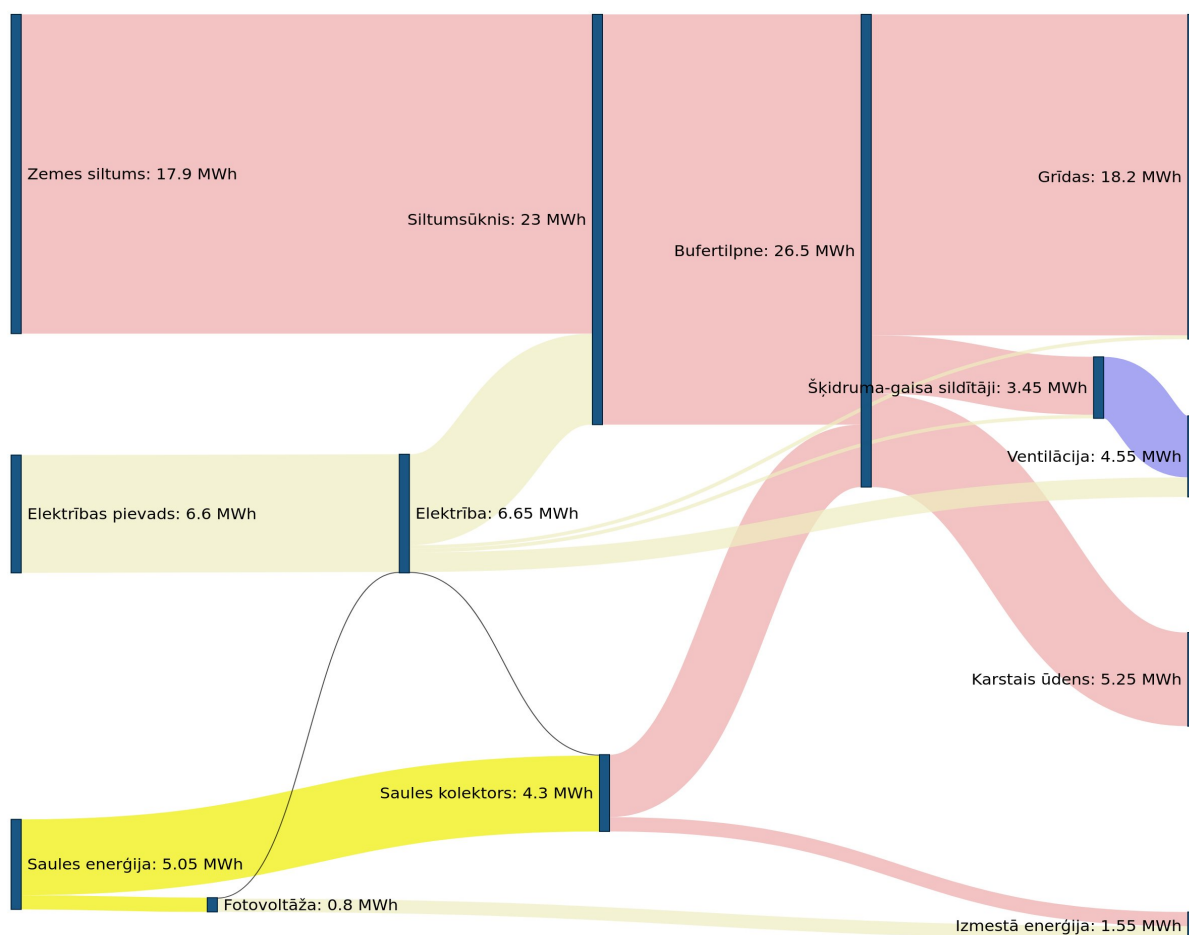
Datums	Ārējais temp. p.kst. 13.00	Kolektoru temp. °C	Ienākošā siltumnesēja temp. °C	Atzejošā siltumnesēja temp. °C	Tvertnes temp. °C	Telpu vid. temp. °C	Siltumskaitlāja rādījums kWh	Telpu un fasādes apgaismojums kW	Teritorijas apgaismojums kW	Kontakts kW	Ventilācija kW	Telpu apsilde kW	Apmācies/Nokrišņi
2019-06-01	15.2	49	57.2	26.5	55		60954	2270.02	3746.4	15360.2	481.44	1124.4	saulains
2019-06-02													
2019-06-03													
2019-06-04	24	65.5	68.8	23.4	70	24.7	60954	2276.88	3751.8	15390.4	504.22	1132.4	saulains
2019-06-05	27	59	75.8	23.9	80	25	60969	2279.03	3753.3	15401.1	520.18	1135.2	saulains
2019-06-06	29	25	52	18.7	30	26.3	61009	2280.96	3755.2	15411.4	535.3	1146.2	saulains
2019-06-07													
2019-06-08	27.6	48	48.2	18.9	32	27.8	61029	2298.31	3758.2	15438.2	559.21	1193	saulains
2019-06-09													
2019-06-10													
2019-06-11	22.3	75	60.6	29.7	60	24.3	61051	2304.28	3763.2	15464.2	582.94	1243.5	apmācies
2019-06-12	21.3	73.5	57.2	29.3	60	25.4	61051	2306.51	3765.8	15472.8	596.8	1246	saulains
2019-06-13	23.4	75.5	60.1	32.3	60	25.6	61051	2308.08	3767.3	15481.2	611.15	1248.5	saulains
2019-06-14	18.1	41.1	44.7	39.5	45	25.1	61081	2313.13	3769.2	15490.3	625.02	1262.4	apmācies
2019-06-15	18.9	52	49.8	20.3	50	24.8	61100	2314.7	3770.6	15498.8	633.42	1288.1	saulains
2019-06-16													
2019-06-17	24.3	34.5	49.2	16.8	25	24.4	61129	2317.17	3773.7	15516.6	643.22	1338.1	apmācies
2019-06-18	20.9	47.5	48.2	18.7	32	24.4	61139	2319.71	3775.2	15525.6	658.61	1364	saulains
2019-06-19	25.7	51.5	49.8	21.4	50	24.4	61152	2321.49	3776.6	15534.5	674.87	1391.5	saulains
2019-06-20	28.8	49.5	49.8	21.5	50	24.8	61166	2322.92	3778.1	15542.4	687.58	1412.4	saulains
2019-06-21	25.1	51	49.8	21.3	49	25.5	61181	2325.14	3779.9	15551	701.48	1434.1	saulains
2019-06-22													
2019-06-23													
2019-06-24													
2019-06-25	23.3	49.5	48.1	19	31	24.6	61225	2330.16	3785.7	15583.5	735.94	1531.6	saulains
2019-06-26	26.6	43.5	49.8	21	50	24.1	61241	2331.63	3787.5	15591.8	751.79	1559.3	apmācies
2019-06-27	15.5	35.5	49.8	20.3	50	23.8	61253	2332.95	3789.4	15599.4	764.74	1583.5	apmācies
2019-06-28	17.3	51	49.8	19.5	37	24.4	61270	2335.44	3790.9	15607.2	777.46	1606.7	saulains
2019-06-29													
2019-06-30													

2.3. att. Ekrānšāviņš no ievaddatiem, kādi tika vākti jau pirms autora darba uzsākšanas.

Jāpiebilst, ka faktiski starp ēkas sistēmām nav nodrošinātas nepieciešamās vadības ķēdes un lielākā daļa aktuātoru ir manuāli regulējami, ja vispār ir uzstādīti. Arī visi sistēmu dati sākotnēji netika centralizēti savākti – nepieciešamie slēgumi tika veidoti ERAF projekta

ietvaros. Tāpat arī sensoru dati netika automatizētā kārtā uzkrāti ilgtermiņā. Tā vietā ēkas darbinieki katru darba dienu (un dažas brīvdienas, ja bija uz vietas) ar roku ierakstīja noteiktus raksturlielumus izklājlapu tabulā. Tas noveda pie zemas datu kvalitātes, t.sk. nepareiziem datiem un izlaistām datu vienībām, nemaz nerunājot par zemo izšķirtspēju laikā. Paraugs sniegts 2.3. attēlā, kur ar oranžo krāsu atzīmētas brīvdienas un svētku dienas, bet ar sarkano – fizikāli neprecīzie dati, kurus autors koriģēja, manuāli analizējot apkārtējās vērtības un iespējamās pārrakstīšanās kļūdas, bet tur, kur tas nebija iespējams, kļūdaino datu punktu dzēsa. (Attēlā jau pēc koriģēšanas.)

Šis atkārtoti apstiprina darba sākumā minēto, ka daudzos gadījumos ēkas tiek nodotas ekspluatācijā pilnvērtīgi nerealizējot projektos paredzētās ĒVS iespējas. Šajā gadījumā tas raisīja nepieciešamību modificēt maģistra darbam sākotnēji formulēto mērķi un uzdevumus.



2.4. att. Ēkas enerģijas plūsmu diagramma (2020. gada summārā enerģija).

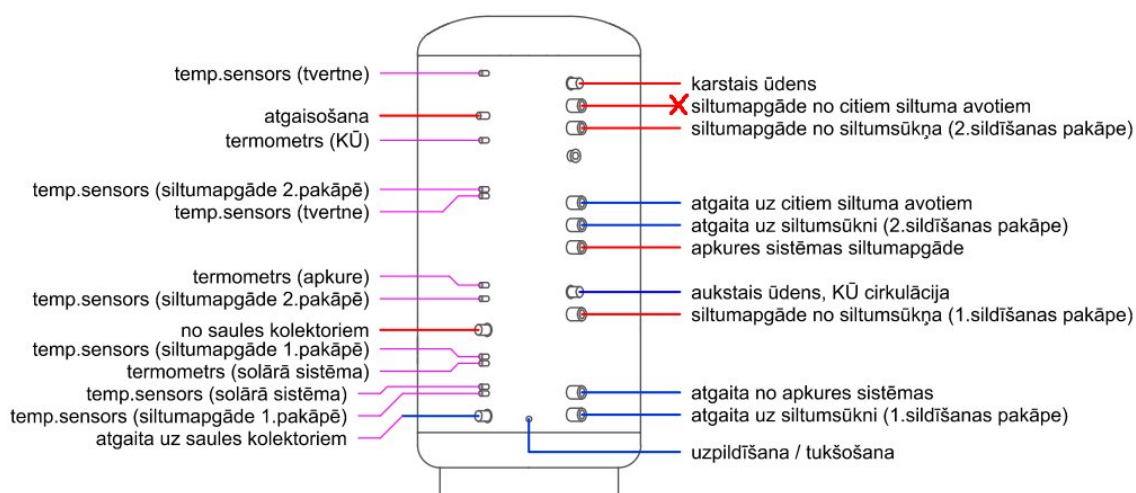
Apkopojot datus no enerģijas skaitītājiem par 2020. gadu, izveidota enerģijas plūsmu diagramma (2.4. attēlā). Ar rozā krāsu apzīmēta termiskā enerģija, kas tiek pārnesta ar šķidru siltumnesēju (ar violetu – gāzveida), ar bēšu krāsu – elektroenerģija, ar spilgti dzelteni – solārā enerģija. Diagrammā nav iekļauta elektroenerģija, kas patērēta apgaismojuma,

datortehnikas un biroja tehnikas vajadzībām, kā arī nav atzīmēti enerģijas zudumi, kas rodas enerģiju glabājot vai pārsūtot. Ar izmesto enerģiju saprotama enerģija, kas tika savākta, bet to netika mēģināts novadīt līdz lietderīgam patērētājam.

Lai nepārkarsētu siltumnesējus bufertilpnē, saules kolektors sistēmai ir pieslēgts tādējādi, ka karstākajos gada mēnešos liekā enerģija tiek novadīta zemē caur grunts zondēm. gada karstākajos mēnešos. Savukārt fotovoltāžas panelis lielāko gada daļu bija pieslēgts kļūdaini, kā rezultātā elektroenerģija nemaz nenonāca līdz akumulatoriem.

2.2.1. Siltuma mezgls

Siltumnesēju vadības „sirds” šajā ēkā ir bufertilpne (2.5. attēls, siltumapgāde no citiem siltuma avotiem nav pieslēgta), kurā vairākos līmeņos tiek akumulēti siltumnesēji un karstais ūdens. Bufertilpne ir pasīva iekārta, kas nodrošina siltumnesēju uzglabāšanu taču elektrību nepatērē. Tomēr jārēķinās, ka bufertilpnei, tāpat kā siltumpārvades caurulēm būs savi termiskie zudumi nevēlamas siltumpārneses rezultātā.



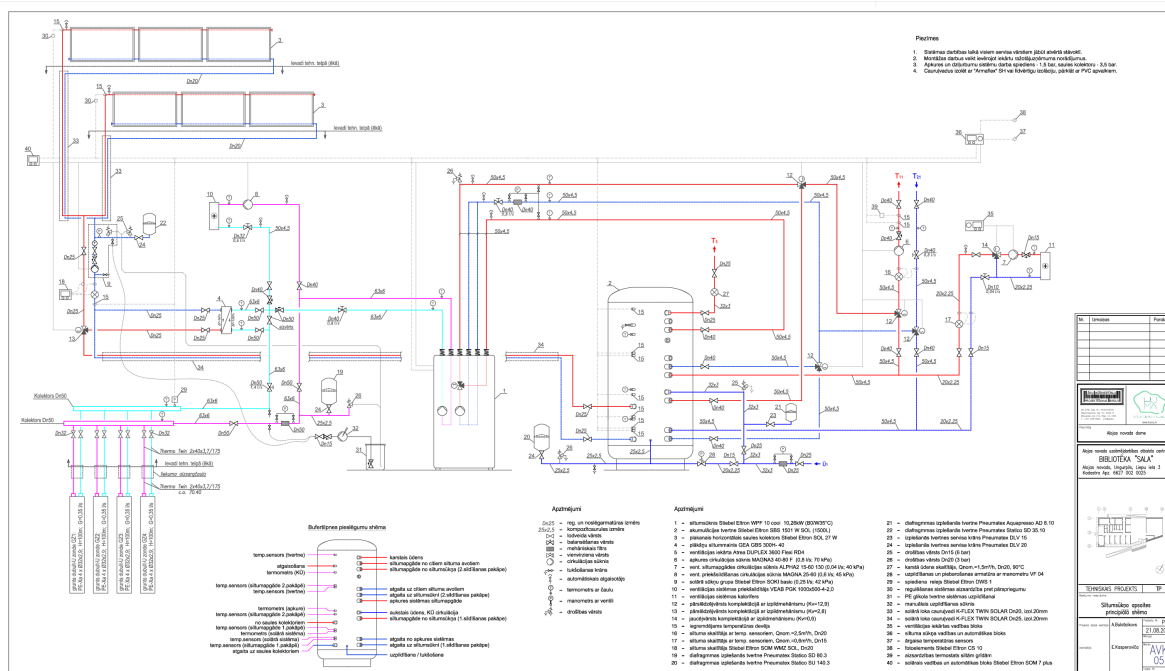
2.5. att. Bufertilpnes pieslēgumu shēma.(15)

Siltuma mezgls gadā karsto ūdeni uzsilda aptuveni par 12,3 MWh.

Siltuma mezgls kopumā gadā patērē vidēji 6,6 MWh elektrības.

2.2.2. Ģeotermālais siltumsūknis

Lai nodrošinātu atbilstību pasīvās ēkas un gNEĒ prasībām, blakus ēkai gruntī izvietots kontūrs ģeotermālajam siltumsūknim *Stiebel Eltron WPF 10 cool*, kas izmanto zemes siltuma enerģiju, lai daļēji uzsildītu gan karsto ūdeni, gan siltumnesēju, gan ventilācijai izmantoto gaisu (2.6. attēls).



2.6. att. Siltumsūkņa apsaites principiālā shēma.(15)

Reālajos apstākļos tas saražo aptuveni 21 MWh siltumenerģijas gadā, patērējot 4,6 MWh elektrības gadā, tātad tā lietderības koeficients ir 4,56, kas atbilst literatūrā(19) norādītajam ģeotermālo siltumsūkņu diapazonam no 3 līdz 5. Ražotāja dokumentācijā tā lietderības koeficients B0/W35⁵ konfigurācijā ir norādīts kā 5,02. Siltumsūkņī iekļauts elektriskais sildelements, kas ieslēdzas gadījumos, ja temperatūru konfigurācija nav pietiekama pilnvērtīgai siltumsūkņa darbībai.(20)

2.2.3. Saules kolektori siltā ūdens uzsildīšanai

Uz ēkas jumta uzstādīts 27 W saules kolektors Stiebel Eltron SOL. Lai gan tehniskajā dokumentācijā(15) paredzēti divi kolektori, faktiski uz ēkas jumta atrodams tikai viens. Saules kolektori tiek izmantoti, lai sildītu karsto ūdeni un siltumnesēju.

Saules kolektors gada laikā saražo aptuveni 4,3 MWh enerģijas, no kuras 0,8 MWh (liekā enerģija) tiek novadīta zemē caur grunts zondēm gada karstākajos mēnešos. Saules kolektora pumpja darbības nodrošināšana gadā patērē aptuveni 28 kWh.

Saules kolektoru slēguma shēma redzama 2.6. attēlā, bet tā fotogrāfija iekļauta 2.7. attēlā.

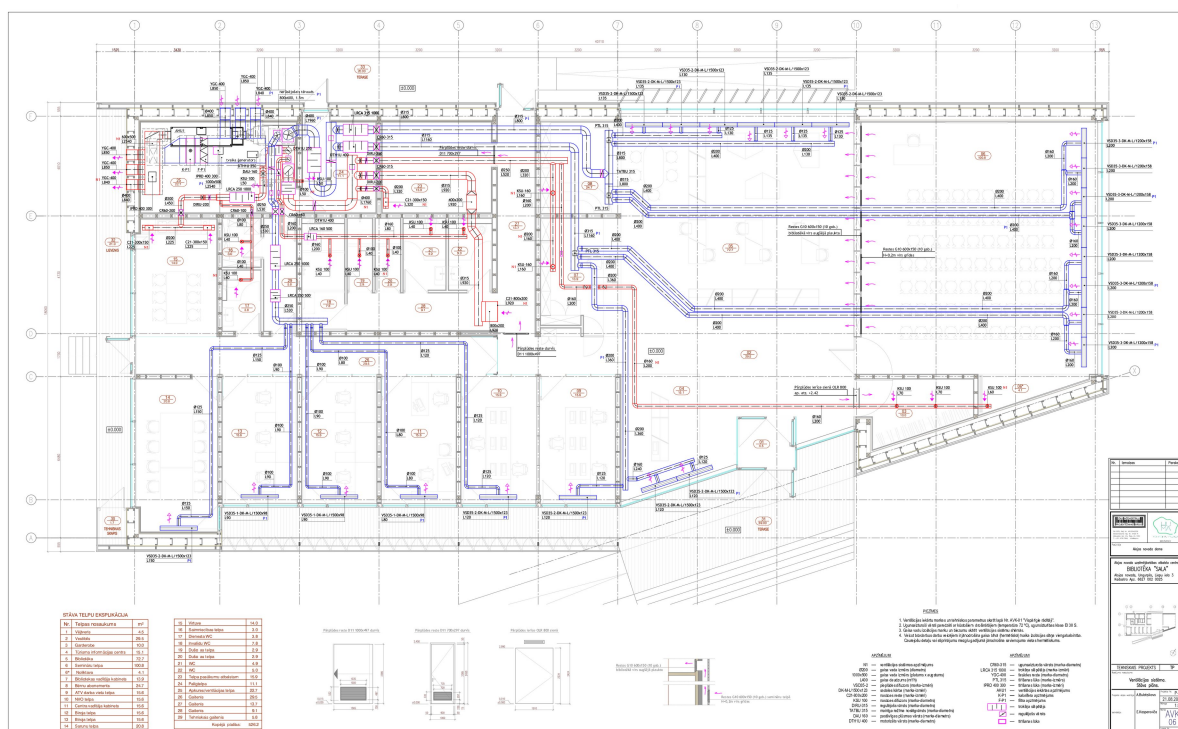
5 Siltumnesējs no grunts uz siltumsūkni – 0 °C, uzsildīts siltumnesējs no siltumsūkņa uz patērētāju – +35 °C.



2.7. att. Saules kolektors.

2.2.4. *Ventilācijas sistēma*

Apskatāmajā ēkā ir ventilācijas sistēma (2.8. attēls), kuras darbību nodrošina ventilācijas iekārta DUPLEX 3600 Flexi RD4 ar nominālo gaisa plūsmu $3500 \text{ m}^3/\text{h}$ un paredzēto elektrības jaudu ne lielāku par 2980 W .⁽²¹⁾ Tā nodrošina nodrošina 89% enerģijas rekuperāciju pie $20 \text{ }^\circ\text{C}$ siltā gaisa (ieplūde ventilācijas sistēmā) temperatūras un $-23,2 \text{ }^\circ\text{C}$ āra gaisa temperatūras.⁽¹⁵⁾



2.8. att. Ventilācijas sistēma (nosūce – sarkana, pieplūde – zila).(15)

Sistēmā ir arī priekšsildītāji un pēcsildītāji. Pēcsildītāji gadā vidēji patērē 2,5 MWh siltumsūkņa saražotā siltuma, bet priekšsildītāji – 750 kWh gadā, no kā $\frac{1}{3}$ tiek patērēta uz sildīšanu, bet $\frac{2}{3}$ – uz dzesēšanu.

Ventilācijas iekārta darba uzsākšanās brīdī faktiski nedarbojas, jo tā atslēdzās bojāta temperatūras sensora un sliktas konfigurācijas dēļ. Tipiskā gadījumā tā pēc pārstartēšanas nostrādāja aptuveni vienu diennakti, nonākot kļūdas stāvoklī pēc kā izslēdzās.

Ventilācijas iekārta, darbinot savus motorus, gadā patērē aptuveni 1,5 MWh, tātad var secināt, ka tā vidēji darbojas ar aptuveni 6% no nominālās jaudas.

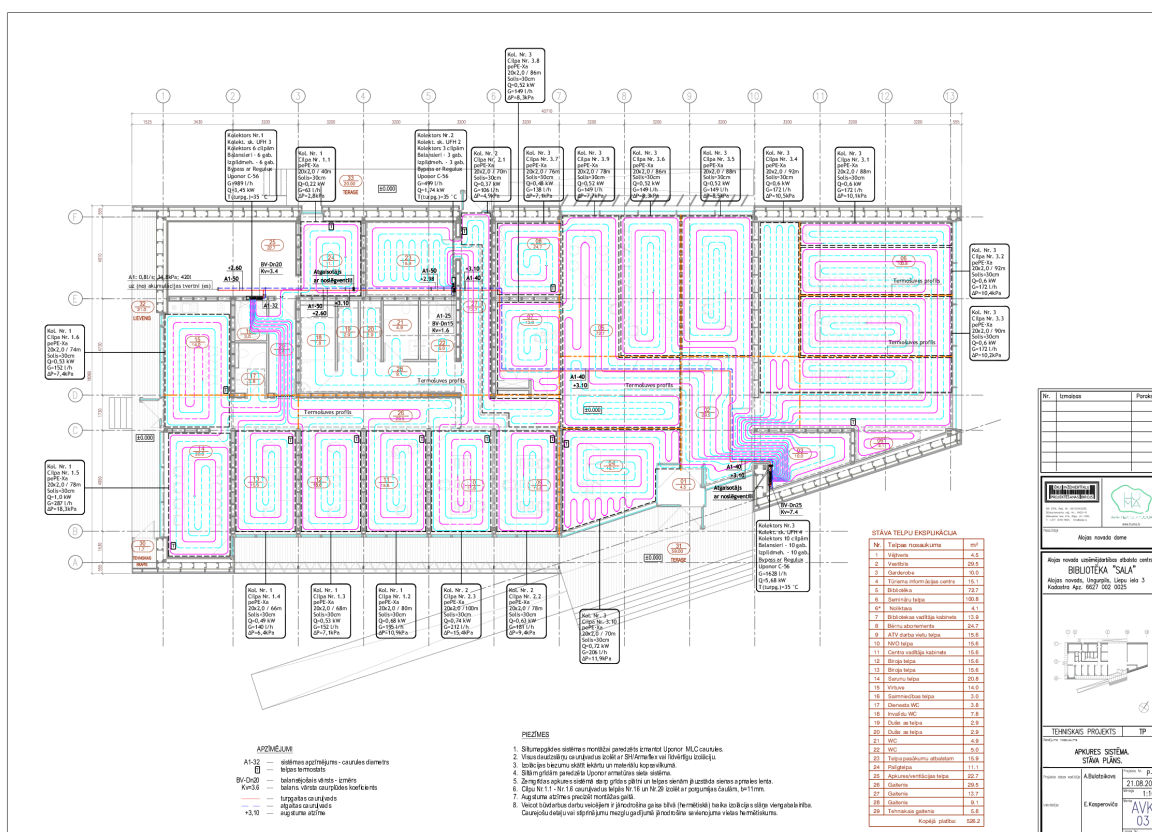
2.2.5. Grīdu dzesēšanas/apkures sistēma

Grīdu temperatūru ēkā kontrolē atsevišķa sistēma, kuras vienīgā sasaiste ar pārējo ēkas vadības sistēmas bija siltumnesēja paņemšana no bufertilpnes. Šī sistēma – *Uponor Smatrix Wave* – sastāv no trim radiovadāmiem kontroles paneļiem *Uponor C-56*, kas izvietoti dažādos ēkas punktos un kontrolē vārstus uz katras telpas grīdu (2.9. attēls). Katrā telpā atrodas radio kontrolieris ar sensoru, kas mēra istabas gaisa temperatūru un attēlo to, turklāt ļauj redzēt un uzstādīt konkrētu mērķa temperatūru katrā telpā. Papildus tam eksistē viens pārnēsājams skārienjūtīga ekrāna modulis, kas ļauj pārraudzīt visas zonas (katru telpu) no centrālas vietas.



2.9. att. Uponor C-56 (augšpusē) ar izpildmehānismiem (zilā krāsā).

Tā kā grīdas temperatūras kontroles sistēma nekādā veidā nav sasaistīta ar ēkas ĒVS, tā nespēj ietekmēt ventilācijas temperatūru, un pat ne siltumnesēja, ko pati izmanto, temperatūru. Lai gan „siltās grīdas” atbalsta dzesēšanas režīmu, lai tas darbotos, ēkas pārvaldniekam ir manuāli jāpārslēdz padotais siltumnesējs uz dzesēšanas režīmu.



2.10. att. Grīdu apkures sistēma.(15)

Kopā ar pārneses zudumiem grīdas vidēji gadā patērē 18 MWh. No tām 2 MWh – dzesēšanai (vasarā), bet 16 MWh – apkurei. Ja režīmi tiktu pārslēgti laicīgāk, var sagaidīt, ka vasaras patēriņš palielinātos.

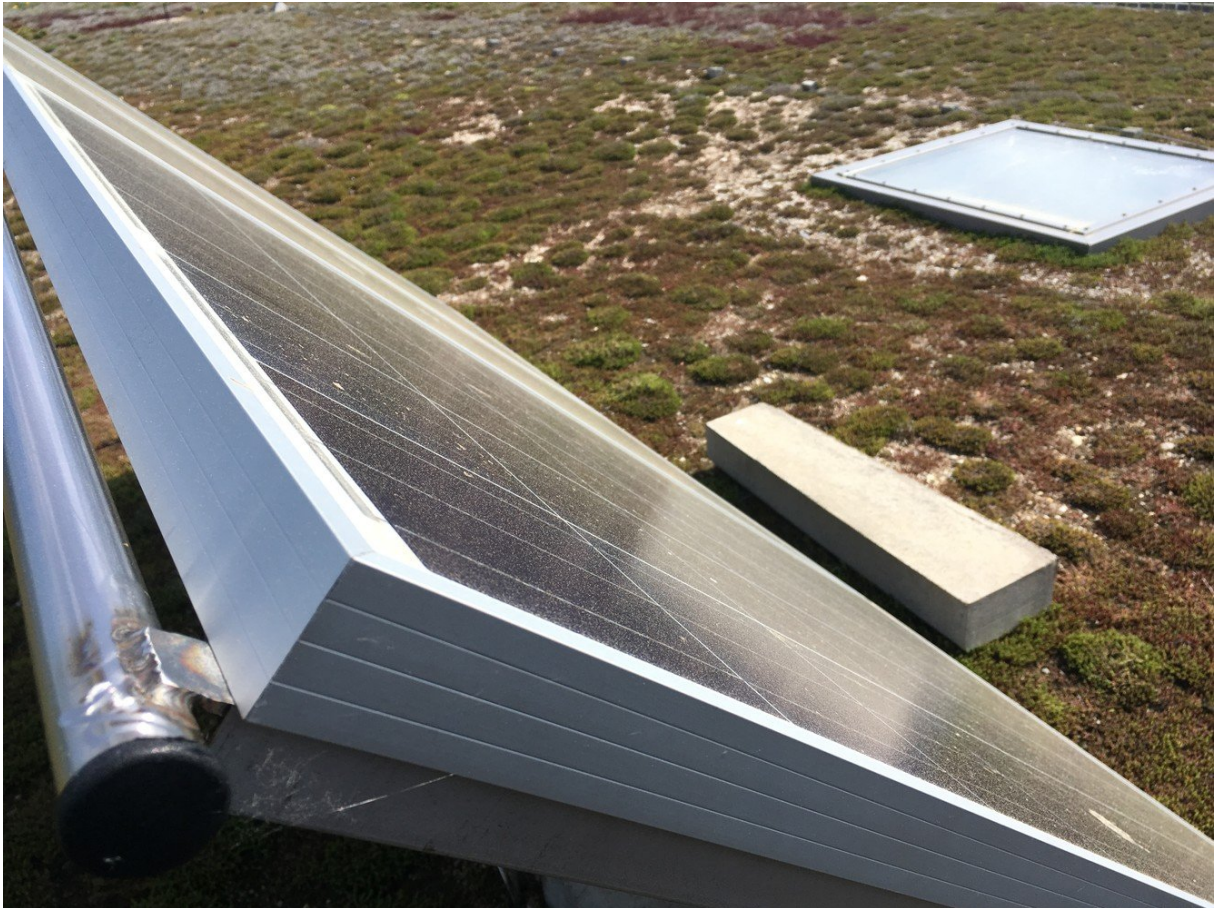
Lai gan katras telpas termostats/kontrolpanelis ir piesaistīts vienai grīdas caurulei, kā redzams 2.10. attēlā, to trajektorijas nav labi salāgotas ar telpu termostatu novietojumu. Piemēram, bibliotēkāra darba vieta (telpa 07) tiek sildīta ar cilpu, kas apsilda daļu bibliotēkas (telpa 05), bet nesatur termostatu vispār. Termostats, kas to regulē atrodas bērnu lasītavā (telpa 08), kuru savukārt apsilda cita cilpa.

2.2.6. *Saules enerģijas ieguves (fotovoltāžas) sistēma*



2.11. att. Fotovoltāžas panelis.

Lai mazinātu elektroenerģijas izmaksas, uz ēkas jumta uzstādīti trīs fotovoltāžas paneļi *FU 250P* (2.11. attēls), kas pievienots lādiņa kontrolierim *BlueSolar MPPT 75/15* (12/24 V 15 A), kas savukārt savienots ar *Victron Energy* 220 Ah 12 V akumulatoru. Tiek izmantots arī *MultiPlusCompact* 24/800/16-16 invertors.



2.12. att. Fotovoltāžas paneļi fotografēti mazā leņķī pret to virsmu.

Kā redzams 2.11. un 2.12. attēlā, paneļi netiek tīrīti, kas, protams, samazina to efektivitāti. Darba izstrādes gaitā konstatēts, ka elektriskā slēguma ķēde nav izveidota un paneļi nefunkcionē, jo nav pievienoti akumulatoriem.

Darba gaitā izdevās savākt ļoti maz datus par saules paneļu pienesumu. Mēneša laikā kopš 2020. gada 9. septembra tie saražojusi 31 kWh enerģijas.

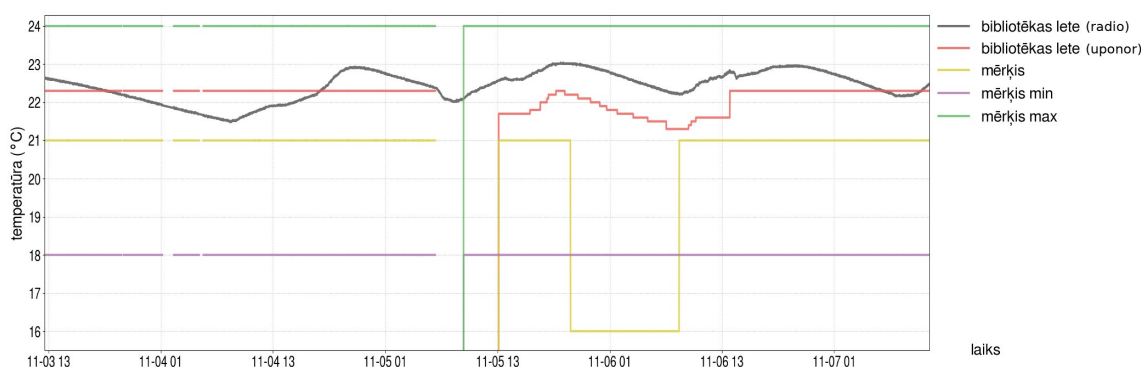
3. DATU APSTRĀDE UN ANALĪZE

Šajā nodaļā autors apraksta datu ievākšanas un analīzes metodiku, kā arī analizē savāktos datus, lai būtu iespējams izdarīt secinājumus. Darba izstrādes sākuma stadijā autors bija paredzējis koncentrēties uz radošo daļu, t.i. algoritmu izstrādi, taču darba izstrādes gaitā tika konstatēts, ka praktiski nekādi lietojami dati nav pieejami (skatīt 2.2. apakšnodaļu), līdz ar to autoram un kolēģiem nācās veltīt aptuveni gadu ne vien, lai veidotu analīzes rīkus, bet arī, lai veidotu, papildinātu un savienotu dažādus sensoru tīklus.

3.1. Aparatūras uzlabojumi un papildu aparatūras uzstādīšana

Lai novērstu iepriekšējā nodaļā aprakstītās ēkas ĒVS nepilnības un būtu iespējams nodrošināt nepieciešamo kvalitatīvo datu apjomu ēkas termiskā komforta un energoefektivitātes sabalansēšanai un darba izstrādei, autors sadarbībā ar kolēģiem ERAF projekta ietvaros nodrošināja papildu sensoru uzstādīšanu, no kuriem daļa tika integrēti ĒVS.

Uzticēties telpās uzstādītajiem termostatiem nebija iespējams – to dati brīžiem atjaunojās lēni vai ļoti lēni (skatīt sarkano līkni), tie bija nekvalitatīvi (piemēram, 6. novembrī mērķa temperatūra tika uzstādīta divus grādus zemāka par minimālo sistēmā atļauto mērķa temperatūru) un ik pa brīdim tie vienkārši bija nefizikāli. Autors sadarbībā ar S.Gendeli par to pārliecinājās divās telpās (sanāksmju telpā un apkures telpā) uzstādot kalibrētus *Extech RHT20* (bezsaistes režīma) temperatūras pierakstītājus un salīdzinot to datus ar termostatu informāciju.



3.1. att. Iekštelpas temperatūra 2019. gada novembrī.

Lai apietu minētās problēmas, J.Teličko izstrādāja un telpās uzstādīja bezvadu radio sensoru tīklu (turpmāk – radio-bāzētais tīkls), kas sastāvēja no bāzes stacijas, dažiem signāla pastiprinātājiem un 13 sensoriem, kas reizi minūtē mēra sensora temperatūru un apkārtējā

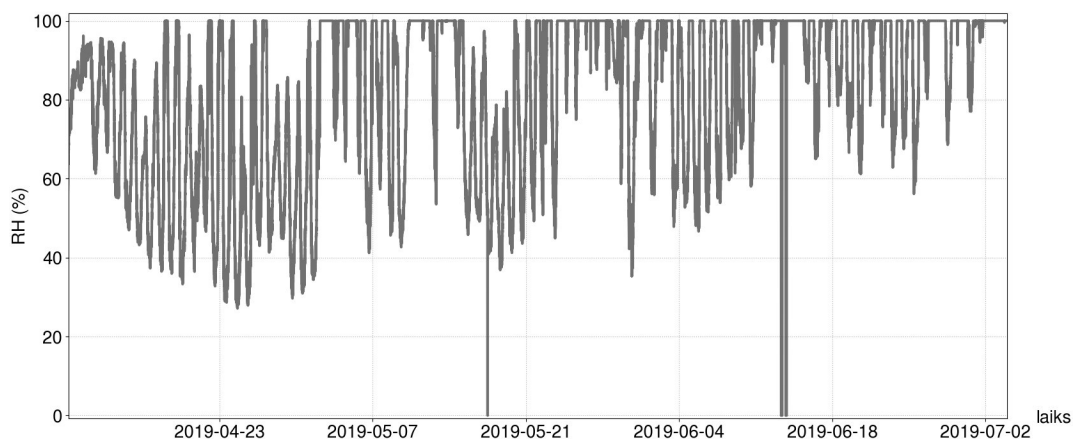
gaisa relatīvo mitrumu. Tā kā relatīvais gaisa mitrums var ietekmēt cilvēka temperatūras uztveri (sajūtu), turklāt par komfortablu tiek uzskatīts relatīvais gaisa mitrums diapazonā no 30% līdz 70%, tad relatīvā mitruma mērīšana palīdzēja pārliecināties par termiskā komforta esamību vai neesamību. Kā redzams 3.1. attēlā, tad aizdomas, kas iegūtas, iepriekš veicot mērījumus ar *Extech RHT20*, apstiprinājās.

Lai būtu iespējams iegūt uzticamu informāciju par meteoroloģiskajiem apstākļiem, J.Teličko sadarbībā ar darba autoru uz ēkas jumta uzstādīja meteostaciju.



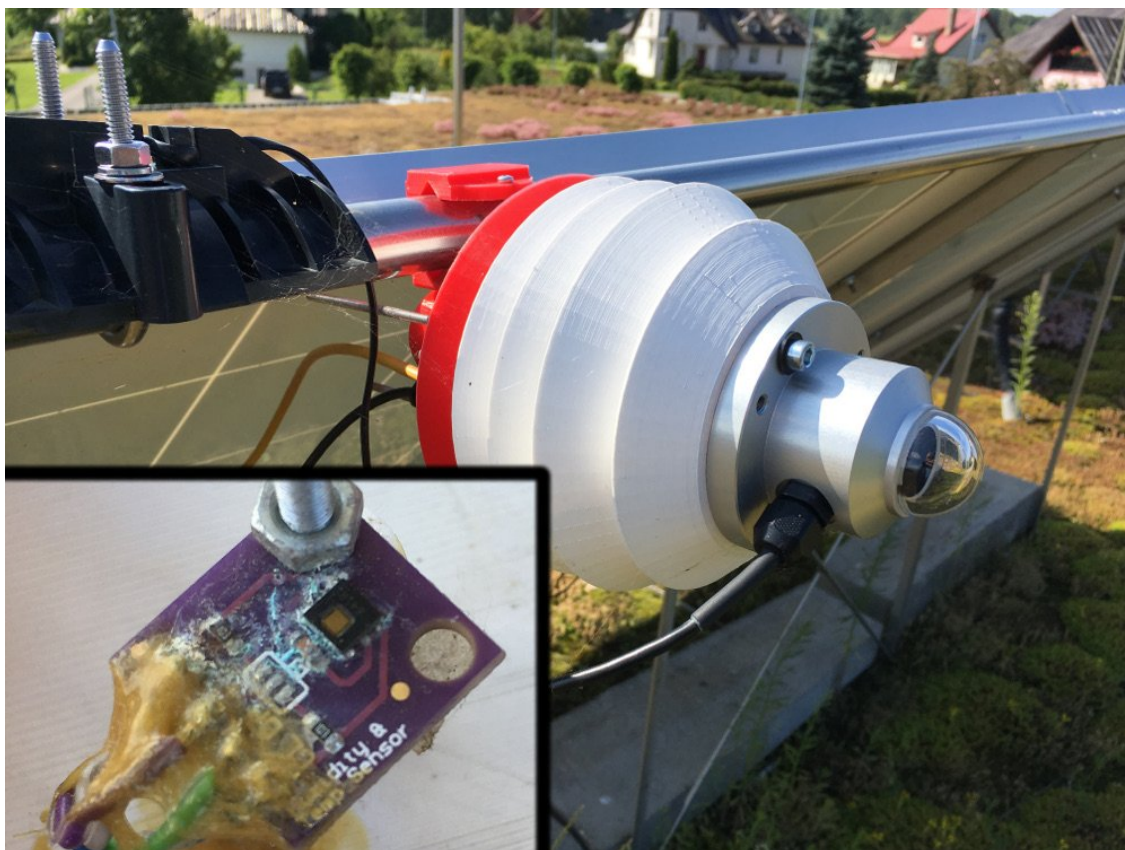
3.2. att. **Meteostacija.**

Meteostacija sevī iekļauj 6410 anemometru vēja virziena un ātruma noteikšanai, HDC1080 sensoru temperatūras un mitruma mērījumiem, kā arī Hukseflux SR03 solārā starojuma sensoru.(22) Diemžēl HDC1080 dažu mēnešu laikā strauji sabojājās un relatīvā mitruma rādījumi pietuvojās 100% (3.3. attēls). Pēc tam, kad arī solārā starojuma rādījumi kļuva nefizikāli, autors devās uz objektu, lai identificētu potenciālās problēmas.



3.3. att. Meteostacijas relatīvā gaisa mitruma rādījumi.

Izrādījās, ka meteostacija nebija adekvāti nostiprināta, tāpēc spēcīgā vētrā sagāzās par 90 grādiem (3.4. attēls). Mitruma sensoru savukārt bija sabojājusi pārlietu lielā mitruma uzkrāšanās. Tas tika atrisināts nomainot⁶ sensoru pret *SHT35* un uzstādot iekšēju ventilatoru. (22)



3.4. att. Fotografiju kolāža – meteostacija nepareizā leņķī un bojātais HDC1080 sensors.

Vairāk informācijas par J.Teličko izstrādāto aparāturu ir pieejams (22).

⁶ Lai gan avotā(22) norādīts, ka sensors ir nomainīts, dati uzrāda, ka meteostacijā atrodas abi sensori.

Lai varētu iegūt informāciju no termostatiem, kas sazinās ar *Uponor* kontroles paneļiem, izmantojot radioviļņus 868,3 MHz frekvencē, autors izmantoja savā rīcībā esošo digitālo radioaparāturu, lai pārtvertu datu pārraidi, kas arī izdevās. Diemžēl tālākie mēģinājumi atšifrēt/atkodēt protokolu nevainagojās ar panākumiem, tāpēc, lai būtu iespējams iegūt informāciju no *Uponor Smatrix Wave* sistēmas, tika iegādāts *Uponor R-167* modulis, kas ļauj pieslēgties sistēmai caur *TCP/IP* un izgūt datus par siltu grīdu sistēmas uzstādījumiem, telpu temperatūrām (no termostatiem), mērķa temperatūrām u.tml. Šis modulis ļauj arī attālināti kontrolēt daļu no minētajiem uzstādījumiem.

Tā darbības princips ir sekojošs: modulim nodrošina barošanu no elektrības un vienīgajā kontaktā pievieno datortīkla vadu, kas pieslēgts internetam (3.5. attēls); tas sazinās ar kontroles paneļiem, izmantojot radioviļņus un savstarpēji pārveido protokolus, dodot pieeju šim tīklam caur internetu.



3.5. att. *Uponor R-167* modulis pieslēgts datortīklam.

Lai būtu iespējams novērtēt ēkas atbilstību normatīvo aktu prasībām energoefektivitātes jomā, tika uzstādīti vairāki termiskās enerģijas (siltumenerģija un aukstumenerģija) skaitītāji *SHARKY*, kā arī vairāki elektroenerģijas skaitītāji, kas sniedz informāciju ar periodiskumu ne retāk kā vienreiz diennaktī (atkarībā no konfigurācijas).

Uzstādot papildu aparāturu 2020. gada vidū kļuva iespējams sekot līdzi siltumnesēju temperatūrām un ventilācijas plūsmu ātrumiem, ne vien spiedienam kā iepriekš.

Nolūkā nodrošināt pārējo datu precīzu interpretāciju jau sākotnēji uzstādītais saules kolektora vārsts un tā sensors un pēcsildītāja vārsts un tā sensors tika pievienots ĒVS. Saules kolektora vārsts var būt atvērts vai nu virzienā uz zemi (siltumnesēja enerģijas izmēšana

kontūrā), vai virzienā uz bufertilpni (enerģijas uzkrāšanai), Savukārt pēcsildītāja vārsts var būt pilnīgi aizvērts (0%), pilnīgi atvērts (100%) vai jebkura vērtība pa vidu starp šiem galējiem stāvokļiem.

Ja iepriekš praktiski nebija pieejami ne reāllaika dati, ne dati ar apmierinošu detalizāciju (bija pieejami dati ar vienas darba dienas izšķirtspēju, skatīt 2.3. attēlu), tad pēc aparātūras uzstādīšanas datu apjoms, biežums un pārklājums ir pilnīgi pietiekams algoritmu izstrādei.

Vienlaikus jāatzīst, ka ēkā joprojām eksistē sistēmas, piemēram fotovoltāžas paneli, ko būtu vērts nākotnē pieslēgt pie ĒVS.

Savākie dati ļāva izstrādāt rīkus un ieteikumus apkures, ventilācijas un dzesēšanas sistēmu uzlabojumiem, kas varētu dot iespēju sasniegt augstāku energoefektivitāti, vienlaikus saglabājot labu termisko komfortu. Tomēr situācija ar pieejamajiem aktuatoriem nav optimāla – darba uzsākšanas brīdī ir pieejami lokāli kontrolējami aktuatori, taču nav pieejams neviens aktuators, kas būtu kontrolējams attālināti. Līdz ar to tika secināts, ka veiksmīgai algoritmu ieviešanai, nepieciešama vēl citas papildu aparātūras uzstādīšana ēkā.

Piemēram, darba gaitā tika uzstādīts *Uponor Smatrix Wave R-167* attālinātās kontroles modulis, kura funkcijās ietilpst iespēja izgūt datus no telpās uzstādītajiem termostatiem, kā arī tos attālināti regulēt. Diemžēl šī moduļa stabilitāte izrādījās nepietiekama – no tā iegūtie dati neatbilda īstenībai, tāpēc tika izlemts neuzticēt temperatūras regulāciju šim modulim. Arī citas silto grīdu sistēmas daļas nefunkcionēja kā nākas, piemēram, tika veikta telpas apsilde pat tad, kad mērķa temperatūra bija būtiski mazāka par telpas gaisa temperatūru, ko nomērījusi sistēma.(2)

Minētā moduļa stabilitāte tika uzlabota jau vēlāk, sistēmas uzturētājam veicot programmatūras atjauninājumu.

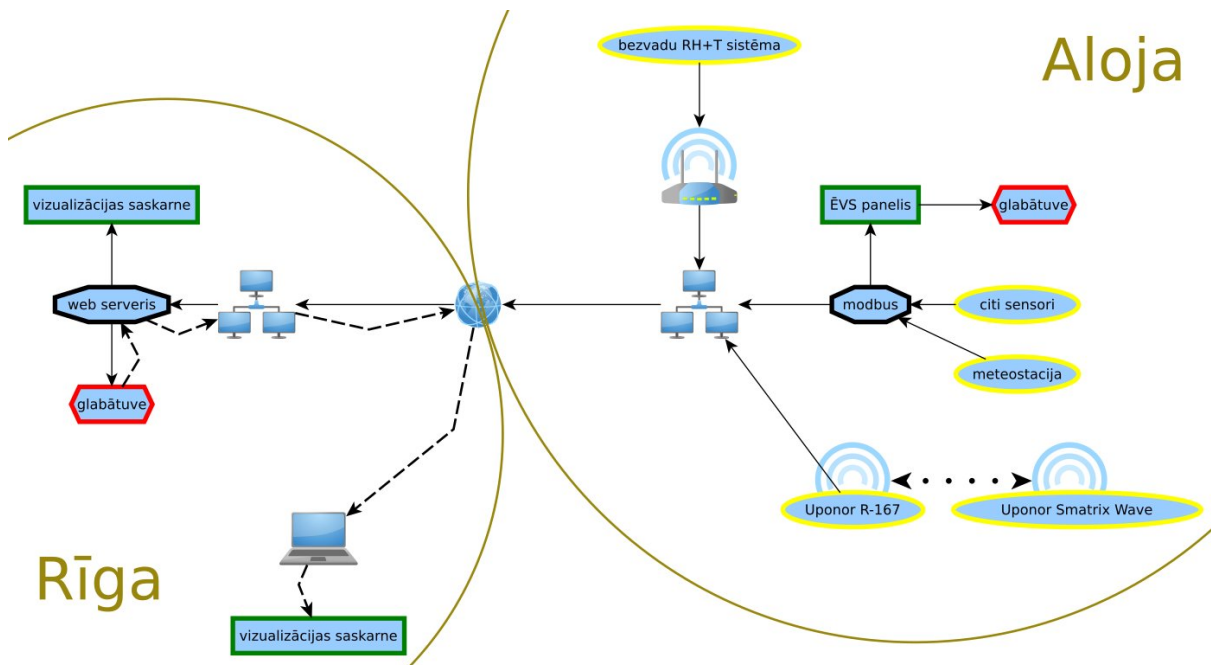
3.2. Datu savākšana

Iepriekšējā apakšnodaļā tika runāts par uzlabojumiem, kas tika veikti, lai būtu iespējams savākt nepieciešamos datus. Šajā apakšnodaļā ir aprakstīts autora paveiktais datu ievākšanas risinājuma izstrādē.

Tā kā ĒVS šajā gadījumā ir ieviesta izmantojot novecojušas tehnoloģijas, autors nolēma izmantot ārēju sistēmu, lai pieprasītu informāciju no visiem sensoriem, ieskaitot tiem, kas ir pieslēgti pie ĒVS.(2) Lai nodrošinātu pieeju temperatūras un relatīvā mitruma radījumiem, ko sarūpē radio-bāzētais tīkls, autors darba ietvaros izveidoja sistēmu (3.6. attēls), kas reizi

minūtē augšupielādē minētos datus (13 skaitļu pārus – temperatūru un relatīvo gaisa mitrumu) no kolēģa veidotās bezvadu radio sistēmas uz attālinātu serveri.

Dati ir apskatāmi reālajā laikā⁷, kā arī tiek saglabāti vēlākai vizualizācijai un analīzei. Nākotnē, kad būs pieejami aktuatori, šis datu koncentrators var tikt izmantots inteligēnto komandu padošanai ēkas sistēmu aktuatoriem.(2)



3.6. att. Sistēmas loģiskā līmeņa shēma ar ģeogrāfisko dalījumu.

Sistēmas shēmā (3.6. attēls) ar nepārtrauktajām (—) bultām attēlots informācijas plūsmas virziens, datus vācot, bet ar pārtrauktajām (- - -) bultām attēlota iespēja izgūt informāciju uz analītiķa darbstaciju / portatīvo datoru. Ar punktoto bultu (·····) apzīmēts *Uponor* radio tīkls.

Pēc tam tika pievienota iespēja ielasīt datus no *Uponor R-167*. Tas tiek darīts, izmantojot nedokumentēto *U@home* API, caur kuru teorētiski iespējams iegūt:

- vispārīgu sistēmas informāciju, kā, piemēram, moduļa sērijas numuru, programmatūras versiju, informāciju par dzesēšanu, brīvdienu režīmu un tā parametriem u.tml.;
- informāciju par katru kontrolieri, piemēram, programmatūras versiju, vai ir pieejams termostats, vai ir pieejams āra sensors, ienākošā siltumnesēja temperatūra u.c.;
- informāciju par katra kontroliera katru zonu, kā, piemēram, temperatūru no termostata, uzstādīto mērķa temperatūru un tās robežvērtības, informāciju par „ekoloģisko” (taupīgo) režīmu, zonas (telpas) nosaukumu, vidējo ražību procentos no laika,

⁷ <https://kirils.org/lu/aloja/>

informāciju par pazaudētu radiosignālu, bojātu aparatūru, dzesēšanas atbalstu, gaisa mitruma regulāciju utt.

Kā minēts iepriekš, sistēmā ir trīs kontrolieri un katram no tiem ir attiecīgi sešas, trīs un piecas zonas.

Galvenā priekšrocība šīs sistēmas pievienošanai autora izstrādātājai sistēmai ir iespēja normāli eksportēt un glabāt datus, kā arī apskatīt bezgalīgi ilgu vēsturi (pretstatā iepriekš konstatētajai nespējai eksportēt datus vispār un iespējai apskatīt laikā ļoti ierobežotu vēsturi).

Tā kā ēkā jau eksistēja ĒVS un tai bija pieslēgta neliela daļa sensoru, tad nākamajā solī autors izveidoja moduli, kas, izmantojot *MODBUS-over-TCP* protokolu(23), ielādē autora veidotajā centrālajā sistēmā pieejamos parametrus. Taču šim procesam bija zināmi apgrūtinājumi: tā kā konkrētā ĒVS atbalsta tikai naturālus skaitļus, tad autoram ar ĒVS uzturētāju jāvienojas par formātiem – kuri skaitļi drīkstēs būt negatīvi un kā to apzīmēsim, kā tiks kodēti daļskaitļi. Turklāt, ņemot vērā protokola specifiku(23), nav iespējams nodot informāciju, par to, kurš parametrs (pēc kārtas) satur, kuru fizikālo vērtību. Šī informācija ir jānodod manuāli, bet tikai vienreiz (un katru reizi, kad tiek papildināts parametru saraksts).

Vēlāk ĒVS *MODBUS* saskarnei tika pievienota J.Teličko izstrādātā meteostacija, kā arī dažādi industriālie sensori, kas uzskaitīti iepriekšējā apakšnodaļā, līdz ar to šobrīd caur šo saskarni centrālajā sistēmā nonāk aptuveni 60 dažādi parametri, pie kā vēl jāpieskaita 26 radio-bāzētā tīkla datu vienības un 160 vērtības no *Uponor* sistēmas (pa 11 vērtībām katrā no 14 zonām + 6 sistēmas līmeņa vērtības). Kopumā centralizēti, sinhronizēti katru minūti tiek savāktas gandrīz 250 dažādas vērtības, kas paver lieliskas iespējas datu korelācijai un cita veida analīzei. *MODBUS* priekšrocība ir tā, ka informāciju ir iespējams pieprasīt pat biežāk kā reizi sekundē, taču autors nolēma pieprasīt datus tikai reizi minūtē, jo tas ir pietiekami, lai varētu strādāt ar gandrīz jebkuriem datiem šajā sistēmā, varbūt izņemot vienīgi solārā starojuma sensoru, kura vērtība var strauji (pāris sekunžu laikā) svārstīties plašā diapazonā.

Lai gan Alojas ĒVS (skatīt 1.4. attēlu) ir sava iebūvētā glabātuve, tomēr tā nav izmantojama 1.4. apakšnodaļas noslēgumā aprakstīto iemeslu dēļ. Tāpēc tika meklēts risinājums veidot alternatīvu glabātuvi.

Datu glabāšana attālinātā sistēmā (nevis uz vietas) tika izvēlēta, jo ēkā nebija pieejama atbilstoša aparatūra, turklāt datortīkla konfigurācijas dēļ būtu apgrūtināta iespēja datiem piekļūt attālināti. Šādas sistēmas trūkums ir tas, ka interneta pārrāvuma gadījumā tiktu pazaudēti reāllaika dati, tomēr savienojums ir izrādījies stabils. Periodā no 2019. gada 14. februārim līdz 2020. gada 31. decembrim datu apmaiņa tika nodrošināta 99,92% laika,

turklāt autoram ir iespēja saņemt paziņojumu gadījumos, ja noticis datu saņemšanas pārtraukums. Risinājuma pluss ir tas, ka serverim tiek veidotas rezerves kopijas, kas nozīmē, ka ir ļoti maza varbūtība pazaudēt vēsturiskos datus.

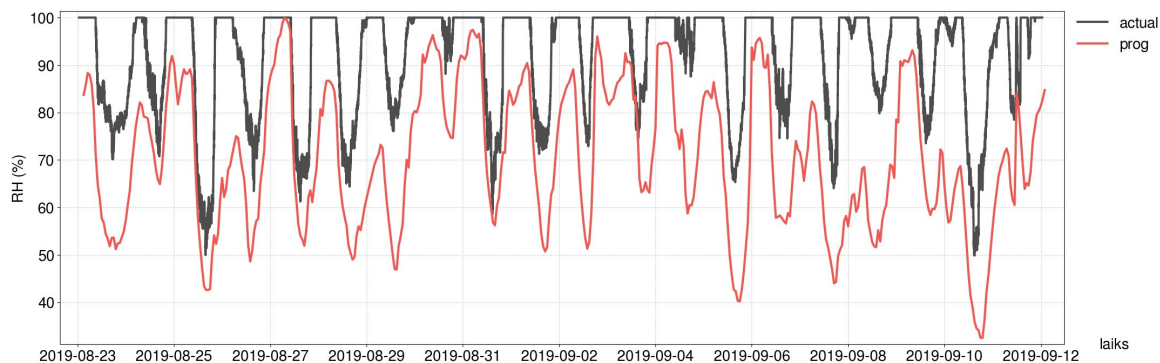
Dati tiek uzglabāti kompaktā mašīnlasāmā formātā – *CSV* jeb ar komatiem atdalīto vērtību formātā. Tas ir atvērts formāts, tāpēc to ir ērti gan pielāgot, gan apstrādāt ar dažādiem datu apstrādes rīkiem (pēc pētnieka izvēles), gan ir iespējams importēt izklājlapu programmatūrā. Piemērs pievienots 3. pielikumā. Pirmajā kolonnā ir laika zīmogs (sekunžu skaits kopš 1970. gada 1. janvāra plkst. 00:00 UTC), bet nākamajās kolonnās dažādi dati. Kolonnu nosaukumi pievienoti 4. pielikumā. Visu sistēmu stāvoklis tiek saglabāts vienlaicīgi – vienreiz minūtē, tādējādi pat vēsturiskie dati ir apskatāmi ļoti lielā detalizācijā.

Tā kā datne nesatur nekādus aizsargājamus datus, tad šo datni ir iespējams brīvi lejupielādēt apstrādei uz sava datora no jebkuras vietas internetā. Tas atvieglo datu apstrādi, padarot to iespējamu gan no Latvijas Universitātes telpām Rīgā, gan no Valmieras vai pat ārvalstīm, līdz ar to tiek ietaupīta nepieciešamība doties ceļā uz Aloju. Pēc datu lejupielādes tos ir iespējams vizualizēt, izmantot īpašu autora izstrādātu vizualizācijas saskarni. Arī uz tīmekļa servera kirils.org/lu/aloja ir pieejama datu vizualizācija, bet citā formātā. Tādējādi, dati ir viegli lietojami analīzei.

Papildus šiem datiem sistēma ievāc arī operatīvo prognozi ar izšķirtspēju viena stunda. Prognoze tiek iegūta koordinātām 57° 46' 15.1536" Z 24° 49' 9.1416" A no ārēja servisa, ko nodrošina Latvijas Universitātes Skaitliskās modelēšanas institūta pētniecības projekts⁸ U.Bethera vadībā. Prognozes atjaunināšanas biežums ir 4 stundas un tā pieejama par laika periodu līdz pat divas diennaktis uz priekšu. Šīs prognozes piesaistes mērķis ir divējāds:

1. to var izmantot, lai atpakaļejošā laikā attālināti novērtētu uzstādīto sensoru korektu darbību;
2. ar tās palīdzību iespējams izveidot labākus algoritmus ĒVS vadībai.

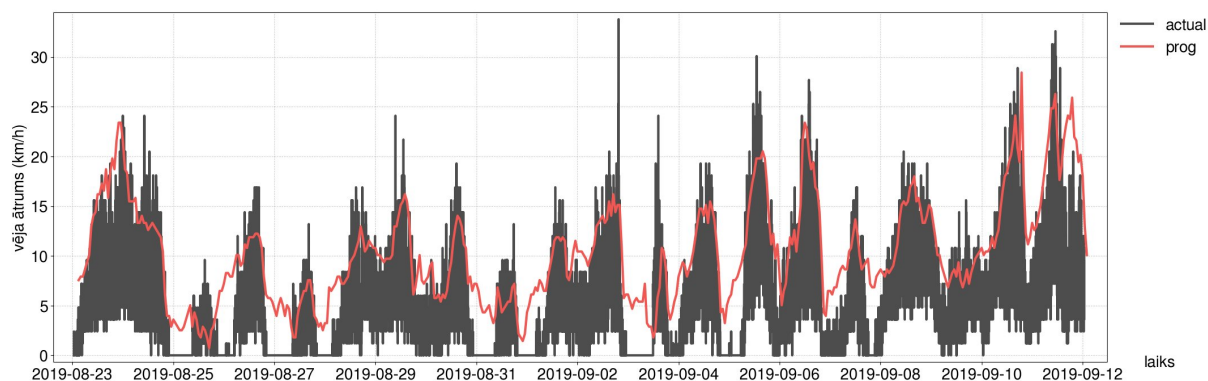
8 <http://meteo.modlab.lv/>



3.7. att. Meteostacijas relatīvā gaisa mitruma sensora darbības pārbaude.

Piemēram, 3.7. attēlā redzams, kā tiek pārbaudīta meteostacijas relatīvā gaisa mitruma sensora (melnā līnija) pareiza darbība pret prognozi (sarkanā līnija) atbilstošajā laika brīdī. No datiem redzams, ka sensors ir bojāts – tas sistemātiski uzrāda augstāku vērtību nekā prognoze un augstāku kā to uzrādīja kontrolmērījumi.

Salīdzinājumam, 3.8. attēlā redzams vēja ātrums no meteostacijas, kas uzstādīta uz ēkas jumta (melnā līnija) pret prognozi (sarkanā līnija) tajā pašā laika periodā.. Redzams, ka te sensors ir darba kārtībā un arī prognoze ir gana precīza par spīti tuvumā esošajam koku masīvam.

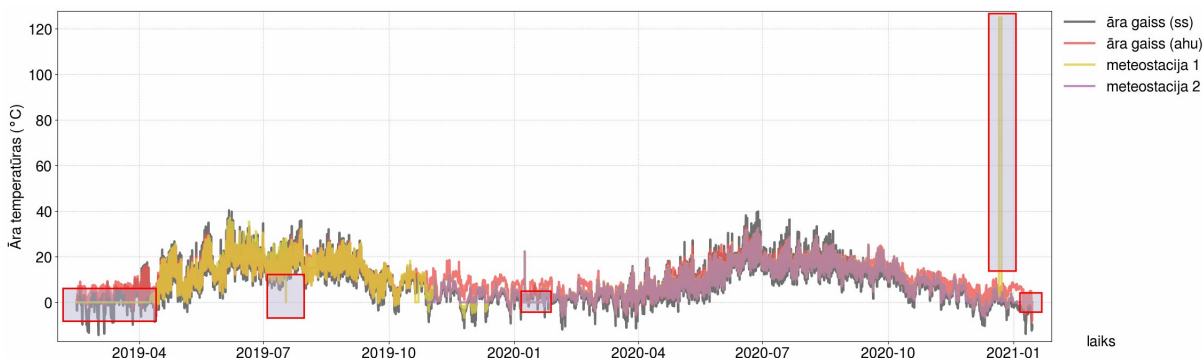


3.8. att. Meteostacijas vēja ātruma sensora darbības pārbaude.

3.3. Datu priekšapstrāde

Diemžēl, neskatoties uz lielo darbu, kas ieguldīts papildu sensoru pieslēgšanā un konfigurēšanā, sensori ne vienmēr atgriež korektus datus, jo to protokolos nav iestrādāta automātiska kļūdu korekcija. Šajā projektā ar nekvalitatīviem datiem autoram visbiežāk nācās saskarties, apstrādājot *Uponor* datus un radio-bāzētā tīkla datus. Vēl viens iemesls biežajām kļūdām ir tas, ka konkrētajā *MODBUS* protokola versijā nav paredzēts atsevišķs lauks (vai atsevišķs bits), kas norāda, ka vērtība ir nepareiza. Kā jau minēts agrāk – ir iespējams nosūtīt

tikai skaitļus. Piemēru šādām kļūdām var apskatīt 3.9. attēlā (kļūdas atzīmētas ar sarkanu malu taisnstūriem).



3.9. att. Āra temperatūras ilgākā laika periodā.

Lai datus sagatavotu vizualizācijai un tālākai analīzei, ir iespējams veikt datu priekšapstrādi un izņemt kļūdainos datus no datu kopas.

Pirmais priekšapstrādes solis ir datu sinhronizācija. Ņemot vērā dažādos protokolus un avotus, dati no dažādiem avotiem atnāk dažādos brīžos un ar dažādu biežumu. Taču, izejot no pieņēmuma, ka tie jebkurā gadījumā ir reāllaika dati, sinhronizācija ir veicama šādā veidā:

1. Katram avotam ir iekārtojama sava „vieta” uz servera.
2. Kad avota dati atnākuši, tie tiek ierakstīti noteiktajā pagaidu „vietā”.
3. Serveris (neatkarīgi no avotu grafikiem) precīzi reizi minūtē savāc visus datus no visām pagaidu „vietām”, pārbauda laika marķējumu, ja tāds ir, un ieraksta datus kopējā datnē vienā rindā.

Piezīme. No radio-bāzētā tīkla dati ienāk diezgan nestandarta formā, tomēr tos ir iespējams apstrādāt, jo formāts pats par sevi ir atvērts. Tie tiek apstrādāti, konvertējot datumu uz nepārprotamu formātu, kā pārējiem ierakstiem.

3.3.1. Manuāla apstrāde

Runājot par mazskaitlīgiem datiem, piemēram, 2.2. apakšnodaļas sākumā pieminēto ar roku veidoto izklājlapu tabulu (2.2. attēls), kas satur vienu datu komplektu dienā, to ir iespējams salabot ar roku.

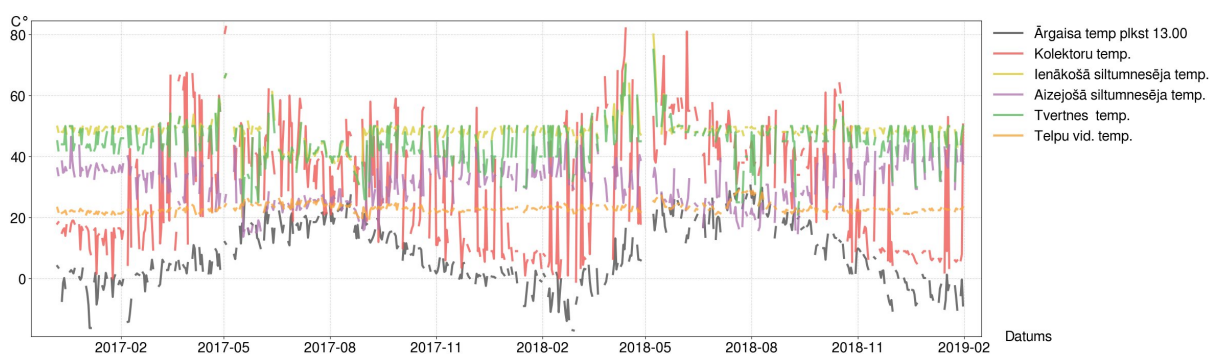
Pielietotais algoritms ir sekojošs:

1. Konkrētā datu kopa jāattēlo grafiski, savienojot datu punktus.

2. Pievērš uzmanību jebkādām anomālijām (atkarībā no datu veida) – pārāk straujai vērtību izmaiņai, pārāk zemām vai augstām vērtībām, kritumiem, ja datu kopai jābūt stingri augošai⁹.
3. Visus potenciāli anomālos punktus atzīmē.
4. Atver datu kopu skaitliskā veidā un analīze šos punktus.
5. Apskata iepriekšējo un nākamo vērtību konkrētajā datu kopā, piemēram:

iepriekšējā	345,00
anomālā	3,48
nākamā	350,00
6. Izdara secinājumu par anomālo vērtību un aizvieto ar ticamo vērtību, ja iespējams; šajā gadījumā – 348,00.

Autora pieredzē anomālās vērtības var saturēt kādu nejaušu papildu ciparu, nepareizi novietotu decimālo atdalītāju, vai nesaturēt ciparus vispār.



3.10. att. Ar roku vadītā datu kopā (manuāli apstrādāta) par 2 gadu periodu.

Pēc tam, kad visas kļūdas salabotas vai nederīgie datu punkti dzēsti, var atgriezties pie 1. soļa un mēģināt vēlreiz attēlot datu kopu grafiski. 3.10. attēlā redzamas vairākas datnē esošās datu kopas reizē. Vizuāli varam secināt, ka datu priekšapstrāde ir veiksmīgi noslēgusies un dati ir fizikāli ticami.

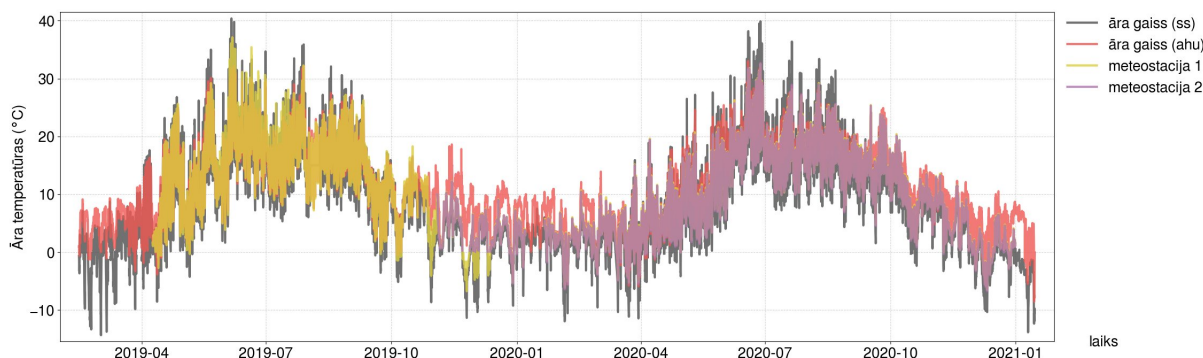
3.3.2. Automatizēta apstrāde

Lielāku datu kopu apstrādāt ar roku nav iespējams. Ja datnē tiek glabāti ieraksti par katru minūti, tad gada laikā sakrājas vairāk kā pus miljons ierakstu, tādējādi apstrāde ar roku ir izslēgta laika resursa dēļ.

⁹ Jāpievērš īpaša uzmanība gadījumiem, kad tiek nomainīts enerģijas skaitītājs.

Lielām datu kopām, atkarībā no fizikālā lieluma veida, ir pielietojami sekojoši automatizētie algoritmi¹⁰:

1. Augošiem datiem (piemēram, skaitītājiem) – dzēst (atkārtot rekursīvi) visas kopas vērtības x_n , kur
 - 1.1. $x_n < x_{n-1}$ un $x_{n+1} = x_n$
vai
 - 1.2. $x_n < x_{n-1}$ un $0,75 < |x_{n+1} / x_{n-1}| < 1,33...$
2. Temperatūrām (izņemot ar ārtelpu saistītām temperatūrām) un pozitīvajiem skaitītājiem – dzēst visas vērtības, kas ir 0,0 °C vai mazākas.
3. Temperatūrām (visām) dzēst visas vērtības, kas ir mazākas par -90,0 °C vai ir lielākas par +90,0 °C.
4. Temperatūrām (visām) dzēst visas vērtības, kas ir precīzi vienādas ar 0,0 °C. Tas ir pieļaujams, jo šāda temperatūra nozīmē vai nu datu pārradies kļūdu, vai īstu vērtību. Ja tā ir īsta vērtība, tad ar lielu varbūtību tās blakus vērtības nebūs tieši 0,0 °C.
5. Relatīvajam gaisa mitrumam dzēst visas vērtības, kas ir lielākas par 100,0 %, vai kas ir vienādas vai mazākas par 0,0 %.
6. CO₂ rādījumiem dzēst visas vērtības, kas ir mazākas par 200 ppm.

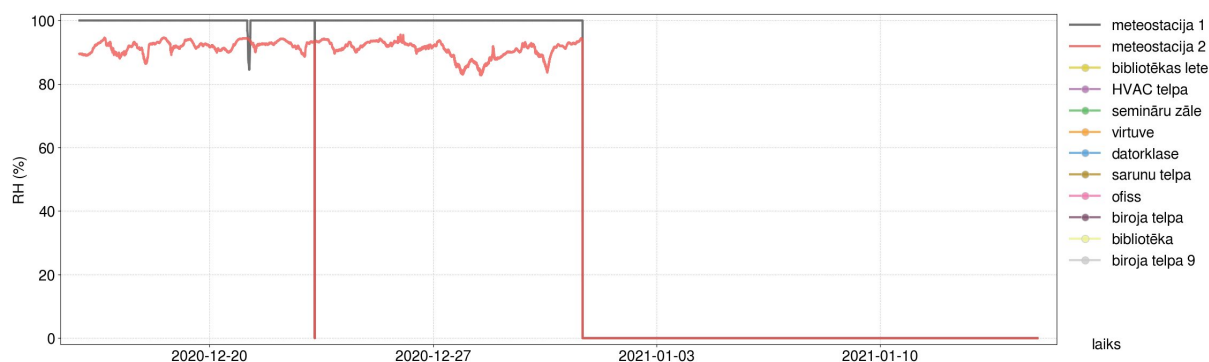


3.11. att. Āra temperatūras ilgākā laika periodā (pēc automatizētas apstrādes).

Šie algoritmi „izķers” lielāko daļu nepareizo datu (taču nebūt ne visus), ar ko varam saskarties ĒVS. Problemātiskos datus, ko rada pastāvīgas problēma, piemēram, bojāts sensors vai konfigurācijas kļūda, nāksies meklēt ar manuālo metodi. Kā redzams 3.11. attēlā, kurā attēloti tie paši dati, kas 3.9. attēlā, šajā gadījumā visas kļūdainās vērtības ir dzēstas.

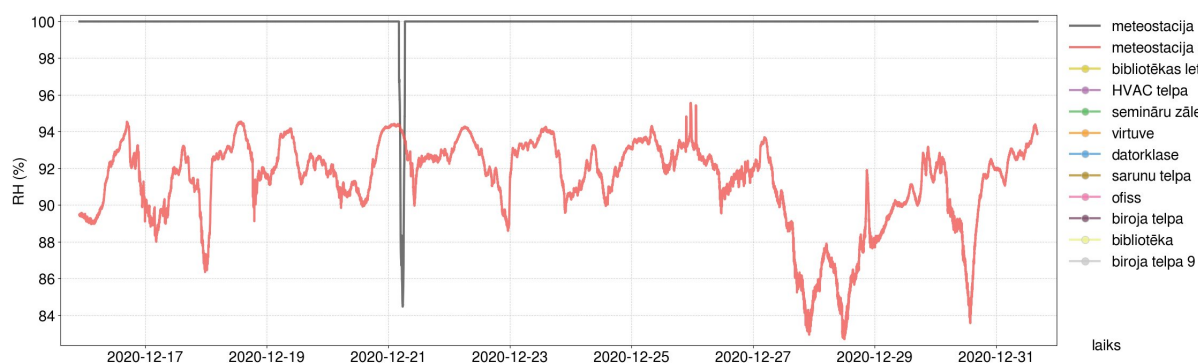
¹⁰ Šie nav soļi, bet algoritmi. Jāizpilda visi algoritmi, kas attiecas uz konkrēto datu kopu.

Vēl viens piemērs.



3.12. att. Relatīvais gaisma mitrums 30 dienu periodā.

Varam redzēt, ka pēdējā laikā radio-bāzētais tīkls nedarbojas vispār (3.12. attēls). Redzam arī, ka meteostacijas vecais sensors gandrīz vienmēr rāda 100% relatīvo gaisma mitrumu, bet jaunais darbojās līdz gadumijai. Apskatot 3.13. attēlu, redzams, ka algoritmiem izdevās novērst nepareizos datus tikai jaunajam meteostacijas sensoram. Protams, atjaunot trūkstošo radio-bāzēto tīklu vai salabot veco sensoru algoritmiski nav iespējams, bet arī šis it kā nelielais labojums padara datus daudz pārskatāmākus.



3.13. att. Relatīvais gaisma mitrums 30 dienu periodā (pēc automatizētas apstrādes).

3.4. Datu vizualizācija

Lielākā daļa ēku apsaimniekotāju un, pavisam noteikti, bibliotēkas „SALA” uzturētāji nav gatavi iedziļināties garās un sarežģītās skaitļu tabulās. Ja informācija nav viegli uztveramā veidā, tad viņš to palaidīs garām, nesapratīs, vai neņems vērē. Gluži pretēji – ja informācija ir viegli uztveramā veidā, viņš izmantos šo informāciju ēkas regulācijā, t.sk. analizējot tendences.

Pat, ja eksperts ir gatavs tam veltīt laiku, tad pirmkārt ir svarīgi, lai šādas tabulas (vēsturiskie dati) vispār ir pieejami; apskatot vienu atsevišķu momentānu rādījumu arī eksperts nesapratīs kontekstu un cēloni un nevarēs nonākt pie slēdziena par labāko rīcību.

Diemžēl nebūt ne visiem ĒVS ir iespēja apskatīt datus ērtā vizuālā veidā vai vismaz redzēt pārskatāmu tabulu ar vēsturiskajiem datiem par vairākiem parametriem reizē.

Tāpēc šī darba ietvaros autors ir izstrādājis vairākus datu vizualizācijas risinājumus.

3.4.1. Tiešsaistes reāllaika vizualizācija

Pirmais variants ir sasniedzams uz centralizēto datu servera adresē kirils.org/lu/aloja.



3.14. att. Temperatūras, mērķu, relatīvā gaisa mitruma vizualizācija pa ēkas telpām.

Adresē tiek dota iespēja ēkas plāna formā apskatīt (3.14. attēls) savāktu informāciju par katras telpas temperatūru (zaļā krāsa) un mērķa temperatūru (zilā krāsa) (no termostatiem) un alternatīvo temperatūras rādījumu (zaļā krāsa – otrā rindā), kā arī relatīvo gaisa mitrumu (karmīnsarkana krāsa) (no radio-bāzētā tīkla). Telpas krāsa mainās atkarībā no tā brīža temperatūras telpā, kur 14 °C tiek attēloti kā spilgti zila fona krāsa, bet 26 grādi – tumši oranža, līdz ar to ir iespēja ļoti ātri iegūt pārskatu gan par kopējo situāciju, gan par potenciālām lokālām anomālijām. Attēlā katrā telpā otrajā un ceturtajā rindā uzrādās pazīme „XXX”, kas nozīmē, ka informācija no radio-bāzētā tīkla nav pieejama.

Kartes labajā pusē redzama informācija par telpām tabulas veidā (3.15. attēls). Tabulā redzama arī papildu informācija, kā, piemēram, telpas nosaukumus un siltās grīdas statuss (parastais vai ekonomiskais režīms, vai šobrīd grīda tiek sildīta vai dzesēta, vai arī vārsts ir ciet).

Laiks: 25.05.2019. 17:47:11

id	telpa	temp t, °C	temp r, °C	RH, %	laiks
-3	19 elektrosadale	22.3 → 20.0 📉🔴			
-2	9 biroja telpa	21.7 → 20.0 📉🔴			
-1	22 gaitenis	23.8 → 13.0 📉🔴			
9	5 bibliotēkas lete	23.1 → 15.1 📉🔴	24.44	41.47	25.05.2019. 17:47:15
10	20 HVAC telpa		21.78	43.21	25.05.2019. 17:47:34
17	6 semināru zāle	23.1 → 15.1 📉🔴	24.81	41.53	25.05.2019. 17:47:08
18	13 virtuve	22.3 → 20.0 📉🔴	23.47	43.87	25.05.2019. 17:47:20
25	8 datorklase	23.7 → 13.0 📉🔴	23.43	40.38	25.05.2019. 17:47:10
26	12 sarunu telpa	21.3 → 20.0 📉🔴	22.80	41.53	25.05.2019. 17:47:06
33	7 ofiss	24.8 → 15.1 📉🔴	23.93	42.63	25.05.2019. 17:46:56
34	11 biroja telpa	21.2 → 20.0 📉🔴	22.04	44.59	25.05.2019. 17:46:42
41	5 bibliotēka	23.5 → 15.5 📉🔴	24.70	41.06	25.05.2019. 17:46:46
42	10 biroja telpa	21.3 → 20.0 📉🔴	22.75	40.83	25.05.2019. 17:47:16

3.15. att. Katras telpas temperatūra un citi parametri.

Zemāk pieejama detalizēta informācija par sistēmu kopumā (aptuveni 60 parametri). Dažas no datu kopām redzamas 3.16. attēlā.

Laiks: 19.01.2021. 21:04:02 [[malīnā](#)]

ENE.SIL.SAR.APK(SS)	Apkurei saražotā siltuma daudzums	73.69	MWh
ENE.SIL.SAR.KU(SS)	Karstam ūdenim saražotā siltuma daudzums	42.36	MWh
ENE.ELE.IZL.APK(SS)	Apkurei patērētais elektrības daudzums	15.80	MWh
ENE.ELE.IZL.KU(SS)	Karstam ūdenim patērētais elektrības daudzums	10.40	MWh
GAI.IEK.TEM.SM	Siltumsūkņa telpas temperatūra	20.3	°C
GAI.ARA.TEM(SS)	Siltumsūkņa āra gaisa temperatūra	-16.8	°C
VEN.PEC.TEM.1	Siltumsūkņa ventilācijas (pēcsild.) temperatūra	28.7	°C
UPO.TEM.1	Siltumsūkņa grīdas apkures temperatūra	36.0	°C
SS.EKA.TEM.1.APK	Siltumsūkņa trases uz apkuri temperatūra	43.6	°C
SS.EKA.TEM.1.BUF	Siltumsūkņa trases uz akumulāciju temperatūra	38.5	°C
BUF.TEMPAPA	Siltumsūkņa apakš. akumulatora temperatūra	28.7	°C
BIETEMPAUGIKUTEM	Siltumsūkņa karstā ūdens temperatūra	40.8	°C

3.16. att. Pilno datu kopu reāllaika skats (attēlota augšējā daļa).

Nospiežot uz jebkura skaitļa, kas ir zilā krāsā (sākumā jāizvēlas poga „TIKAI DATI”), atvērsies skats (3.17. attēls), kur varēs redzēt pēdējās nedēļas vērtības šim parametram. Attēlošana veidota tā, lai būtu viegli uztverama pēc fona krāsas. Melna krāsa nozīmē, ka šūnā dati nav pieejami. Pārējās krāsas (pāreja zils-violets-oranžs) tiek dinamiski sasaistītas ar vērtībām tā, lai zemākajai vērtībai būtu zils fons, bet augstākajai – oranžs. Nulles ir pelēkas.

Konkrētajā piemērā uzreiz vizuāli pamanāms interesants fenomens, ka āra gaisa temperatūra bija zem -10 °C tikai darba laikā un tikai divas darba dienas. Protams, dati jāprot interpretēt un šoreiz dati neatbilst patiesībai, jo tie jāskata kopskatā ar pieplūdes vārsta atvēršanu un pašu pieplūdes ātrumu – gaisam nekustoties (neienākot jaunam gaisam no āra), sensors, kas īstenībā ir caurules iekštelpas daļā, uzsilst kopā ar nekustīgo gaisu un uzrāda nefizikālas vērtības.

Pēdējās nedēļas dati. Vētrība katras stundas 30. minūtē.

AHU āra gaisa temperatūra °C

VEN.TEM.I1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2021-01-12							3.3	3.2	1.4	0	-0.3	-0.3	-0.5	-0.5	-0.7	-1.1	-1.3	-1.3	-1	1.6	2.3	3.3	3.8	4.4
2021-01-13	4	4.2	4.7	4.8	5	5	4.8	4.8	0.4	-1.3	-1	-0.5	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-1	-1.1	-1	2.4	3.6	4.4	4.8	4.8
2021-01-14	4.8	4.8	4.4	3.9	3.3	2.6	2.4	1.8	-5.3	-8.1	-8.5	-8.2	-7.6	-7.4	-7.5	-7.7	-8	-7.8	-6.9	-2.6	-1.3	-0.9	-0.3	-0.3
2021-01-15	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-1.8	-3.5	-4.5	-11.5	-14.2	-13.2	-12.3	-11.9	-11.4	-11.3	-11.9	-13.3	-14.2	-13.9	-8.6	-7.3	-6.5	-6.3	-6.5
2021-01-16	-6.7	-4.8	-4.4	-3.8	-3.4	-2.4	-1.9	-2.8	-10.6	-13.5	-13.6	-13.5	-13	-13.3	-13.3	-14	-15.2	-15.8	-15.5	-10.1	-8.8	-9.6	-9.3	-9.3
2021-01-17	-9.5	-9.3	-7.8	-7	-6.8	-6.8	-7.8	-8.8	-9	-8.8	-7.4	-6.5	-5	-3.5	-2.1	-1.9	-2	-1.5	-1.1	-1.2	-1.5	-0.9	-0.6	-1.1
2021-01-18	-0.3	0	-0.7	-0.5	-1	-0.4	-1.4	-1.3	-6.3	-7.6	-7	-6.3	-6	-6	-5.9	-6	-6.4	-6.6	-5.9	-3.2	-2.5	-1.9	-1.4	-1.7
2021-01-19	-1.3	-0.8	-0.8	-1.5	-1.1	-1.1																		

3.17. att. Viena parametra nedēļas vēsture.

Ir pieejams arī stundas skats (3.18. attēls).

[\[atpakaļ \]](#)

Pēdējās stundas dati.

Vēja ātrums km/h

GAI.ARA.VAJ.ATR	
14:58	3.6
14:59	3.6
15:00	4.8
15:01	6
15:02	0
15:03	6
15:04	2.4
15:05	6
15:06	7.2
15:07	6
15:08	4.8
15:09	3.6
15:10	8.4
15:11	3.6
15:12	8.4
15:13	8.4
15:14	4.8
15:15	9.6
15:16	9.6
15:17	6
15:18	8.4
15:19	3.6
15:20	3.6
15:21	0
15:22	2.4
15:23	4.8
15:24	1.2
15:25	2.4
15:26	3.6
15:27	2.4

3.18. att. Parametra vēsture (stundas).

Līdzīgu vizualizācijas metodi iespējams izmantot arī analīzei gada griezumā (vertikāli attēlot 54 gada nedēļas, bet horizontāli – 24 diennakts stundas, katru datu punktu iekrāsojot

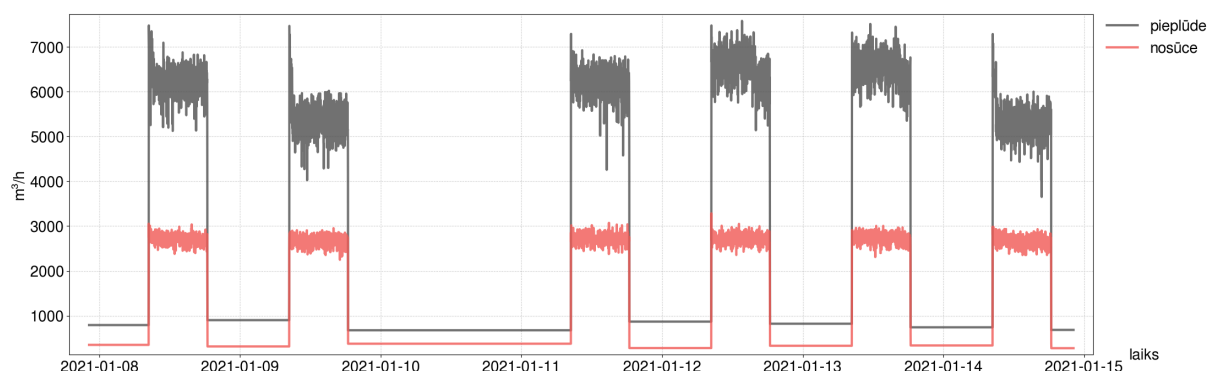
atkarībā no tā vērtības). Tā ir lietderīga ilgtermiņa tendenču analīzei, taču uz centralizēto datu servera tā nav pieejama, jo serveris iecerēts izmantošanai reālajā laikā, turklāt datu sagatavošana šādā griezumā rada būtisku papildu slodzi uz serveri.

3.4.2. *Analītiskais vizualizācijas rīks*

Pirmā varianta gadījumā dati tiek attēloti reālajā laikā bez kvalitātes kontroles. Otrs vizualizācijas variants ir izmantot autora izstrādātos lejupielādes, apstrādes un vizualizācijas rīkus (skatīt 5. pielikumu). Šis veids ļauj apvienot datus no dažādiem laika periodiem un parametru kopām, veikt to apstrādi izmantojot komandrindas rīkus, kā arī iegūt dinamisku pārskatu ar iespēju apskatīt tuvāk interesējošās daļas.

Šajā gadījumā grafiku radīšana notiek tajā brīdī, kad analītiķis to pieprasa uz sava datora. Grafiku veidošana notiek izmantojot tā saucamos skriptus un atvērtā koda komandrindas datu vizualizēšanas lietotni `chart`¹¹, ko veidojis un uztur K.Solovjovs.(2)

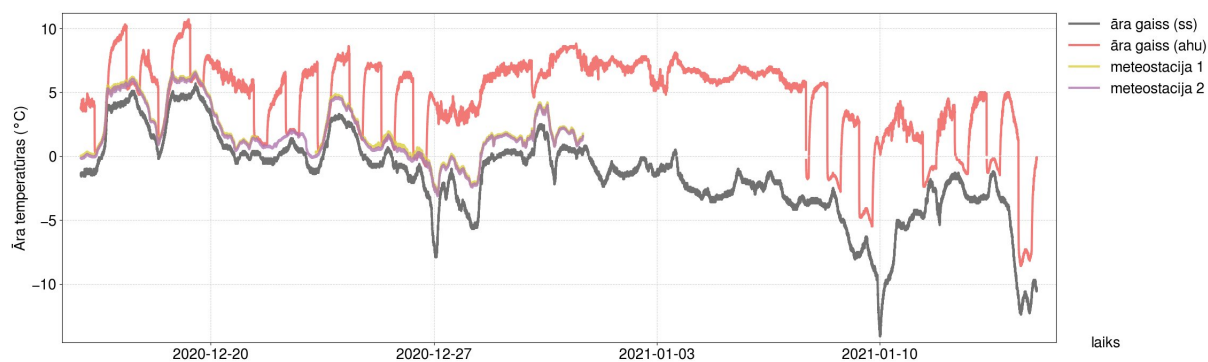
Lūk, piemēram 3.19. attēlā var redzēt pieplūdes un nosūces ātrumus. Skaidri redzams, ka ventilācijas sistēma (beidzot!) konfigurēta strādāt ar samazinātu jaudu ārpus darba laika.



3.19. att. Pieplūdes un nosūces plūsmas ātrums 7 dienu griezumā.

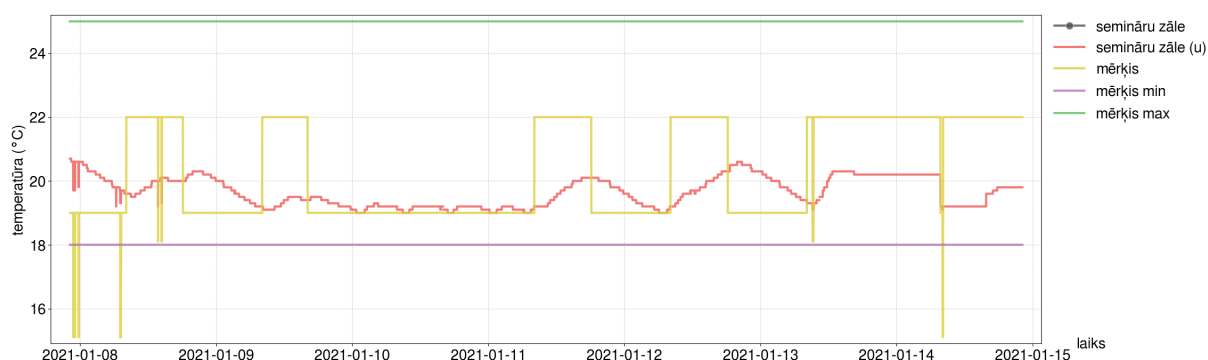
Tāpat varam apskatīt arī āra gaisa temperatūru no dažādiem avotiem (3.20. attēlā).

¹¹ <https://github.com/0ki/presentation-toolkit>



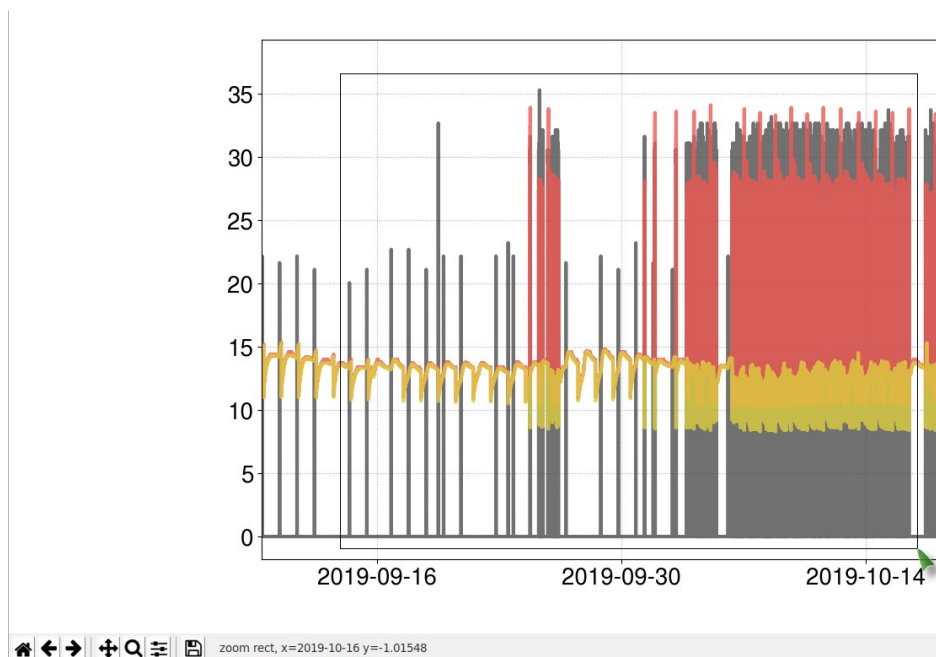
3.20. att. Ara gaisa temperatūra no dažādiem avotiem 30 dienu griezumā.

Redzam atkārtotu apstiprinājumu, ka meteostacija gadu mijā tiešam pārtrauca strādāt, jo citi dati caur *MODBUS* protokolu turpina tikt piegādāti; redzam arī būtisko atšķirību starp dažādajiem avotiem.



3.21. att. Semināru zāles temperatūra un mērķis.

Šeit (3.21. attēls) *Uponor* sistēma diezgan veiksmīgi seko līdzī uzstādītajam mērķim.



3.22. att. Datorprogrammas chart interaktīvais režīms (chart test).

Izmantojot chart interaktīvo režīmu (3.22. attēls), grafikus iespējams atvērt tādā veidā, lai tos būtu iespējams tuvināt, attālināt un analizēt.

3.5. Datu analīze un modeļi

Lai būtu iespējams veikt datu analīzi, pirmām kārtām ir nepieciešami kvalitatīvi dati. Pirmie pieejamie dati sistēmā ir radio-bāzētais tīkla dati no 2019. g. 14. februāra rīta. Kopš 2019. gada 3. marta (neilgi pirms vieniem naktī) ir pieejami dažādi *MODBUS* dati, t.sk. enerģijas skaitītāju dati, no oficiālās ĒVS. *Uponor* sistēmas dati ir pieejami kopš 2019. gada 5. aprīļa vakara, taču tie ir nekvalitatīvi, pieslēgums ir nestabils un ar pārtraukumiem, zināma stabilitāte *Uponor* datos iegūta gadu vēlāk – 2020. gada 10. jūlijā.

Sistēmai pievienoti vairāki būtiski skaitītāji enerģijas detalizētai uzskaitēi, kas kvalitatīvi funkcionē kopš 2019. gada 28. oktobra.

Informācija par saules paneļu darbību un to saražoto elektroenerģiju pieejama tikai no 2020. gada aprīļa, taču, ņemot vērā, ka paneļi joprojām nefunkcionē, šos datus var neņemt vērā jebkurā gadījumā.

Meteostacija (ar saules starojuma, temperatūras un relatīvā gaisa mitruma sensoriem) uzstādīta 2019. gada 9. aprīļa vakarā. Meteostacija papildināta ar vēja virziena un ātruma sensoriem 2019. gada 29. maijā neilgi pirms pusnakts. Tā darbojās stabili līdz 2020. gada 31. decembra 16:00, kad savienojums pārtrūcis, izņemot vēl vienu pārtraukumu no 2020. gada 7. janvāra līdz 21. janvārim (ieskaitot). Saules starojuma sensors darbojies nekorekti no

2019. gada 25. maija līdz 17. jūnijam (ieskaitot). Meteostacijā integrētais mitruma-temperatūras sensors sāka sniegt neuzticamus datus gandrīz uzreiz; meteostacija papildināta ar darbspējīgu sensoru 2019. gada 3. novembra vakarā.

Ar 2020. gada 12. marta Ministru kabineta rīkojumu Nr. 103(24) valstī izsludinātā ārkārtējā situācija ar mērķi ierobežot Covid-19. Pēc tam situācija vairākkārt pagarināta, atcelta un atkal aktivizēta (situācija nav atrisināta arī darba rakstīšanas brīdī), un būtiski mainījās ēkas ekspluatācijas režīms, brīžiem ēka bija apmeklētājiem vispār slēgta) līdz ar to dati, kas iegūti kopš 2020. gada 12. marta nevar tikt uzskatīti par tādiem, kas reprezentē tipisku cilvēku aktivitāti apskatāmajā ēkā.

Balstoties uz iepriekš minēto, autors nolemj analīzei izmantot sekojošus datu periodus:

1. gada griezuma un energoefektivitātes analīzei izmantot 365 dienu periodu no 2019. gada 4. marta līdz 2020. gada 3. martam (ieskaitot);
2. detalizētai analīzei apkures sezonā izmantot 30 dienu periodu (un īsākus) no 2020. gada 11. februāra līdz 11. martam (ieskaitot);
3. detalizētai analīzei gada siltajā periodā izmantot 30 dienu periodu (un īsākus) no 2020. gada 1. jūlija līdz 30. jūlijam (ieskaitot).

3.5.1. Datu analīze

Lai salīdzinātu ēkas faktisko enerģijas patēriņu ar to, kas norādīts energosertifikātā(18), apskatām elektrības patēriņa rādījumus 365 dienu periodā (3.1. tabula). Aprēķiniem izmantotā ēkas platība 526,20 m².

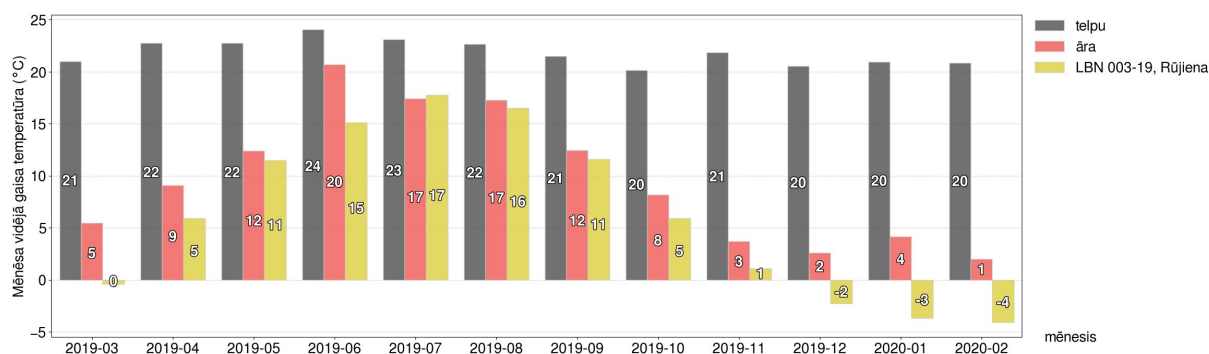
3.1. tabula

Ēkas enerģijas skaitītāju rādījumi 365 dienu periodā un patēriņa salīdzinājums

Skaitītājs	Rād., kWh 04.04.2019	Rād., kWh 03.04.2020	Fakt., kWh/y	Faktiski, kWh/(m ² ·y)	Sertifikāts, kWh/(m ² ·y)	Faktiskais patēriņš pret plānoto, %
Apkure #1	11810	14120	2310	4,38	14,91	13,44/14,91 = 90%
Apkure #2	17620	22390	4770	9,06		
Karstais ūdens	5810	8270	2460	4,68	6,54	4,68/6,54 = 72%
Ventilācija	75	2241	2166	4,12	3,79	4,12/3,79 = 109%
Apgaismojums	2001	4406	2405	4,57	7,06	4,57/7,06 = 65%
Dzesēšana	iekļauts apkures uzskaitē				0,00	iekļauts augstāk
Papildu	nav daļa no gNEĒ prasībām				5,80	netiek vērtēts
Kopā	--	--	14111	26,81	38,10	atbilst sertifikātam

Kā redzams 3.1. tabulā, tad ēkas ekspluatācija izvēlētajā laika periodā atbilst un pat pārsniedz ēkas energoefektivitātes sertifikāta prasības, lai gan atsevišķā pozīcija – enerģija, kas patērēta mehāniskajai ventilācijai – par 9% pārsniedz sertifikāta robežvērtību. Tas būtu skaidrojams ar to, ka ventilācijas sistēma nedarbojās adekvāti un intelligenti – tā darbojās tajā režīmā, kā bija iestatīta, neņemot vērā ēkas parametrus. Autoru un viņa kolēģu rekomendāciju rezultātā šī darbība tika uzlabota (3.19. attēls).

Tomēr atbilstība sertifikāta robežvērtībām negarantē, ka ekspluatācijas režīms bija optimāls. Šajā gadījumā vidējā temperatūra apkures (oktobris-aprīlis) mēnešos bija ne vien virs Latvijas normas(25) un Rūjienas normas(26), bet arī virs nulles, dažos mēnešos būtiski. Aukstākais mēnesis bija februāris, bet 2019. gada aprīlī vienu dienu temperatūra pietuvojās 25 °C.



3.23. att. Mēneša vidējās temperatūras un temperatūru normas.

Mēneša vidējās temperatūras redzamas 3.23. attēlā. Vidējās iekštelpu temperatūras iegūšanai izmantoti dati no radio-bāzētā tīkla, neņemot vērā apkures telpas gaisa temperatūru, savukārt āra temperatūras aprēķinam izmantots labākais tajā brīdī strādājošais sensors (meteostacija 2, meteostacija 1, ventilācijas sistēma). Mēneša vidējā norma (dzeltenā krāsa) iegūta no LBN 003-19 „Būvklimatoloģija”(26) 1. tabulas. Autors vērš lasītāja uzmanību uz faktu, ka mēneša vidējās temperatūras atbilstība termiskā komforta diapazonam, nenožīmē, ka nebija dienas un/vai telpas, kas atradās ārpus šī diapazona.

Lai minimizētu ievērojami maigākās ziema un apkures sezonas ietekmi uz energoefektivitātes aprēķina rezultātiem, autors tos pārrēķina, piemērojot atbilstošu koeficientu.

Sertifikāta(18) ievaddati autoram nav zināmi, bet ticams, ka aprēķina vajadzībām iekštelpu nominālā temperatūra tika pieņemta 20 °C. Savukārt faktiskā vidējā iekštelpu temperatūra laika periodā bija 21,1 °C.

Par vidējo āra gaisa temperatūru visdrīzāk ir izmantoti LBN 003-19 dati. Tā kā Aloja šajā normatīvā nefigurē, tad autors izvēlas tuvāko normatīvā atrodamo pilsētu, kas neatrodas pie jūras – Rūjienu. Nominālā vidējā apkures sezonas (oktobris-aprīlis) temperatūra Rūjienā ir 0,3 °C. Nomērītā faktiskā ir 5,0 °C.

Tātad sertifikāta aprēķinos varētu būt pieņemta $20 [^{\circ}\text{C}] - 0,7 [^{\circ}\text{C}] = 19,3 [^{\circ}\text{C}]$ starpība starp iekštelpu un āra vidējām temperatūrām.

Faktiskā starpība ir $21,1 [^{\circ}\text{C}] - 5,0 [^{\circ}\text{C}] = 16,1 [^{\circ}\text{C}]$. Tā kā siltuma zudumi pārnesei ir tieši proporcionāli temperatūras starpībai, tad apkurei būtu jāpiemēro koriģēšanas koeficients $19,3 [^{\circ}\text{C}] / 16,1 [^{\circ}\text{C}] \approx 1,2 [^{\circ}\text{C}]$.

Pārreķina rezultāti attēloti 3.2. tabulā. Koriģēšanas rezultātā ietekmētās tabulas šūnas atzīmētas, izmantojot fona krāsu.

3.2. tabula

Normētais gada energopatēriņš uz apsildāmo platību 365 dienu periodā ar korekciju

<i>Skaitītājs</i>	<i>Faktiski, kWh/(m²·y)</i>	<i>Koriģ. faktiski, kWh/(m²·y)</i>	<i>Sertifikāts, kWh/(m²·y)</i>	<i>Koriģ. faktiskais patēriņš pret plānoto, %</i>
Apkure #1	4,38	5,26	14,91	16,13/14,91 = 108%
Apkure #2	9,06	10,87		
Karstais ūdens		4,68	6,54	4,68/6,54 = 72%
Ventilācija		4,12	3,79	4,12/3,79 = 109%
Apgaismojums		4,57	7,06	4,57/7,06 = 65%
Dzesēšana	iekļauts apkures uzskaitē		0,00	iekļauts augstāk
Papildu	nav daļa no gNEĒ prasībām		5,80	netiek vērtēts
Kopā	26,81	29,50	38,10	atbilst sertifikātam

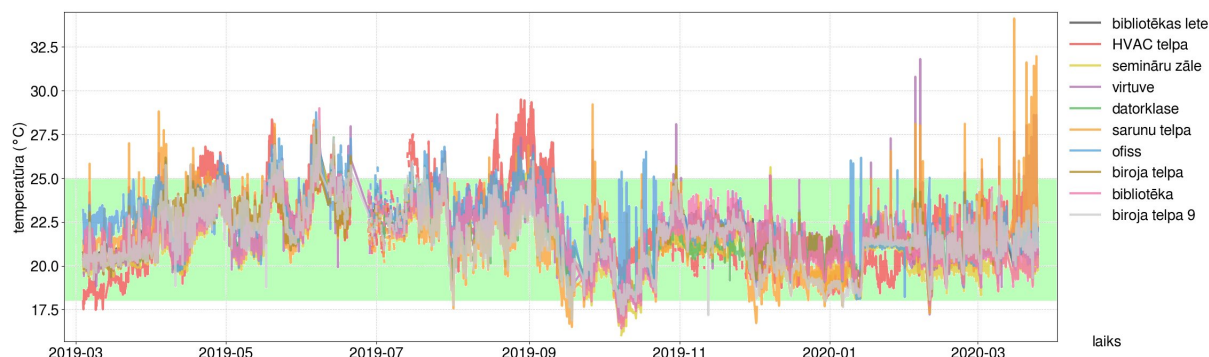
Ēka kopumā joprojām atbilst energosertifikātam, lai arī koriģētais apkures gada enerģijas patēriņš pārsniedz plānoto.

Turklāt jāpārlicinās, vai ēkā tika nodrošināts nepieciešamais termiskais komforts, tāpēc autors analizē katras telpas temperatūras maksimālās-minimālās temperatūras diapazonu. Iepazīstoties ar vadlīnijām ēku energoefektīvai ekspluatācijai(27), autors secina, ka konkrētajā ēkā, ņemot vērā tās pielietojumu, optimālu termisko komfortu var nodrošināt, ja telpu temperatūra ir diapazonā no 18 °C līdz 25 °C, pieņemot, ka darbiniekiem pieļaujams darbā atrasties īsā apgērbā (kreklā un šortos vai īsā kleitā). Salīdzinājums veikts 3.24. attēlā, kur redzams, ka siltajos mēnešos temperatūra¹² ir būtiski virs komforta koridora (taisnstūris

12 Sarkano līniju („HVAC telpa”) var ņemt vērā, jo šajā telpā nav paredzēts uzturēties ēkas lietotājiem.

zilganzaļā krāsā), bet gada aukstākajos mēnešos temperatūra vairākās telpās nokrītas ievērojam zem tā.

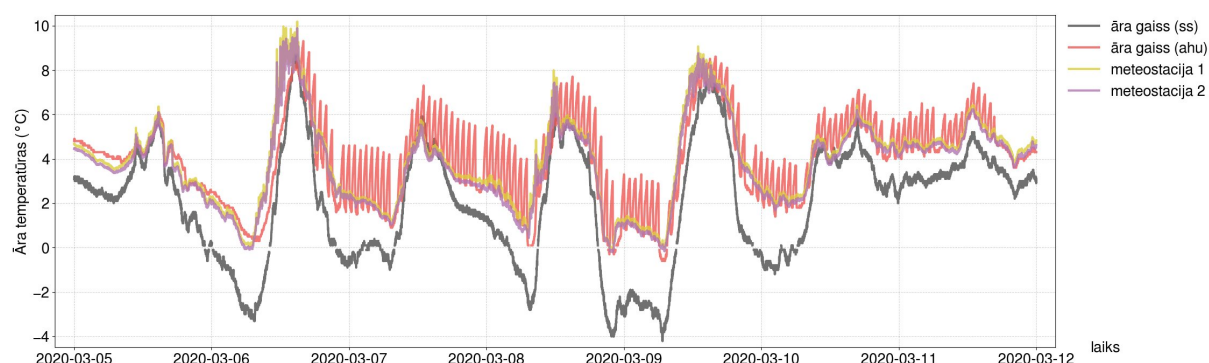
Darba autora un kolēģu darba rezultātā tika nodrošināts, ka jau 2020. gada vasarā dzesēšana darbojas un termiskais komforts uzlabots arī aukstajos mēnešos.



3.24. att. Katras telpas maksimālā-minimālā temperatūra katrās 24 stundās.

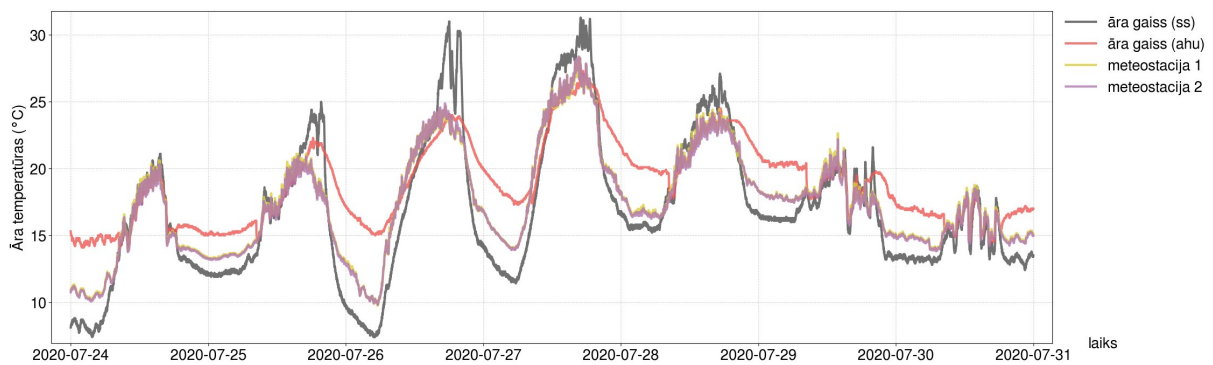
Attiecībā uz ēkas atbilstību pasīvās ēkas kritērijiem(28) ēkai jau eksistē atbilstošs atzinums, kas to apstiprina.(17) Ņemot vērā pasīvās ēkas kritērijus, autors neuzskata par lietderīgu analizēt savāktos datus šajā kontekstā.

Ēkas uzturētājs var izmantot visus iepriekš minētos rīkus arī ikdienas uzturēšanā, lai analizētu datus, paredzētu ēkas uzvedību un nodrošināt energoefektivitāti un optimālo termisko komfortu, taču viņam jāņem vērā fizikālie efekti, kas ietekmē sensorus un to sniegumu. Piemēram, 3.25. attēlā un 3.26. attēlā iekļauti četri sensori, kas mēra to pašu fizikālo lielumu (āra gaisa temperatūru), taču tā kā mērījumi tiek veikti dažādās vietās, tad, ka ziemā ventilācijas sistēmas mērītā temperatūra (sarkanā līnija) strauji kāpj, kad ventilācija ir izslēgta, bet siltumsūkņa āra gaisa temperatūra (melnā līnija) naktīs ir zemāka par faktisko.



3.25. att. Āra temperatūra ziemā 7 dienu periodā.

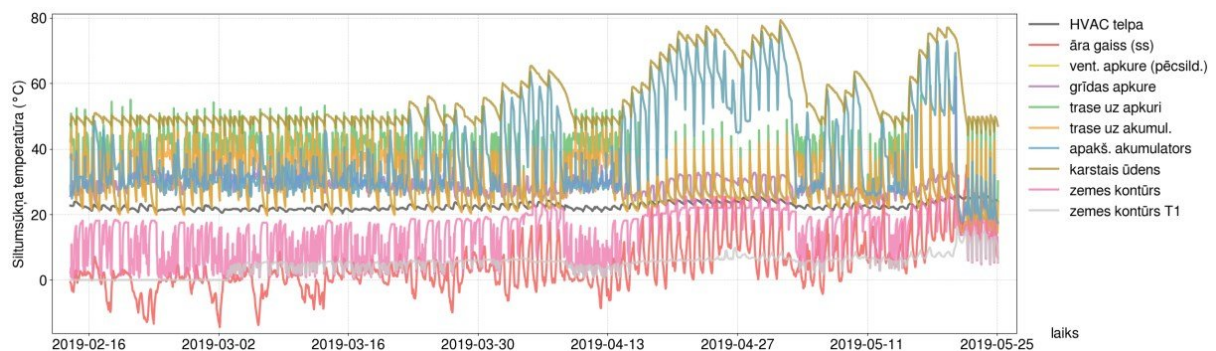
Savukārt vasarā (3.26. attēls) iepriekš minētos fenomenus papildina vēl viens – saules staru ietekmē meteostacijas (dzeltenā un violetā līnija) mērītā temperatūra ir lielāka par faktisko. Tas skaidrojams ar to, ka saules stari uzsilda sarkanbalto korpusu, kas savukārt uzsilda gaisu tajā, un nepietiekamā gaisa apmaiņa nenodrošina uzsildītā gaisa evakuāciju.



3.26. att. Āra temperatūra vasarā 7 dienu periodā.

Analizējot siltumsūkņa sniegto informāciju par dažādām temperatūrām (3.27. attēls), ieskaitot zemes kontūra siltumnesēja temperatūras (rozā un pelēkā līnija), grīdu apkures/dzesēšanas sistēmas temperatūru (violela līnija) un karstā ūdens temperatūru (zelta krāsas līnija), autors var novērot, ka, saules kolektoram nespējot nodrošināt karstā ūdens uzsildīšanu līdz 50 °C, ūdens tiek uzsildīts, izmantojot siltumsūkņa piegādāto siltumnesēju. Tomēr acīmredzami neeksistē saprātīga augšējā robeža un solārais starojums turpina sildīt karsto ūdeni pat tad, kad tas ir pārsniedzis 75 °C atzīmi.

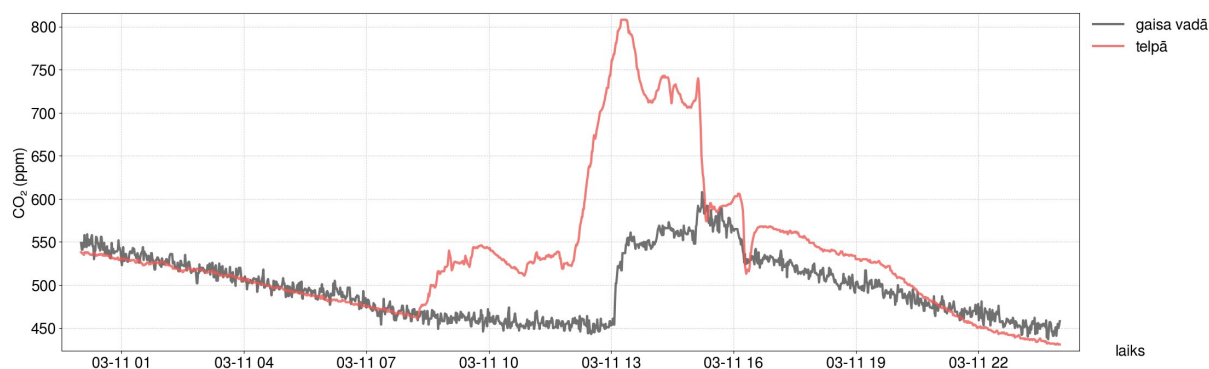
Acīmredzot, vārsts, kas novada lieko siltumu uz zemes kontūru un nodrošina temperatūras augšējās robežas ievērošanu, nedarbojas.(2) Problēma tika novērsta pēc autora rekomendācijām.



3.27. att. Siltumsūkņa sistēmas temperatūras 2019. gada sākumā.

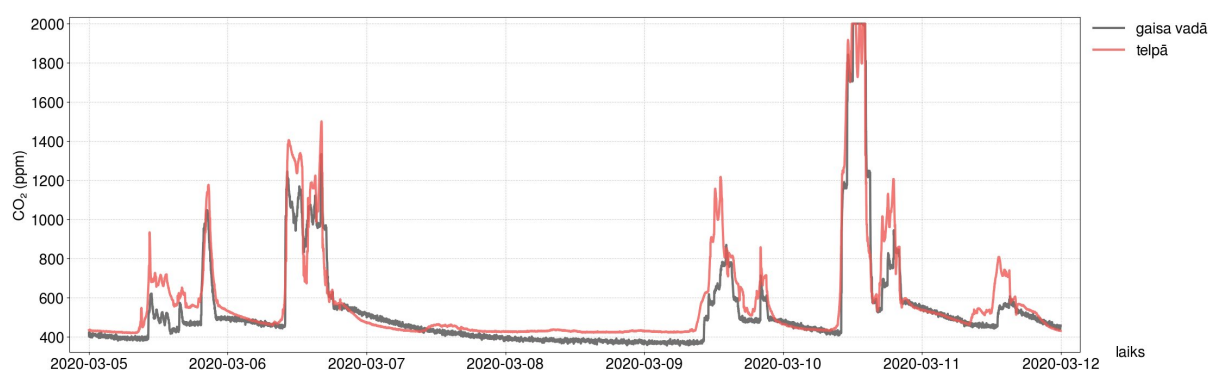
Ēkā ir uzstādīti divi oglekļa dioksīda gāzes sensori (to darbības diapazons ir līdz 2000 ppm), kas mēra tās koncentrāciju. Viens no šiem sensoriem atrodas semināru telpā, kas paredzēta 75 cilvēkiem, bet otrs sensors atrodas gaisa vadā, kas izmet izlietoto gaisu ārpus ēkas.

Kā var redzēt 3.28. attēlā, tad ventilācijas nosūces sistēma bija konfigurēta ieslēgties tad, kad CO₂ līmenis semināru telpā pārsniedz 800 ppm. Situācija, kur līmenis izmetes gaisa vadā ir lielāks par līmeni semināru telpā, ir skaidrojama ar to, ka caur gaisa vadu tiek izmests gaiss no visām telpām, ne tikai semināru telpas.



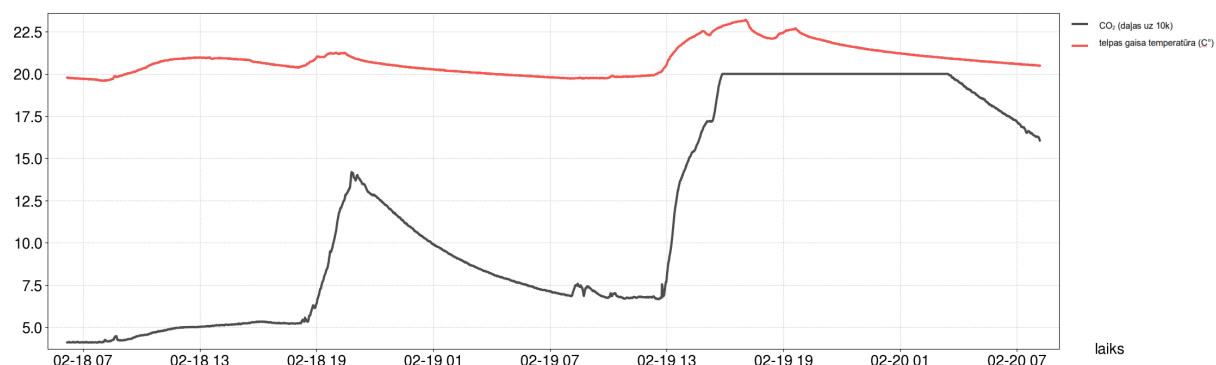
3.28. att. CO₂ koncentrācija 2019. gada 11. martā.

Diemžēl ventilācijas sistēma lielāku pasākumu laikā nespēj nodrošināt pieņemamu CO₂ līmeni, kas būtu mazāks par 1000 ppm (3.29. attēls).



3.29. att. CO₂ koncentrācija vienā 2019. gada marta nedēļā.

Gadījumos, kad semināru telpa tiek izmantota ilgstoši un/vai intensīvi, bija vērojama būtiska gaisa kvalitātes pazemināšanās (CO₂ koncentrācijas palielināšanās) līdz līmenim, kas pārsniedz 2000 miljona daļas. 2019. gada aprīlī pēc autora un kolēģu rekomendācijām, ventilācijas sistēmas darbības režīms (algoritms) tika mainīts uz agresīvāku un situācija nedaudz uzlabojās.(2)



3.30. att. Temperatūra un CO₂ koncentrācija semināru telpā.

Izmantojot pieejamos sensoru datus, ir iespējams aptuveni novērtēt cilvēku skaitu semināru telpā. 3.30. attēlā ir kombinēta informācija par CO₂ koncentrāciju un temperatūru. Kā jau sagaidāms – pie lielāka cilvēku skaita temperatūras kāpums ir straujāks. CO₂ kāpumu

būtiski ietekmē arī ventilācijas darbības režīms. Jāņem vērā, ka arī cilvēku aktivitātes intensitāte ietekmē attēlā redzamos parametrus.

Diemžēl autoram nebija iespējams iegūt informāciju par faktisko cilvēku skaitu un viņu aktivitātes veidu konkrētajos brīžos, tāpēc modeli izveidot nav iespējams.

Tiešsaistes reāllaika vizualizācijas rīku var izmantot apsaimniekotājs, lai operatīvi vai nedēļas termiņā novērtētu sistēmu darbību un pamanītu tajās iespējamās problēmas. Piemēram, 3.31. attēlā un 3.32. attēlā redzama šī rīka izmantošana siltumsūkņa darbības novērtēšanai.

[atpakaļ] Siltumsūkņa plūsma l/min

SS.ZEM.PLU	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2019-10-02																	0	0	0	0	0	0	0	0
2019-10-03	0	0	29.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019-10-04	0	0	0	29.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019-10-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019-10-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019-10-07	30.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.52	0	0
2019-10-08	0	0	0	0	0	30.57	0	0	0	0	0	0	0	0	31.09	0	0	0	30.04	0	0	0	0	0
2019-10-09	0	0	0	0	0	0	30.57	31.09	0	0	0	0	0	0	0									

3.31. att. Siltumsūkņa plūsma 2019. gada oktobra pirmajā nedēļā.

Sākotnēji uzmanību pievērš 3.31 attēls – siltumsūknis efektīvi darbojas tikai dažas stundas dienā, tomēr 3.32. attēls parāda, ka siltumsūkņa saražotais siltums karstajam ūdenim ir pietiekams.

[atpakaļ] Siltumsūkņa karstā ūdens temperatūra

BUF.TEMP.AUG.K.U.TEM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2019-10-02																48.3	48.1	48.1	48.1	47.8	47.6	47.5	47.5	47.5
2019-10-03	47.5	47.4	47.5	49.8	49.8	49.8	49.7	49.6	49.3	49.2	49.2	49.2	49.2	48.9	48.8	48.6	48.6	48.6	48.4	48.3	48.1	48.1	47.8	47.6
2019-10-04	47.5	47.5	47.2	49.8	49.8	49.8	49.8	49.6	49.3	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	48.9	48.6	48.6	48.6	48.3	48.1	48.1	47.8	47.5	47.5
2019-10-05	47.4	47.1	49.9	49.8	49.8	49.8	49.5	49.3	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.8	50.4	50.4	50.4	50.3	50.2	50	49.8	49.8	49.8	49.8
2019-10-06	49.7	49.5	49.3	49.2	49.2	49.2	49.2	48.9	48.7	48.6	48.6	48.6	48.6	48.3	48.2	48.1	48.1	48	47.8	47.5	47.5	47.5	47.5	47.2
2019-10-07	49.2	49.8	49.8	49.8	49.6	49.3	49.2	49.2	49.1	48.9	48.7	48.6	48.6	48.6	48.3	48.1	48.1	48	47.5	47.5	47.3	46.9	49.8	49.8
2019-10-08	49.8	49.6	49.4	49.2	49.2	49.2	49	48.8	48.6	48.6	48.6	48.3	48.1	48.1	48.1	47.7	47.5	47.5	47.1	49.8	49.8	49.8	49.8	49.5
2019-10-09	49.4	49.2	49.2	49.2	49	48.7	48.6	48.6	48.5	48.1	48.1	48.1	47.9	47.5	47.5									

3.32. att. Siltumsūkņa uzsildītā ūdens temperatūra 2019. gada oktobra pirmajā nedēļā.

Papildus to var salīdzināt arī ar siltumsūkņa patērētās elektrības apmēru konkrētajās dienās (diemžēl skaitītāja datu atjaunošanas biežums ir reizi dienā).

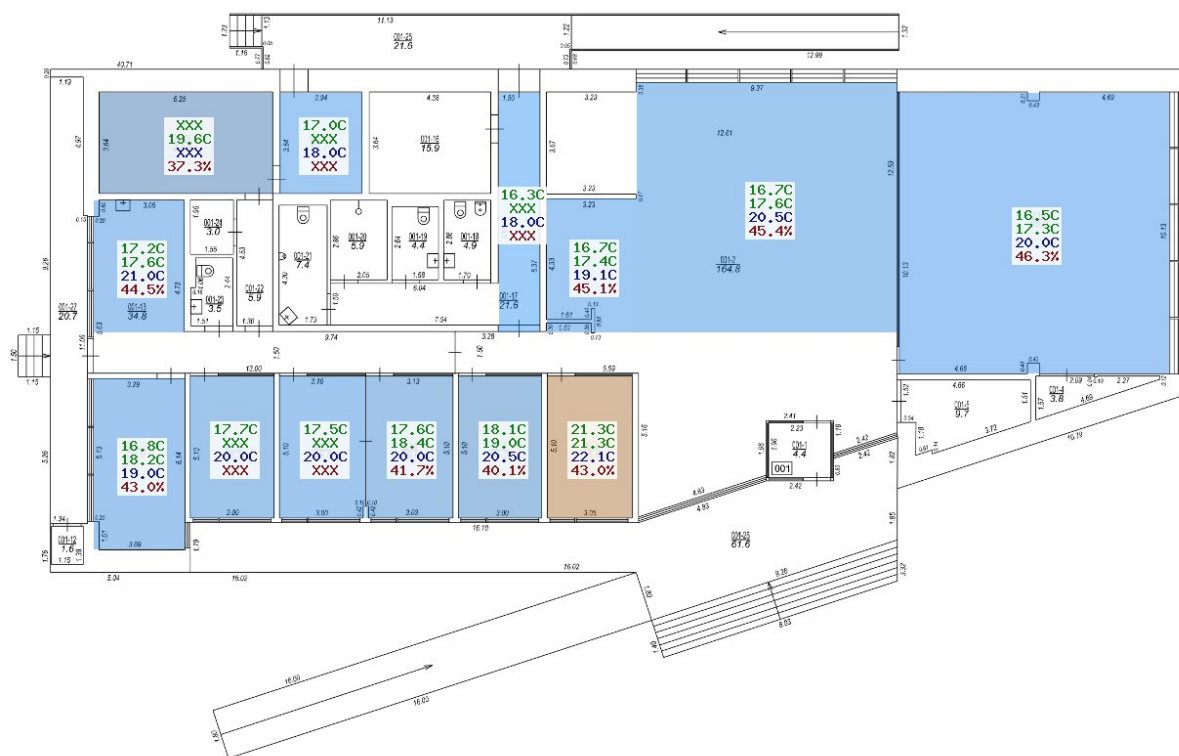
Tāpat šo sistēmu var izmantot, lai izvērtētu ēkas iedzīvotāju (vai šajā gadījumā – lietotāju) sūdzības. Saņemot sūdzību par pēkšņo termiskā komforta zudumu, tika apskatīta informācija par pēdējo septiņu dienu temperatūru (3.33. attēls) un secināts, ka sūdzība ir pamatota un jāveic korekcijas aprīkojuma darbībā.

[atpakaļ] radio: temp °C [5 bibliotēkas lēte]

[109]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2019-10-02																21.38	21.41	21.26	21.24	21.11	21.02	20.93	20.83	20.76
2019-10-03	20.68	20.64	20.54	20.49	20.43	20.38	20.33	20.27	20.27	20.25	20.30	20.31	20.38	20.42	20.41	20.43	20.49	20.49	20.56	20.65	20.56	20.42	20.33	20.24
2019-10-04	20.16	20.12	20.05	19.98	19.93	19.86	19.79	19.73	19.66	19.68	19.69	19.78	19.84	19.91	20.05	20.12	20.28	20.31	20.27	20.16	20.05	19.91	19.83	19.73
2019-10-05	19.66	19.57	19.48	19.40	19.35	19.28	19.18	19.13	19.17	19.25	19.61	20.03	20.15	20.10	20.06	20.00	19.91	19.78	19.65	19.54	19.43	19.33	19.24	19.17
2019-10-06	19.06	18.97	18.90	18.80	18.73	18.64	18.59	18.52	18.46	18.42	18.43	18.47	18.43	18.39	18.34	18.29	18.24	18.19	18.12	18.06	18.00	17.94	17.88	17.82
2019-10-07	17.76	17.69	17.63	17.55	17.50	17.43	17.35	17.28	17.25	17.29	17.30	17.35	17.47	17.63	17.63	17.63	17.57	17.51	17.53	17.71	17.84	17.73	17.57	17.47
2019-10-08	17.38	17.29	17.22	17.15	17.07	17.00	16.92	16.85	16.80	16.80	16.86	16.95	17.11	17.17	17.18	17.30	17.44	17.76	18.12	17.95	17.78	17.64	17.50	17.43
2019-10-09	17.35	17.26	17.20	17.14	17.08	17.03	16.96	16.90	16.92	16.95	17.14	17.38	17.71	17.97	18.06									

3.33. att. Radio-bāzētā tīkla informācija par temperatūru pie bibliotēkas lētes.

Iegūstot kopējo pārskatu par telpām (3.34. attēls), bija acīmredzams, ka problēma nav lokāla konkrētajai telpai – darbinieki bija izveidojuši savu „siltuma salu” telpā Nr. 7, izmantojot elektrisko sildītāju, un „emigrējuši” turp.

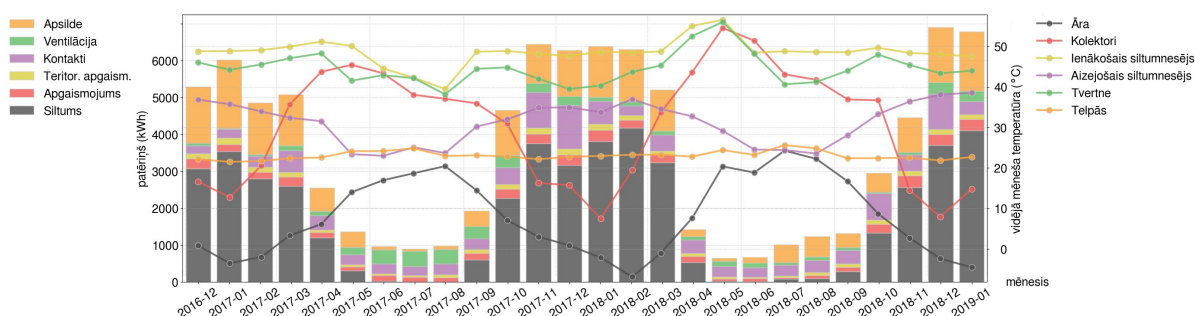


3.34. att. Telpu temperatūra un relatīvais gaisa mitrums 2019. gada 8. oktobrī.

Noslēgumā, jāpiemin, ka autors analizēja arī ar roku vadītos ikdienas datus (2.3. attēls), kas pieminēti darba 2.2. apakšnodaļā. Darbu uzsākot, tas deva ieskatu ēkas kā kopējas sistēmas darbībā gan gada mēnešu (gadalaiku) griezumā, gan salīdzinājuma pa gadiem (3.35. attēls).

Attēlā, piemēram, redzams, ka 2018. gada vasarā ventilācija tika lietota mazāk kā 2017. gada vasarā, tomēr tas nenoveda pie būtiskas iekštelpu temperatūras palielināšanās, lai gan āra gaisa vidējā temperatūra bija lielāka kā 2017. gadā. Autora skatījumā, tas ir apliecinājums kvalitatīvajiem materiāliem, kas izmantoti āršienam un jumta konstrukcijai.

Turklāt 2017. gadā bija pirmā vasara kopš ēkas pabeigšanas un jumta dārzs vēl nebija izaudzis.



3.35. att. Vidējā mēneša temperatūra un mēnesī patērētā enerģija (2017. un 2018. gads).

3.5.2. Potenciālie modeļi algoritmu vajadzībām

Lai sasniegtu maģistra darba mērķi, autors piedāvā izmantot sekojošus modeļus algoritmu izstrādei un ēkas vadībai.

Pirmkārt, nepieciešams nodrošināt silto/auksto grīdu apkuri atkarībā no tādiem faktoriem kā, piemēram, ārējā temperatūra, saules starojums (kas sevī ietver arī mākoņainību), lietotāja izvēlēta mērķa temperatūra (no termostata) un, protams, telpas faktiskā gaisa temperatūra.

Proгноzes datus iespējams izmantot, lai prognozētu temperatūras un saules starojuma izmaiņas, tādējādi apstieidzoši sāktu telpas sildīšanu vai dzesēšanu un izvairītos no sistēmas darbināšanas ar maksimālo jaudu, kas rada īpaši lielu energopatēriņu. Dati liecina, ka telpu sasilšana līdz normālai temperatūrai no rīta var aizņemt 3 stundas, kamēr semināru telpas uzsildīšana tās izmēra dēļ aizņem pat 4 līdz 5 stundas. To nosaka būvkonstrukciju termiskā inerce, tāpēc būtiski to ņemt vērā un veikt apstieidzošas darbības, lai nodrošinātu termisko komfortu

Tā kā prognožu dati sniedz informāciju par mākoņainību, nevis saules starojumu, šim modelim noderētu ne tikai prognozes dati, bet arī algoritmiski aprēķināti dati (piemēram, Saules stāvoklis, kas iegūts no formulām, kas apraksta debesu ķermeņu kustību). Tādējādi būtu iespējams aprēķināt prognozējamo starojumu.

Šim modelim būtu kritiski svarīgi saņemt informāciju par grīdas sistēmas darbības režīmu, jo caurules vārsta atvēršana attiecīgo telpu dzesēs, ja sistēma ir dzesēšanas režīmā, bet sildīs, ja sistēma ir apkures sistēmā režīmā. Šo parametru iespējams iegūt no siltumnesēja temperatūras, kā arī tā ir pieejama Uponor sistēmā.

Otrkārt, autors piedāvāja šādu modeli: mainīt gaisa apmaiņas intensitāti atkarībā no CO₂ koncentrācijas. Tiešā veidā to ir iespējams nodrošināt semināru telpai, jo tās sienā ir CO₂ sensors. Pēc darba autora priekšlikuma, šis modelis ir ticis ieviests un sekmīgi funkcionē.

Citās telpās CO₂ koncentrāciju var novērtēt, analizējot gaisa izmetes caurulē esošo sensoru. Lai gan to nekādā ziņā nevar nosaukt par tiešu CO₂ mērījumu, tomēr tas tieši korelē ar CO₂ līmeni visās telpās. Tā kā griestu augstums visās telpās ir vienāds, sakarību tuvināti var

izteikt ar formulu $K_v = \frac{\sum (K_n \cdot S_n)}{\sum S_n}$, kur K_v ir izmetes caurules CO₂ līmeņa mērījums, K_n ir

faktiskais CO₂ līmenis katrā telpā un S_n ir šīs telpas platība (m²). Ir svarīgi ņemt vērā, ka izplūdes sensors sniegs šo informāciju ar kavēšanos, jo nepieciešams laiks gaisa nokļūšanai no telpas līdz sensoram. Semināru telpas platība ir $S_{sem} = 100,8$ m². Izmantojot šo informāciju, ir iespējams aprēķināt visu pārējo telpu (izņemot semināra telpu) vidējo vērtību CO₂ līmeņa

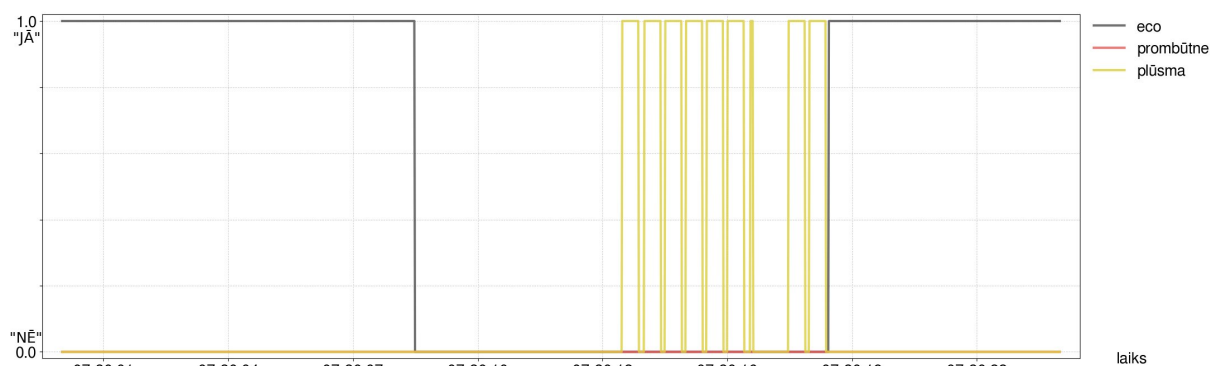
vērtību $K_{v-sem} = \frac{K_v \cdot \sum S_n - S_{sem} \cdot K_{sem}}{\sum S_n - S_{sem}}$, kur K_{sem} ir CO₂ līmeņa rādītājs semināru telpā.

Alternatīvi. Telpu CO₂ līmeni bez sensoriem var novērtēt, izmantojot to, ka cilvēki ražo siltumu un izdala mitrumu gaisā. Jo vairāk cilvēku telpā (un jo aktīvāki viņi ir), jo vairāk tiek ražots siltums un mitrums. Tas korelē arī ar skābekļa daudzuma samazināšanos un CO₂ daudzuma gaisā. Salīdzinot mitruma un temperatūras izmaiņas telpā ar bāzlīnijas vērtībām, ir iespējams novērtēt CO₂ izmaiņas konkrētā telpā.

Treškārt, lai taupītu energoresursus, būtu jāmodelē situācija, kad gada laikā telpā atstāts atvērts logs, un jānodrošina, ka telpā netiek veikta apkure un dzesēšana reizē (ziemā – dabiskā dzesēšana un mākslīgā apkure, siltajā gada laikā – otrādi). Lai to izdarītu, nepieciešams analizēt CO₂ līmeni un/vai telpas temperatūru un tās izmaiņu ātrumu (atvasinājumu). Telpas temperatūrai strauji mainoties (neatkarīgi no izmaiņu virziena), nepieciešams atslēgt sildīšanu/dzesēšanu, līdz kamēr temperatūra telpā stabilizējas vai uz īsu laiku. Pēc stabilizēšanas vai īsa laika var atsākt sildīšanu/dzesēšanu. Ja redzams, ka siltumnesēja padošanas atsākšana uz telpas grīdu un ventilācijas ieslēgšana nenes vēlamos rezultātus, telpai ilgstoši esot stabilā, bet nevēlamā, temperatūras pozīcijā, telpa būtu jāizolē no ēkas sistēmām, ja iespējams, un jāinformē ēkas lietotājus un uzturētāju par problēmu (piemēram, atvērtu logu).

Siltuma komfortu ietekmē vairāki faktori, it īpaši ventilācijas temperatūra un apkures/dzesēšanas mehānismi telpā. Silto grīdu apkures sistēma *Uponor* izmanto

termostatus, kas kontrolē vārstus, kas var atrasties tikai divās pozīcijās – atvērts vai aizvērts (3.36. attēls), kas būtiski atvieglo algoritmu modeļu izstrādi. Vārsti savukārt atļauj vai aizliedz iepriekš uzkarstēta (vai iepriekš atdzesēta) siltumnesēja plūsmu. Papildu faktori ietver tiešu saules starojumu, ārējo temperatūru, gaisa plūsmas ātrumu utt.

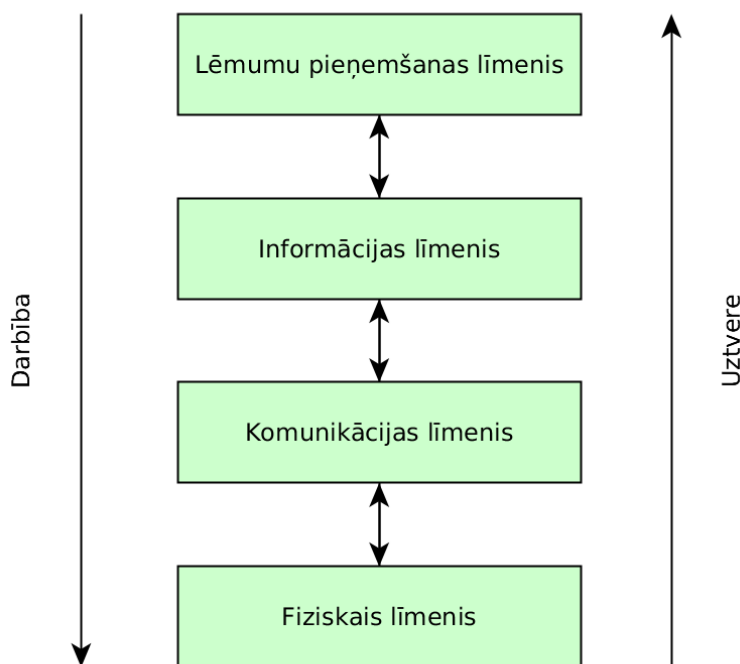


3.36. att. *Uponor* vadības stāvokļi 2020. gada 30. jūlijā telpai Nr. 7 (dzesēšanas režīms).

Piezīme. Šīs apakšnodaļas pirmā versija ir iekļauta un publicēta (2).

4. PIEDĀVĀTIE VADĪBAS ALGORITMI

Komponentes, kas nepieciešamas, lai veidotu gudro ēku vadību, parādītas 4.1. attēlā. Līdz šim darbā apskatīts gudro ēku fiziskais līmenis (2.2. apakšnodaļa un 3.1. apakšnodaļa), komunikācijas līmenis (3.2. apakšnodaļa) un informācijas līmenis (3.3. apakšnodaļa un 3.4. apakšnodaļa). Šajā nodaļā aprakstīts lēmumu pieņemšanas līmenis.



4.1. att. Gudro ēku vadības arhitektūra. Tulkots no (29).

Fiziskais līmenis satur aparāturu, t.sk. sensorus, aktuātorus, kontroles paneļus, signālu pastiprinātājus u.tml. Komunikācijas līmenis satur programmatūru, kuras uzdevums ir iegūt mērījuma, tos formatēt un pārsūtīt to uz nepieciešamo galamērķi. Informācijas līmenis ir atbildīgs par datu apkopošanu, uzkrāšanu un tādas informācijas (zināšanu), kas būtu noderīga lēmumu pieņemšanai, sagatavošanu un saglabāšanu. Lēmumu pieņemšanas līmenis uzdod citiem līmeņiem veikt vai neveikt konkrētu darbību, balstoties uz informācijas līmeņa sniegto informāciju.(29)

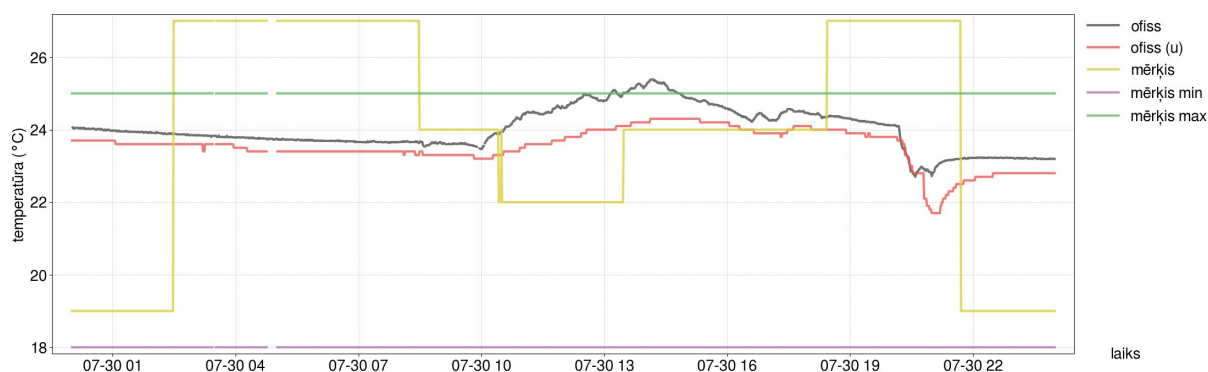
Balstoties uz apskatītajiem modeļiem, autors piedāvā un modelē vairākus algoritmus ēku energoefektivitātes un termiskā komforta paaugstināšanai.

Diemžēl jāņem vērā, ka lielākās daļas algoritmu efektivitāti nebija iespējams praktiski pārbaudīt aktuātoru trūkuma dēļ.

4.1. Apsvērumi algoritmu izstrādei gNEĒ / pasīvajām ēkām

Bibliotēka „SALA” ir ne vien gandrīz nulles enerģijas ēka, bet – šajā gadījumā pat būtiskāk – pasīvā ēka, kuras 80 cm biezās sienas ir veidotas no kokšķiedras, ekovates un tērauda profila, grīdas veidotas, no SPU siltumizolācijas, betona un dzelzsbetona, bet jumti no kokšķiedras, ekovates un augsnes substrāta. Kā redzams 1. pielikumā, norobežojošo konstrukciju siltumvadītspēja ir zema. Bibliotēka ir sabiedriska ēka, viena stāva, izvietota klajuma malā pie ezera.

Apskatīsim telpu Nr. 7 tuvāk. Tas ir 15,6 m² liels birojs ar datortehniku. Kā redzams 3.36. attēlā un 4.2. attēlā (abi attēli attēlo situāciju jau pēc uzlabojumu ieviešanas) grīdu sistēma pēc vairākkārtējiem uzlabojumiem darbojas pareizi un tiek atslēgta tiklīdz iestatītā mērķa temperatūra (dzeltenā līnija 4.2. attēlā) ir augstāka¹³ par faktisko temperatūru (melnā līnija 4.2. attēlā).



4.2. att. Telpas Nr. 7. temperatūra un mērķis 2020. gada 30. jūlijā (dzēsēšanas režīms).

Savukārt no apkures telpas temperatūras datiem var secināt, ka 3 °C gaisa temperatūras starpība pret blakus esošajām (pieguļošajām) telpām nerada ievērojamus enerģijas papildu zudumus siltākās telpas apkurē, tādējādi šādā ēkai bez sarežģījumiem iespējams pārvaldīt katras atsevišķas telpas termisko komfortu, ja vien to temperatūru (vai mērķa temperatūru) starpība pret blakus esošajām telpām nav lielāka par 3 °C.⁽²⁾

Tā kā pašlaik sistēmās nav ārēju¹⁴ digitāli stabili vadāmu izpildmehānismu, autors var vienīgi izstrādāt formulas (ĒVS 3. klase) un novērtēt to efektivitāti teorētiski. Tomēr maģistra darba nodošanas brīdī jau ir panākti taustāmi rezultāti tur, kur tas iespējas (kur sensori un aktuatori ir vienas sistēmas sastāvā), piemēram, *Uponor* jau šobrīd darbojas atbilstoši ĒVS 2. klasei, kas ļauj nedaudz uzlabot energoefektivitāti, bet ventilācijas sistēma darbojas

¹³ Dzesēšanas režīmā – augstāka, apkures režīmā – zemāka.

¹⁴ Eksistē mehānismi, ko var vadīt no sistēmas iekšienes. Piemēram, saules kolektoru sistēma var vadīt vārstus šīs sistēmas ietvaros.

atbilstoši ĒVS 3. klasei, jo gaisa plūsmas ātrumu maina ne vien atbilstoši kalendāram, bet arī ņemot vērā CO₂ līmeņa sensora rādījumus.

Aktuatoru trūkums nozīmē, ka priekšroka dodama tādiem algoritmiem, kas ir salīdzinoši ērti realizējami arī manuālā veidā.

4.2. Algoritms enerģijas patēriņa samazinājumam ārpus darba laika

Sabiedriskās ēkas reti tiek izmantotas nakts stundās un arī šī ēka nav izņēmums. Tā darbojas pēc noteikta grafika, un laikā, kad personas tajā neatrodas, ir iespējams ietaupīt energoresursus.

Tādējādi, lai uzlabotu ēkas energoefektivitāti, autors piedāvā sekojošu algoritmu:

1. Katru nedēļas dienu laikā no 19:30 līdz 06:59, kā arī svētdienās laikā no 00:00 līdz 23:59:
 - 1.1. samazināt ventilācijas sistēmas gaisa plūsmu – pieplūdi uz aptuveni 600 m³/h un nosūci uz aptuveni 100 m³/h (lai noturētu pozitīvu ēkas spiedienu);
 - 1.2. apkures mēnešos: samazināt telpu mērķa temperatūru uz 17 °C, lai mazinātu telpu apkuri, kad tas nav nepieciešams, vienlaikus izvairoties no telpas izsalšanas;
 - 1.3. pārējos mēnešos: palielināt telpu mērķa temperatūru uz 27 °C, lai izvairītos no telpu dzesēšanas.

Tā kā darbinieki ierodas darbā ap 08:00, tad var solārā siltumstarojuma ietekmi uz apkures procesu var ņemt vērā, jo saules siltumstarojums saulainā apkures sezonas noslēguma – aprīļa vidus – dienā plkst. 08:00 ir stingri mazāks par 200 W/m², bet plkst. 07:00 – tikai ap 50 W/m². Starojums ir vēl mazāks apkures sezonas vidū.(2)

Šis ir 2. klases ĒVS algoritms. Algoritms ir ieviests dzīvē ar nelielām deviācijām parametros¹⁵ un pierādījis sevi enerģijas patēriņa samazināšanas aspektā.

Algoritmu var uzlabot, ja grīdu dzesēšanas/apkures sistēma būtu savstarpēji elektroniski savienota ar apkures sistēmu. Tādā gadījumā, konstatējot, ka nevienas telpas *Uponor* vārsts nav atvērts, būtu nepieciešams izslēgt atbilstošo cirkulācijas sūkni (2.6. attēlā apzīmēts ar Nr. 6), tādējādi apturot siltumnesēja plūsmu.

15 1. solis – 18:00 un 08:29; 1.1. solis – 800 un 300; 1.2. solis – 18,5.

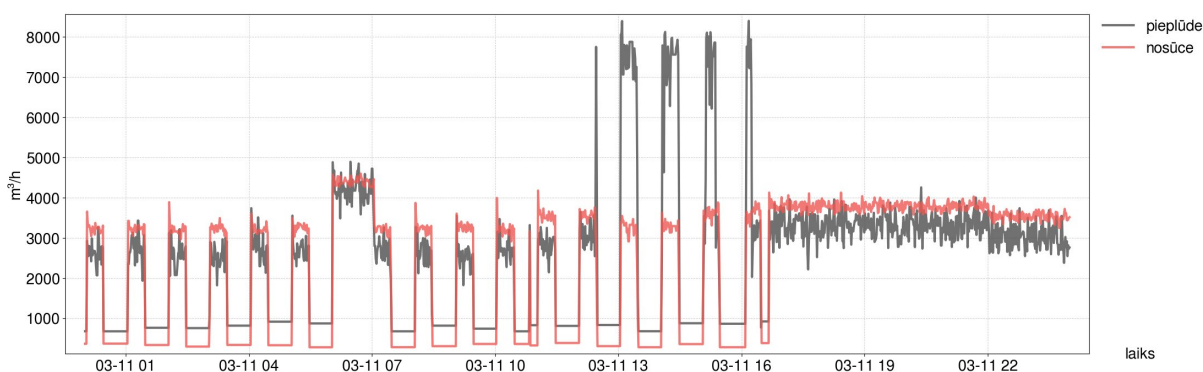
4.3. Algoritms CO₂ līmeņa efektīvai regulācijai

Katrā ēkā ar jumtu un sienām ir būtiski pārvaldīt CO₂ līmeni. Šim mērķim autors piedāvā sekojošu ciklisku algoritmu:

1. Aprēķināt $C = \max(K_{sem}, 2 \cdot (K_v - 200))$, kur K_{sem} ir CO₂ līmenis (ppm) semināru telpā, bet K_v ir izmetes caurules CO₂ līmenis (ppm);
 - 1.1. Citām ēkām, kur nevienā telpā nav atsevišķa CO₂ sensora, pieņem $K_{sem} = 0$;
2. Ja $C \geq 1000$, pilnībā atvērt ventilācijas sistēmas vārstu un nodrošināt maksimālo ventilācijas (pieplūdes) gaisa kustības ātrumu;
3. Ja $C \leq 500$, uzstādīt iepriekšminētos aktuātorus atbilstoši telpu gaisa temperatūras un pozitīvā spiediena vajadzībām;
4. Ja $500 < C < 1000$, tad uzstādīt vārsta atvēršanu uz $A = \frac{C - 500}{500} \cdot 100\%$, bet ne mazāku kā nepieciešams vēlamās telpu temperatūras un pozitīvā spiediena nodrošināšanai.

Šis ir 3. klases ĒVS algoritms. Algoritms ir ieviests dzīvē ar nelielām novirzēm parametros¹⁶ un pierādījis sevi lietotāju komforta aspektā.

Algoritma darbību var novērtēt, analizējot 4.3. attēlu kopskatā ar 3.28. attēlu. Kā redzams, CO₂ līmenim pārsniedzot robežvērtību, gaisa pieplūdes ātrums tiek gandrīz trīskāršots.



4.3. att. Gaisa pieplūdes un nosūces ātrums 2019. gada 11. martā.

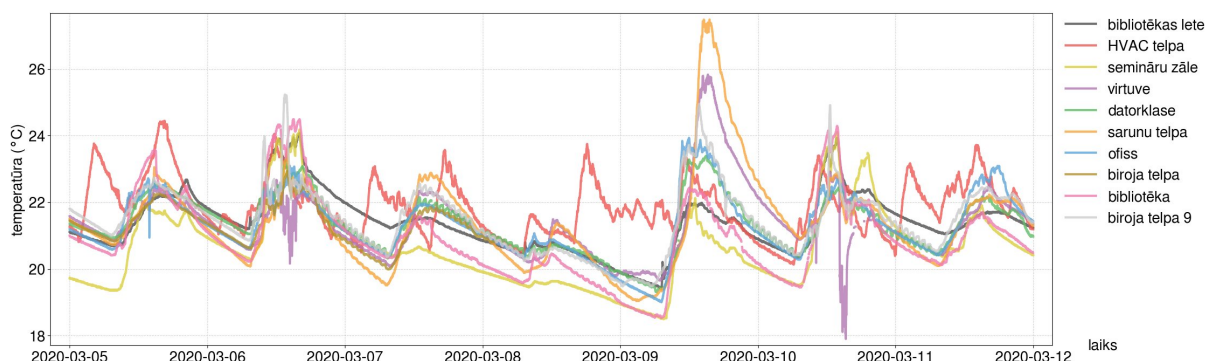
Algoritmu var uzlabot, atslēdzot ventilāciju, ja tiek konstatēts, ka telpā ir plaši atvērts logs vai durvis (skatīt 3.5.2. apakšnodaļu).

Piezīme. Šis algoritms ir iekļauts un publicēts (2).

¹⁶ 1. solis – koeficienta 2 vietā ir 0; 2. solis – 600; 3. solis – 599,99; 4. solis netiek izmantots.

4.4. Algoritms telpu pasargāšanai no saules starojuma

Sienas un jumts šādā ēkā ir labi siltumizolatori, taču logi tādi nav un tiem ir papildu īpašība, kas izpaužas negatīvi gada siltajā daļā – tie laiž cauri infrasarkanos starus, kas uzsilda telpas virsmas un tajā esošos objektus (4.4. attēlā var redzēt sekas tam, ka 9. marta pēcpusdienā ēkas dienvidrietumu pusi skāra intensīvi saules stari, strauji uzsildot virtuvi un sarunu telpu) –, tāpēc ēkā strādājošie bieži paļaujas uz durvju un logu atvēršanu temperatūras straujai samazināšanai (4.4. attēlā: 6. marta pēcpusdiena un 10. marta pēcpusdiena).



4.4. att. Iekštelpu temperatūra 7 dienu periodā (apkures sezonā).

Lai risinātu šo problēmu autors piedāvā sekojošu algoritmu:

1. Ņemot vērā datumu un pulksteņa laiku, tiek aprēķināta Saules pozīcija debesīs attiecībā pret konkrētu ēkas telpu logiem;
2. Katrai ēkas telpai aprēķina

$$E_n(t_0)[J] = S_{logi_n}[m^2] \cdot g_n[-] \int_{t_0[s]-3600[s]}^{t_0[s]} G_{saule}(t)[W/m^2] \cdot q_n(t)[-] dt, \text{ kur } E_n(t_0) \text{ ir telpas}$$

Nr. n no saules saņemtā siltumstarojuma enerģija pēdējās stundas laikā kopš t_0 , $G_{saule}(t)$ ir saules siltumstarojums laikā t , kas nomērīts meteostacijā, S_{logi_n} ir visu logu kopējā stiklotā virsma telpā Nr. n un g_n ir šo logu termiskā starojuma caurlaidība, $q_n(t)$ ir matemātiski aprēķināta vērtība, kas atkarīga no Saules pozīcijas laikā t un logu novietojuma telpā Nr. n un norāda, kāda daļa no telpas Nr. n logu virsmas konkrētajā brīdī ir pakļauta starojumam;

3. Telpām, kurām $E_n > 10 \text{ MJ}$ un telpas temperatūra $t_n \geq 25 \text{ °C}$, aizver žalūzijas; ja žalūzijas ir gaismas necaurlaidīgas, tad uzreiz pirms tam ieslēdz mākslīgo apgaismojumu telpā Nr. n;

4. Ja telpas temperatūra nokrītas zem 24 °C, tad lēnām (ar ātrumu, kas stundas laikā tās pilnībā atvērtu) daļēji atver žalūzijas, tās regulējot tā, lai telpas temperatūra nepārsniedz 24 °C sliekšni;
5. Kad E_n kļūst mazāks par 6 MJ, pilnībā atver žalūzijas uzreiz.

Šis ir 3. klases ĒVS algoritms, taču tas nav ieviests dzīvē. Lai gan lielai daļai logu ir darbspējīgas žalūzijas, to aktuatoriem vai nu nav izpildmehānisma, vai tie nav saslēgti ar ĒVS.

Varam novērtēt algoritma pienesumu teorētiski. Pirmkārt, temperatūras saglabāšana pieņemamā līmenī nodrošinās personām atbilstošu termisko komfortu. Otrkārt, tiks ietaupīta daļa enerģijas, kas nepieciešama, lai nesekmīgi censtos atdzēsēt telpu ar ventilācijas un auksto grīdu palīdzību. Telpas atdzēsēšanai nepieciešamā enerģija ir vienāda ar pievadītās liekās enerģijas daudzumu. To var novērtēt izmantojot iepriekšminēto formulu.

Vērtējot vēsturiskos datus, pieņemsim „karstākās” dienas scenāriju. Stundas garumā $G_{saule} = \text{const.} = 1000 \text{ W/m}^2$ un saule apspīd visu logu virsmu $q_{12} = 1,0$. Sarunu telpas (telpas Nr. 12), kas atrodas ēkas dienvidrietumu stūrī, logi sastāv no trim stikla paketēm izmērā $1675 \times 3000 \text{ mm}$ (tātad kopējais laukums $S_{\log i12} = 1,675 \cdot 3 \cdot 3 = 15,075 \text{ m}^2$) un to caurlaidība ir $g_{12} = 0,49$.

Maksimāli iespējamā saņemtā siltumstarojuma enerģija E_{12} un līdz ar to arī maksimāli ietaupītā dzesēšanas enerģija ir

$$E_{12}(t_0) = S_{\log i12} \cdot g_{12} \cdot \int_{t_0-3600}^{t_0} G_{saule}(t) \cdot q_{12}(t) dt = 15,075 \cdot 0,49 \cdot \int_{t_0-3600}^{t_0} 1000 \cdot 1 dt = \\ = 7,38675 \cdot 3600 \cdot 1000 = 26,5923 \text{ MJ}$$

4.5. Telpas temperatūras režīma uzturēšana, izmantojot neironu tīklu

Noslēdzot algoritmu nodaļu autors vēlas iezīmēt 4. klases ĒVS algoritma, kas būtu noderīgs šāda tipa ēkām, aprises. Šī algoritma mērķis ir optimālākajā iespējamajā veidā sildīt un dzesēt konkrētu telpu:

1. Kā neironu tīkla ievadus jāizmanto:
 - 1.1. iekštelpas temperatūru (0 – +50 °C);
 - 1.2. vēlamo (mērķa) iekštelpas temperatūru (+10 – +30 °C);
 - 1.3. āra temperatūru (-50 – +50 °C);
 - 1.4. vēja ātrumu (0 – 30 m/s);

- 1.5. solāro starojumu ($0 - 2000 \text{ W/m}^2$);
- 1.6. gada nedēļu ($1 - 54$);
- 1.7. dienas minūti ($1 - 1440$);
- 1.8. grīdas siltumnesēja temperatūru ($2 - +99 \text{ }^\circ\text{C}$);
- 1.9. gaisa pieplūdes temperatūru ($2 - +60 \text{ }^\circ\text{C}$);
- 1.10. gaisa pieplūdes plūsmas ātrumu ($0 - 50000 \text{ m}^3/\text{h}$);
- 2. Kā kontroles kritēriji jāizmanto:
 - 2.1. apkures sistēmas momentānais elektrības¹⁷ patēriņš;
 - 2.2. karstā ūdens uzsildīšanas momentānais elektrības patēriņš;
 - 2.3. ventilācijas sistēmas momentānais elektrības patēriņš;
 - 2.4. dzesēšanas sistēmas momentānais elektrības patēriņš;
- 3. Kā neironu tīkla izvades jādefinē:
 - 3.1. vēlamo grīdas siltumnesēja temperatūru ($2 - +99 \text{ }^\circ\text{C}$);
 - 3.2. vēlamo gaisa pieplūdes temperatūru ($2 - +60 \text{ }^\circ\text{C}$);
 - 3.3. vēlamo gaisa pieplūdes plūsmas ātrumu ($0 - 50000 \text{ m}^3/\text{h}$);

Katrai telpai „jādarbina” savs neironu tīkls. Apmācot neironu tīklu, nepieciešams minimizēt kontroles kritērijus. Lai izslēgtu risku, ka nevēlamas vērtības neironu tīkla izvadā tiek padotas aktuatoriem, ir ieteicams veikt izvada filtrāciju, ignorējot nederīgās vērtības, piemēram, neuzstādīt grīdas siltumnesēja temperatūru zemāku kā apkures telpas temperatūru, neuzstādīt gaisa pieplūdes temperatūru virs $45 \text{ }^\circ\text{C}$ u.tml.

Viena no neironu tīklu priekšrocībām ir tā, ka, ja kāds no ievadiem izrādīsies „lieks” vai nelietderīgs, tas pats atsaistīs to no tīkla, un tas netiks ņemts vērā algoritma izpildē. Neironu tīklu galvenais trūkums ir tas, ka nav iespējams ieskatīties algoritma darbības principos, t.i. pārvaldnieks vai lietotājs var tikai spriest, vai tīkls darbojas apmierinoši vai nē, bet tam nav iespējas izvērtēt, kāpēc.

Šis ir 4. klases ĒVS algoritms, kas nav ieviests, jo tas prasītu ļoti ciešu sadarbību starp sensoriem un aktuatoriem, taču pagaidām, ievērojot visu sistēmu esošo stāvokli, tas nav iespējams. Pareizi ieviests 4. klases ĒVS īstermiņā nedod ne termiskā komforta, ne energoefektivitātes uzlabojumu, bet ilgākā laika posmā, tas ne vien samazina enerģijas patēriņu(30), bet arī atvieglo dzīvi lietotājiem.

¹⁷ Citām ēkām: arī citas enerģijas, piemēram, gāzes.

5. REZULTĀTI

Uzsākot darbu, autors bija iecerējis lielāko daļu laika veltīt datu analīzei un algoritmu izstrādei, taču darba gaitā konstatēja, ka Alojās novada uzņēmējdarbības atbalsta centra – bibliotēkas „SALA” – ēkas vadības sistēma neuzkrāj un nesniedz gandrīz nekādus lietderīgus datus. Lai vērstu situāciju par labu un varētu uzsākt darbu pie datu analīzes un algoritmu izstrādes, autors uzsāka apjomīgu darbu pie aparātūras konfigurācijas uzlabojumiem, papildu aparātūras uzstādīšanas un datu apstrādes risinājuma veidošanas.

Maģistra darbs izstrādāts divos gados un šo divu gadu laikā autors iesaistījies darbos, kas skar visus gudro ēku vadības arhitektūras līmeņus.

Autors piedalījies temperatūras un relatīvā gaisa mitruma radio-bāzētās sistēmas uzstādīšanā un uzraudzībā, izveidojis vairākas komunikācijas līmeņa komponentes, kas nodrošina dažādu iepriekš nesasaistītu vai iepriekš neeksistējošu sistēmu integrāciju.

Ir sakārtotas sensoru sistēmas – to dati nonāk vienuviet, tiek uzkrāti arhīvā un tie ir daudzskaitlīgi, līdz ar to ir lietderīgi veikt to analīzi. Ir izveidota 5. pielikumā minētā programmatūra, kas cita starpā ļauj datus arī ērti vizualizēt gan reālajā laikā, gan vēsturiskā griezumā.

Šī inženierfizikas pētījuma galvenais ieguldījums reālajā dzīvē ir tas, ka „datu kapsēta”, ko ģenerēja esošā ĒVS, tika pārveidota par vērtīgu informācijas avotu gan ēkas pārvaldniekam, gan pētniekiem, t.sk., protams, arī pašam autoram, paverot ceļu ēkas procesu fizikālai analīzei.

Veikta apjomīga datu analīze, daļa no kuras atspoguļota maģistra darba tekstā, kā arī sagatavoti termiskā komforta un energoefektivitātes modeļi. Šīs analīzes rezultātā pēc autora iniciatīvas ne vienu reizi vien konstatētas problēmas, kas ēkas lietotājiem būtu sagādājušas galvassāpes, un to novēršanai izteikti priekšlikumi: kas jāregulē, kā un ar kādiem algoritmiem.

Darba gaitā konstatētas gana daudz nepilnības ĒVS un piedāvāti arī risinājumi, daļu no kuriem, neskatoties uz darbaspējīgu aktuatoru trūkumu, izdevās aprobēt Latvijas apstākļos. Līdz ar to autoram izdevās demonstrēt, ka, saglabājot vai pat uzlabojot komfortu telpā, ir iespējams panākt vērā ņemamu enerģijas patēriņa samazinājumu.

Autora darba rezultātu daļa ir publicēta ERAF projekta ietvaros, atskaites 5.7., 5.8. un 5.9. nodaļās.(2)

6. SECINĀJUMI

Ēka, kas tiek pozicionēta kā pabeigta ekspluatācijā nodota gudrā gNEĒ ar strādājošu ĒVS, realitātē var izrādīties ēka, kurā ir tikai formāli uzstādīta ĒVS bez pienācīgiem savienojumiem starp sistēmām un to komponentēm, bez strukturētu un formatētu datu adekvātas uzglabāšanas, bez pienācīgas informācijas par pieejamajiem sensoriem un aktuatoriem.

Papildinot gudro ēku ar trūkstošajām komponentēm un konfigurāciju, attālinātajam monitoringam un vadībai izstrādātie rīki dod iespēju operatīvi kontrolēt ĒVS sastāvā esošās sistēmas un pieņemt lēmumus par ĒVS attīstību. Tas ļauj laicīgi konstatēt neoptimālu darbību, sistēmu darbības pārtraukumus un citas problēmas, kas vairākkārt pierādījās praksē darba izpildes gaitā. Izdevās arī pārliecināties, ka ēkas faktiskā energoefektivitāte kopumā atbilst energosertifikātā noteiktajai.

Lai gan ne visus izstrādātos algoritmus izdevās pārbaudīt empīriski, tomēr visi izstrādātie algoritmi uzlabo termiskā komforta un energoefektivitātes balansu. Algoritmi, kuru pārbaude empīriski nebija iespējama, tika pārbaudīti, izmantojot fizikas teorijā balstītus priekšstatus par procesiem un enerģijas saglabāšanas likumus. Darbā uzskatāmi demonstrētas novērstās problēmas (piemēram, bojātu vārstu atrašana, nepareizas konfigurācijas identificēšana) un sasniegtie uzlabojumi (piemēram, termiskā komforta un energoefektivitātes paaugstināšana).

Līdz ar to **nulles hipotēze ir apgāzta, bet alternatīvā hipotēze ir pierādīta**: pabeidzot gudro ēku vadības sistēmu komponentu instalāciju un konfigurāciju gandrīz nulles enerģijas ēkās, kļuva iespējams nodrošināt sistēmas funkcionēšanu atbilstoši tās iecerētajiem mērķiem, tādējādi novērojot kvantificējamus uzlabojumus gan energoefektivitātē, gan termiskajā komfortā pret ēku bez gudro ēku vadības sistēmas.

Jau aprobētos algoritmus ir iespējams uzlabot gadījumā, ja ĒVS sastāvā esošās sistēmas tiek savstarpēji savienotas. Būtisks nākotnes attīstības priekšnosacījums ir aktuatoru ieviešana tur, kur to nav, un pievienošana pie ĒVS tur, kur tie ir, bet nav sasniedzami. Nodrošinot šo, arī pārējos autora izstrādātos algoritmus būs iespējams pārbaudīt dzīvē.

Autors ar lielām cerībām un interesi raugās uz 4.5. apakšnodaļā aprakstīto neironu tīklā balstīto algoritmu, jo tā rezultāti šobrīd nav paredzami – algoritma pielietošanas rezultātā ēkas pārvaldnieka un lietotāju dzīve vai nu tiks padarīta neizturama, vai arī tiks būtiski atvieglota.

Pirms šo algoritmu būs iespējams ieviest, jebkurā gadījumā nepieciešams nodrošināt adekvātu sensoru un aktuatoru saslēgumu, kā arī neironu tīkla izpildmehānismu, kas uzstādīts ēkā.

Savākto datu kopa jau šobrīd sastāv no vairāk kā 170 miljoniem datu punktu un tai katru dienu nāk klāt vismaz 250 tūkstoši jaunu. Neapstrīdams nākotnes attīstības virziens – pētīt savāktos datus un meklēt tajos jaunas sakarības, tajā skaitā, izmantojot datu daudzskaitlīgumu neironu tīklu apmācīšanas labā. Datu nepietrūks.

PATEICĪBAS

No sirds pateicos šī darba vadītājam Dr. Phys. Andrim Jakovičam par pacietību un nepagurstošo atbalstu garajā ceļā.

Paldies maniem darbiniekiem par to, ka spēja kādu laiku paņemt uzņēmumu grožus paši savās rokās un aizvietot mani prombūtnes laikā. Es apzinos, ka tas bija izaicinājums.

Paldies Latvijas Universitātes Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātei un visiem tiem cilvēkiem manā dzīvē, kas ļāva man nokļūt tur, kur esmu nokļuvis.

ATTĒLU RĀDĪTĀJS

1.1. att. Vienkāršs ēkas siltuma balansa modelis apkures sezonā.....	6
1.2. att. ĒVS darbības principi un vadības ķēdes. Tulkots no (10).....	10
1.3. att. Solārā siltumstarojuma vērtība 2020. gada 30. jūnijā.....	12
1.4. att. Daļa no bibliotēkas „SALA” ĒVS tīmekļa saskarnes.....	14
2.1. att. Ēkas novietojums. Fotogrāfija ©LGIA, 2016-2018.....	15
2.2. att. Ēkas plāns.....	16
2.3. att. Ekrānšāviņš no ievaddatiem, kādi tika vākti jau pirms autora darba uzsākšanas.....	17
2.4. att. Ēkas enerģijas plūsmu diagramma (2020. gada summārā enerģija).....	18
2.5. att. Bufertilpnes pieslēgumu shēma.(15).....	19
2.6. att. Siltumsūkņa apsaites principiālā shēma.(15).....	20
2.7. att. Saules kolektors.....	21
2.8. att. Ventilācijas sistēma (nosūce – sarkana, pieplūde – zila).(15).....	22
2.9. att. Uponor C-56 (augšpusē) ar izpildmehānismiem (zilā krāsā).....	23
2.10. att. Grīdu apkures sistēma.(15).....	23
2.11. att. Fotovoltāžas panelis.....	24
2.12. att. Fotovoltāžas paneļi fotografēti mazā leņķī pret to virsmu.....	25
3.1. att. Iekštelpas temperatūra 2019. gada novembrī.....	26
3.2. att. Meteostacija.....	27
3.3. att. Meteostacijas relatīvā gaisa mitruma rādījumi.....	28
3.4. att. Fotogrāfiju kolāža – meteostacija nepareizā leņķī un bojātais HDC1080 sensors.....	28
3.5. att. Uponor R-167 modulis pieslēgts datortīklam.....	29
3.6. att. Sistēmas loģiskā līmeņa shēma ar ģeogrāfisko dalījumu.....	31
3.7. att. Meteostacijas relatīvā gaisa mitruma sensora darbības pārbaude.....	34
3.8. att. Meteostacijas vēja ātruma sensora darbības pārbaude.....	34
3.9. att. Āra temperatūras ilgākā laika periodā.....	35
3.10. att. Ar roku vadītā datu kopa (manuāli apstrādāta) par 2 gadu periodu.....	36
3.11. att. Āra temperatūras ilgākā laika periodā (pēc automatizētas apstrādes).....	37
3.12. att. Relatīvais gaismas mitrums 30 dienu periodā.....	38
3.13. att. Relatīvais gaismas mitrums 30 dienu periodā (pēc automatizētas apstrādes).....	38
3.14. att. Temperatūras, mērķu, relatīvā gaisa mitruma vizualizācija pa ēkas telpām.....	39
3.15. att. Katras telpas temperatūra un citi parametri.....	40
3.16. att. Pilno datu kopu reāllaika skats (attēlota augšējā daļa).....	40
3.17. att. Viena parametra nedēļas vēsture.....	41

3.18. att. Parametra vēsture (stundas).....	41
3.19. att. Pieplūdes un nosūces plūsmas ātrums 7 dienu griezumā.....	42
3.20. att. Āra gaisa temperatūra no dažādiem avotiem 30 dienu griezumā.....	43
3.21. att. Semināru zāles temperatūra un mērķis.....	43
3.22. att. Datorprogrammas chart interaktīvais režīms (chart test).....	44
3.23. att. Mēneša vidējās temperatūras un temperatūru normas.....	46
3.24. att. Katras telpas maksimālā-minimālā temperatūra katrās 24 stundās.....	48
3.25. att. Āra temperatūra ziemā 7 dienu periodā.....	48
3.26. att. Āra temperatūra vasarā 7 dienu periodā.....	49
3.27. att. Siltumsūkņa sistēmas temperatūras 2019. gada sākumā.....	49
3.28. att. CO ₂ koncentrācija 2019. gada 11. martā.....	50
3.29. att. CO ₂ koncentrācija vienā 2019. gada marta nedēļā.....	50
3.30. att. Temperatūra un CO ₂ koncentrācija semināru telpā.....	50
3.31. att. Siltumsūkņa plūsma 2019. gada oktobra pirmajā nedēļā.....	51
3.32. att. Siltumsūkņa uzsildītā ūdens temperatūra 2019. gada oktobra pirmajā nedēļā.....	51
3.33. att. Radio-bāzētā tīkla informācija par temperatūru pie bibliotēkas letes.....	52
3.34. att. Telpu temperatūra un relatīvais gaisa mitrums 2019. gada 8. oktobrī.....	52
3.35. att. Vidējā mēneša temperatūra un mēnesī patērētā enerģija (2017. un 2018. gads).....	53
3.36. att. Uponor vadības stāvokļi 2020. gada 30. jūlijā telpai Nr. 7 (dzesēšanas režīms).....	55
4.1. att. Gudro ēku vadības arhitektūra. Tulkots no (29).....	56
4.2. att. Telpas Nr. 7. temperatūra un mērķis 2020. gada 30. jūlijā (dzesēšanas režīms).....	57
4.3. att. Gaisa pieplūdes un nosūces ātrums 2019. gada 11. martā.....	59
4.4. att. Iekštelpu temperatūra 7 dienu periodā (apkures sezonā).....	60

IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI

1. **Lowry, G.** Modelling user acceptance of building management systems. **In:** *Automation in Construction*, 2002, vol. 11, p. 695-705.
2. **Solovjovs, Kirils.** Software for remote monitoring of thermal comfort parameters in indoor spaces, Remote monitoring, graphical analysis, and correction of the BMS data, Developing tools to improve the energy efficiency using meteorological data and operational forecasting. **In:** *ERAF project „Development, optimisation and sustainability evaluation of smart solutions for nearly zero energy buildings in real climate conditions”*, Project No. 1.1.1.1/16/A/192. Rīga, 2020, 17 p.
3. *Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva (ES) 2018/844 (2018. gada 30. maijs), ar ko groza Direktīvu 2010/31/ES par ēku energoefektivitāti un Direktīvu 2012/27/ES par energoefektivitāti. PE/4/2018/REV/1.*
4. **Patterson, M.** What is energy efficiency? Concepts, issues and methodological issues. **In:** *Energy Policy*. Elsevier Science Ltd, Great Britain, 1996, vol. 24, p. 377-390.
5. **Auliciems, A., Szokolay, S.** *Thermal Comfort*. Brisbane : Passive and Low Energy Architecture International, 2007. 68 p.
6. **Tuomaala, P.** Implementation and Evaluation of Air Flow and Heat Transfer Routines for Building Simulation Tools. Dissertation. Espoo : Helsinki University of Technology, 2002. 51 p.
7. **Gendelis, S.** Ēkas siltumfizikālo procesu kompleksā analīze : promocijas darbs. LU Fizikas un matemātikas fakultāte. Rīga : Latvijas Universitāte, 2012. 284 lp.
8. *Noteikumi par ēku energosertifikāciju. Ministru kabineta 2013.gada 9.jūlija noteikumi Nr.383.*
9. *Ēkas energoefektivitātes aprēķina metode. Ministru kabineta 2013.gada 25.jūnija noteikumi Nr.348.*
10. **Gendelis, Stanislavs.** Building management system solutions for the public nZEB. **In:** *ERAF project „Development, optimisation and sustainability evaluation of smart solutions for nearly zero energy buildings in real climate*

- conditions”, Project No. 1.1.1.1/16/A/192, Activity No. 6. Riga, 2019, p. 164-170.
11. **Bregman, D., Korman, A.** A Universal Implementation Model for the Smart Home. **In:** *International Journal of Smart Home*, 2009, vol. 3, p. 15-30.
 12. **Fernández-Montes, A., Álvarez, J.A., Ortega, J.A., et. al.** Modeling Smart Homes for Prediction Algorithms. Sevilla : Universidad de Sevilla, 2007. 8 p.
 13. **Jacobsson, A., Boldt, M., Carlsson, B.** A risk analysis of a smart home automation system. **In:** *Future Generation Computer Systems*, 2016, vol. 56, p. 719-733.
 14. *Iedzīvotāji – Alojas Novads* [tiešsaiste]. Aloja : Alojas novada dome, 2020 – [atsauce 17.01.2021.] Pieejams: <https://www.aloja.lv/novads/iedzivotaji/>
 15. *Alojas novada uzņēmējdarbības atbalsta centrs BIBLIOTĒKA „SALA”.* Tehniskais projekts. Rīga : HUMA arhitektu studija, 2014, 390 lp. (ar pielikumiem, 221 datne).
 16. *Realizētie projekti Latvijā* [tiešsaiste] – [atsauce 12.01.2021.] Pieejams: <https://www.uponor.lv/sistemu-risinajumi/realizetie-projekti/sala>
 17. *Ungurpils bibliotēkas jaunbūves precizētā projekta meta risinājuma enerģijas bilances pārbaudes rezultāti un ieteikumi risinājuma optimizēšanai.* Rīga : Sabiedrība ar ierobežotu atbildību „Krauklis Grende”, 2014, 46 lp.
 18. *Ēkas enerogsertifikāts. BIS-ĒED-1-2019-1142.*
 19. **Self, J., Reddy, V., Rosen, A.** Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options. **In:** *Applied Energy*, 2013, vol. 101, p. 341-348.
 20. *WPF 10 cool, Technical datasheet.* **STIEBEL ELTRON.**
 21. *DUPLEX Flexi, Ventilācijas iekārta, nodaļa 2.1.* **Atrea**, 2014.
 22. **Teličko, Jevgēnijs.** Wireless monitoring, data processing and visualization system for using in buildings. **In:** *ERAF project „Development, optimisation and sustainability evaluation of smart solutions for nearly zero energy buildings in real climate conditions”, Project No. 1.1.1.1/16/A/192.* Riga, 2020, 24 p.
 23. *Modbus Messaging on TCP/IP Implementation Guide, V1.0b.* **Modbus Organization**, 2006.

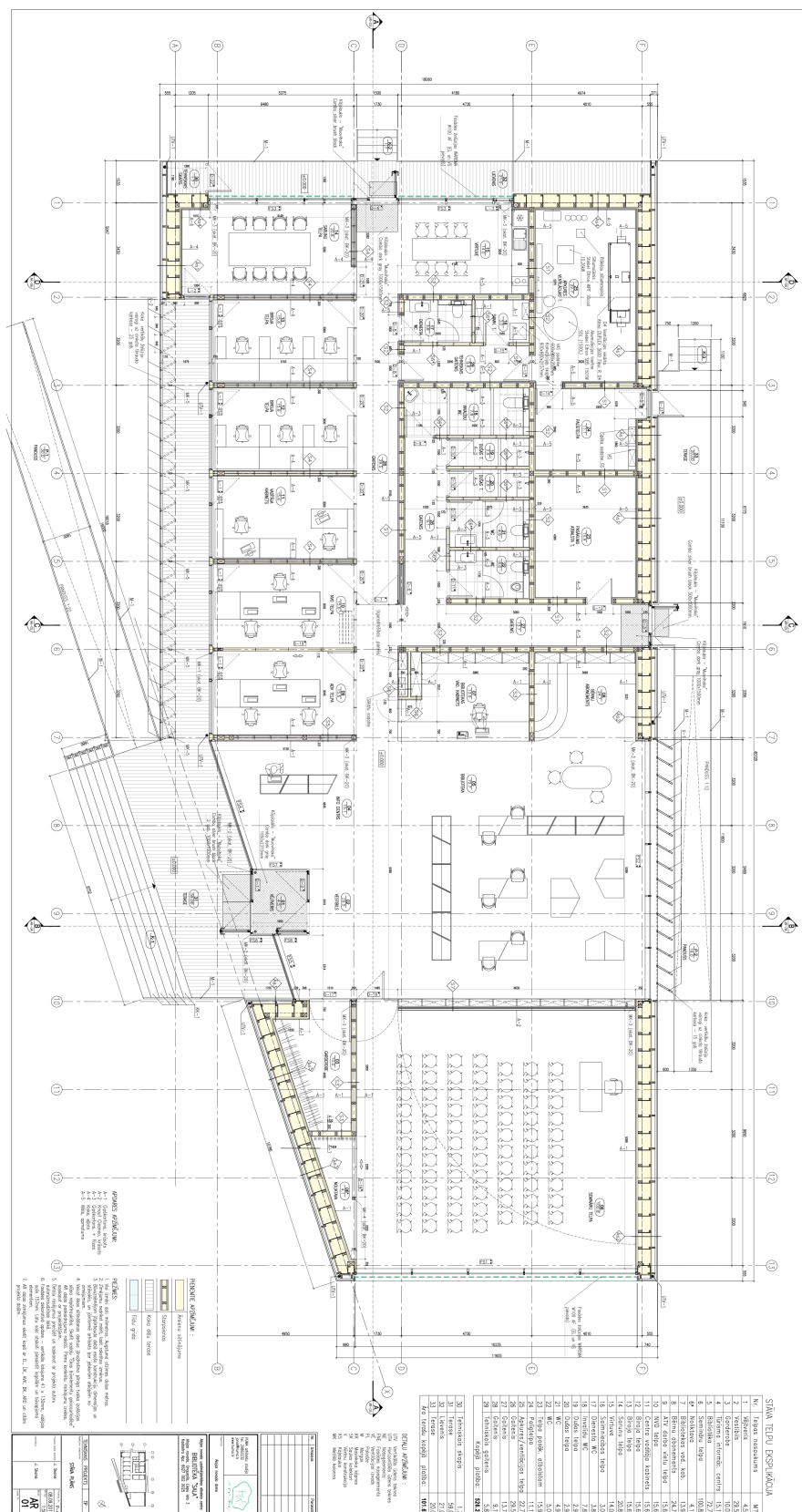
24. *Par ārkārtējās situācijas izsludināšanu. Ministru kabineta 2020.gada 12.marta rīkojums Nr.103.*
25. *Latvijas klimats* [tiešsaiste] – [atsauce 20.01.2021.] Pieejams: <https://meteo.lv/lapas/laika-apstakli/klimatiska-informacija/latvijas-klimats/latvijas-klimats?id=1199&nid=562>
26. *Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 003-19 „Būvklimatoloģija”.* **Ministru kabineta 2019.gada 17.septembra noteikumi Nr.432.**
27. *Ieteikumi ēku energoefektīvai ekspluatācijai* [tiešsaiste] – [atsauce 12.01.2021.] Pieejams: https://kpfi.lv/uploads/files/KPFI/01/Vadlinijas_eku_energoefektivai_ekspluatacijai.pdf
28. Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard, **Passive House Institute**, 2016.
29. **Dixit, A., Naik, A.** Use of Prediction Algorithms in Smart Homes. **In:** *International Journal of Machine Learning and Computing*, 2014, vol. 4, p. 157-162.
30. **Macarulla, M., Casals, M., Forcada, N., et. al.** Implementation of predictive control in a commercial building energy management system using neural networks. **In:** *Energy and Buildings*, 2017, vol. 151, p. 511-519.

PIELIKUMU SARAKSTS

Maģistra darbam ir sekojoši pielikumi:

- Pielikums Nr. 1: „Ēkas tehniskā projekta stāva plāns un detaļas”
- Pielikums Nr. 2: „Ēkas energosertifikāts”
- Pielikums Nr. 3: „Uzkrāto datu formāta paraugs”
- Pielikums Nr. 4: „Uzkrāto datu formāta kolonnu nosaukumi”
- Pielikums Nr. 5: „Izstrādāto programmatūras bloku saraksts”

PIELIKUMS NR. 1: “ĒKAS TEHNISKĀ PROJEKTA STĀVA PLĀNS UN DETAĻAS”



[illegible][illegible]

PIELIKUMS NR. 2: "ĒKAS ENERGOSERTIFIKĀTS"

Ēkas energosertifikāts								
REĢISTRĀCIJAS NUMURS <i>BIS-ĒED-1-2019-1142</i> DERĪGS LĪDZ <i>27.11.2029</i>								
1. Ēkas veids <i>cita tipa ēka, kurā tiek patērēta enerģija</i>								
2.1 Adrese <i>LV4064, Alojas nov., Alojas pag., Ungurpils, Liepu iela 3</i>								
3.1 Ēkas daļa <i>-</i>								
4.1 Ēkas vai tās daļas (telpu grupas) kadastra apzīmējums <i>66270020439002</i>								
5. Ēkas energosertificēšanas nolūks <i>pārdošana [], izīrēšana/iznomāšana [], brīvprātīgi [X], valsts/pašvaldības publiska ēka [X]</i>								
6. Ēkas raksturojums Pirmreizējais ekspluatācijā pieņemšanas gads: 2016 Pārbūves/Lietošanas veida maiņas/Atjaunošanas gads: - Stāvu skaits: 1 virszemes, 0 pazemes, [] mansards, [] jumta stāvs Kopējā platība: 627.80 m ² Aprēķina platība: 526.20 m ²								
7. Ēkas energoefektivitātes novērtējums <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <th style="text-align: left;">Atsauces vērtības</th> <th style="text-align: center;">Ēkas energoefektivitātes klase un rādītājs</th> <th style="text-align: left;">Ēkas energoefektivitātes rādītāji</th> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"> Ēkas veidam atbilstošs ēkas vidējais patēriņš - Gandrīz nulles enerģijas ēkas apkures rādītājs 45 Normatīviem atbilstoša ēka 100 </td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">  A¹ 15² </td> <td style="vertical-align: top;"> Enerģijas patēriņa novērtējums kWh/m² gadā apkurei 14.91 karstā ūdens sagatavošanai 6.54 mehāniskajai ventilācijai 3.79 apgaismojumam 7.06 dzesēšanai 0.00 papildu 5.80 Patēriņš kopā 38.10 No atjaunojamiem energoresursiem ēkā saražotā vai iegūtā enerģija 3.92 Koģenerācijā saražotā enerģija 0.00 Primārās enerģijas novērtējums 51.26 Oglekļa dioksīda emisijas novērtējums kg CO₂/m² gadā 3.72 </td> </tr> </table>			Atsauces vērtības	Ēkas energoefektivitātes klase un rādītājs	Ēkas energoefektivitātes rādītāji	Ēkas veidam atbilstošs ēkas vidējais patēriņš - Gandrīz nulles enerģijas ēkas apkures rādītājs 45 Normatīviem atbilstoša ēka 100	 A¹ 15²	Enerģijas patēriņa novērtējums kWh/m ² gadā apkurei 14.91 karstā ūdens sagatavošanai 6.54 mehāniskajai ventilācijai 3.79 apgaismojumam 7.06 dzesēšanai 0.00 papildu 5.80 Patēriņš kopā 38.10 No atjaunojamiem energoresursiem ēkā saražotā vai iegūtā enerģija 3.92 Koģenerācijā saražotā enerģija 0.00 Primārās enerģijas novērtējums 51.26 Oglekļa dioksīda emisijas novērtējums kg CO ₂ /m ² gadā 3.72
Atsauces vērtības	Ēkas energoefektivitātes klase un rādītājs	Ēkas energoefektivitātes rādītāji						
Ēkas veidam atbilstošs ēkas vidējais patēriņš - Gandrīz nulles enerģijas ēkas apkures rādītājs 45 Normatīviem atbilstoša ēka 100	 A¹ 15²	Enerģijas patēriņa novērtējums kWh/m ² gadā apkurei 14.91 karstā ūdens sagatavošanai 6.54 mehāniskajai ventilācijai 3.79 apgaismojumam 7.06 dzesēšanai 0.00 papildu 5.80 Patēriņš kopā 38.10 No atjaunojamiem energoresursiem ēkā saražotā vai iegūtā enerģija 3.92 Koģenerācijā saražotā enerģija 0.00 Primārās enerģijas novērtējums 51.26 Oglekļa dioksīda emisijas novērtējums kg CO ₂ /m ² gadā 3.72						
Ēka izpilda gandrīz nulles enerģijas ēkas prasības: Jā[X] Nē[]								
8. Ēkas energosertifikāta izdevējs Neatkarīgs eksperts <i>Kārlis Grīnbergs</i> Reģistrācijas numurs <i>EA2-0123</i> Datums ³ Paraksts ³								

Piezīmes: ¹ Ēku energoefektivitātes klase saskaņā ar ēkas patēriņa novērtējumu apkurei.

² Ēkas patēriņa novērtējums apkurei, kWh/m² gadā.

³ Dokumenta rekvizītus "Datums" un "Paraksts" neizpilda, ja dokuments sagatavots atbilstoši normatīvajiem aktiem par elektronisko dokumentu noformēšanu.

9. Ēkas norobežojošo konstrukciju īpatnējais siltuma zudumu koeficients					H_T/A_{apr} 0.42 W/(m²K) H_{TN}/A_{apr} 1.26 W/(m²K)			
H_T un H_{TN} – faktiskais un normatīvais ēkas norobežojošo konstrukciju siltuma zudumu koeficients, kas aprēķināts saskaņā ar normatīvajiem aktiem būvniecības jomā								
10. Ēkas ventilācijas īpatnējais siltuma zudumu koeficients					H_{V0}/A_{apr} 0.09 W/(m²K)			
H_{V0} – faktiskais ēkas ventilācijas siltuma zudumu koeficients, kas aprēķināts saskaņā ar ēkas energoefektivitātes aprēķina metodi								
Ventilācijas siltuma zudumu atgūšana apkures periodā								88.00%
11. Enerģijas uzskaitē un sadalījums apkures un karstā ūdens sistēmās								
Kalendāra gads vai periods (no–līdz)	Energonesējs			Apkurei			Karstā ūdens apgādei	
	nosaukums	uzskaitītais daudzums		kWh	klimate korekcija kWh ⁵	kWh/m² gadā	kWh	kWh/m² gadā
		4	kWh					
2018	Siltumsūkņi	7716.00 kWh	7716.00	7716.00	0.00	14.66	0.00	0.00

Piezīmes.

⁴ Dati par faktiski uzskaitītajiem energonesējiem par pēdējiem pieciem gadiem vai sezonām faktiski uzskaitītajās mērvienībās (t, m³, MJ, kcal vai cita).

⁵ Klimata korekcijas koeficients attiecīgajai apkures sezonai patērīna normalizēšanai uz normatīvo apkures grādu dienu skaitu.

12. Pielikumi un pievienotie dokumenti (dokumenta nosaukums, datums, numurs un lapu skaits)
1) Pārskats par ekonomiski pamatotiem energoefektivitāti uzlabojošiem pasākumiem (bis-eed-1-2019-1142-p.pdf)
2) Aprēķinos izmantotie ievaddati (Pielikumi.pdf)

13. Neatkarīga eksperta apliecinājums		
Apliecinu, ka ēkas energosertifikāts sastādīts, nepieļaujot rīcību, kas manis paša, pasūtītāja vai citas personas interesēs varētu mazināt iegūto rezultātu pareizību, novērtējuma objektivitāti un ticamību.		
Vārds uzvārds: Kārlis Grīnbergs	Paraksts ⁶	Datums ⁶
Reģistrācijas numurs: EA2-0123		

Piezīme. ⁶ Dokumenta rekvizītus "paraksts" un "datums" neaizpilda, ja dokuments sagatavots atbilstoši normatīvajiem aktiem par elektronisko dokumentu noformēšanu.

PIELIKUMS NR. 3: “UZKRĀTO DATU FORMĀTA PARAUGS”

[illegible]

PIELIKUMS NR. 4: “UZKRĀTO DATU FORMĀTA KOLONNU NOSAUKUMI”

1:laiks (unix timestamp)	56:uponor_avg_temp
2:apkurei saražotais siltums	62:uz bufertilpni
3:karstam ūdenim saražotais siltums	63:no bufertilpnes
4:apkurei patērētā elektrība	64:uz zemi
5:karstam ūdenim patērētā elektrība	65:no zemes
6:HVAC telpa	66:priekšsildītāja ieeja (siltumn.)
7:āra gaiss (ss)	67:priekšsildītāja izeja (siltumn.)
8:vent. apkure (pēcsild.)	68:turgaitas temperatūra (siltumn.)
9:grīdas apkure	69:atgaitas temperatūra (siltumn.)
10:trase uz apkuri	70:siltumsūkņa sistēmas elektrības patēriņš
11:trase uz akumul.	71:trase no apkures
12:apakš. akumulators	72:saules kolektora saražotā siltumenerģija
13:karstais ūdens	73:siltumnesējs (no zemes)
14:zemes kontūrs (no zemes) !	74:pieplūde
15:gaisa vadā	75:nosūce
16:telpā	76:saules paneļu saražotā elektrība
17:āra gaiss (ahu)	110:bibliotēkas lete
18:pieplūde (gaiss)	111:HVAC telpa
19:nosūce (gaiss)	118:semināru zāle
20:izmetamais gaiss	119:virtuve
21:AHU pieplūde (Pa)	126:datorklase
22:zemes kontūrs (uz zemi)	127:sarunu telpa
23:plūsma (l/min)	134:ofiss
24:kompresora gāzes spiediens HP (bar)	135:biroja telpa
25:kompresora gāzes spiediens LP (bar)	142:bibliotēka
26:siltumsūkņa saražotais siltums	143:biroja telpa 9
27:siltumsūkņa patērētā elektrība	148:elektrosadale
28:saules kolektora patērētā elektrība	149:biroja telpa 10 (u)
29:AHU elektrības patēriņš	150:gaitenis (u)
30:apgaismojuma elektrības patēriņš	160:bibliotēkas lete (u)
31:siltuma mezgla elektrības patēriņš	161:HVAC telpa (u)
32:meteostacija 1	168:semināru zāle (u)
33:meteostacija 1	169:virtuve (u)
34:siltuma starojums (W/m ²)	176:datorklase (u)
35:vēja ātrums (km/h)	177:sarunu telpa (u)
36:vēja virziens (°)	184:ofiss (u)
37:saules kolektora (k.u.) saražotais siltums	185:biroja telpa (u)
38:saules kolektora (zemei) saražotais siltums	192:bibliotēka (u)
39:AHU pēcsildītāja siltuma patēriņš	193:biroja telpa 9 (u)
40:AHU priekšsildītāja patēriņš (siltums)	210:bibliotēkas lete
41:AHU priekšsildītāja patēriņš (aukstums)	211:HVAC telpa
42:patēriņš grīdai (siltums)	218:semināru zāle
43:patēriņš grīdai (aukstums)	219:virtuve
44:grīdas (uz uponor)	226:datorklase
45:grīdas (no uponor)	227:sarunu telpa
46:AHU p.s. vārsta atvērums (%)	234:ofiss
47:meteostacija 2	235:biroja telpa
48:meteostacija 2	242:bibliotēka
51:uponor_holiday_mode	243:biroja telpa 9
52:uponor_forced_eco	248:mērķis
53:uponor_h_or_c	249:mērķis
54:uponor_master_slave	
55:uponor_holiday_setpoint	

250:mērķis
260:mērķis
261:mērķis
268:mērķis
269:mērķis
276:mērķis
277:mērķis
284:mērķis
285:mērķis
292:mērķis
293:mērķis
298:mērķis min
299:mērķis min
300:mērķis min
310:mērķis min
311:mērķis min
318:mērķis min
319:mērķis min
326:mērķis min
327:mērķis min
334:mērķis min
335:mērķis min
342:mērķis min
343:mērķis min
348:mērķis max
349:mērķis max
350:mērķis max
360:mērķis max
361:mērķis max
368:mērķis max
369:mērķis max
376:mērķis max
377:mērķis max
384:mērķis max
385:mērķis max
392:mērķis max
393:mērķis max
398:eco temp
399:eco temp
400:eco temp
410:eco temp
411:eco temp
418:eco temp
419:eco temp
426:eco temp
427:eco temp
434:eco temp
435:eco temp
442:eco temp
443:eco temp
448:eco
449:eco
450:eco
460:eco
461:eco
468:eco
469:eco
476:eco

477:eco
484:eco
485:eco
492:eco
493:eco
498:prombūtne
499:prombūtne
500:prombūtne
510:prombūtne
511:prombūtne
518:prombūtne
519:prombūtne
526:prombūtne
527:prombūtne
534:prombūtne
535:prombūtne
542:prombūtne
543:prombūtne
548:plūsma
549:plūsma
550:plūsma
560:plūsma
561:plūsma
568:plūsma
569:plūsma
576:plūsma
577:plūsma
584:plūsma
585:plūsma
592:plūsma
593:plūsma
598:elektrosadale
599:biroja telpa 10
600:gaitenis
610:bibliotēkas lete
611:HVAC telpa
618:semināru zāle
619:virtuve
626:datorklase
627:sarunu telpa
634:ofiss
635:biroja telpa
642:bibliotēka
643:biroja telpa 9
648:elektrosadale
649:biroja telpa 10
650:gaitenis
660:bibliotēkas lete
661:HVAC telpa
668:semināru zāle
669:virtuve
676:datorklase
677:sarunu telpa
684:ofiss
685:biroja telpa
692:bibliotēka
693:biroja telpa 9

PIELIKUMS NR. 5: “IZSTRĀDĀTO PROGRAMMATŪRAS BLOKU SARAKSTS”

N.p.k.	Funkcija	Nosaukums	Atrašanās vieta
1	Konfigurācija	sensori	tīmekļa serveris
	Definē, kādi sensori (datu vienības) eksistē katrā no datu avotiem, kā arī dažiem no sensoriem apraksta, kur tie atrodas telpā (vizualizācijas vajadzībām).		
2	Pārsūtīšana	push	radio-bāzētās sistēmas galvenais kontrolieris
	Nodrošina radio-bāzētā sensoru tīkla datu nosūtīšanu (reizi minūtē) uz tīmekļa serveri.		
3	Pārsūtīšana	fetch modbus	tīmekļa serveris
	Nodrošina datu pieprasīšanu no ĒVS caur <i>MODBUS-over-TCP</i> protokolu. Pieprasīšanu var veikt pat biežāk kā reizi sekundē, taču šobrīd dati tiek pieprasīti reizi vienā minūtē.		
4	Pārsūtīšana	fetch uponor	tīmekļa serveris
	Pieprasa mainīgos datus no <i>Uponor</i> sistēmas caur <i>R-167</i> moduli. Pieprasīšana tiek veikta reizi minūtē.		
5	Uzkrāšana	logger	tīmekļa serveris
	Nodrošina visu sensoru (kas definēti koda blokā “sensori”) datu uzkrāšanu kopējā CSV failā.		
6	Attīrīšana	autoclean	analītiķa darbstacija
	Izvāc nepareizos datus no liela datu faila atbilstoši šajā darbā aprakstītajiem automātiskajiem algoritmiem		
7	Vizualizācija	genimage	tīmekļa serveris
	Attēlo Uponor un radio-bāzētā sensoru tīkla datus uz ēkas shēmas, iekrāsojot katru no telpām atbilstoši tās temperatūrai.		
8	Vizualizācija	datatable	tīmekļa serveris
	Attēlo sensoru, kā arī pa <i>MODBUS</i> saņemto informāciju tabulu un ikonu veidā.		
9	Vizualizācija	build graphs	analītiķa darbstacija
	Ar šī rīka palīdzību tiek pieprasīts uzkrāto datu arhīvs un automātiski radītas datu vizualizācijas. Sensori ir sagrupēti loģiskās grupās un katra grupa tiek attēlota atsevišķā bildē. Rīks ļauj iekļaut vienu un to pašu rādījumu dažādās grupās un līdz ar to bildēs.		
10	Analīze	--	analītiķa darbstacija
	Datu analīze tiek veikta pašrocīgi, izmantojot attēlu apstrādes programmas, kā arī GNU atvērto rīku komplektā iekļautos rīkus (kā, piemēram, sed, cut, grep, sort, wc, awk)		

DOKUMENTĀRĀ LAPA

Maģistra darbs “Gidro ēku vadības sistēmu funkcionālo iespēju pilnveidošana energoefektivitātes un termiskā komforta paaugstināšanai” izstrādāts LU Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka maģistra darbs veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst oriģinālam.

Autors: Kirils Solovjovs

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai.

Vadītājs: Dr. Phys. Andris Jakovičs

Recenzents:

Darbs iesniegts maģistrantūras sekretariātā

Metodiķe:

Darbs aizstāvēts maģistra gala pārbaudījuma komisijas sēdē

_____ prot. Nr. __, vērtējums

Komisijas sekretārs: