



Projekts Nr. VPP-COVID-2020/1-0025

Jaunās tehnoloģijas Covid-19 pacientu tēmētai monitorēšanai, testēšanai un terapijai (3-T Project)

Projekta papildu (specifiskie) rezultāti Nr.18

Sensoru datu vizualizācija

Tehnoloģijas apraksts

5. pielikums

Autori:

G.Arnicaņš, L.Niedrīte, D.Solodovņikova, J.Zemnickis

Rīgā, 2020. gada decembrī



Saturs

1	Ievads	4
2	Literatūras apskats.....	4
2.1	Cilvēku skaits telpu līmenī un vides kvalitāte, ņemot vērā neviendabīgas uztveres modalitātes viedajā ēkā	4
2.1.1	Kas tiek mērīts?	4
2.1.2	Kā attēlot informāciju?	5
2.1.3	Tehniskais risinājums?	6
2.1.4	Kur novietot sensorus - telpas, ēkas?.....	6
2.2	Cilvēka-datora mijiedarbība rūpnieciskā monitoringa pakalpojumos	6
2.2.1	Kur novietot sensorus - telpas, ēkas?.....	7
2.2.2	Kā attēlot informāciju?	7
2.2.3	Lietotāji un drošība?	10
2.2.4	Arhitektūra?	10
2.2.5	Tehniskais risinājums?	10
2.2.6	6. Kas tiek mērīts (T, CO ₂ , ...)?	10
2.3	<i>mHealth</i> : Iekštelpu vides kvalitātes mērīšanas sistēma veselības un labklājības uzlabošanai ar lietiskā interneta starpniecību	10
2.3.1	Kur novietot sensorus - telpas, ēkas?.....	10
2.3.2	Kā attēlot informāciju?	10
2.3.3	Lietotāji un drošība?	10
2.3.4	Arhitektūra?	10
2.3.5	Tehniskais risinājums?	10
2.3.6	6. Kas tiek mērīts (T, CO ₂ , ...)?	10
2.4	IoT satvars iekštelpu vides un noslogojuma novērtēšanai: Gadījumu pētījuma rezultāti	15
2.5	Iekštelpu gaisa kvalitātes uzraudzības sistēmas ar reālā laika bezvadu sensoru tīkliem (WSN).	21
2.5.1	Kur novietot sensorus - telpas, ēkas?.....	21
2.5.2	Kā attēlot informāciju?	21
2.5.3	Lietotāji un drošība?	22
2.5.4	Arhitektūra?	22
2.5.5	Tehniskais risinājums?	22
2.5.6	6. Kas tiek mērīts (T, CO ₂ , ...)?	22
2.6	Integrētas sistēmas projektēšana, ieviešana un datu analīze vides raksturlielumu mērīšanai .	22
2.7	Sensoru datu vizualizācija: Uz kompozīciju balstīta pieeja domēnu mainīguma atbalstam ...	27



2.8	<i>Elemental</i> : Atvērtā pirmkoda bezvadu aparatūras un programmatūras platforma ēku enerģijas un iekštelpu vides uzraudzībai un kontrolei.....	33
2.8.1	Arhitektūra?	33
2.8.2	6. Kas tiek mērīts (T, CO ₂ , ...)?	33
2.8.3	Tehniskais risinājums?	33
2.8.4	Kā attēlot informāciju?	34
2.9	Datu vizualizācija lietiskajā internetā: rīki, metodoloģijas un izaicinājumi	37
2.9.1	Kā attēlot informāciju?	37
2.9.2	Tehniskais risinājums?	40
2.10	Secinājumi par literatūras apskatu.....	41
3	Konceptuālais risinājums	42
4	Prototipu izveide	44
4.1	Reālu datu iegūšana no sensoriem	44
4.2	Diagrammu izveide.....	46
5	Kopsavilkums.....	51



1 Ievads

Projekta laikā tika konstatēts, ka labai datu un iegūtās informācijas vizualizēšanai ir liela nozīme gan operatīvo, gan stratēģisko lēmumu pieņemšanā. Ir sākts darbs risinājuma izveidē, kas pārsniedz projekta noteiktos mērķus, bet ir noderīgs, lai samazinātu Covid-19 un citu elpceļu slimību risku.

Šajā dokumentā ir informācija par līdz šim veiktajām darbībām.

Tika piemeklētas zinātniskās publikācijas, kas attiecas uz pētāmo jomu. No tām atlasītas labākās publikācijas, kas aptver interesējošos aspektus. Ir aprakstīts konceptuālais risinājums datu iegūšanai un izveidoti prototipi. Testēšanas vajadzībām tiek apkopoti dati no dažādām ēkām un sensoriem. Izmantojot reālos datus, tiek izveidoti pirmie risinājumi dažādu grafiku izveidei.

2 Literatūras apskats

Pētījuma jautājumi:

- Kur novietot sensorus - telpas, ēkas?
- Kā attēlot informāciju? (vizualizācija lietu interneta gadījumā)
- Lietotāji un drošība?
- Arhitektūra?
- Tehniskais risinājums?
- Kas tiek mērīts (T, CO₂, ...)?

Tālākajās apakšnodaļās ir apkopota svarīgākā informācija datu vizualizācijas risinājumu izveidei. Teksts satur fragmentus no publikācijām, vizualizācijas piemērus, mūsu piezīmes un secinājumus.

Literatūras meklēšana un analīze joprojām turpinās.

Attēlu, tabulu un atsauču uz citiem dokumentiem numerācija nākamajās šīs nodaļas apakšnodaļās ir saglabāta atbilstoši izmantotā darba oriģinālam, lai oriģināldarbā būtu vieglāk atrast vajadzīgo attēlu.

2.1 Cilvēku skaits telpu līmenī un vides kvalitāte, ņemot vērā neviendabīgas uztveres modalitātes viedajā ēkā

Schwee, J. H., Johansen, A., Jørgensen, B. N., Kjærgaard, M. B., Mattera, C. G., Sangogboye, F. C., & Veje, C. (2019). Room-level occupant counts and environmental quality from heterogeneous sensing modalities in a smart building. Scientific data, 6(1), 1-11.

2.1.1 Kas tiek mērīts?

Šis datu deskriptors aptver datu kopu, kas savākta ar sensoriem telpā esošo **cilvēku skaitīšanai**, kā arī saistītos datus par **iekštelpu vides kvalitāti**. Sensoru rādījumi aptver trīs telpas, tostarp vienu auditoriju un divas mācību zonas.



Sensor	Description	Unit	Uncertainty
CO ₂	CO ₂ concentration by wall mounted sensor.	Parts Per Million (ppm)	300–1000 ppm: ±120 ppm
			1000–2000 ppm: ±250 ppm
			2000–5000 ppm: ±300 ppm
Relative Humidity	Relative humidity measured by wall mounted sensor.	Percentage	±5%
Illuminance	Illuminance measured by ceiling mounted sensor.	Lux	Operating range 10–2000 lux
Occupant count	Estimated number of occupants in the room.	Count	Not available
Enter door 1	Number of counted occupants entering since last reading.	Count	1%
Exit door 1	Number of counted occupants leaving since last reading.	Count	1%
Enter door 2	Number of counted occupants entering since last reading.	Count	1%
Exit door 2	Number of counted occupants leaving since last reading.	Count	1%
Temperature	Temperature in the room measured by wall mounted sensor.	Degree Celsius	1 °C
VAV damper position	The openness of the variable air volume damper for in-flow air ventilation.	Percentage	Not available

Table 1. The sensor streams in the released dataset, and the units which they are measured in. Uncertainty is reported as specified in the technical product sheets.

Room Name	Room type	Size of the room	Seating capacity	Volume
Room 1	lecture room	139 m ²	84	461.48 m ³
Room 2	study zone	125 m ²	32	418.75 m ³
Room 3	study zone	125 m ²	32	418.75 m ³

Table 9. Metadata for each of the rooms.

2.1.2 Kā attēlot informāciju?

a) Vairāku indikatoru grafiki

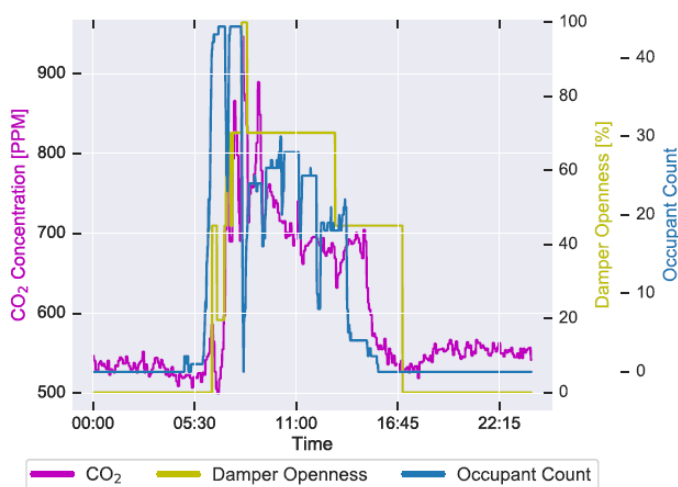


Fig. 2 The relationship between the number of occupants, the VAV damper openness of the heating ventilation and air conditioning (HVAC) system, and the CO₂ conditions, in room 1 on the day of 9.

b) Stundu vidējie rādītāji, kas aprēķināti katru dienu noteiktā laika posmā

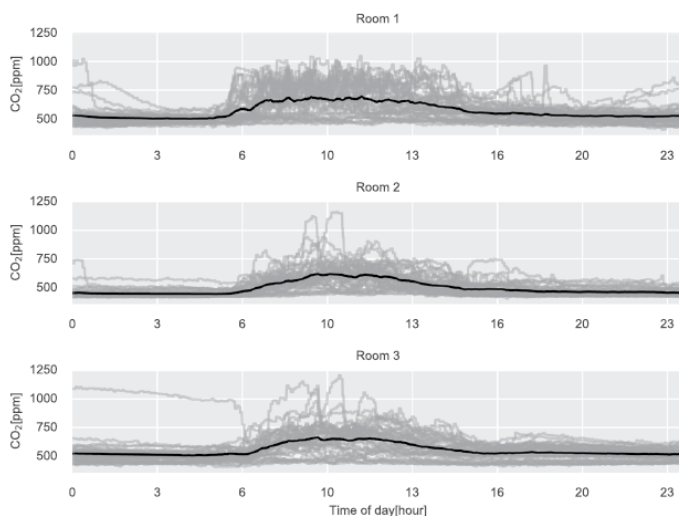


Fig. 3 Daily CO₂ concentrations profiles for the three test rooms. The gray lines are daily profiles, the black line is the average daily profile.

2.1.3 Tehniskais risinājums?

Telpās ienākošo un izejošo cilvēku skaits tiek noteikts ar sešām mūsdienīgām kompānijas Xovis ražotām PC2 3D stereo redzamības kamerām, kas uzstādītas virs telpu ieejām. Lai novērtētu cilvēku skaitu telpās, tika izmantots *PLCount* algoritms 10 neapstrādātu kameras rādījumu analīzei.

Pārējie ēkas dati tiek apkopoti ar standarta sensoriem, kas savienoti ar ēkas vadības sistēmu (*building management system - BMS*) - konkrētajā ēkā *Schneider Electric BMS*.

2.1.4 Kur novietot sensorus - telpas, ēkas?

Sensor	Room 1	Room 2	Room 3
CO ₂	Installed on south facing wall, in 180 cm.	Installed on south facing wall, in 180 cm.	Installed on south facing wall, in 180 cm.
Illuminance	Installed on the ceiling.	Installed on the ceiling.	Installed on the ceiling.
Occupant counts	Virtual sensor.	Virtual sensor.	Virtual sensor.
Enter door 1	Installed on the ceiling. In the hallway 0.5 m from door 1.	Installed on the ceiling. In the hallway 0.5 m from door 1.	Installed on the ceiling. In the hallway 0.5 m from door 1.
Exit door 1	Installed on the ceiling. In the hallway 0.5 m from door 1.	Installed on the ceiling. In the hallway 0.5 m from door 1.	Installed on the ceiling. In the hallway 0.5 m from door 1.
Enter door 2	Installed on the ceiling. In the hallway 0.5 m from door 2.	Installed on the ceiling. In the hallway 0.5 m from door 2.	Installed on the ceiling. In the hallway 0.5 m from door 2.
Exit door 2	Installed on the ceiling. In the hallway 0.5 m from door 2.	Installed on the ceiling. In the hallway 0.5 m from door 2.	Installed on the ceiling. In the hallway 0.5 m from door 2.
Temperature	Installed on the south-facing wall, at height 180 cm.	Installed on the south-facing wall, at height 180 cm.	Installed on the south-facing wall, at height 180 cm.
VAV damper position	On the damper.	On the damper.	On the damper.

Table 3. Overview of the locations of the sensors inside the room.

Sensoru izvietošanā tiek ievērota Dānijas būvniecības nozares standarta prakse.

2.2 Cilvēka-datora mijiedarbība rūpnieciskā monitoringa pakalpojumos

Dimitrov, V., Filippova, E., & Korzun, D. (2020). *Human-Computer Service Interface in Industrial Monitoring Services*. *Conference of Open Innovations Association, FRUCT (No. 27, pp. 301-306)*



Mēs pētām cilvēka-datora mijiedarbības iespējas, lai padarītu tālāk minētos pakalpojumus viedākus: a) mobilā palīdzība, b) interaktīvais informācijas panelis, c) pēcanalīze. Mūsu pētījums balstās uz ieviesta izmēģinājuma prototipa, kas tiek pārbaudīts lietošanai ar reālām ražošanas iekārtām.

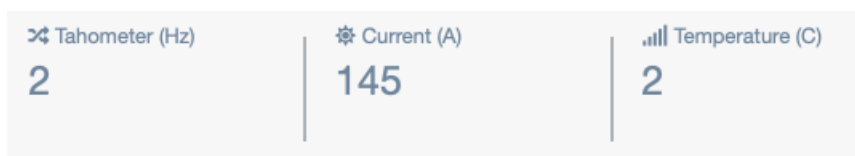
2.2.1 Kur novietot sensorus - telpas, ēkas?

Uz iekārtām, jo tie mēra dažu ražošanas iekārtu parametrus.

2.2.2 Kā attēlot informāciju?

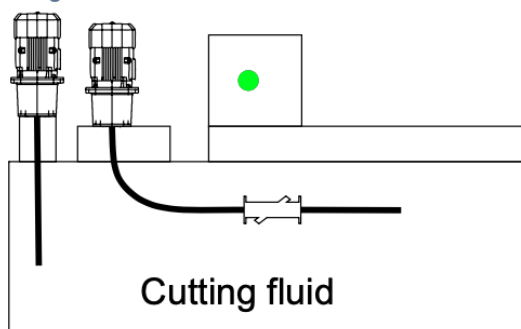
1. Mobilā palīdzība:

- a) Logrīki - parāda sensora vērtības un indikatoru statusu reālajā laikā. Tā kā sensoru un to indikatoru skaits var būt milzīgs, interfeisam jābūt pielāgojamam un jāparāda tikai tā informācija, kas nepieciešama konkrētam lietotājam. Lietotājam tiek nodrošināti arī uzlaboti logrīka iestatījumi ar pielāgojamiem attēlošanas nosacījumiem.



b) Mnemoniskā shēma

Cutting fluid node



Mnemoniskā shēma ir SVG fails, kurā tiek parādīti objekti ar informāciju. Sensoru atrašanās vieta shēmā tiek noteikta atbilstoši to atrašanās vietai reālajā pasaulē. Sensoru statusu parāda noteiktas krāsas aplī. Mnemoniskajā shēmā var konfigurēt arī apakšshēmu (*child scheme*), uz kuru var pāriet, noklikšķinot uz atbilstošā objekta. 2. attēlā ir parādīta mnemoniskā shēma ar sensoru un apakšelementu (*child element*).

c) Brīdinājumi

Lai uzraudzītu vērtības, aktivizējiet e-pasta, SMS un pašpiegādes paziņojumus.

Lietotājam jāabonē konkrēts notikums, piemēram, vērtība, kas pārsniedz sliekšni, lai tiktu saņemta informācija par to.

d) Pārskati

Pārskati nav reālā laika.

2. Informācijas paneli

Lietotājam pieejama tīmekļa lietojumprogramma darbojas kā klasiska lietotāja saskarne. Lietotājs var konfigurēt blokus.

Tiek atbalstīti 15 bloku veidi.

Dati blokiem tiek iegūti no datubāzēm (vai notikumiem, par kuriem ziņo ziņojumu starpnieks) atbilstoši aprakstam konfigurācijas failā.

Bloku apraksts varētu būt, piemēram, šāds:

```
block1.type = chart
block1.name = Rotation frequency, Hz
block1.event.types = value_changed
block1.data.field1 = frequency
block1.data.name1 = Rotation frequency
block1.data.color1 = red
block1.y = frequency, Hz
```

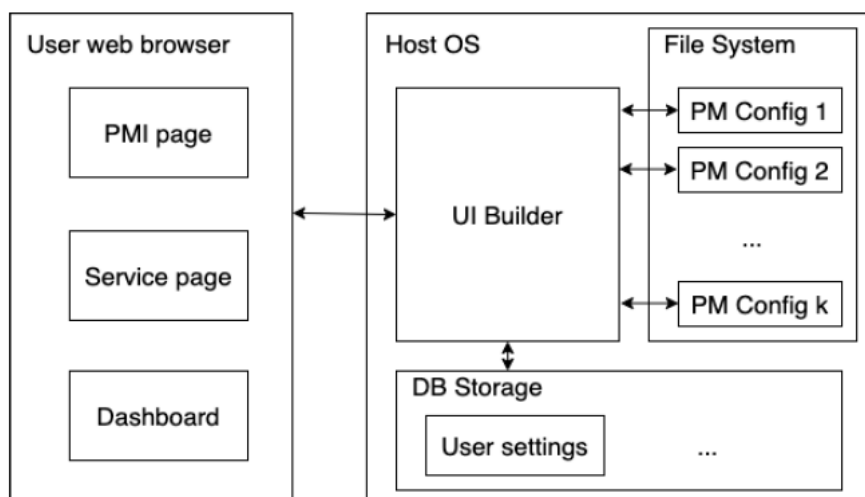


Fig. 4: User Interface architecture of the system

Šobrīd ir ideja izveidot video informācijas paneli. Šis informācijas panelis būs piemērots pašreizējai aprīkojuma konfigurācijai un parādīs tikai lietotājiem svarīgu informāciju.

- 1) Ir definēts nozīmīgu notikumu saraksts. Notikumus ģenerē PMI vai pakalpojumi.
- 2) Katrs notikums ir saistīts ar lietotāju saskarņu bloku sarakstu, kurā tiek parādīta informācija, lai izprastu problēmas cēloņus.

Šajā gadījumā dažādu notikumu arhitektūrā parādās vairāk “Event config” failu.

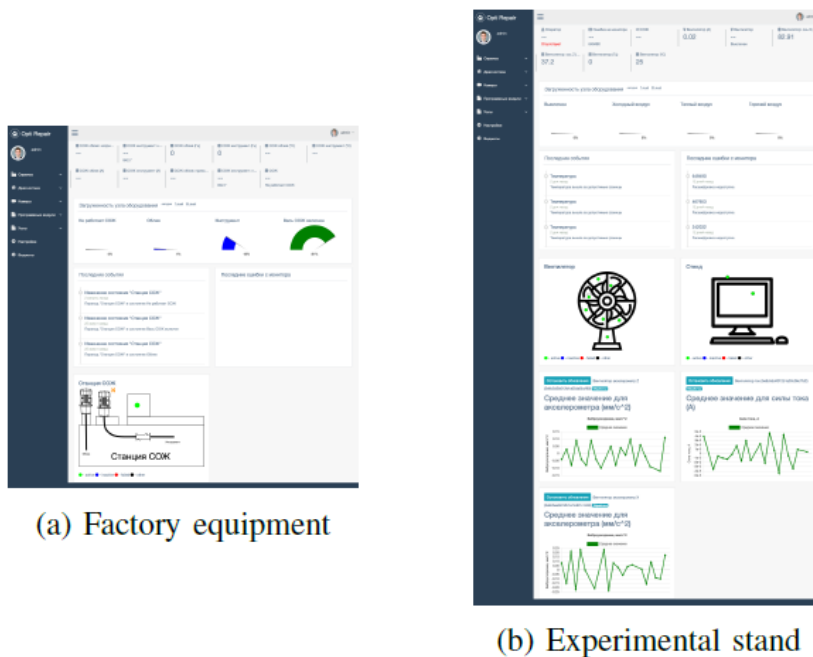


Fig. 5: Dashboard examples

POST analīze

Sensora notikums un problēmas cēlonis var būt nobīdīts laikā. Šo anomāliju var atklāt dinamiski aplūkojot vēsturiskos datus.

Lai atrisinātu šo problēmu, ir ideja izveidot lietotāja saskarni, kas savlaicīgi atainotu uzraudzības sistēmas notikumus video formātā. No saglabātajiem failiem tiks straumēts video, tiks ģenerēti dati no sensoriem un PMI notikumiem un pakalpojumiem, un sistēma parādīs datus, kā arī reālā laika informāciju (visiem lietotāja saskarnes blokiem).

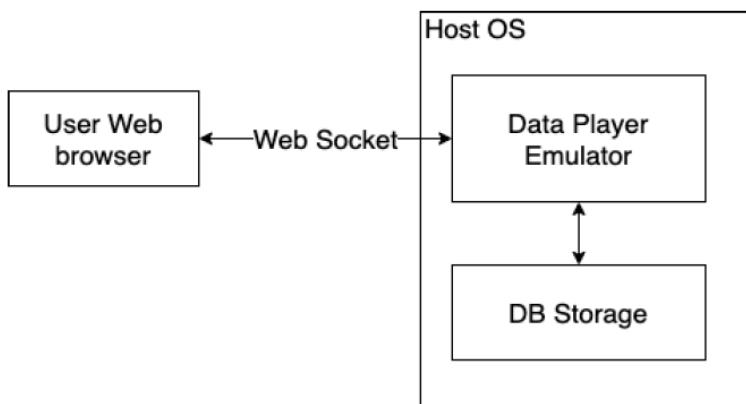


Fig. 8: Historical Data Player Architecture

2.2.3 Lietotāji un drošība?

Lietotāji var konfigurēt informācijas paneļa ekrānus, izvēlēties atainotos blokus, saglabāt konfigurācijas failus.

2.2.4 Arhitektūra?

--

2.2.5 Tehniskais risinājums?

Nekas nav teikts par sensoriem, protokoliem utt.

2.2.6 6. Kas tiek mērīts (T, CO₂, ...)?

Neviens no šiem, jo ir cits pielietojums - aprīkojuma mērīšana.

2.3 *mHealth*: Iekštelpu vides kvalitātes mērīšanas sistēma veselības un labklājības uzlabošanai ar lietiskā interneta starpniecību

Marques, G., & Pitarma, R. (2019). *mHealth: Indoor environmental quality measuring system for enhanced health and well-being based on internet of things*. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 8(3), 43.

2.3.1 Kur novietot sensorus - telpas, ēkas?

Tikai viena telpa, sensori telpas vidū, eksperimenta laikā datus apkopoja 3 mēnešus.

2.3.2 Kā attēlot informāciju?

Skatīt kopsavilkumu tālāk.

2.3.3 Lietotāji un drošība?

--

2.3.4 Arhitektūra?

Skatīt kopsavilkumu tālāk.

2.3.5 Tehniskais risinājums?

Rakstā ir informācija arī par sensoriem, SQL Serveri, .NET un Swift.

2.3.6 6. Kas tiek mērīts (T, CO₂, ...)?

Cietās daļiņas (PM), temperatūra, gaisa mitrums un formaldehīda uzraudzība

Iekštelpu vides kvalitāte (*Indoor environment quality - IEQ*) ietver iekštelpu gaisa kvalitāti (*indoor air quality - IAQ*), akustiku, siltuma komfortu un apgaismojumu [24]. Pieaugošais ēku iemītnieku skaits un telpās pavadītais laiks pamato nepieciešamību attīstīt automatiskas uzraudzības sistēmas ne tikai, lai veicinātu telpu iemītnieku veselību un labklājību, bet arī radītu produktīvu darba vidi [26]. Saskaņā ar Vides aizsardzības aģentūras (*EPA*) datiem piesārņotāju koncentrācija iekštelpās var būt pat 100 reizes augstākā nekā āra gaisa piesārņotāju koncentrācija. Tāpēc *EPA* slikto gaisa kvalitāti uzskatīja par vienu no pieciem galvenajiem vides apdraudējumiem cilvēku veselībai globālā līmenī [28].

PMS5003ST sensors nodrošina cieto daļiņu (PM), temperatūras, gaisa mitruma un formaldehīda uzraudzību. Risinājumu veido aparatūras prototips datu apkopošanai un pārraidei, kā arī mobilā skaitļošanas programmatūra datu meklēšanai. PM ietver putekļus, netīrumus, kvēpus, dūmus un šķidrums pilienus.

Saistītie darbi

Processing Unit	Sensor Unit	Architecture	Connectivity	Data Access	Easy Installation	Notifications	Reference
Raspberry Pi	CO ₂	WSN/IoT	Wi-Fi	Web	×	×	[61]
Arduino UNO	CO ₂ and Light	WSN	ZigBee	×	×	×	[62]
Arduino UNO	T, R.H, CO ₂ , Light and Air velocity	IoT	ZigBee/BLE	Mobile	×	×	[63]
Arduino	T, R.H. and CO ₂	WSN	ZigBee	Desktop	×	×	[64]
TI MSP430	CO, Air velocity and direction, T. and R.H.	WSN	ZigBee/GSM	×	×	×	[65]
TI MSP430	CO, T, R.H, VOC and PM	IoT	Wi-Fi	×	×	×	[66]
Raspberry Pi	CO ₂ , CO, SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , Cl ₂ , T. and R.H.	IoT/WSN	ZigBee/Ethernet	×	×	×	[67]
ESP8266	PM, T, R.H. and F.	IoT	Wi-Fi	√	√	√	*

√: apply; ×: not apply; T: temperature; R.H.: relative humidity; PM: particulate matter; F: Formaldehyde; *: proposed solution.

Table 1 shows that the less used technology for data communication is cabled Ethernet, being followed by GSM. The most used communication technology is ZigBee, which is commonly used to provide data communication across sensor's nodes on WSN architectures. Bluetooth low energy (BLE) is also implemented on several applications. Furthermore, only three solutions, as described in Table 1, provide software for data consulting and no one of the previous proposed solutions incorporates easy-installation and notifications features.

Uzraudzītie dati tiek glabāti *Microsoft SQL Server* datubāzē, vienlaikus izmantojot tīmekļa pakalpojumus. Datu meklēšanai ir izveidots tīmekļa portāls ar nosaukumu *AirPlusWeb* un *iOS* mobilā lietojumprogramma ar nosaukumu *AirPlusMobile*, izmantojot attiecīgi *ASP.NET* un *Swift* (1. attēls).

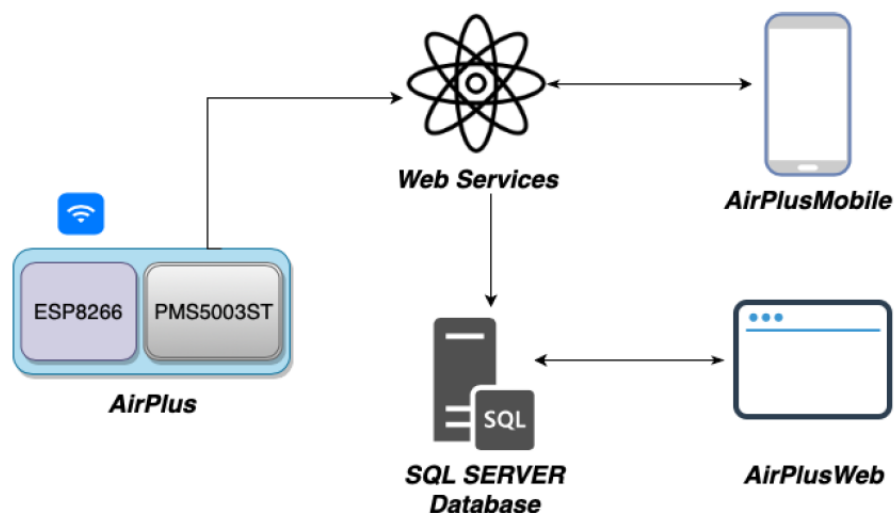


Figure 1. AirPlus system architecture.

Apkopotie dati tiek augšupielādēti *SQL* servera datubāzē, vienlaikus izmantojot *.NET* tīmekļa pakalpojumus.

AirPlusWeb un *.NET* tīmekļa pakalpojuma resursi tiek glabāti vienā un tajā pašā *Windows Server* instancē.

AIRPLUS - INDOOR AIR QUALITY															
Home			Chart's Now			Config			Notifications			About			
LAST INDOOR AIR QUALITY DATA															
Sensor	value	Un	Time	Sensor	value	Un	Time	Sensor	value	Un	Time	Sensor	value	Un	Time
PM2.5	4	ug/m3	2019-06-10 12:12	HCHO	0	ug/m3	2019-06-10 12:12	RH	33.4	%	2019-06-10 12:12	T	21.6	°C	2019-06-10 12:12
PM2.5	3	ug/m3	2019-06-10 12:11	HCHO	0	ug/m3	2019-06-10 12:11	RH	33.5	%	2019-06-10 12:11	T	21.6	°C	2019-06-10 12:11
PM2.5	3	ug/m3	2019-06-10 12:11	HCHO	0	ug/m3	2019-06-10 12:11	RH	33.6	%	2019-06-10 12:11	T	21.6	°C	2019-06-10 12:11
PM2.5	1	ug/m3	2019-06-10 12:11	HCHO	0	ug/m3	2019-06-10 12:11	RH	33.5	%	2019-06-10 12:11	T	21.6	°C	2019-06-10 12:11
PM2.5	3	ug/m3	2019-06-10 12:10	HCHO	0	ug/m3	2019-06-10 12:10	RH	33.6	%	2019-06-10 12:10	T	21.6	°C	2019-06-10 12:10
PM2.5	3	ug/m3	2019-06-10 12:10	HCHO	0	ug/m3	2019-06-10 12:10	RH	33.6	%	2019-06-10 12:10	T	21.6	°C	2019-06-10 12:10
PM2.5	3	ug/m3	2019-06-10 12:09	HCHO	0	ug/m3	2019-06-10 12:09	RH	33.5	%	2019-06-10 12:09	T	21.6	°C	2019-06-10 12:09
PM2.5	2	ug/m3	2019-06-10 12:09	HCHO	0	ug/m3	2019-06-10 12:09	RH	33.4	%	2019-06-10 12:09	T	21.6	°C	2019-06-10 12:09
PM2.5	2	ug/m3	2019-06-10 12:08	HCHO	0	ug/m3	2019-06-10 12:08	RH	33.5	%	2019-06-10 12:08	T	21.6	°C	2019-06-10 12:08
PM2.5	3	ug/m3	2019-06-10 12:08	HCHO	0	ug/m3	2019-06-10 12:08	RH	33.5	%	2019-06-10 12:08	T	21.6	°C	2019-06-10 12:08
12			12			12			12						

Figure 5. AirPlusWeb—last collected data.

iOS lietojumprogrammas nosaukums ir *AirPlusMobile*. Tā ir izstrādāta ar *Swift* programmēšanas valodu *Xcode* integrētās izstrādes vidē un ir saderīga ar *iOS 12* un sekojošām versijām.

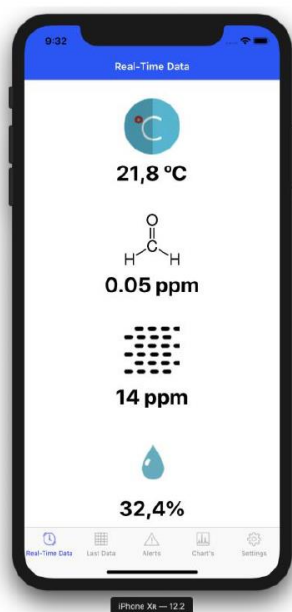


Figure 6. AirPlusMobile—last collected data.



Turklāt piedāvāto risinājumu var izmantot kā lēmumu pieņemšanas instrumentu, lai plānotu apkopoto datu pamatotas intervences. Risinājums nodrošina precīzu un detalizētu datu **analīzi, lai noteiktu sliktas iekštelpu vides kvalitātes scenārijus.**

Uzraudzītos datus var izmantot, lai identificētu raksturīgos IEQ modeļus efektīvai intervences plānošanai.

Pārraudzīto datu analīzē var identificēt vairākas riska situācijas, kas var būt saistītas ar telpas iemītnieku paradumiem un uzvedību, kas negatīvi ietekmē IEQ.

AirPlusWeb iekļauj arī **paziņojumu vēsturi** datu meklēšanai. Kopumā tīmekļa platforma ir lēmumu pieņemšanas rīks, kas ļauj plānot intervences iekštelpu vidē, lai uzlabotu IEQ, kā arī nodrošināt optimālu intervencu efektivitāti.

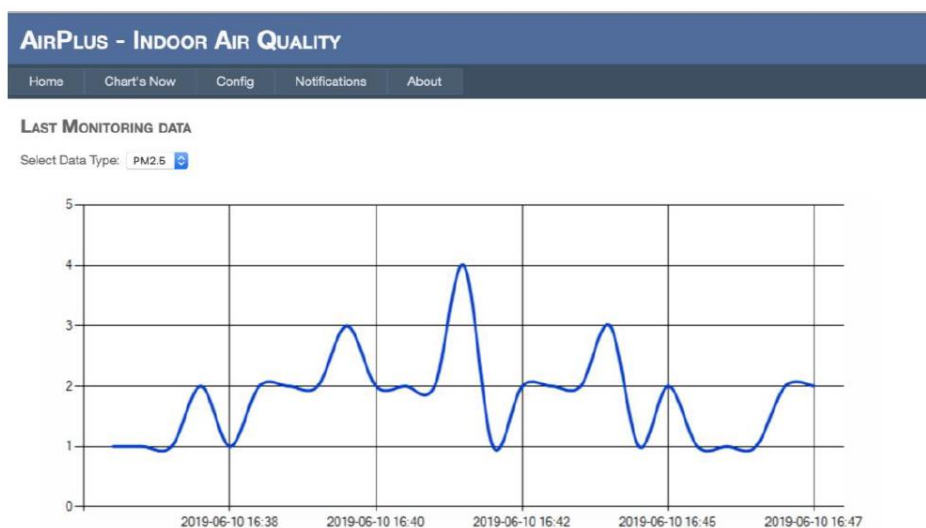
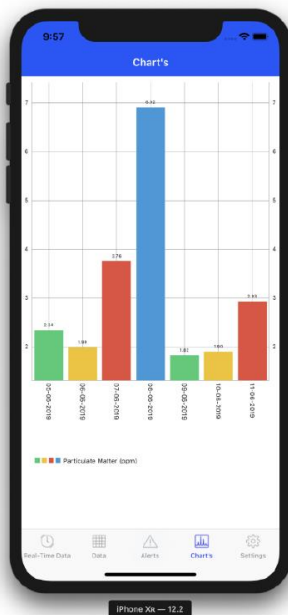
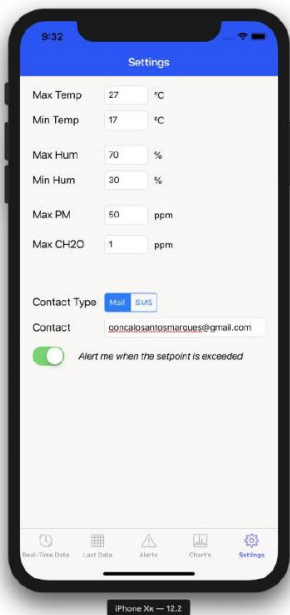


Figure 8. AirPlusWeb: PM monitoring data—chart representation.



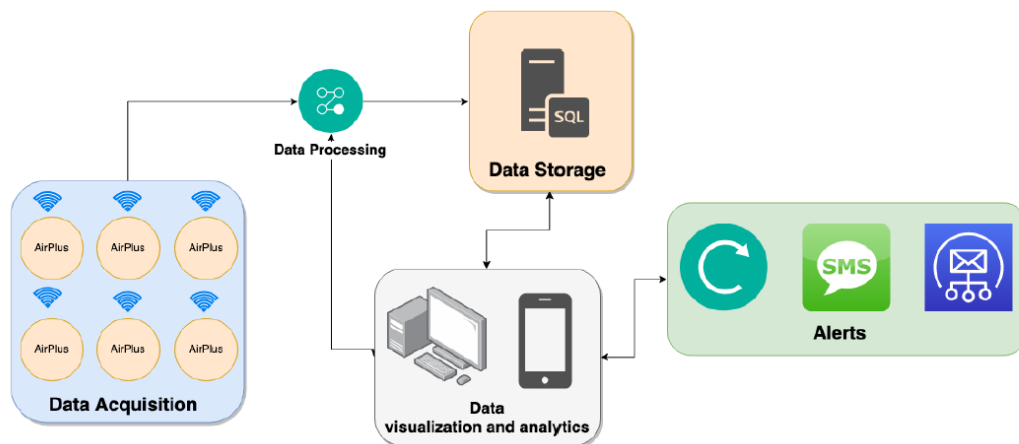


Figure 11. AirPlus notification architecture.



Figure 10. AirPlusWeb: notification feature.

2.4 IoT satvars iekštelpu vides un noslogojuma novērtēšanai: Gadījumu pētījuma rezultāti

Rinaldi, S., Flammini, A., Tagliabue, L. C., & Ciribini, A. L. C. (2019). *An IoT framework for the assessment of indoor conditions and estimation of occupancy rates: Results from a real case study*. *Acta Imeko*, 8(2), 70-79.

No pārskata:

Šajā pētījumā veikta HVAC sistēmu kontrole ar kognitīvas sistēmas starpniecību, kuras pamatā ir telpu noslogojuma modelis, kas spēj aptvert lietotāju ieradumus un iekštelpu gaisa kvalitāti (IAQ), ko nosaka



IoT sensori. Šī sistēma ir uzstādīta Brešas Universitātes eLUX laboratorijas ēkā Itālijā. IoT IAQ sensoru sniegtie dati (temperatūra, relatīvais gaisa mitrums, CO₂) tiek izmantoti šīs ēkas telpu modeļu noslogojuma rezultātu noteikšanai. Eksperimentu rezultāti rāda, ka 22,15% paraugu CO₂ koncentrācija pārsniedza 1000 ppm sliekšni, kas ir svaiga gaisa un labu iekštelpu vides apstākļu robežvērtība.

HVAC - apkure, ventilācija, gaisa kondicionēšana

IAQ (iekštelpu gaisa kvalitāte) spēcīgi ietekmē veselību un koncentrēšanos izglītības iestādēs. Pētījumi ir pierādījuši, ka IAQ būtiski ietekmē studentu mācību sniegumu. IAQ novērtēšanai izmanto oglekļa dioksīda (CO₂) vērtību [6], turklāt to var viegli aprēķināt [7] un izmērīt [8]. Informācijas uzraudzībai un datu apkopšanai var izmantot īpašu sensoru tīklu [9].

ICT infrastruktūra IoT sensoru atbalstam ir parādīta 1. attēlā. Šādas infrastruktūras pamatā ir pieci līmeņi: ierīce, ierīces abstrakcija, dati, kognitīvie un vizualizācijas slāņi.

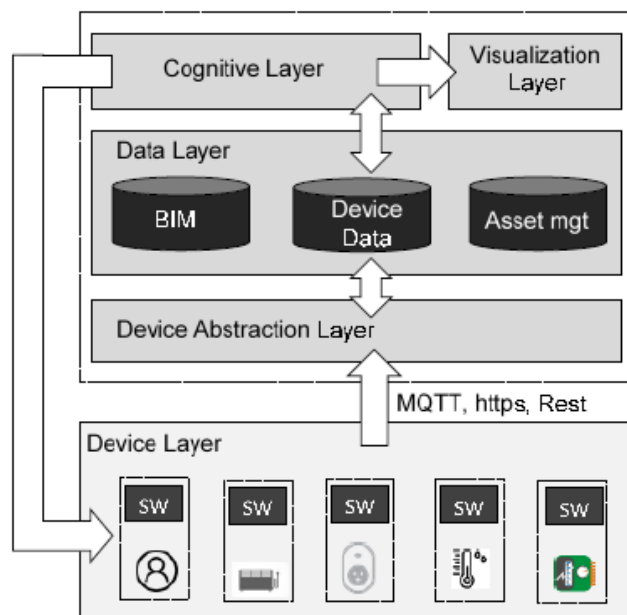


Figure 1. The reference ICT architecture used for the integration of IoT devices and the estimation of building parameters.

Katru no ierīcēm raksturo datu modelis, ko izmanto informācijas apmaiņai ar augšējiem slāņiem caur atbilstošu sakaru protokolu. Sistēma ir protokola agnostiska, proti, **ierīces abstrakcijas slānī** atbalsta jebkuru komunikācijas protokolu, kas nodrošina iespēju translēt dažādas ierīces augšējam slānim. Starp atbalstītajiem sakaru protokoliem jāmin *Message Queue Telemetry Transport (MQTT)*, *WebService REST*, *Advanced Message Queueing Protocol (AMQP)* un *Modbus*.

Datu slānī ietilpst informācijas sistēma, ko izmanto reāllaika datu glabāšanai no sensoriem (*Device Data DB*), modelis un informācija par ēku un tās sastāvdaļām, kā arī IoT sensoru novietojumu (*BIM DB*), un informācija par instalētajām IoT ierīcēm (ieskaitot metroloģiskos raksturlielumus) (*Asset Mgt DB*). Informācija, kas tiek glabāta *BIM DB* un *Asset Mgt DB*, ir būtiska pareizas informācijas iegūšanai no *Device Data DB* un šīs informācijas apmaiņai starp dažādām ēkām. Glabājamo datu atšķirīgo īpašību



dēļ datu slānis ir **strukturēts, izmantojot dažādas datubāzes**, piemēram, reāllaika datiem nepieciešama datubāze, kas spēj paralēli uzglabāt milzīgu datu apjomu no simtiem sensoru, savukārt informācija par ēku ir diezgan statiska.

Kognitīvais slānis var izmantot *Device Data DB* saglabātos datus, lai secinātu papildu informāciju no sensoru iesūtītajiem neapstrādātajiem datiem. Piemēram, cilvēku skaitu telpā un cilvēku plūsmu ēkā var secināt no CO₂ koncentrācijas. Informācija, kas secināta no neapstrādātajiem datiem, tiek augšupielādēta ierīces *Data DB* kā virtuāls sensors.

Datu slānī saglabāto informāciju var apstrādāt kognitīvais slānis un vizualizēt **vizualizācijas slānis**. Vizualizācijas slānis izmanto **Grafana** priekšrocības, kas ir atvērta datu analīzes un uzraudzības sistēma.

Mijiedarbību starp augšējiem slāņiem (ierīces abstrakcijas slānis, datu slānis, vizualizācijas slānis un kognitīvais slānis) nodrošina **WebService REST**.

P.S. Raksts atsaucas uz iekštelpu gaisa kvalitātes rādītājiem - kaut kāda veida starptautiskiem standartiem iekštelpu gaisa kvalitātei, lai gan ir atsauce uz itāļu valodas dokumentu. Ir sniegtas tabulas ar specifiskiem parametriem.

CO₂ koncentrācijas parametrs ir plaši pieņemts rīks cilvēku klātbūtnes un noslogojuma novērtēšanai iekšējās telpās [21]. Lai saprastu telpu izmantošanas intensitāti, ir izmantots ēkā esošās izglītības iestādes reālais mācību nedēļas grafiks. Neskatoties uz to, reālais lekciju apmeklējums nav noteikts.

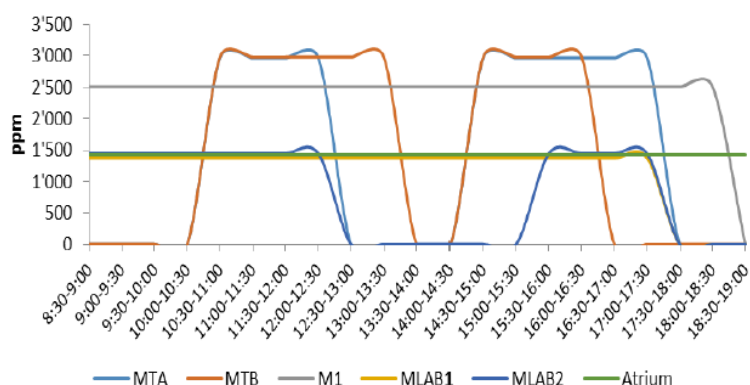


Figure 8. Concentration of CO₂ in the 'Modulo Didattico' building in the different classrooms on a standard Wednesday of the learning week.

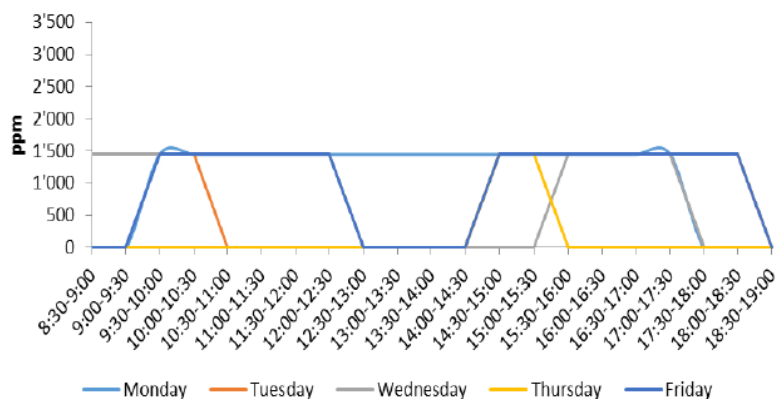
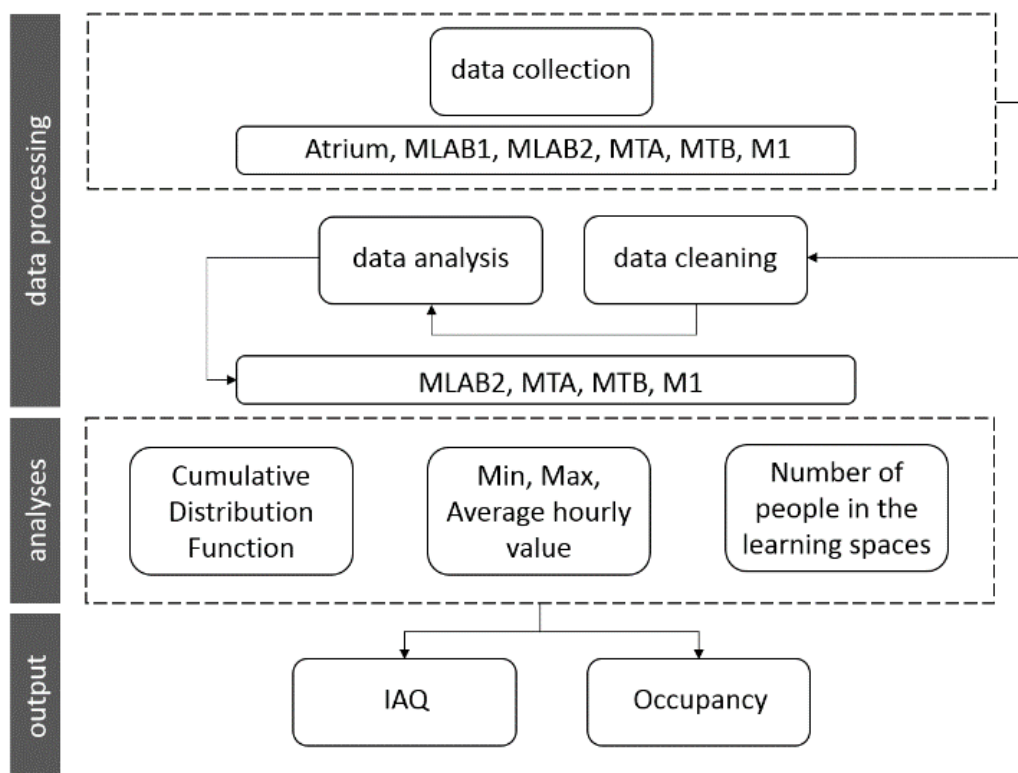


Figure 9. Concentration of CO₂ in the MLAB2 during the learning week.



Datu sagatavošanas un analīzes process:

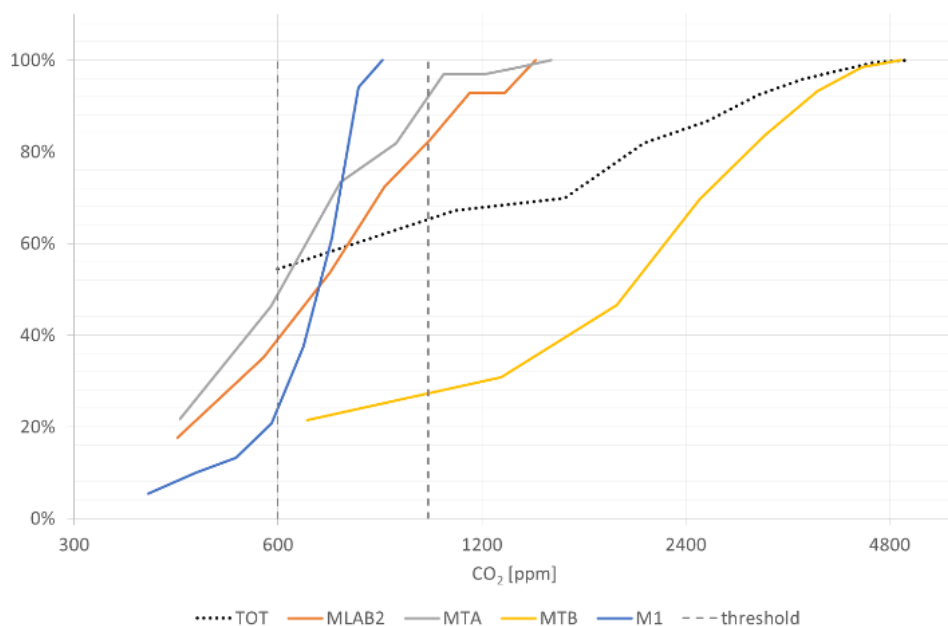
- Datu **kumulatīvās sadalījuma funkcijas (CDF)** analīze dažādās telpās, lai saprastu, cik reižu reģistrētās vērtības ir zem vai virs komforta līmeņa un IAQ sliekšņa; **analīze ietver CO₂ koncentrāciju, telpas gaisa temperatūru un relatīvo gaisa mitrumu;**
- CO₂ koncentrācijas minimālo, maksimālo un vidējo vērtību analīze dažādas noslodzes stundās analizētā perioda laikā; un
- Cilvēku skaita noteikšana mācību telpās, pamatojoties uz reģistrēto CO₂ koncentrāciju.

CDF parāda varbūtību, ka aplūkotais mainīgais pieņem vērtību, kas ir zemāka par komforta sliekšni, vai atrodas starp vērtību diapazonu, kas nosaka komforta līmeni gada laikā.

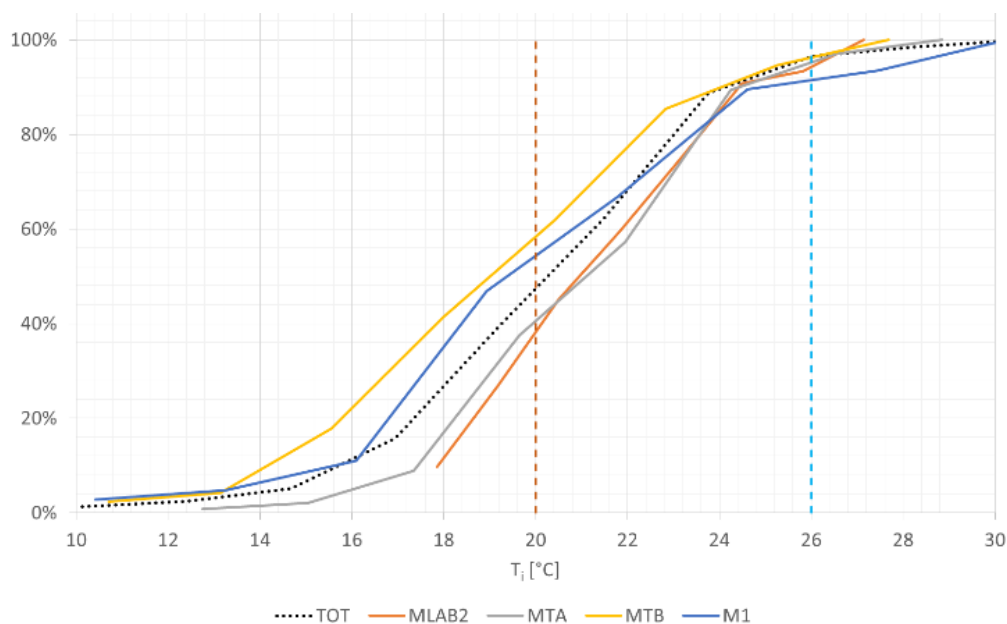


Iepriekšminētajiem mainīgajiem CO₂ koncentrācijas pirmā sliekšņa vērtība tika noteikta 600 ppm, kas ir pieņemams stāvoklis un atbilst gandrīz svaigam gaisam. Otrā sliekšņvērtība ir 1000 ppm, kas ir svaiga gaisa augšējā robeža un CO₂ koncentrācijas robeža, pirms tiek sasniegts nepieņemams IAQ un lietotāji sāk sūdzēties par gaisa trūkumu [22], [23].

Piemēru skatīt attēlā. *MLAB2* 60% datu liecināja, ka iekštelpu CO₂ koncentrācija pārsniedz 600 ppm, un aptuveni 20% gadījumu tā pārsniedza 1000 ppm.



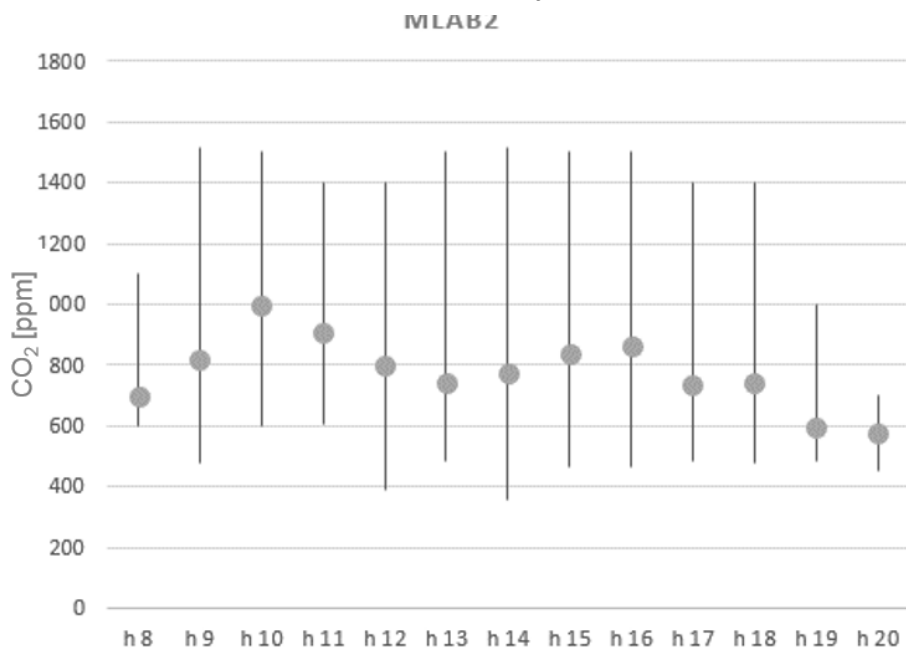
Iekštelpu temperatūrai ir ņemtas vērā divas iekšējā komforta standartvērtības - ziemas (20°C) un vasaras (26°C) periodos. Pamatojoties uz mācīšanās spēju un koncentrēšanās pētījumiem, mācību telpās tiek rekomendēta temperatūra, kas ir $20 \pm 2^\circ\text{C}$ robežās (12. attēls).



CO₂ koncentrācijas sadalījums pa stundām



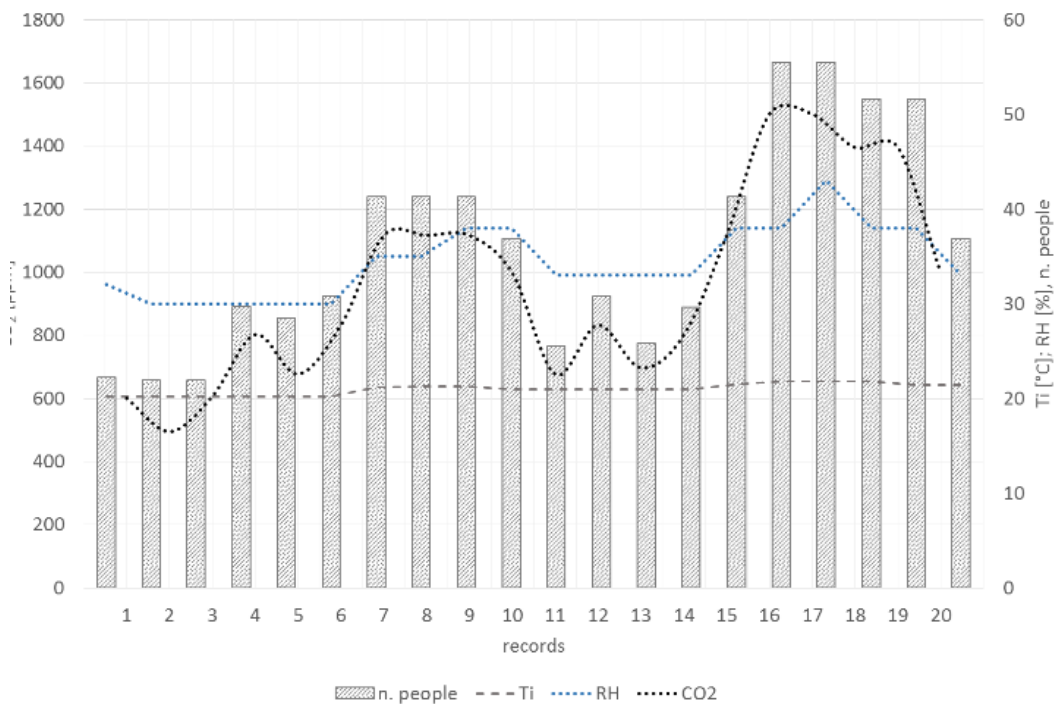
Tika veikta CO₂ koncentrācijas analīze dažādās klasēs telpās, lai noteiktu, kad vērtības pārsniedz noteiktās robežvērtības un kāds ir datu sadalījums dienas laikā.



Ir atzīmētas no sensoriem saņemtās maksimālās, minimālās un vidējās CO₂ koncentrācijas vērtības. Sadalījuma tendences visās četrās klasēs ir pārsvarā vienādas.

Noslodzes līmeņa noteikšana pēc CO₂ koncentrācijas

P.S. Nav skaidrs, kā pēc CO₂ mērījumiem tiek aprēķināts cilvēku skaits.



Ar CO₂ saistīto cilvēku skaits MTA (2018. gada 20. marts).



2.5 Iekštelpu gaisa kvalitātes uzraudzības sistēmas ar reālā laika bezvadu sensoru tīkliem (WSN)

Salman, N., Kemp, A. H., Khan, A., & Noakes, C. J. (2019). *Real Time Wireless Sensor Network (WSN) based Indoor Air Quality Monitoring System. IFAC-PapersOnLine*, 52(24), 324-327

Labs ievads ar argumentiem par IAQ - 90% laika tiek pavadīts telpās, tas ietekmē veselību, domāšanu. CO₂ ražo cilvēki ar savu izelpu. Tā līmenis ir atkarīgs no cilvēku skaita un ēkas ventilācijas.

CO₂ līmenis āra gaisā parasti ir 400-450 ppm. Pētījumi rāda, ja CO₂ ir vairāk par 3000, cilvēkiem paaugstinās asinsspiediens, rodas negatīva ietekme uz sirdi, galvassāpes.

Darbā tiek apgalvots, ka esošie gatavie risinājumi IAQ uzraudzībai ir individuāli un nepaplašināmi, piemēram, *Airnodes*, *Rotronic* - precīzi mērījumi, bet, ja nepieciešama uzstādīšana liela izmēra ēkas visās telpās, tad tas ir dārgs risinājums. Parāda aktuālo stāvokli konkrētā brīdī, neļauj veikt prognozi ne telpiskā, ne laika sadalījumā. Pētījums piedāvā zemu izmaksu WSN, reāllaika analīzi, ēkas karti ar telpisko prognozi, lai uzlabotu IAQ (samazinātu cilvēku skaitu, uzlabotu ventilāciju). Izmanto *MATLAB*-, lai veiktu ģeostatistisko interpolāciju un ģenerētu telpisku prognozēšanas karti. Ir pieminēta arī gaisa temperatūra un relatīvais gaisa mitrums.

Darbā ir iekļautas formulas, pēc kurām tiek veikta **ģeostatistiskā interpolācija**.

2.5.1 Kur novietot sensorus - telpas, ēkas?

Ekspiments ir veikts ar vienu telpu (6x3 m, ar lielu logu telpas galā, sensori izvietoti gar sienām, 2 virs loga, telpā pie griestiem ir ventilācijas sistēma, logu nevar atvērt). 8 mezgli, viens - koordinators, pārējie sākotnēji tika ieprogrammēti sūtīt mērījumus ik pēc 5 sekundēm, saņemt CO₂, T, mitrumu un ID (nosūtīšana). Datus apstrādā *MATLAB*, tad attēlo.

2.5.2 Kā attēlot informāciju?

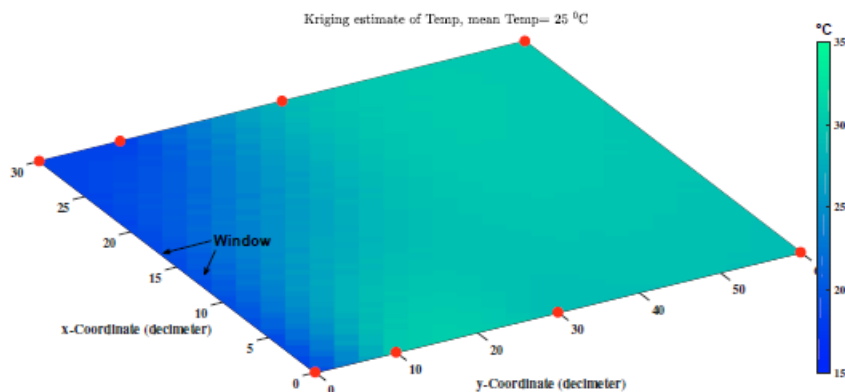


Fig. 3. Interpolated temperature map

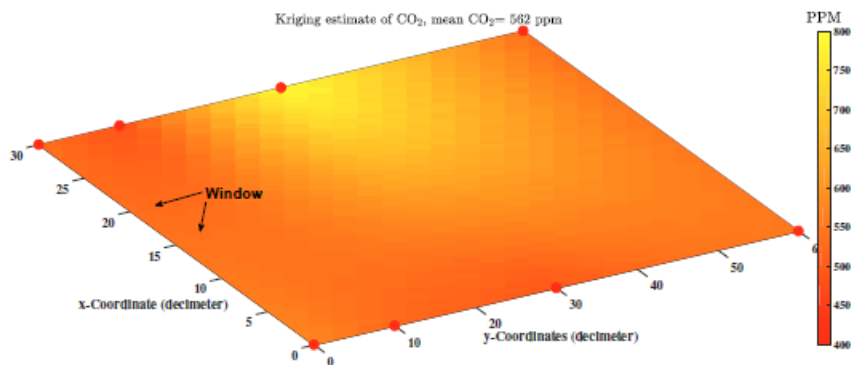


Fig. 5. Interpolated carbon dioxide map

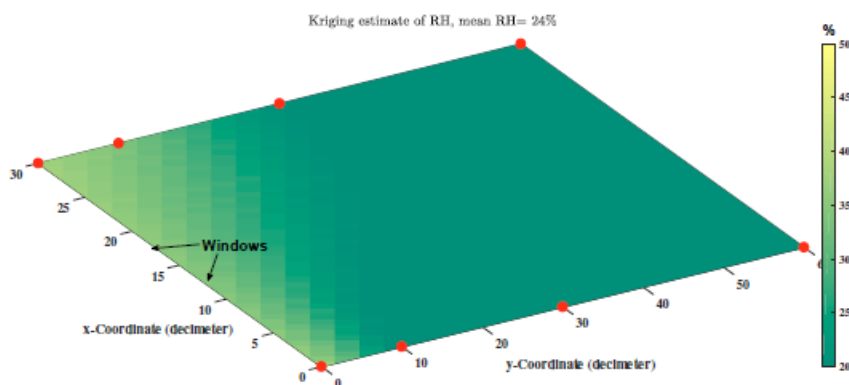


Fig. 4. Interpolated RH map

2.5.3 Lietotāji un drošība?

2.5.4 Arhitektūra?

WSN aprakstīta tehniskā informācija par uzbūvi; paredzēts vienai telpai.

2.5.5 Tehniskais risinājums?

Ir aprakstīts. Ja nepieciešams, tad to var izpētīt.

2.5.6 6. Kas tiek mērīts (T, CO₂, ...)?

T, CO₂, mitrums

2.6 Integrētas sistēmas projektēšana, ieviešana un datu analīze vides raksturlielumu mērīšanai

Pieš, M., Hájovský, R., & Velička, J. (2020). *Design, Implementation and Data Analysis of an Embedded System for Measuring Environmental Quantities*. *Sensors*, 20(8), 2304.



Kompleksas monitoringa sistēmas ieviešana oglekļa dioksīda koncentrācijas, gaisa temperatūras, relatīvā mitruma un atmosfēras spiediena mērīšanai.

Datu analīzei tika izvēlēta oglekļa dioksīda koncentrācija. Iekštelpās CO₂ koncentrācijai jābūt mazākai par 1000 ppm.

Table 1. Limit values of measured quantities.

	Min. Value	Rec. Value	Max. Value
CO ₂ concentration (ppm)	-	800–1000	1500
Temperature (°C)	20 (except. 18)	20–24	28 (except. 30)
Relative humidity (%)	30	30–64	70

Robežvērtības nosaka dažādi reģionālie noteikumi.

Monitoringa sistēma vides raksturlielumu mērīšanai ir pilnībā piemērojama mērījumu prasībām no vairākiem desmitiem līdz simtiem vietu vienlaikus (klasēm, telpām, laboratorijām).

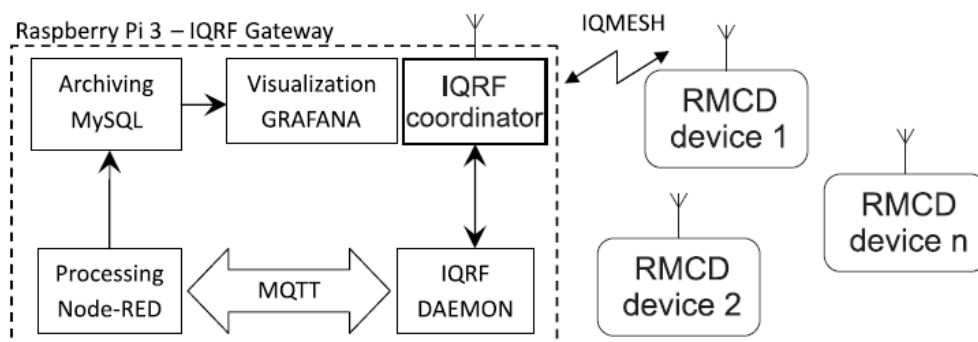
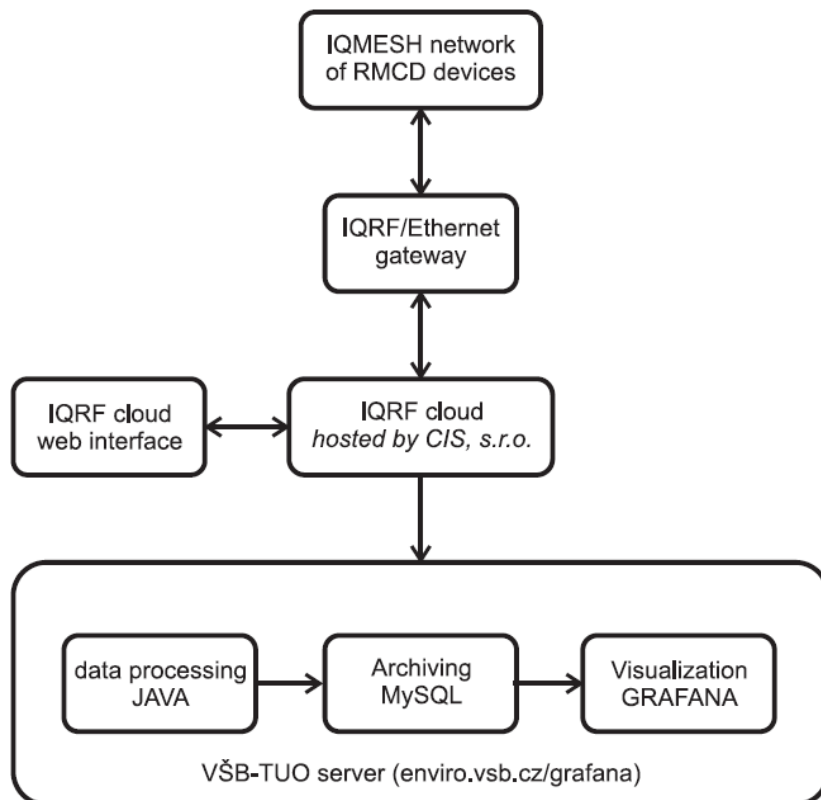


Figure 4. Scheme for processing, archiving, and visualizing measured data.

Dati tiek vizualizēti *Grafana*, glabāti *MySQL* datubāzē.

Node-RED ir grafiskās programmēšanas vide, kas balstīta *JavaScript*. Mērījumu datus saņem caur *MQTT* protokolu, pēc tam tos apstrādā un uzglabā datubāzē. Šī risinājuma priekšrocība ir ātrā ieviešana un vienkāršā pārveidošana vai paplašināšana.

Izmērītie dati *MQTT* tiek saņemti neapstrādātā veidā kā *JSON* teksts. Tad apkopotie dati tiek apstrādāti. Visiem šādā veidā apstrādātiem datiem datubāzē ir unikāli identifikatori, laika zīmogi un *NODE* identifikatori.

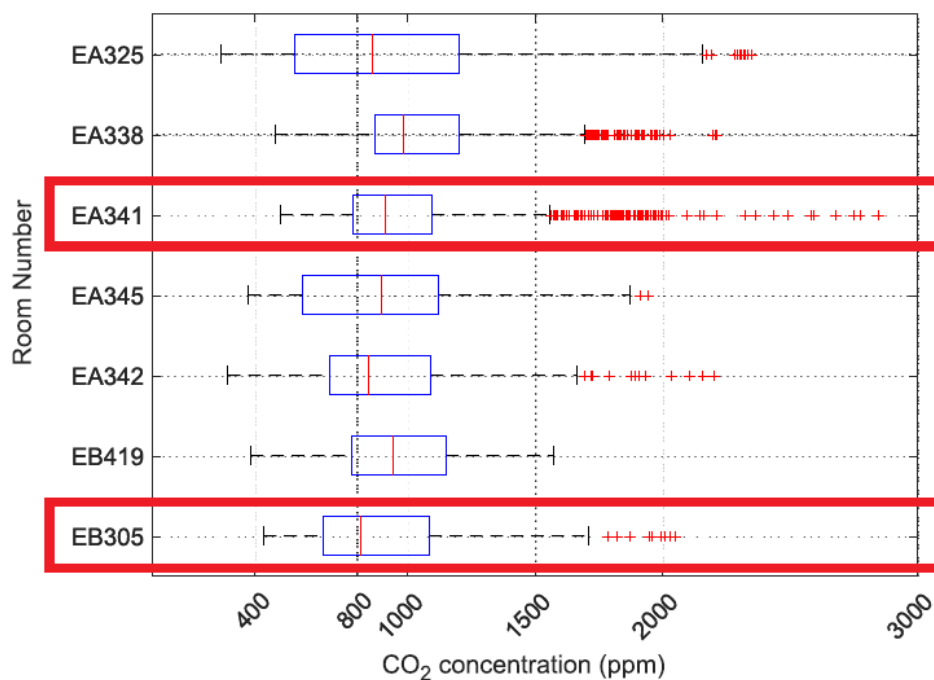


» 5. Scheme for processing, archiving, and visualizing measured data for case studies.

Analīze

Sensori tika uzstādīti vienas ēkas laboratorijās un birojos.

Šim pētījumam tika izvēlēts laika posms no pulksten 7:00 līdz 17:00 (kas atbilst 120 vērtībām/laika diapazoniem, nosakot 5 minūšu mērījuma periodu). Rezultāti tika apkopoti, neņemot vērā individuālos laboratoriju grafikus un atsevišķu darbinieku darba laiku birojos. No datu kopas tika izņemti datu lielumi - vērtības, kas pārsniedz 5500 ppm. Pēc šiem datiem tika izveidota kastīšu diagramma par 2019. gada februāri (7. attēls).



Dati par visu februāri, y ass - telpas. Iekļautās telpas - izvēlēts detalizētai izpētei - viena darba diena - 18. februāris. - nākamā diagramma.

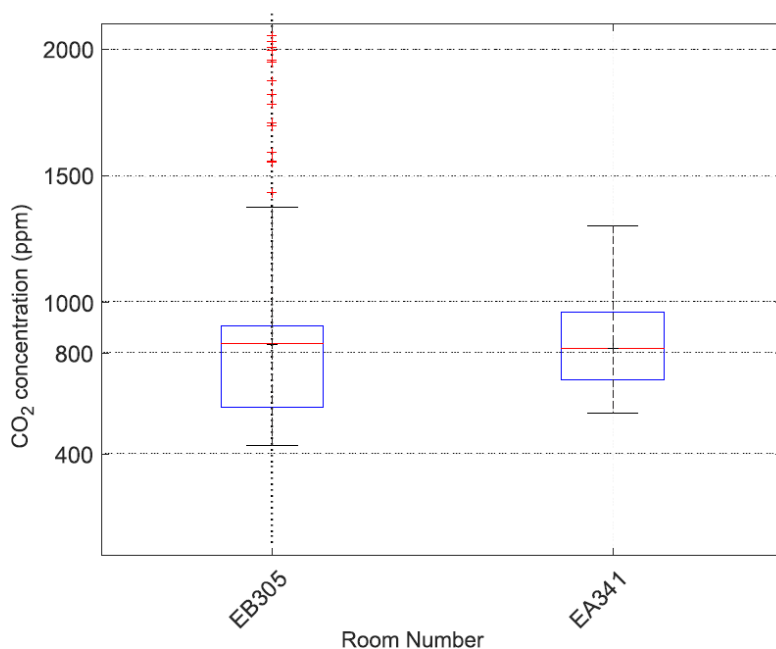
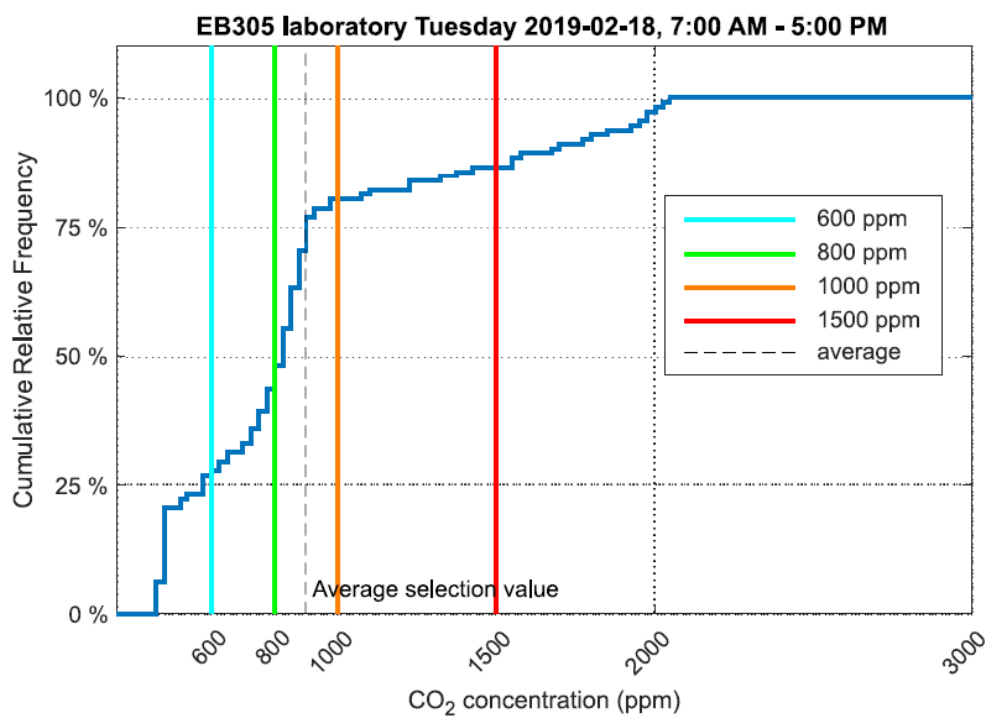


Figure 8. Boxplot for room numbers EA341 and EB305 on 18 February 2019, VŠB-TUO.

Pirmajā telpā pēc plāna 20 studentu apmācība, otrajā telpā darba vietas diviem cilvēkiem.

Šie dati tika analizēti ar kumulatīvās frekvences grafikiem (9. attēls). Šie grafiki sinoptiskā formā parāda, kad izvēlētajā laika periodā CO₂ koncentrācija bija mazāka par izvēlētajām robežvērtībām. Tāda pati procedūra ir iespējama arī citiem analizētajiem lielumiem [2].



Tika analizētas vērtības, kas izmērītas EB305 laboratorijā 2019. gada 18. februārī mācību stundu laikā (p.lkst. 7:00 līdz 17:00). Mācību laikā šajā laboratorijā atradās aptuveni 20 personas.

CO₂ koncentrācijas kumulatīvā frekvences diagramma (9. attēls) parāda, ka vērtības 86% laika, kad cilvēki atradās telpā, nepārsniedza 1500 ppm robežu.

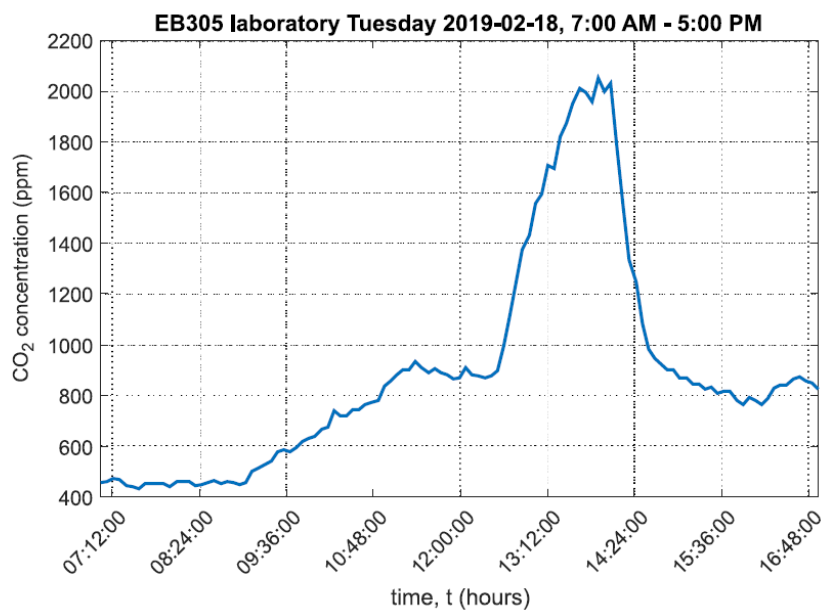


Figure 10. Graph of carbon dioxide concentration in laboratory EB305, VŠB-TUO.



Grafiks parāda, ka oglekļa dioksīda koncentrācija telpā sasniedza aptuveni 2200 ppm, jo laboratorijā nebija ventilācijas. Diagrammas pirmajā daļā atainota situācija, kad bija atvērts viens logs no trim. CO₂ koncentrācijas pieaugums nozīmē, ka ventilācija bija nepietiekama. **Diagrammas otrajā sadaļā pēc pusdienlaika logi tika aizvērti, un CO₂ koncentrācijas līmenis strauji pieauga.**

Pēc nodarbībām visi trīs logi tika atvērti uz 20 minūtēm. Gaisa temperatūras diagramma EB305 laboratorijā ir parādīta **A** pielikuma **A1** attēlā. P.S. Tas varētu parādīt, kā temperatūra mainās, atverot logus.

Tad tika veikts otrais gadījuma pētījums ar līdzīgām diagrammām, bet vairākām auditorijām, turklāt to salīdzināja ar lekciju grafiku.

Table 2. Timetable for 15 January 2019 at the Grammar School and Secondary School of Electrical Engineering and Computer Science, Frenštāt pod Radhoštěm.

Lesson Time	1 8:00 AM–8:45 AM	2 8:55 AM–9:40 AM	3 9:50 AM–10:35 AM	4 10:55 AM–11:40 AM
311	6th class	6th class	2nd class	6th class
312	7th and 3rd class	7th and 3rd class	7th class	7th class
313	2nd class	2nd class	free	2nd
Lesson Time	5 11:50 AM–12:35 PM	6 12:45 PM–13:30 PM	7 13:35 PM–14:20 PM	
311	6th class	4th class	free	
312	2nd class	5th class	free	
313	2nd class	4th class	8th class	

2.7 Sensoru datu vizualizācija: Uz kompozīciju balstīta pieeja domēnu mainīguma atbalstam

Logre, I., Mosser, S., Collet, P., & Riveill, M. (2014, July). *Sensor data visualisation: A composition-based approach to support domain variability*. In *European conference on modelling foundations and applications* (pp. 101-116). Springer, Cham.

Viens no lielākajiem izaicinājumiem ir atbalstīt precīza monitorēšanas informācijas paneļa izstrādi, lai vizualizētu saistītos datus. **Paradigma “viens der visam” šajā gadījumā nav piemērojama**, jo lietotāju lomas ir mainīgas un ietekmē datu vizualizācijas veidu: ēkas pārvaldniekam nav jāstrādā ar tādiem pašiem datiem, kā parastiem lietotājiem.

Ir jāvienkāršo monitorēšanas informācijas paneļu dizains, jo **jēldati lietotājam ir bezjēdzīgi** [1]. 1.

[1] Few, S.: *Information Dashboard Design*. O'Reilly (2006)

Galvenais izaicinājums, kas jārisina, ir šī **domēna definētās variabilitātes atbalsts**. Variabilitāte ir dubulta un tādējādi izraisa divus vienlaikus pastāvošus izaicinājumus: (i) **katrs lietotājs** vēlas izmantot informācijas paneli, kas atbilst paša vajadzībām, un (ii) izpildlaikā izmantotās vizualizācijas bibliotēkas nodrošina **dažādus vizualizācijas logrīkus**, kas jāizmanto šādu informācijas paneļu ieviešanai.

SPL (Software Product Line) inženierijas pamatā ir ideja, ka **atkārtoti lietojamie artefakti** iekapsulē **kopīgus un mainīgus** programmatūras sistēmu saimes aspektus [3, 2]. Tā rezultātā *SPL* sniedz veidu, kā modelēt logrīku mainīgumu, balstoties uz spēcīgu loģiku un konfigurācijas atbalstu.



Šī pieeja balstās uz īpašu **metamodeli**, kas aptver jēdzienus, kas izmantoti informācijas paneļa projektēšanai. Dažādu vizualizācijas bibliotēku **mainīgums** tiek uztverts ar **funkciju modeļiem**, kas izteikti saskaņā ar metamodeli definētajiem jēdzieniem.

Rezultātā tika identificēti šādi **trīs scenāriji**:

- Autostāvvietas noslodze
- Pūļa monitorings (ēdnīcās, gaitēšos), analizē videoplūsmu, lai prognozētu, cik ilgi jāstāv rindā
- Apkures regulēšana (temperatūras sensori, analizē arī atvērtus logus, durvis un to ietekmi)

Divi galvenie apgrūtinājumi: (i) bija nepieciešams **gandrīz tikpat daudz informācijas paneļu, cik intervēto lietotāju**, un (ii) ieviešanas līmenī šādu informācijas paneļu izstrāde ir pakļauta augstai kļūdas varbūtībai un prasa daudz laika.

1. Vairāku informācijas paneļu izstrāde (C1).

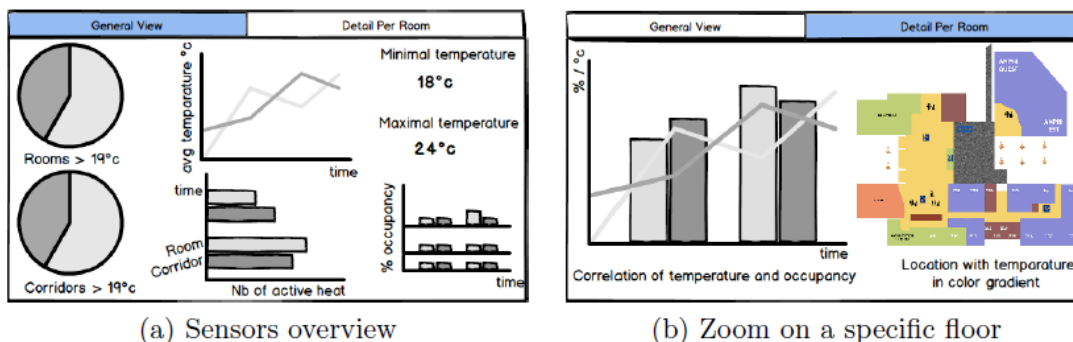


Fig. 1. Mockup of an heating regulation dashboard, designed by campus' users

<http://balsamiq.com> - to var izmantot šāda prototipa (attēlā) izstrādei, bet ne gatava ziņojuma ģenerēšanai.

2. Tehnoloģiskā mainīguma apstrāde (C2).

Šo informācijas paneļu ieviešanai var izmantot daudzas logrīku bibliotēkas, piemēram, *AmCharts3*, *Highcharts4*, *D3.js5*. Šīs bibliotēkas ir neviendabīgas un piedāvā dažādus logrīkus ar noteiktām īpašībām. Piemēram, (i) *AmChart* piedāvā 58 dažādus logrīkus, (ii) *Highchart* piedāvā 54 logrīkus un 13 papildu logrīkus, kas veltīti lielām datu kopām (nosaukts *Highstock*), un (iii) *D3.js* piedāvā 133 logrīkus.

3 <http://www.amcharts.com>

4 <http://www.highcharts.com>

5 <http://d3js.org>

Otrais izaicinājums ir tikt galā ar daudzo piedāvāto risinājumu mainīgumu.

Šī raksta ieguldījums ir risināt šīs divas problēmas. Tas parādīts 2. attēlā. Lietotājs mijiedarbojas ar modeli, lai aprakstītu, ko vēlējas vizualizēt (C1); mainīguma modeļi tiek izmantoti, lai atbalstītu konkrētu loģisku izvēli starp esošajiem, tostarp kodu ģenerēšanu (C2).

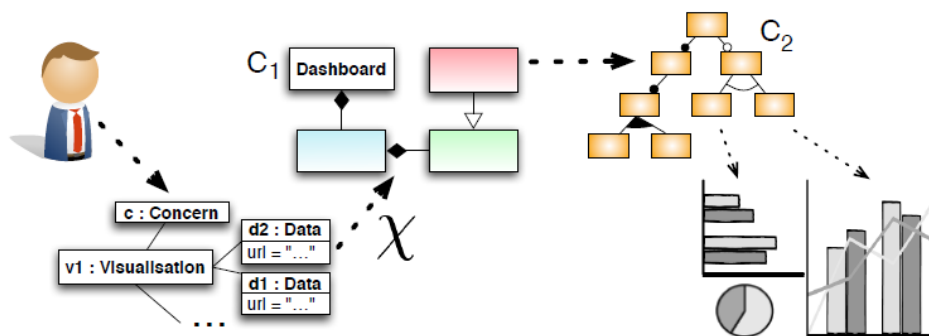


Fig. 2. Global overview of the approach

1. Veidojot informācijas paneli, dizaineri strādā trīs dimensijās: (i) informācijas panelī iesaistītie dati atbilstoši uzraudzības vajadzībām (t.i. Ko es vizualizēju?), (ii) ar konkrēto datu vizualizāciju saistītās problēmas (t.i., Kā es to vizualizēju?) un visbeidzot (iii) informācijas paneļa izkārtojums telpā un laikā (t.i., Kur un kad es to vizualizēju?).

Paraugs: Lai pareizi analizētu datus, ir jāsalīdzina no gaisa temperatūras sensora un klātbūtnes skaitītāja savāktie dati.

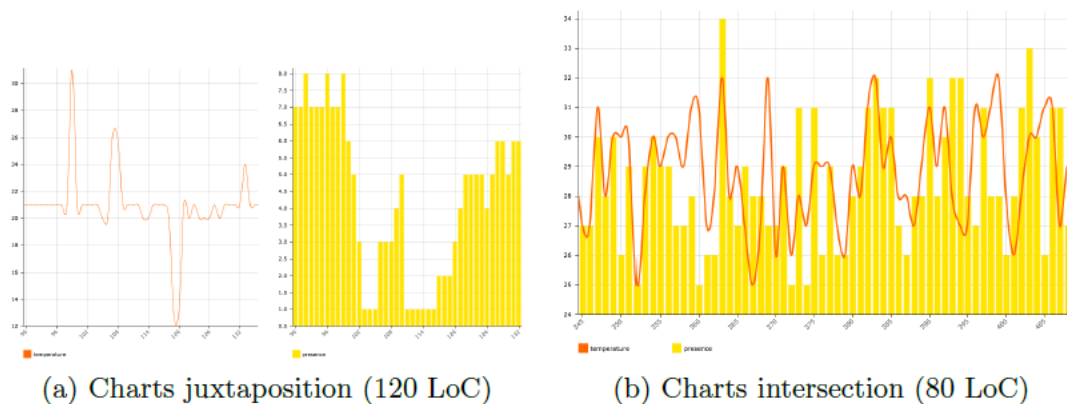


Fig. 3. Two alternative dashboards realising part of the “heat regulation” use case.

Šīs divas datu kopas var vizualizēt kā diagrammas, kas attēlotas blakus (3a att.), vai abas datu kopas var iekļaut vienā diagrammā (3b att.). *AmChart* bibliotēka.



Lēmums par labāko attēlošanas veidu ir atkarīgs no lietotāja, to nevar pieņemt izstrādātājs. Lietotājam pieejamās abstrakcijas līmenī vizualizācijas iespējas apraksta metamodelis, kura pamatā ir trīs jautājumi (skat. iepriekš - Ko? Kā? Kur?).

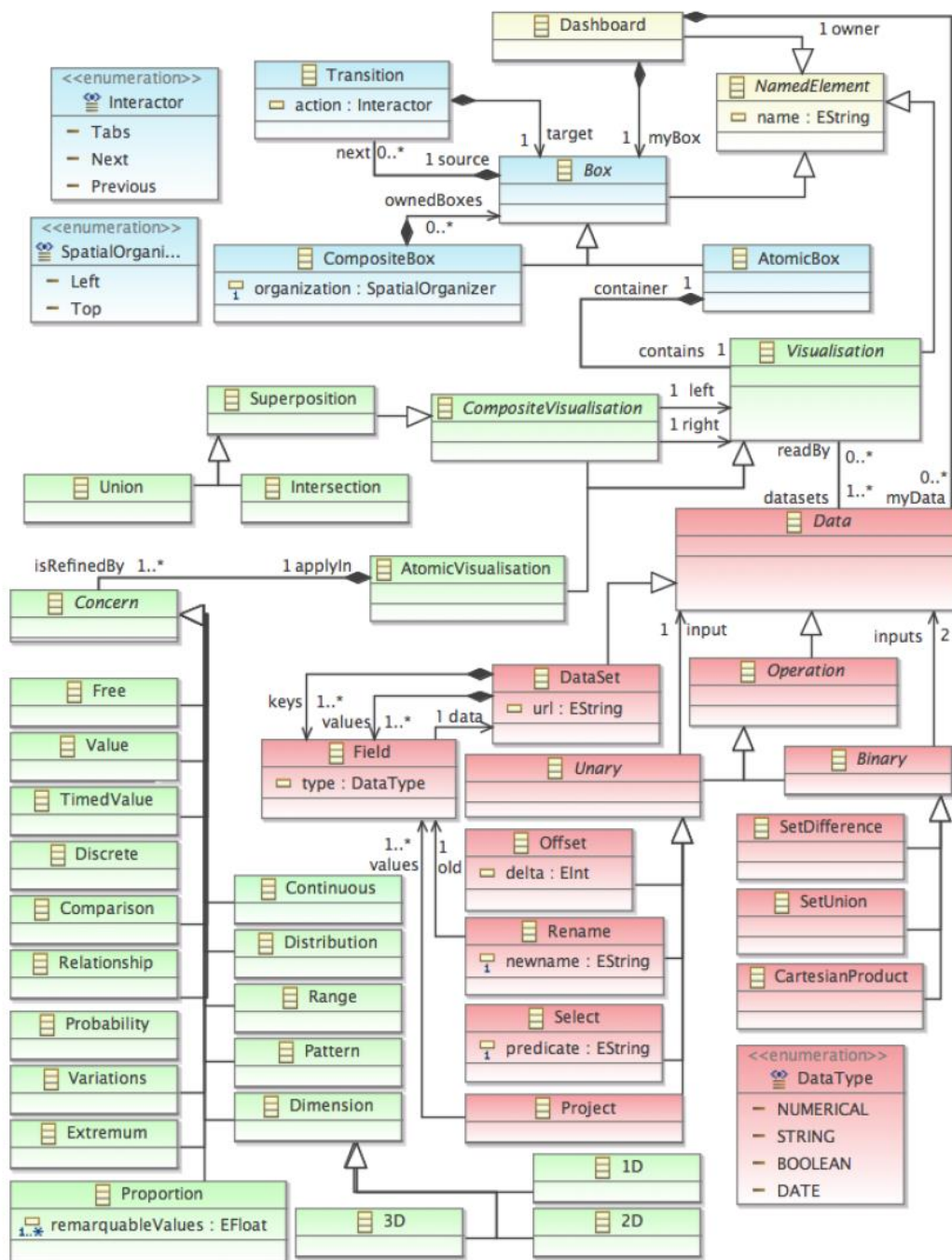


Fig. 4. Excerpt of the PTAH meta-model, supporting dashboard design.



Piemērs: (Ko attēlot? Abus, saistītās kopas, attiecības pēc laika): Pirmajā datu kopā aprakstīti temperatūras mērījumi laikā, otrajā - cilvēku skaits laikā.

$$\begin{aligned} \theta_k &= (name : t, type : Date) & p_k &= (name : t, type : Date) \\ \theta_v &= (name : temp, type : Num) & p_v &= (name : count, type : Num) \\ \theta_{ds} &= (key : \{\theta_k\}, vals : \{\theta_v\}, \dots) & p_{ds} &= (key : \{p_k\}, vals : \{p_v\}, \dots) \end{aligned}$$

Kā attēlot (nodoms no lietotāja skatupunkta)?

No abstraktā skatupunkta vizualizācija tiek definēta kā bažas (t.i., nodoms), kas jāpiemēro dotajām datu kopām. Terminus, kas izmantoti nodoma izteikšanai, ir iedvesmojis *Data Visualisation Catalogue*⁷ - funkcionāla datu žurnālistikas atsauce.

<http://datavizcatalogue.com/>

Piemērs:

$$\begin{aligned} vis_{\theta} &= (data : \{\theta_{ds}\}, concerns : \{2D, Extremum\}) \\ vis_p &= (data : \{p_{ds}\}, concerns : \{2D, Extremum, Discrete\}) \end{aligned}$$

Ptah metamodelī ir iekļauti vairāki salikuma operatori, kas atbalsta kompozītvizualizācijas izveidi.

Kur un kad attēlot? *Ptah* metamodelis ļauj lietotājam veidot vizualizācijas telpiski kā kastes (kur, [6]), un vairākas kastes sakārtot izpildes secībā (kad).

$$\begin{aligned} \text{FIG. 3a} &= \text{Box}_C(\text{Left}, \{\text{Box}(vis_{\theta}), \text{Box}(vis_p)\}) \\ \text{FIG. 3b} &= \text{Box}(vis_{\theta} \cap vis_p) \end{aligned}$$

Tehnoloģiskā mainīguma apstrāde (C2)

Rezultātā tiek iegūta mainīguma matrica, kas *Ptah* jēdzienos apraksta katru konkrēto logrīku L. Katrs logrīka deskriptors wi tiek uzskatīts par aktīvu un ir saistīts ar FM (funkciju modeli) si, kas var iegūt tikai vienu produktu: wi.

Mēs šeit aplūkojam *AmCharts* vizualizācijas bibliotēku. Saskaņā ar demonstrācijas tīmekļa vietni tas definē 58 konkrētus logrīkus. Katrs logrīks tika analizēts pēc *Ptah* jēdzieniem, un iegūtās salīdzināšanas matricas fragments ir attēlots tabulā. 1.

⁸ <http://www.amcharts.com/demos/>

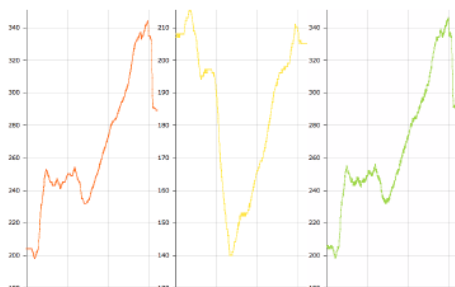


Feature \ Product	Pie	Bubble	Line	...	Feature \ Product	Pie	Bubble	Line	...
Comparison	✓		✓		Range				
Proportion	✓	✓			Discrete	✓	✓		
Relationship		✓	✓		Value	✓	✓	✓	
Probability		✓			Variations		✓	✓	
Distribution		✓			TimedValue		✓	✓	
Patterns		✓	✓		Dimension(s)	1D	3D	2D	
Extremum		✓	✓						

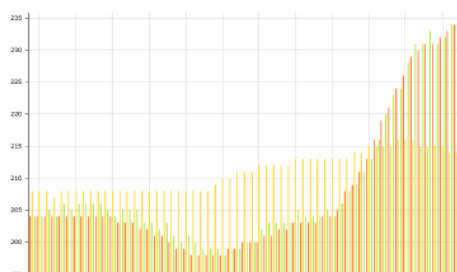
Table 1. Excerpt of the AmChart variability matrix

```
fm1 = FM(widget:Name Comparison Proportion Value Discrete Dimension;
Name:"Pie Chart"; Dimension:1D;)
//...
fm10 = FM(widget:Name Comparison Relationship Patterns DataOverTime Value
Discrete Variations Dimension; Name:"Step Chart"; Dimension:2D;)
// ...
amCharts = merge sunion fm_*
```

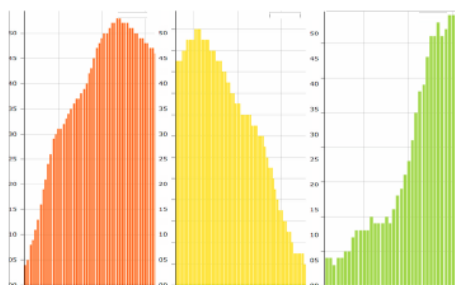
P.S. Tiek salīdzināti lietotāja noteikti vizualizācijas mērķi un logrīka rekvizīti; tiek atlasīti kandidātu logrīki. Pēc tam tiek analizēts, vai vēlaties izveidot saliktus attēlojumus, norādīts, kā tos var vai nevar kombinēt.



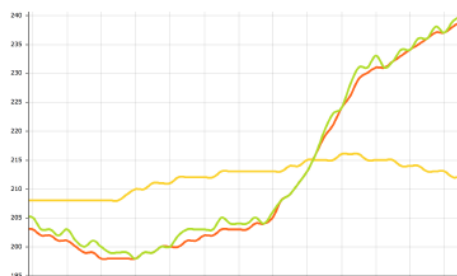
(a) Juxtaposition of line charts



(b) Superposition on a column chart



(c) Juxtaposition of column charts



(d) Superposition on a line chart

Fig. 8. Possible visualisation of three temperature data sets



2.8 *Elemental*: Atvērtā pirmkoda bezvadu aparatūras un programmatūras platforma ēku enerģijas un iekštelpu vides uzraudzībai un kontrolei

Ali, A. S., Coté, C., Heidarinejad, M., & Stephens, B. (2019). *Elemental: An Open-Source Wireless Hardware and Software Platform for Building Energy and Indoor Environmental Monitoring and Control*. *Sensors*, 19(18), 4017.

2.8.1 Arhitektūra?

Datubāzes glabāšana *InfluxDB* un datu vizualizācija *Grafana*.

Platforma ļauj iedzīvotājiem izsekot enerģijas izmantošanas, vides kvalitātes un siltuma veiktspējas novirzes, izmantojot visaptverošu informācijas paneli.

Elemental lietojumprogrammu var izmantot trim dažādiem mērķiem: 1) izvietošanai pētījumu laboratorijā ilgtermiņa datu vākšanai un automatizētai analīzei, 2) kā enerģijas patēriņa un vides uzraudzības risinājumu mājas apstākļos un 3) atsevišķu ēkas sistēmu bojājumu un anomāliju noteikšanai un diagnostikai zonas līmenī.

Vides un enerģijas izmantošanas pamatdatu vizualizācija jau ir pieejama daudzās esošajās ēku energopārvaldes sistēmās. Tomēr šīs sistēmas parasti neizmanto ēku reālā laika aktivitātes datus, lai informētu par vadības stratēģijām; tāpat šie dati nav viegli pieejami analīzei, it īpaši mazākās dzīvojamās un komerciālajās ēkās, kurām ēku energopārvaldes sistēmu uzstādīšana un ekspluatācija bieži ir pārāk dārga [5].

2.8.2 6. Kas tiek mērīts (T, CO₂, ...)?

Sensora mezgli var izmērīt temperatūru, relatīvo gaisa mitrumu, gaismas intensitāti, kustību un durvju/logu atvēršanu - skatīt 2. tabulu:

Table 2. Total unit cost of *Elemental* wireless sensor family and backhaul.

Board Type	Unit Cost (USD)
Elemental wireless sensor boards	
Temperature, relative humidity, light intensity node	\$15
Occupancy/motion node	\$20
Door/window node	\$10
CO ₂ concentration node	\$40
All-in-one IAQ node	\$85
Wireless USB Gateway	\$10
Backhaul (including supported USB gateways)	
Raspberry Pi 3B+	\$35
Rainforest Automation RAVEn USB adapter	\$40
Smartbedded Meteostick	\$178

2.8.3 Tehniskais risinājums?

InfluxDB datu glabāšanai, ātrai pieprasīšanai un apstrādei. *InfluxDB* ir atvērtā pirmkoda laika rindu nerelāciju datubāze. Tā ir piemērota augstas veiktspējas lietojumprogrammām un mērogojamībai, īpaši reālā laika datu reģistrēšanai no liela skaita bezvadu sensoru mezgliem [46]. Pētījumi ir parādījuši, ka *InfluxDB* ir labākās veiktspējas datubāze visām lietojumprogrammām pēc laika rindu datu glabāšanas un pieprasīšanas darbībām [47]. *InfluxDB* tiek lietota arī inteligentam vides monitoringam [48] un liela mēroga viedo pilsētu infrastruktūru uzraudzības sistēmu attīlošanai [49].

Datu uzskaitē ir sadalīta divos veidos: reālā laika un intervālu datu uzskaitē. Reālā laika dati ir **balstīti uz notikumiem**, piemēram, kustība telpā vai durvju atvēršana. **Intervālu dati** ir visi datu punkti, kas

tiek fiksēti noteiktā laika intervālā, piemēram, temperatūra vai relatīvais gaisa mitrums katru minūti. Katram datu veidam ir noteikts reģistrēties atsevišķā *InfluxDB* datubāzē.

Katrai *InfluxDB* datu struktūrai ir saglabāšanas politika, kas apraksta, cik ilgi *InfluxDB* jāglabā dati. Dati, kas vecāki par noteikto ilgumu, tiek dzēsti.

Pateicoties *Brood* pielāgojamībai, to var instalēt tipiskā galddatorā vietējai piekļuvei, vai arī īpašā *AWS* instancē, lai piekļūtu attālināti internetā, kā arī iegūtu lielu mērogojamību un redundanci.

2.8.4 Kā attēlot informāciju?

Elemental piedāvā divus datu vizualizācijas avotus: (1) vietējo grafisko lietotāja interfeisu (*GUI*), kas darbojas ar *Raspberry Pi* atvilces maršrutēšanu, un (2) mākoņskaitļošanas *GUI*, kas darbojas *Brood* vidē. Vietējais *GUI* sastāv no informācijas priekšpaneļa, kas sastādīts *Elm* valodā. *Elm* ir atvērta pirmkoda funkcionālā valoda tīmekļa lietojumprogrammām. Tā ir izstrādāta lietošanas vienkāršībai un ātrumam un tai ir ārkārtīgi mazs nospiedums, kas ļauj izvietojumu integrētās sistēmās, piemēram, *Raspberry Pi*. Tas bez izpildlaika kļūdām un ātrāk nekā citi ietvari, piemēram, *React*, *Angular* un *Ember* ģenerē *JavaScript* citām lietojumprogrammām [50].

Informācijas panelis ir veidots ar augstu reaģētspēju, tāpēc to var lietot ar jebkura izmēra mobilajām ierīcēm, klēpj datoriem un ekrāniem.

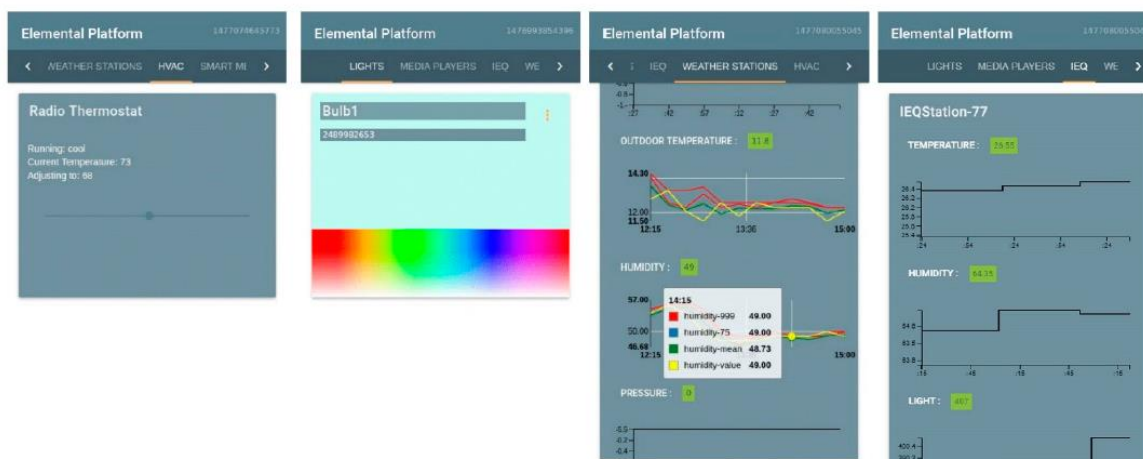
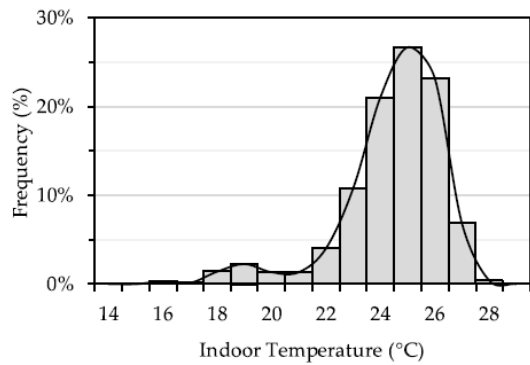


Figure 6. Various screens of the *Elemental* local dashboard running on a *Raspberry Pi*.

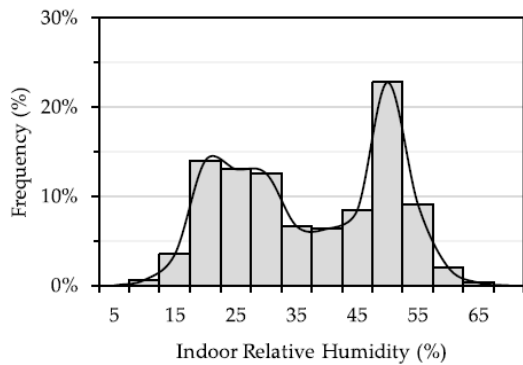
Datu vizualizācija tiek veikta ar *Grafana* - vadošo atvērta pirmkoda programmatūru reāllaika datu uzraudzībai un laika rindu analīzei [51]. *Grafana* ir veiksmīgi izmantota gaisa kvalitātes kontrolei [52,53] un ēku energoefektivitātes uzraudzībai [54].

Grafana satur arī administrēšanas saskarni ierīču konfigurēšanai, kā arī lietotāja un organizācijas vadības saskarni. Tā rezultātā lietotāji saņem pielāgotu piekļuvi datiem atkarībā no izvēlētas lietojumprogrammas.

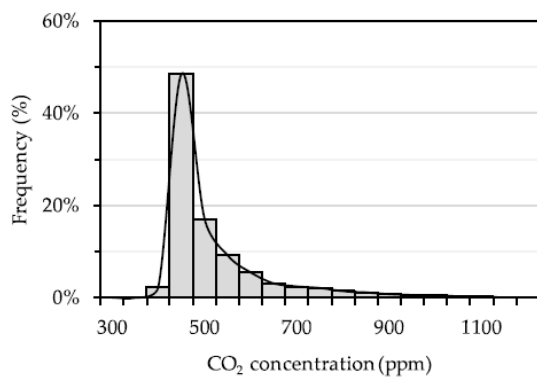
15 minūšu vidējie temperatūras, relatīvā gaisa mitruma un CO_2 koncentrācijas frekvences sadalījuma dati no šīs sistēmas ir parādīti attiecīgi 7. a–c attēlā; attēlots arī viena sensora mezgla akumulatora sprieguma profils.



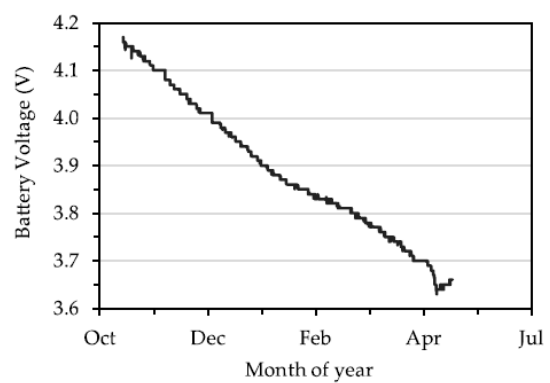
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 7. Histograms showing frequency distributions of 15-min averages of indoor (a) temperature, (b) relative humidity, and (c) CO₂ concentration, and (d) initial battery life (voltage over time) for a sensor node deployed in a research lab and office space for ~12 months.

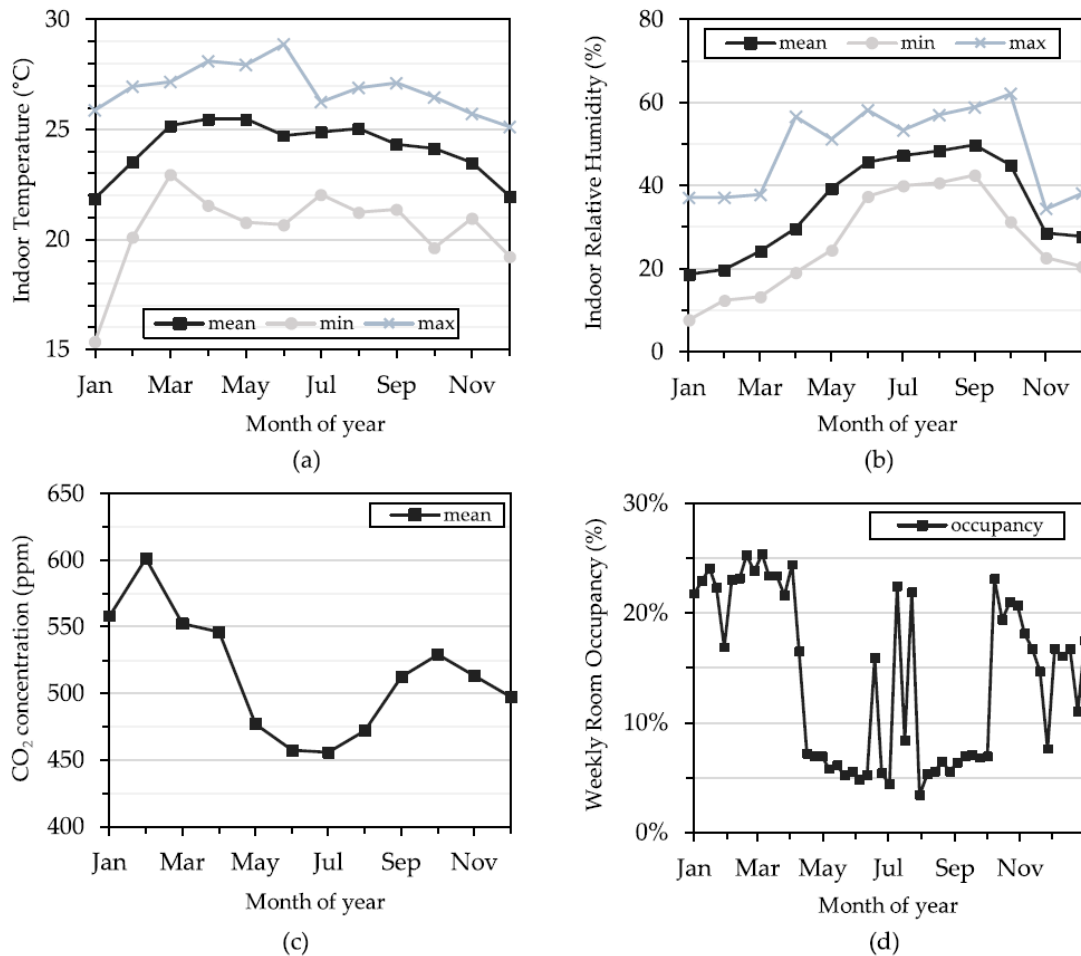


Figure 8. Annual trends showing monthly (a) temperature, (b) relative humidity, (c) CO₂ concentration, and (d) weekly occupancy percentage in a research lab and student office space in an academic building.

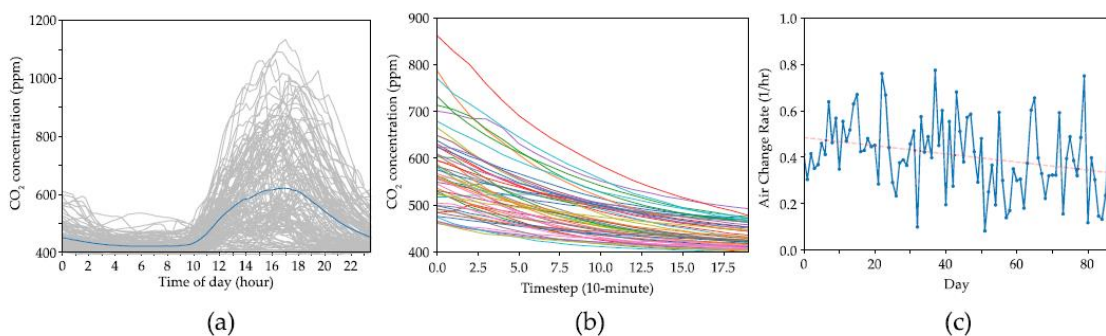
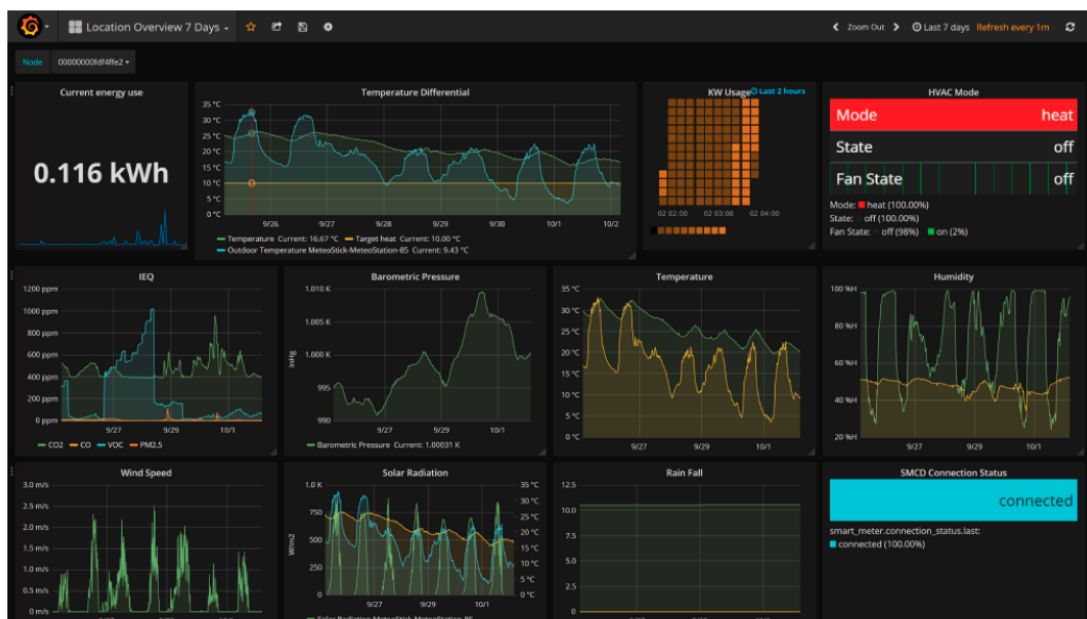
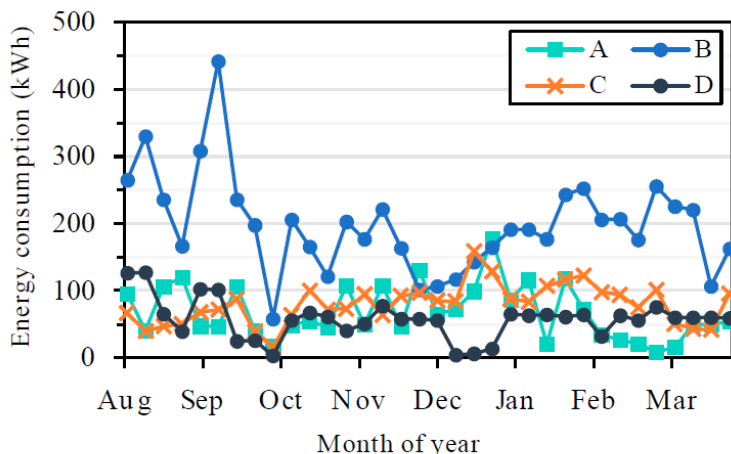


Figure 9. Data from the *Elemental* platform deployed in an academic lab and office space showing (a) daily CO₂ concentrations, (b) extracted natural CO₂ decay curves, and (c) air change rates calculated from the decay curves each day, plotted versus time.



(a)



(b)

Figure 10. (a) Grafana—data monitoring platform in *Brood* used for monitoring air quality, energy and building systems in a residential setting and (b) 8 months of weekly energy consumption data in four apartments.

2.9 Datu vizualizācija lietiskajā internetā: rīki, metodoloģijas un izaicinājumi

Protopsaltis, A., Sarigiannidis, P., Margounakis, D., & Lytos, A. (2020, August). *Data visualization in internet of things: tools, methodologies, and challenges*. In *Proceedings of the 15th International Conference on Availability, Reliability and Security* (pp. 1-11).

2.9.1 Kā attēlot informāciju?

Pētījuma darbā sniegts pārskats par dažādiem diagrammu veidiem, kas pieejami datu vizualizēšanai, un izklāstīti to izmantošanas noteikumi dažādos apstākļos. Darbā aprakstīti arī populārākie vizualizācijas rīki IoT domēnā.

Datu vizualizācijai pieejamie diagrammu veidi

Šajā pētījumā minēti dažādu diagrammu veidi, kas pielietojami, lai ilustrētu iespējamās izvēles dažādu veidu datiem:



- *Izkliedes diagrammas (Scatter-plots)* vizualizē datu punktus 2D vai 3D telpās. Lielāka datu apjoma gadījumā dimensiju skaitu parasti samazina ar daudzdimensiju mērogošanu.
- *Joslu diagrammas (Bar-plots)* parāda datu punktu relatīvo biežumu vai relatīvo blīvumu.
- *Histogrammas un joslu shēmas (Histograms, Bar-charts)* parāda parametru sadalījumu laikā, bet vērtību diapazons ir noteikts intervālu virknē.
- *Burbuļdiagrammas (Bubble-charts) projicē* datu trešo dimensiju 2D diagrammā. Trešā dimensija var būt burbuļa lielums, kas atbilst punktam 2D telpā.
- *Kastīšu diagrammās (Box-plots)* tiek attēloti tipiski datu izplatīšanas kvantiļi un vienas dimensijas mērījumi - centrālā tendence un datu izkliede.
- *Līniju diagrammas (Lines-plots)* ir nepārtrauktas līknes, kas attēlo funkcionālās atkarības starp mainīgajiem izejas lielumiem.
- *Radiālās diagrammas (Radial-charts)* parāda dažādu relatīvo vērtību apjomu, ko var izmantot katrs mainīgais.
- *Kartes (Maps)* attēlo datus, kas satur ģeogrāfisko informāciju.
- *Siltumkarte (Heat map)* parāda mainīgā telpisko sadalījumu kartē.
- *Apļveida siltumkartes (Circular heat maps)* tiek izmantotas, lai kompakti attēlotu mainīgā lieluma izmaiņas mēneša laikā.
- *Laika grafiki (Timelines)* parāda viena vai vairāku mainīgo attīstību un tendenču vai modeļu mainīgo uzvedību laikā.

Diagrammas un grafikus var izmantot arī īpašiem mērķiem. Daži šāda veida diagrammu piemēri ir:

- *Koki (Trees)* ir īpašas datu struktūras, ko izmanto, lai attēlotu scenārijus ar hierarhisku sadalījumu.
- *Tīkli (Networks)* tiek izmantoti, lai attēlotu cilvēku, lietu, datoru, jēdzienu u.c. saistību.

Diagrammu izmantošanas noteikumi

Kad konkrētai datu kopai ir izvēlēts noteikts diagrammas veids, ir jāizvērtē daži parametri.

1. Vizualizējamo mainīgo skaits:

a) *Vienfaktora dati* - atsevišķi vai nepārtraukti jāsalīdzina viens mainīgais.

a) *Divfaktoru dati* - atsevišķi vai nepārtraukti jāsalīdzina divi mainīgie.

c) *Daudzfaktoru dati*, kur atsevišķi vai nepārtraukti jāsalīdzina vairāk nekā divi mainīgie; šajā gadījumā nozīmīgi ir izmēru samazināšanas paņēmieni, lai datu vizualizācija vispār būtu iespējama.

2. Vizualizācijas galvenie mērķi:

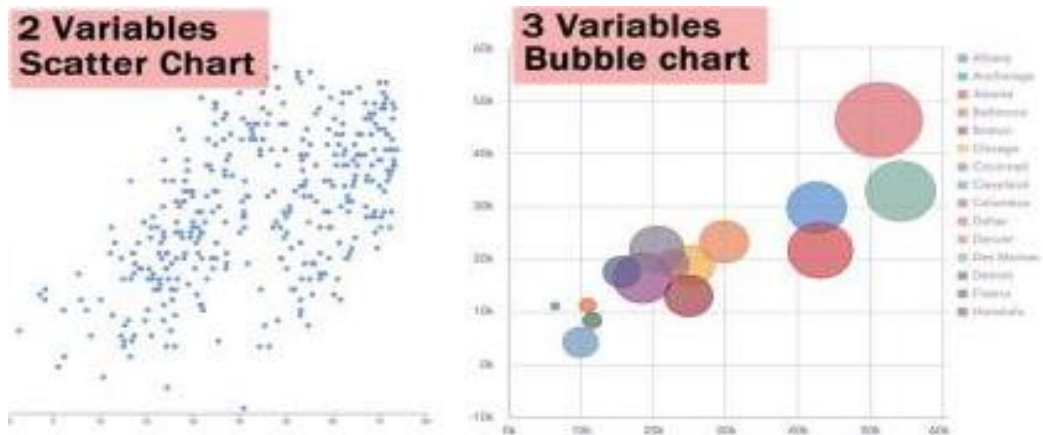
a) novērtēt attiecības;

b) novērtēt sadalījumu;

c) salīdzināt datus;

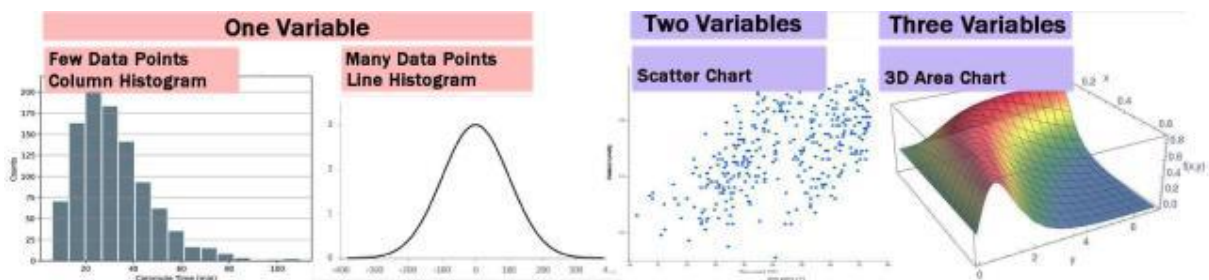
d) izpētīt uzbūvi.

Attiecību novērtēšana (pazīstama arī kā korelācija). Divfaktoru datiem tiek izmantotas izkliedes diagrammas (1. attēls). Daudzfaktoru datiem tiek izmantotas burbuļu diagrammas.



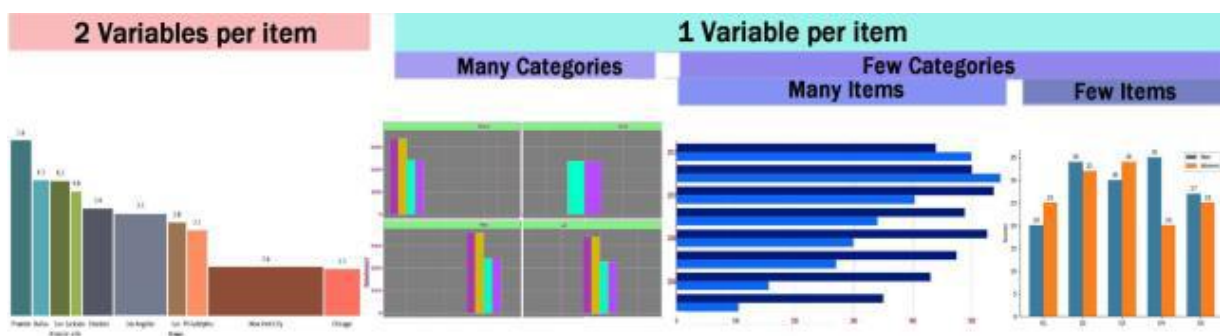
1. attēls Attiecību novērtēšana

Sadalījuma novērtēšana. Vienfaktora datiem tiek izmantotas histogrammas (kolonnu histogramma dažiem datu punktiem, līnijas histogramma daudziem datu punktiem). Divfaktoru datiem parasti izvēlas izkliedes diagrammas, daudzfaktoru datiem var izvēlēties 3D laukumu diagrammas (2. attēls).



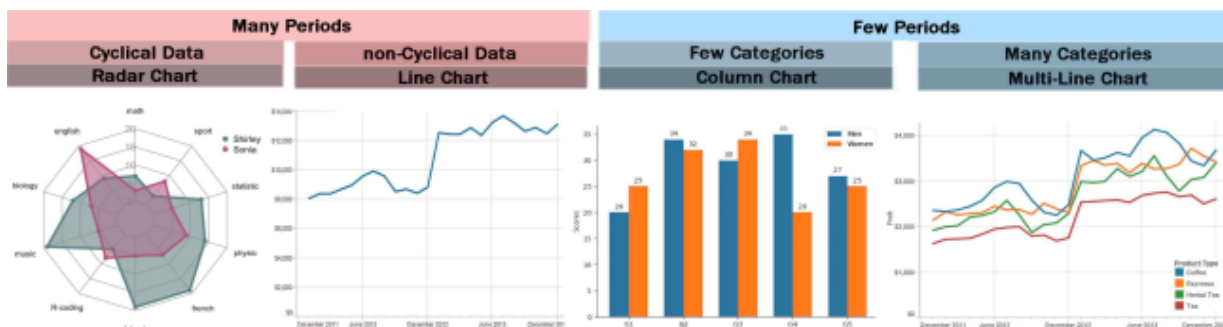
2. attēls. Sadalījuma novērtēšana

Datu salīdzinājums. Viena mainīgā datiem ir izmantota joslu diagramma, lai salīdzinātu dažādas datu grupas par vienu un to pašu periodu. Divfaktoru datiem izmanto mainīga platuma joslu diagrammas. (3. attēls).



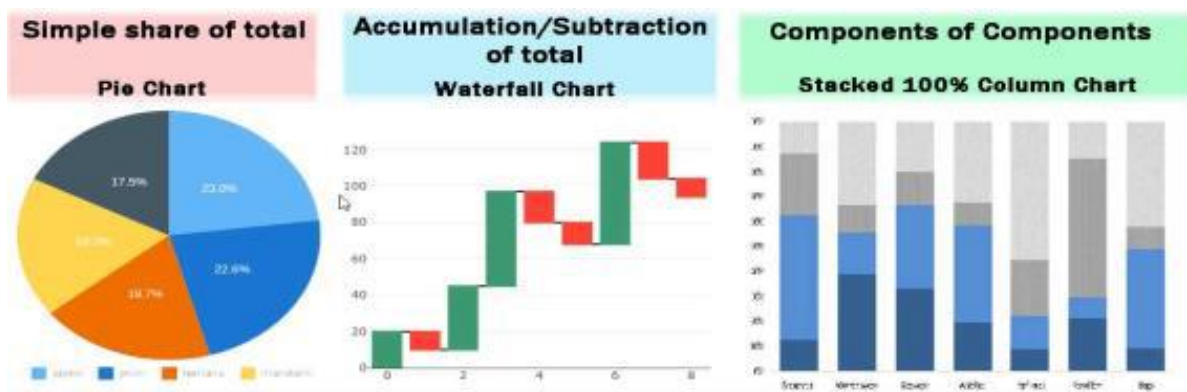
3. attēls. Viena laika perioda datu kopu salīdzināšana

Ja ir svarīgs laika mainīgais, to pašu datu kopu dažādos periodos var salīdzināt apļveida laukuma diagrammā (ko sauc arī par radara vai zirnekļa diagrammu), līniju diagrammā vai kolonnu diagrammā, bet vispiemērotākā izvēle ir atkarīga no periodu un salīdzināmo kategoriju skaita (4. attēls).



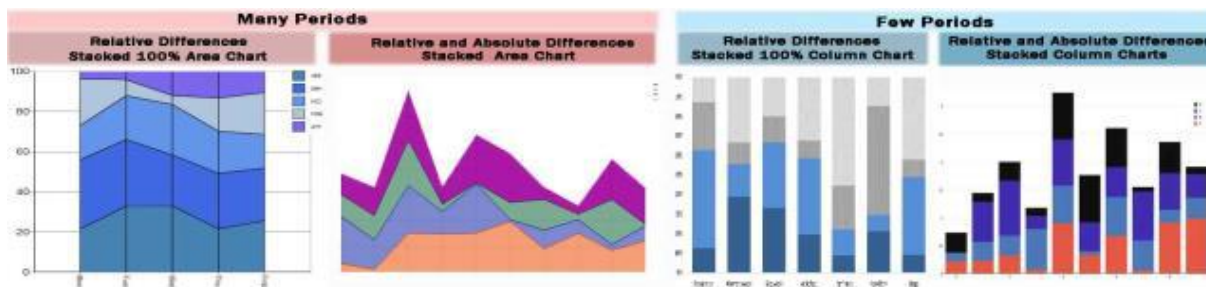
4. attēls. Vienas un tās pašas datu kopas salīdzināšana dažādos laika periodos

Uzbūve. Aplūkojot uzbūvi, tiek apskatītas mazākas daļas, kas veido grupu. Pārsvārā tiek izmantotas sektoru diagrammas, bet var izmantot arī grēdotās stabiņu diagrammas. (5. attēls).



5. attēls. Uzbūve

Ja uzbūves analizē ir svarīgs laika mainīgais, grēdotās joslu diagrammas vai grēdotās laukumu diagrammas var attēlot laikā mainīgas datu kopas sastāvu, attiecīgi sadalot joslas vai laukumu starp datu kopas kategorijām. (6. attēls). Šādu datu kopu pārstāvji ir, piemēram, laika rindu dati.



6. attēls. Uzbūves aplūkošana laikā

Ir daži pētnieciskie darbi, kas piedāvā metodes atbilstoša vizualizācijas veida automātiskai atlasei, tā risinot problēmas, kas saistītas ar vizualizācijas atpazīšanu, vizualizācijas rangu un vizualizācijas atlasī esošai datu kopai. Tomēr šajā jomā ir nepieciešams vairāk pētījumu, kas var uzlabot esošo vizualizācijas rīku lietojumu.

2.9.2 Tehniskais risinājums?

Populārākie vizualizācijas rīki

Pētījuma darbā tiek aplūkoti vairākās nozarēs plašāk izmantotie IoT datu vizualizācijas rīki. Pētījumā tie tiek salīdzināti pēc dažādiem kritērijiem, tostarp pieejamības (piemēram, atvērtā pirmkoda rīks). Tālāk ir sniegta informācija, ņemot vērā tikai šo kritēriju.



Tableau ir publiski pieejams tiešsaistes pakalpojums, taču tam ir ierobežota krātuve. Servera un darbvirsmas versijas ir pieejamas ar komerciālām licencēm.

ThingsBoard ir atvērtā pirmkoda IoT platforma, kas satur moduļus ierīču pārvaldībai, datu apkopošanai, apstrādei un vizualizēšanai.

Plotly ir tiešsaistes mākonī balstīts publisko datu vizualizācijas pakalpojums. Tas ir publiski pieejams ar ierobežotām diagrammu funkcijām un krātuvi, savukārt pilns diagrammu funkciju kopums ir pieejams ar profesionālu biedra licenci.

IBM Watson IoT Platform ir mākoņa platforma - pakalpojums.

Power BI ir jaudīgs biznesa analīzes mākoņpakalpojums. *Power BI* piedāvā apakškomponentes IoT integrācijai. Publiski ir pieejama programmatūras versija darbvirsmas, taču tai ir ievērojami ierobežota piekļuve mākoņa pakalpojumiem.

Gephi ir atvērtā pirmkoda rīks, kas specializējas diagrammu un tīkla analīzē, nodrošinot interaktīvu tīkla izpēti un interpretāciju, kā arī tīkla dinamisku vizualizāciju. Lai gan nav nepieciešamas programmēšanas prasmes, tiek uzskatīts, ka ir nepieciešamas labas zināšanas par grafikiem un diagrammām.

Grafana ir jaunietekmes atklātā pirmkoda datu vizualizācijas rīks. Tas koncentrējas uz laicrindu metrisku datu analīzi un monitoringu noteiktā laika periodā. Tādējādi tas atbalsta vairāku laika sēriju datu uzglabāšanu aizmugursistēmās. Tas atbalsta reāllaika plūsmu, kas ļauj izsniegt datu analīzes ziņojumus gandrīz reālajā laikā.

Kibana Tool ir atvērtā pirmkoda datu vizualizācijas rīks, kas specializējas lielu datu kopu analīzē. Tas ir *ELK Stack* sastāvdaļa, kas sastāv no trim rīkiem: *ElasticSearch*, *LogStash*, *Kibana*. *Kibana* nodrošina tīmekļa saskarni, lai meklētu, skatītu un analizētu datus, kas saglabāti *Elasticsearch* klasterī.

Pētījuma darbā ir sniegta informācija arī par esošajām bibliotēkām un ietvariem, kurus var izmantot vizualizācijai, piemēram, *TimelineJS*, *Angular*, *JavaScript Data-Driven Documents D3.js* bibliotēka, *Three.js WebGL 2D/3D* renderēšanas bibliotēka, *Underscore.js*, *Backbone.js* un *JQuery*. Parasti šajos gadījumos aizmugursistēmas tehnoloģiju apkalpo *NoSQL* datubāzes.

2.10 Secinājumi par literatūras apskatu

Literatūras apskats atklāj dažādas arhitektūras, kas tiek izmantotas dažādām vajadzībām iekštelu vides kvalitātes datu apkopošanā un analīzē. Mūs interesēja galvenokārt šo arhitektūru datu vizualizācijas komponentes, un tiek minētas atsevišķas komponentes reālā laika plūsmas datiem un vēsturisko datu analīzei. Aplūkotojos pētījumos aprakstītajos gadījumos ir atklāts, ka šīs iekštelu vides kvalitātes monitorēšanas arhitektūras bieži tiek integrētas ēku vadības sistēmās, kuras nodrošina papildu informāciju sensoru datu analīzei. Tāpat ir vērts pieminēt, ka daudzos gadījumos sensoru datu analīzei tiek izmantots datu vizualizācijas rīks *Grafana*.

Literatūras apskata ietvaros mēs apkopojām vairākas diagrammas, kas tiek izmantotas dažādiem sensoru datu vizualizācijas gadījumiem. Lai veiksmīgāk izvēlētos pirmās versijas diagrammas mūsu vizualizācijas prototipam, kura pamatā ir *Grafana*, mēs noteicām reālos gadījumos izmantot diagrammu veidus. Vēl viens aspekts, kas tika aplūkots literatūras apskatā, bija iespējas vizualizēt sensoru datus virs ēku grafiskā attēlojuma un telpu plāniem. Atrastās vizualizācijas ir saistītas ar ēku informācijas sistēmu izmantošanu, kas sniedz grafisku informāciju par ēkām.

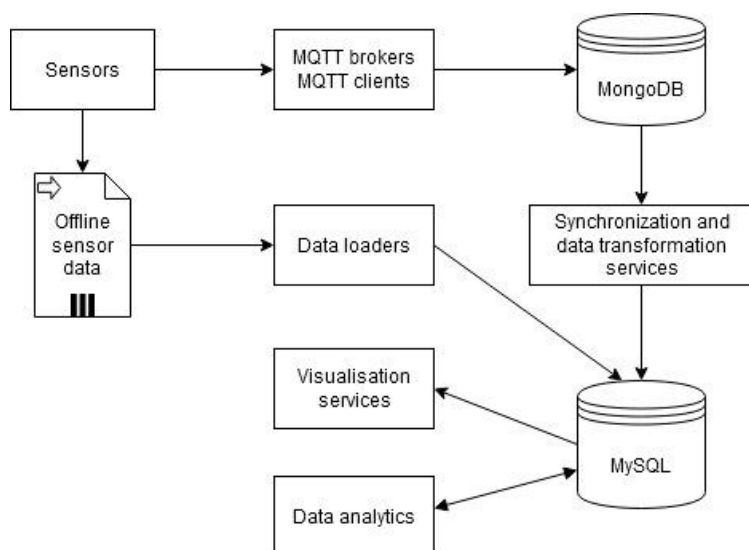
Viens no literatūras apskata pētījuma jautājumiem bija arī tas, kuras lietotāju kategorijas tiek ņemtas vērā gadījumu izpētē uzraudzītajās sistēmās un cik atšķirīgi ir vizualizācijas veidi mērķa lietotāju grupām, tomēr šis aspekts analizētajos pētījumos netika apskatīts. Neskatoties uz to, tika noteiktas dažādas vizualizācijas, kas tika ieviestas ne tikai kā tiešsaistes analīzes sistēmas, bet arī kā mobilās lietojumprogrammas. Šī dažādība ļauj personalizēt sniegto informāciju, taču detalizētāka informācija par lietotāju īpašajām vajadzībām var sniegt vairāk iespēju lietotājiem, un optimālā gadījumā personalizēšanu varētu īstenot kā automatizētu risinājumu.



Literatūras apskats arī parādīja, ka maz uzmanības tiek pievērsts sistēmu mērogojamībai un to arhitektūrai, kas ir svarīgi gadījumā, kad būtu jāintegrē vairāki dažādu veidu sensori, kā arī paplašinot aptverto ēku skaitu un pašu sistēmu, lai atbalstītu dažādas organizācijas. Būtu jāizstrādā elastīga arhitektūra, kas iekļauj visas minētās vajadzības un atbalsta vizualizācijas iespējas dažādiem lietotājiem.

3 Konceptuālais risinājums

Datu vizualizācijas uzdevums ir daļa no WP1 darba pakas, kuras ietvaros izstrādā sensorus un tīklu starptiem, strādā pie notikumu atpazīšanas telpā, datu uzglabāšanas un informācijas sniegšanas risinājumiem galalietotājiem. Tālāk redzamā diagramma (Attēls 1) konceptuālā līmenī parāda tikai tās sistēmas daļas, kas ir būtiskas datu un informācijas vizualizēšanai.



Attēls 1. Konceptuālā arhitektūra

No sensoriem saņemtie dati tiek pārsūtīti uz *NoSQL* datubāzi *MongoDB*. *MQTT klienti* ir savienoti ar dažādiem pakalpojumiem, kas lietotājam reālajā laikā sniedz informāciju, piemēram, mobilajās lietojumprogrammās. Šie pakalpojumi netiek attēloti, jo tie nav saistīti ar vizualizācijas uzdevumu.

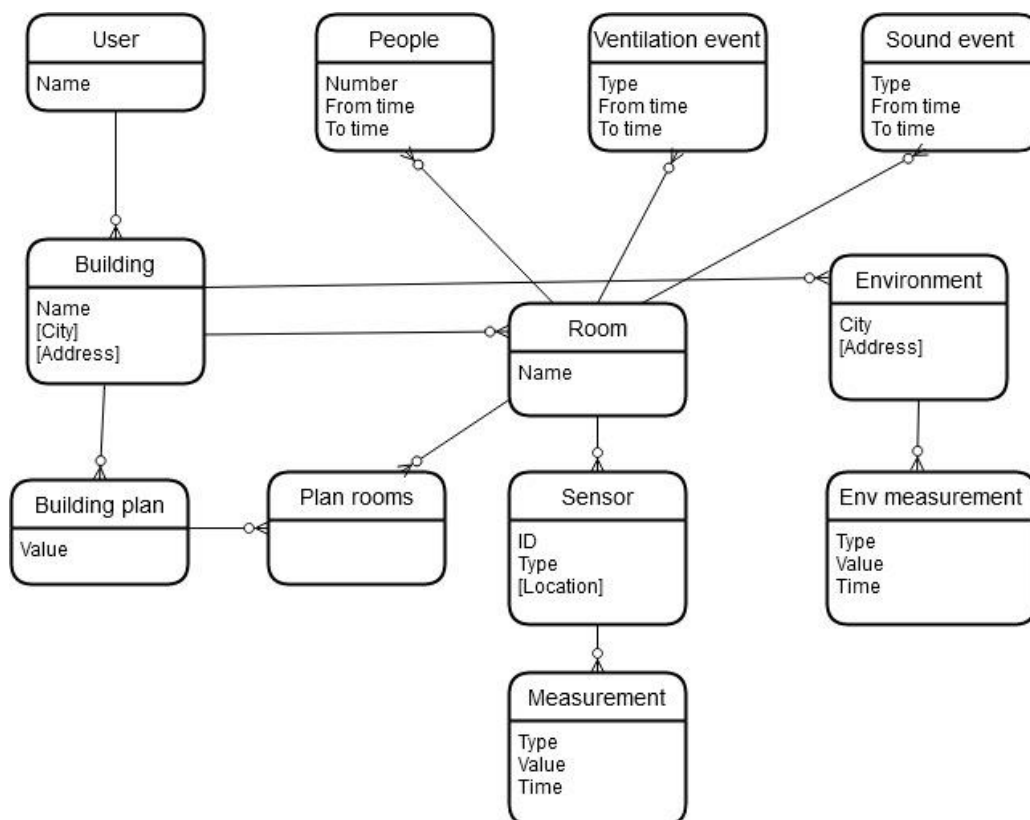
Visi dati tiek glabāti *MongoDB* datubāzē, lai vēlāk veiktu datu analīzi (faktiski citi dienesti var strādāt ar datiem gandrīz reālā laikā).

Lai izpētītu vizualizācijas problēmu, dati tiek pārsūtīti uz relāciju datubāzi *MySQL*. Tas atvieglo dažādu datu apstrādi.

Ir partneri, kuriem ir dažādi sensori un dažādi to uzkrātie dati. Operatīvai datu pārsūtīšanai tie vēl nav savienoti ar tīklu. Dati no šādiem sensoriem bezsaistes režīmā tiek saņemti ar kavēšanos un tiek importēti datubāzē, izmantojot datu ielādētājus.

Ar datiem tiek veikti dažādi vizualizācijas eksperimenti (Vizualizācijas pakalpojumi). Turklāt tiek plānota datu analīze, un datubāzei tiks pievienota jauna informācija (Datu analīze).

Mēs pakāpeniski meklējam labāko datu modeli nepieciešamajai datu analīzei un vizualizācijai. Nozīmīgākās oriģinālās datubāzes shēmas komponentes ir attēlotas sekojošajā vienkāršotajā konceptuālajā datu modelī (Attēls 2).

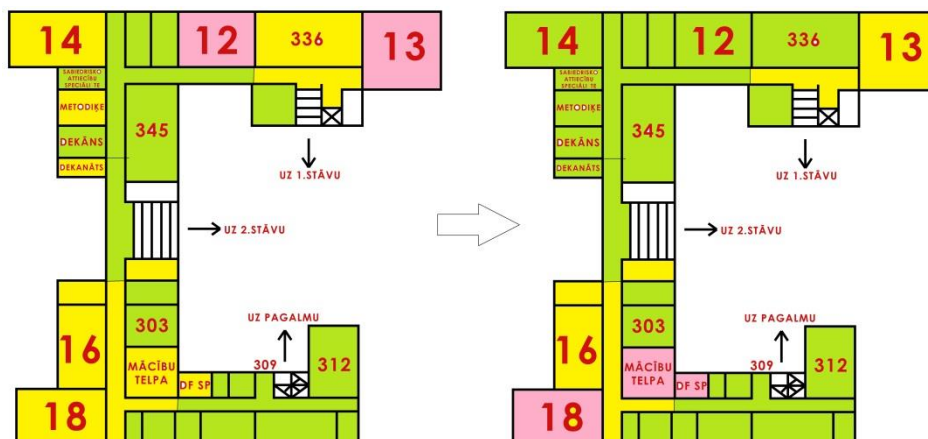


Attēls 2. Konceptuālais datu modelis

Datubāzē tiek glabāta informācija par ēkām, to telpām (istabām) ar to īpašībām, izvietotajiem sensoriem un to pārraidītajiem datiem. Telpas vienā ēkā var savienot, un šis savienojums tiek glabāts plāna veidā. Projekta mērķiem ir svarīgi iegūt informāciju par cilvēku skaitu telpā, skaņas notikumiem (runāšana, kliegšana, klepošana, šķaudīšana utt.), ventilācijas notikumiem (ieslēgta ventilācijas sistēma, atvērti logi vai durvis). Telpu mikroklimatu ietekmē arī vide, par kuru arī varētu savākt datus.

Projekta ietvaros ir izstrādāts eksperimentāls pakalpojums, kas paredz Covid-19 infekcijas risku konkrētā telpā. Ēku apsaimniekotājiem ir iespējams aplūkot telpu stāvokli un tā izmaiņas laika gaitā. Ideju demonstrē tālāk attēlotie divi telpas stāvokļi.

Projekta ietvaros ir izstrādāts eksperimentāls pakalpojums, kas paredz Covid-19 infekcijas risku konkrētā telpā. Ēku apsaimniekotājiem ir iespējams aplūkot telpu stāvokli un tā izmaiņas laika gaitā. Ideju demonstrē šādi divi telpas stāvokļi (Attēls 3).



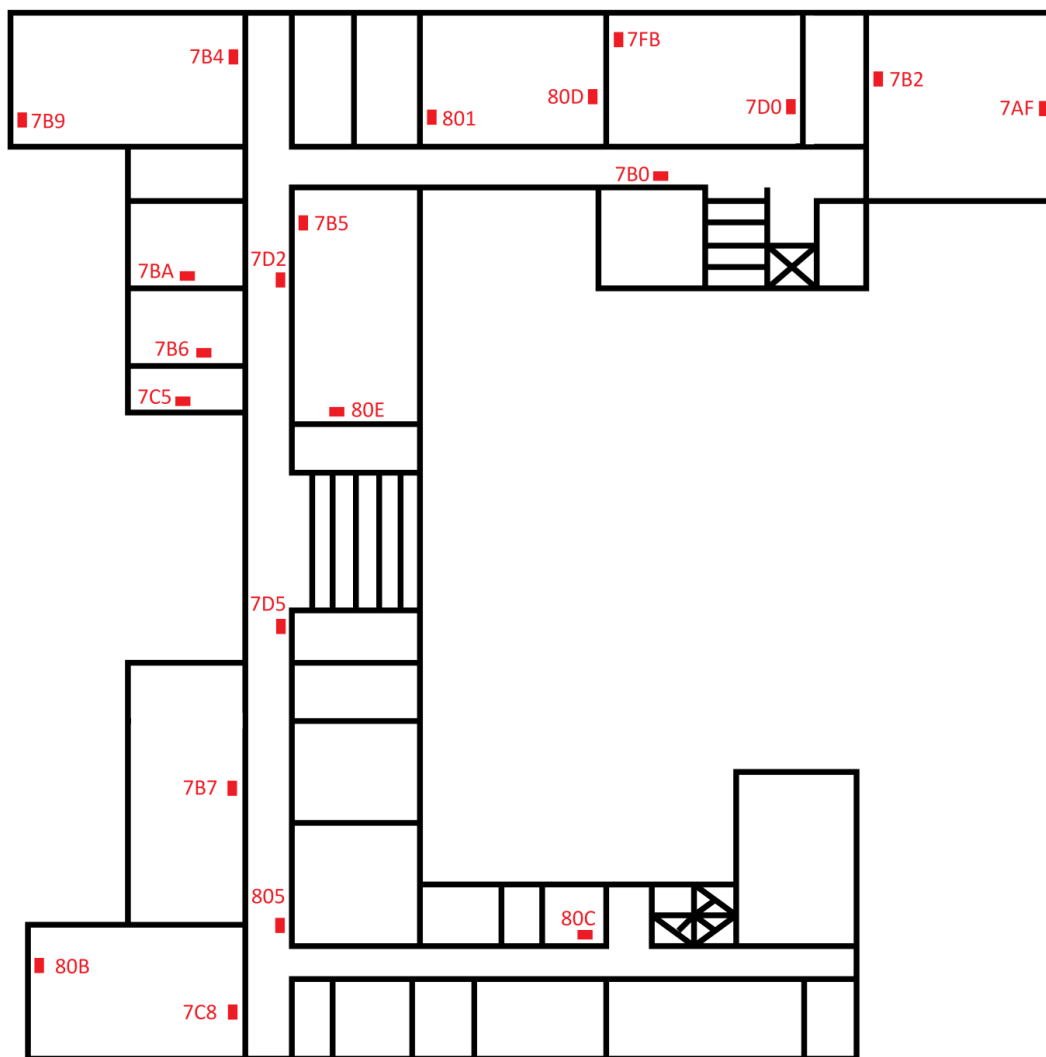
Attēls 3. Riska situāciju izmaiņu piemērs

4 Prototipu izveide

Mēs veidojam dažādus prototipus, lai pārbaudītu idejas gala risinājumam.

4.1 Reālu datu iegūšana no sensoriem

Mēs esam izvietojusi Aranet4 sensorus (<https://aranet4.com/>) Latvijas Universitātes Datorikas fakultātē. Izvietojumshēma ir parādīta tālāk (Attēls 4). Nozīmīgākajās telpās (lielāka noslodze; potenciāli augstāks infekcijas risks) ir vairāki viena tipa sensori.



Attēls 4. Sensoru izvietojums Datorikas fakultātē

Dati no sensoriem tiek pārsūtīti uz *MongoDB* un pēc tam uz *MySQL* datubāzi. Visi vizualizācijas eksperimenti tiek veikti ar reāliem datiem.

Papildus mēs pievienojam reālus datus, kas iegūti lokāli, t.i., sensori vēl nav savienoti ar mūsu projekta infrastruktūru. Tā rezultātā mums ir dažādi dati no dažādām ēkām, atšķirīgiem lietošanas apstākļiem un dažāda veida sensoriem.

Mums ir vienošanās ar Paula Stradiņa Klīnisko universitātes slimnīcu par sensoru izvietojumu palātās. Mums būs pieejami svarīgi dati, un mēs varēsim sniegt ātrus ieteikumus klimata uzlabošanai slimnīcā.

Pirms vairākiem gadiem Latvijā tika īstenots projekts skolu mācību aprīkojuma uzlabošanai. Tā ietvaros daudzām skolām tika piegādāti sensori, kurus varēja izmantot arī mūsu projektā. Piemēram, *EasySense* (Attēls 5) sensori var saglabāt svarīgus datus, tostarp CO₂ līmeni. Mēs vedam sadarbības sarunas ar skolām; skolas ir ieinteresētas.



Attēls 5. EasySense sensors

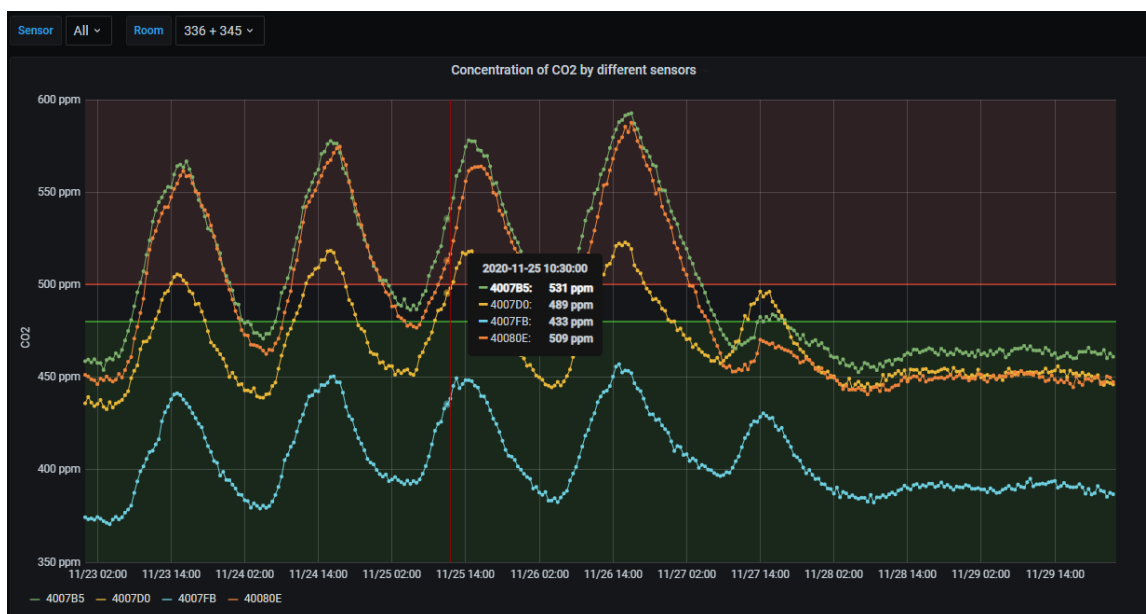
4.2 Diagrammu izveide

Šie grafiku piemēri parāda dažādas rīka prototipā pieejamās vizualizācijas un analīzes iespējas. Lai ieviestu sensora datu vizualizāciju rīka prototipā, mēs izmantojām divas tehnoloģijas:

- *Grafana* ir platforma, kas ļauj vizualizēt un dinamiski analizēt dažādus rādītājus, kas iegūti no dažādiem avotiem. Rīka prototipā Grafana ir piemērotāka laika rindu datiem.
- *Highcharts* ir bibliotēka, kas ļauj attēlot rādītājus dažāda veida interaktīvās diagrammās. Rīka prototipā *Highcharts* tiek izmantots, lai vizualizētu rādītājus, kas nav laika rindu dati.

Tālāk redzamās diagrammas parāda sensoru datu vizualizācijas piemērus *Grafana* platformā.

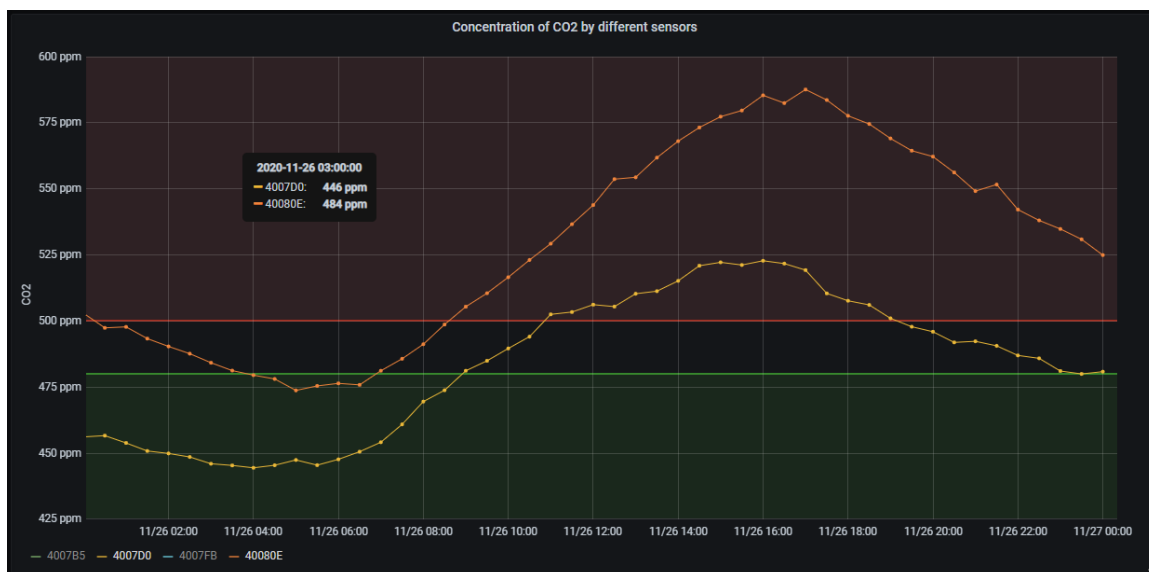
Diagrammā (Attēls 6) parādīta vidējā CO₂ koncentrācija, ko izvēlētie sensori noteikuši nedēļā no 2020. gada 23. līdz 29. novembrim. Vidējo vērtību aprēķina ar pusstundas intervālu. Ir iespējams attēlot datus tikai par izvēlētajām telpām un/vai sensoriem, kā arī mainīt pārskata laika periodu. Diagrammā parādītas arī sliekšņa vērtības, kas noteiktas CO₂ koncentrācijai. Zema koncentrācija ir parādīta zaļā krāsā, augstai koncentrācijai ir sarkans fons.



Attēls 6. Vidējā CO₂ koncentrācija, ko nedēļas laikā noteikuši izvēlētie sensori

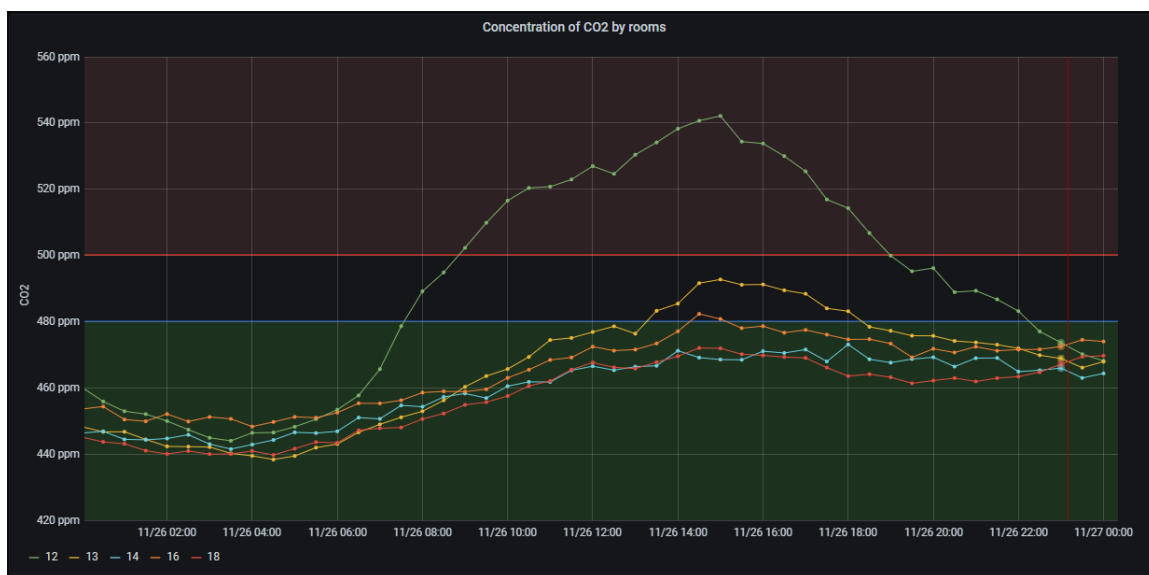


Diagramma ļauj tuvināt sākotnējā laika perioda daļu, kā arī parādīt/paslēpt līnijas, kas atbilst konkrētajiem sensoriem. Nākamajā diagrammā (Attēls 7) tiek demonstrēta šī funkcionalitāte.



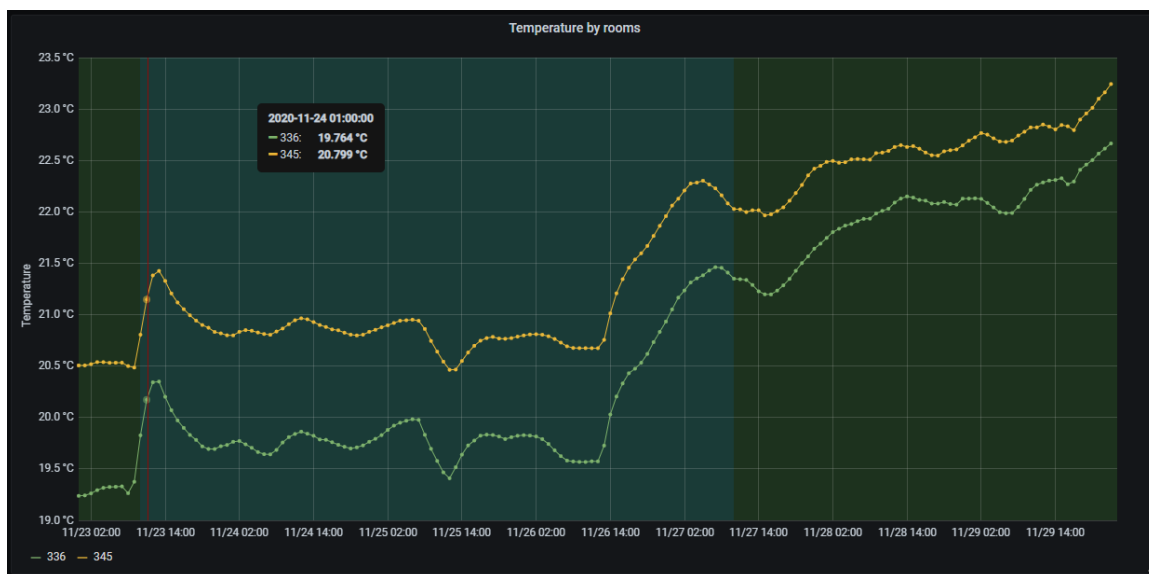
Attēls 7. Oriģinālā laika perioda pietuvināšana

Nākamajā diagrammā (Attēls 8) parādīta vidējā CO₂ koncentrācija, ko mēra ar sensoriem, kas uzstādīti auditorijās. Tāpat kā iepriekšējā diagrammā, ir iespējams mainīt datu periodu, parādīt/paslēpt līnijas, kas atbilst konkrētajām auditorijām.



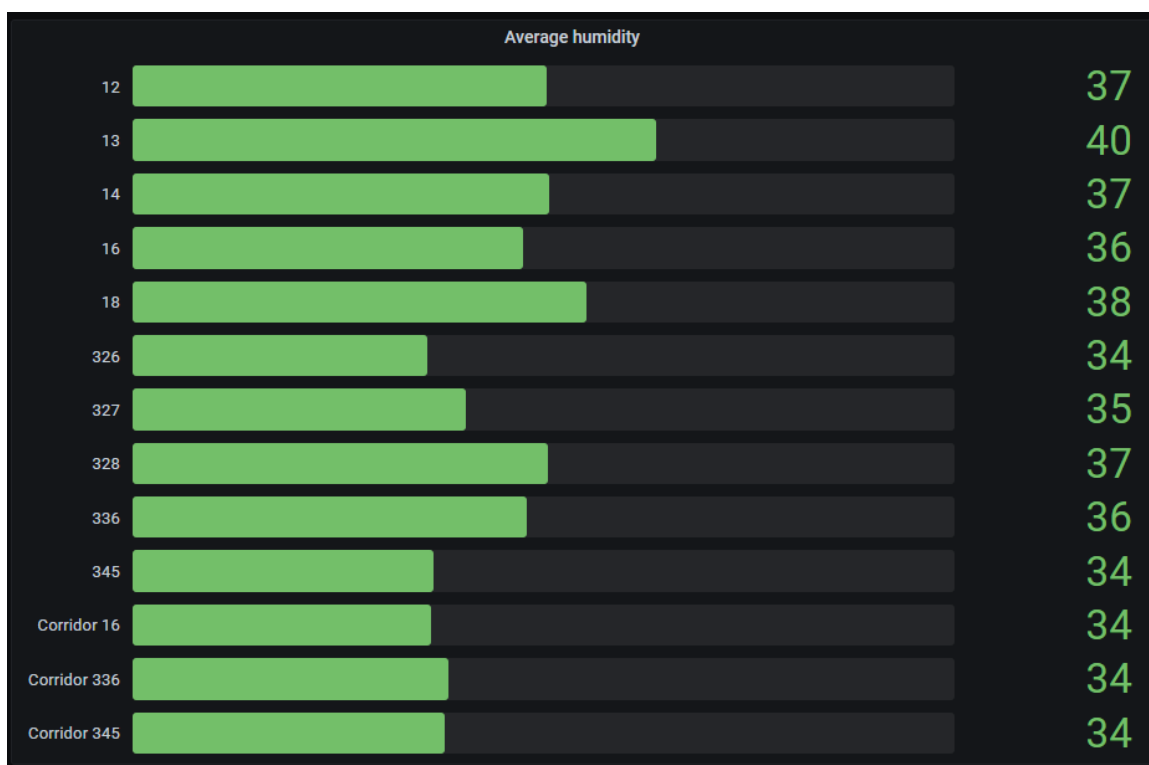
Attēls 8. Vidējā CO₂ koncentrācija, ko mēra ar sensoriem, kas izvietoti auditorijās

Nākamajā grafikā (Attēls 9) ir attēlota stundas vidējā temperatūra datorklasēs. Ir iespēja izvēlēties arī citas telpas, ja tām ir pieejami sensoru dati. Šajā diagrammas paraugā darba dienas (no pirmdienas līdz piektdienai) tiek attēlotas ar zilu fonu.



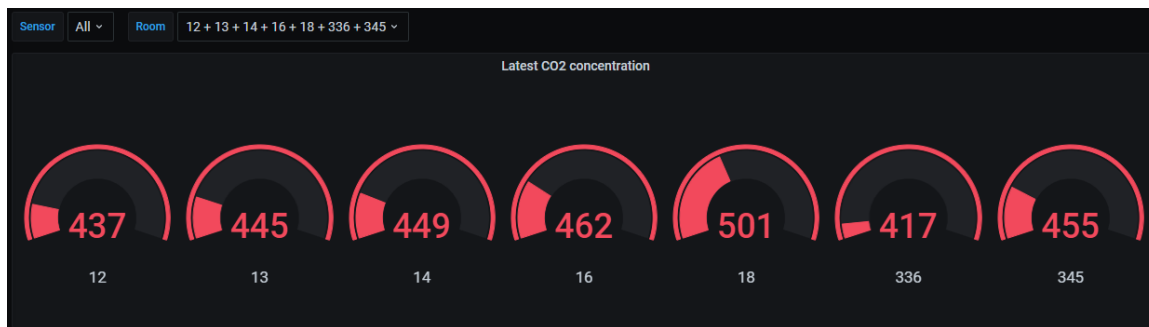
Attēls 9. Stundu vidējā temperatūra datorklasēs

Šajā joslu diagrammā (Attēls 10) parādīts vidējais gaisa mitrums izvēlētajā laika periodā auditorijās (12-18), datorlaboratorijās (336, 345), kā arī fakultātes birojos un gaitēšos. Līdzīgas diagrammas var izveidot arī, lai atainotu citus rādītājus, piemēram, CO₂ koncentrāciju un temperatūru.



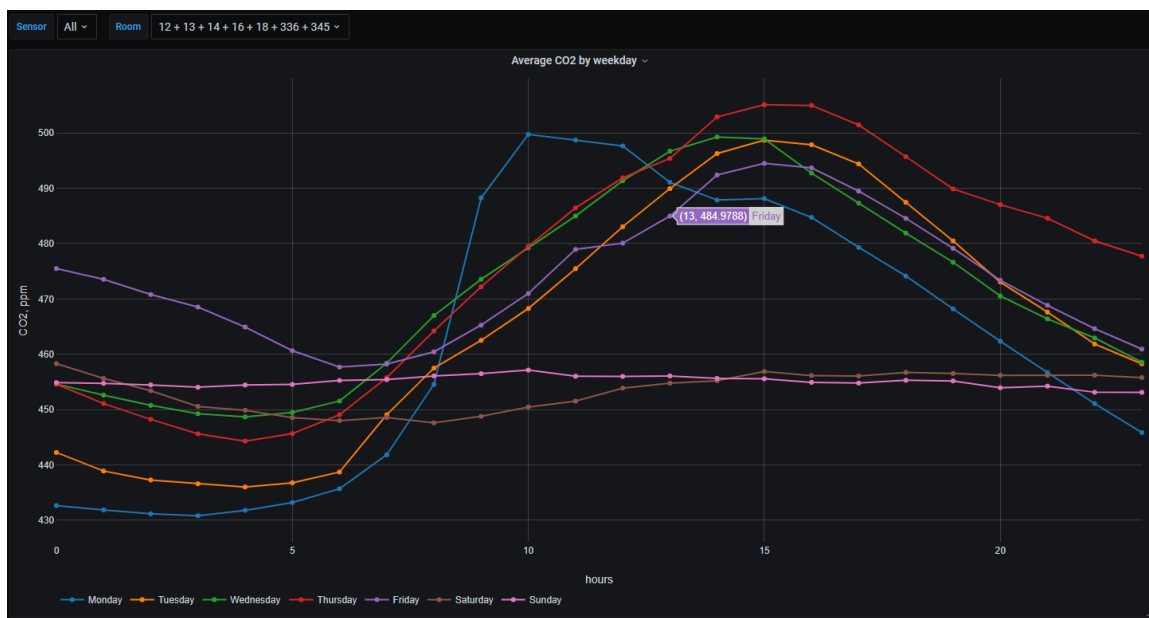
Attēls 10. Vidējais gaisa mitrums auditorijās

Sekojošajā mērinstrumentu diagrammā (Attēls 11) parādīta pēdējā CO₂ koncentrācija izvēlētajā laika posmā auditorijās un datorlaboratorijās.



Attēls 11. Pēdējā CO₂ koncentrācija izvēlētajā laika periodā

Nākamā diagramma (Attēls 12) tika izveidota ar *Grafana* spraudni *Plotly*. Tā parāda vidējo CO₂ koncentrāciju izvēlētajās telpās nedēļas laikā. Mācību nedēļā ir iespējams analizēt CO₂ koncentrāciju dažādās dienas stundās.

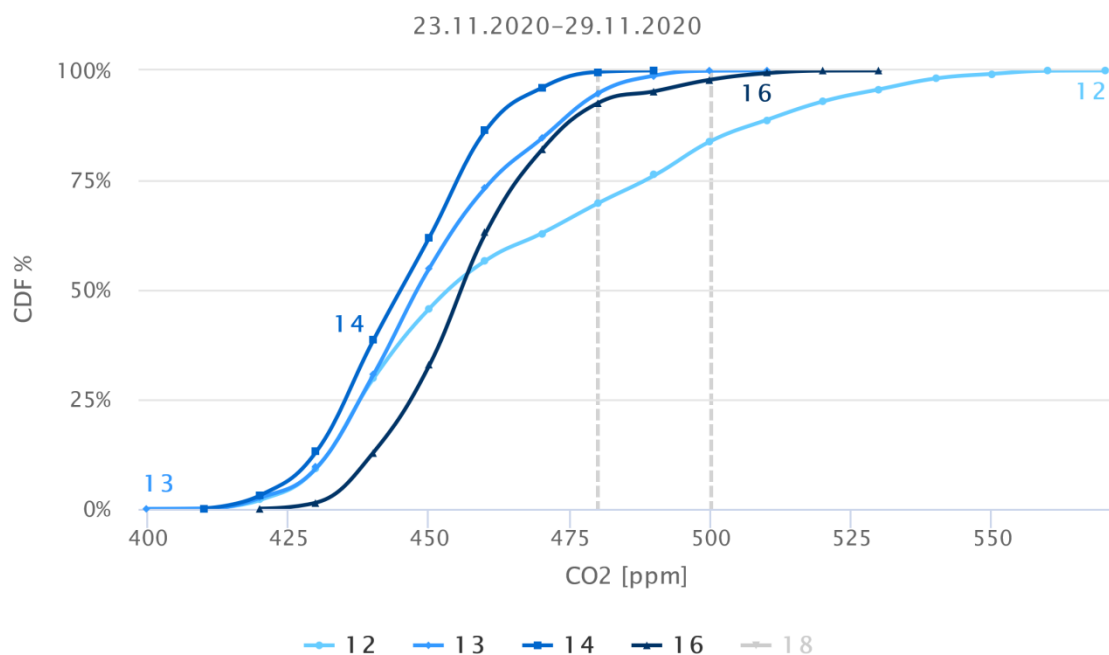


Attēls 12. Vidējā CO₂ koncentrācija izvēlētajās telpās nedēļas laikā

Tālāk redzamā līniju diagramma tika izveidota ar *Highcharts* diagrammu bibliotēku, jo *Grafana* nenodrošina nepieciešamo funkcionalitāti. Diagramma (Attēls 13) parāda CO₂ koncentrācijas kumulatīvo sadalījuma funkciju (CDF) auditorijās izvēlētajā laika periodā. Sliekšņi tika noteikti pie CO₂ koncentrācijas 480 ppm un 500 ppm. CDF diagramma ļauj analizēt, cik reizes perioda laikā CO₂ koncentrācija pārsniedza sliekšņa vērtības. Tāpat ir iespējams arī paslēpt/parādīt konkrētas telpas (dotajā piemērā ir paslēpta 18. telpa). *Highcharts* ļauj eksportēt izveidoto diagrammu dažādos formātos, kā arī lejupielādēt datus, kas izmantoti diagrammas izveidei.



Cumulative distribution function of CO₂ in lecture rooms

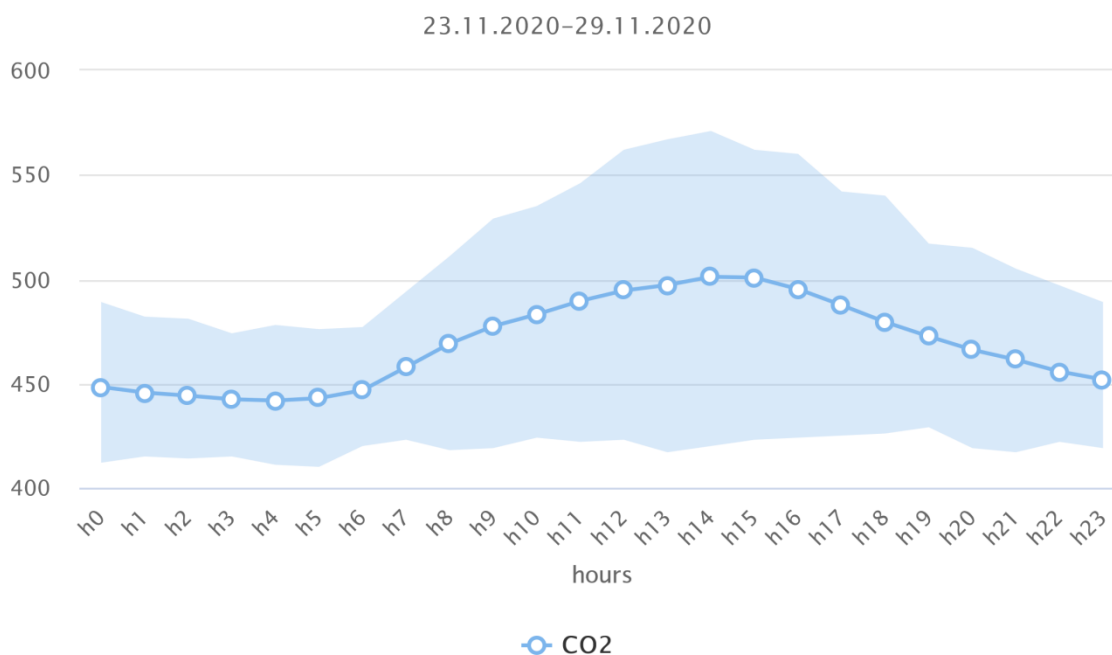


Attēls 13. CO₂ koncentrācijas kumulatīvā sadalījuma funkcija (CDF)

Arī nākamā diagramma (Attēls 14) ir izstrādāta, izmantojot *Highcharts* bibliotēku. Tā ļauj analizēt minimālo, maksimālo un vidējo CO₂ koncentrāciju izvēlētajā auditorijā izvēlētajā laika periodā. Laukuma diapazona sērijas tiek izmantotas, lai vizualizētu CO₂ koncentrācijas diapazonu stundā, savukārt līniju sērija parāda vidējo CO₂ koncentrāciju.



Hourly CO2 concentration in the lecture room 12



Attēls 14. Minimālā, maksimālā un vidējā CO2 koncentrācija

5 Kopsavilkums

Projekta īstenošana turpinās. Darbības tiks turpinātas arī datu vizualizācijas jomā.

Decembrī:

- turpināsies darbs pie datu apkopošanas programmatūras izstrādes;
- sensori tiks uzstādīti slimnīcā;
- sensori tiks uzstādīti skolās;
- tiks izveidota programmatūra bezsaistes datu pārsūtīšanai uz mūsu datubāzi;
- tiks izstrādātas dažādas diagrammas;
- tiks izveidots prototips, kas attēlos ēkas karti ar dažādiem mērījumu datiem.

Projekta pagarinājumā (janvāris - marts) plānota:

- apkopoto datu analīze;
- lietotāju viedokļu apkopšana par ērtāko informācijas saņemšanas veidu;
- kopējās infrastruktūras uzlabošana.