

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Infotehnoloogia teaduskond

Sken Mark Savipõld 164273IAPB

**Targa ehitise siseruumide sensorandmete  
rakendus: andmete visualiseerimine, analüüs,  
rakenduse edasiarendus**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Jaanus Kaugerand  
PhD

Tallinn 2021

## **Autorideklaratsioon**

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Sken Mark Savipõld

14.06.2021

## **Annotatsioon**

Käesoleva lõputöö käigus kirjeldatakse rakenduse edasiarendusi, mis võimaldavad visualiseerida ja analüüsida olemasolevasse Thinnect OÜ platvormi kogutud siseruumide sensorite andmeid.

Töös antakse ülevaade sisekliima nõuetest ja selle tähtsusest inimese heaolule, tervisele ning tööviljakusele. Siis kirjeldatakse ka töös kasutatud ARIMA algoritmi ja jätkatakse edasiarenduste jaoks kasutatud tehnoloogiate analüüsiga. Seejärel kirjeldatakse rakenduse edasiarendusi. Lõpuks analüüsitakse erinevates Tallinna koolides sensoritega mõõdetud klassiruumide CO<sub>2</sub> tasemeid.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 30 leheküljel, 6 peatükki, 19 joonist, 2 tabelit.

## **Abstract**

### **Smart Building Indoor Sensor Data Application: Data Visualization, Analysis, Further Development**

In this thesis, further developments of the application are described, which allow to visualize and analyze the existing indoor sensor data collected on the Thinnect OÜ platform.

The work provides an overview of the requirements of the indoor climate and its importance for human well-being, health and productivity. Then the ARIMA algorithm, also used in the developments, is described and also technological choices for further developments are analyzed. Finally, CO<sub>2</sub> levels in classrooms measured by sensors in different schools of Tallinn are analyzed.

The thesis is in Estonian and contains 30 pages of text, 6 chapters, 19 figures, 2 tables.

## Lühendite ja mõistete sõnastik

CO <sub>2</sub>	Süsihappegaas
ppm	Mahuosa miljoni õhu mahuosa kohta
event	Sündmus
ARIMA	AutoRegressive Integrated Moving Average, autoregressiivne integreeritud liikuv keskmine
PACF	<i>partial autocorrelation function</i> , osaline autokorrelatsiooni funktsioon
ACF	<i>autocorrelation function</i> , autokorrelatsiooni funktsioon
AIC	<i>Akaike information criterion</i> , Akaike informatsioonikriteerium

# Sisukord

1 Sissejuhatus .....	9
1.1 Taust ja probleem .....	9
1.1.1 Miks on vaja mõõta sisekliima väärtusi?.....	10
1.1.2 Sisekliimale esitatavad nõuded.....	14
1.1.3 Lahendusi olukorra parandamiseks ja nõuete täitmiseks .....	15
1.2 Prognoosimine .....	16
1.3 Rakendusele esitatavad nõuded .....	21
1.3.1 Funktsionaalsed nõuded .....	21
1.3.2 Mittefunktsionaalsed nõuded.....	21
2 Kasutatud tehnoloogiad .....	22
2.1 Python.....	22
2.2 Flask.....	24
3 Rakenduse edasiarenduse kirjeldus .....	25
3.1 Sensorite valik .....	25
3.2 Prognoosimise graafiku genereerimine .....	28
3.3 Kõige uuemate sensori näitude kuvamisega seotud bugi .....	30
4 Mõõtmistulemused teistes Tallinna koolides .....	31
5 Võimalikud tulevased arendused.....	35
6 Kokkuvõte .....	36
Kasutatud kirjandus .....	37
Lisa 1– Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks .....	39

## Jooniste loetelu

Joonis 1: Õhutemperatuuri ja suhtelise produktiivsuse seas [5] .....	12
Joonis 2: Süsihappegaasi kontsentratsiooni ja õpitulemuste seos [5] .....	12
Joonis 3: Aegrea diferentseerimised ja nende autokorrelatsiooni graafikud [13] .....	17
Joonis 4: PACF graafik AR-termini väärtuse leidmiseks [13] .....	18
Joonis 5: ACF graafik MA-termini väärtuse leidmiseks [13] .....	19
Joonis 6: ARIMA mudeli kokkuvõte [13] .....	20
Joonis 7: Stack Overflowis esitatud küsimuste hulk %-des [9] .....	23
Joonis 8: Ekraanipilt sensorite valikust .....	25
Joonis 9: Ekraanipilt korruse plaanist kõigi sensoritega .....	26
Joonis 10: Ekraanipilt keskmiste näitude ja prognoosimise valikutest .....	26
Joonis 11: Ekraanipilt korruse plaanist kahe valitud sensoriga .....	27
Joonis 12: Ekraanipilt keskmistest väärtustest .....	27
Joonis 13: Graafik kella 8st-5ni .....	28
Joonis 14: Graafik 3 päeva vältel .....	29
Joonis 15: TLG klassiruumis 043 mõõdetud CO <sub>2</sub> väärtused .....	31
Joonis 16: Kalamaja kooli klassiruumis 113 mõõdetud CO <sub>2</sub> väärtused .....	32
Joonis 17: Pelgulinna gümnaasiumi klassiruumis 130 mõõdetud CO <sub>2</sub> väärtused .....	33
Joonis 18: Tallinna 32. Keskkooli klassiruumis C212 mõõdetud CO <sub>2</sub> väärtused .....	33
Joonis 19: Lühiajalise tuleviku ennustamine .....	34

## Tabelite loetelu

Tabel 1: Süsihappegaasi (CO <sub>2</sub> ) kontsentratsiooni normid [5] .....	14
Tabel 2: Temperatuuri normid (kontorid, konverentsiruumid, auditooriumid, kohvikud, restoranid, klassiruumid)[5] .....	14



# 1 Sissejuhatus

Lõputöö rakenduse eesmärgiks on olemasoleva rakenduse edasiarendamine ja täiendamine siseruumidesse paigaldatud sensorite poolt mõõdetud andmeid analüüsimiseks. Sensorid on paigaldatud nii Tallinna Tehnikaülikooli kontoriruumidesse kui ka mitmesse Tallinna kooli. Rakendus võimaldab koguda andmeid sensoritelt, näiteks siseruumides olevat süsihappegaasi sisaldust kogu tööpäeva jooksul ja analüüsida nende sõltuvust töötaja ruumis viibimise ajast, akende avamise sagedusest ja teistest võimalikest teguritest. Lisaks sellele võimaldab rakendus ajas vaadelda ja analüüsida teisi parameetreid nagu temperatuur, õhuniiskus, müra, liikumine ja paljusid teisi.

Lisaks on eesmärgiks juhtida töötajate tähelepanu hoone sisekliimale, kuna sellel on otsene mõju inimese tervisele, heaolule ja tööviljakusele.

## 1.1 Taust ja probleem

Viimastel aastakümnetel on hakatud elu- ja tööruumide sisekeskkondadele järjest enam tähelepanu pöörama. Suurt rolli selles mängib vajadus vähendada hoonete energiakulu ja muutuda seeläbi ökoloogilisemaks [2]. Tänapäevased hooned on hästi soojustatud ja õhutihedad. Energiatõhususe ja kvaliteeditaseme nõuded on ära kaotanud loomuliku ventilatsiooni kasutamise meie külmas kliimas. Uued ja renoveeritud hooned on sundventilatsiooniga ja õhutusega, et pakkuda head töökeskkonda ka jahutusperioodil [5].

Nii tööks kui elamiseks mõeldud hooneid peab alati planeerima nii, et selle sisekliimas oleks mugav olla, tekitaks inimeses hea enesetunde ja võimaldaks sooritada planeeritud tegevusi [3]. Hoonete energiakulu saab vähendada akende suuruse, paigutuse ja kvaliteedi ning seinte soojapidavuse, õhuvahetuse ja paljude teiste tegurite optimeerimisega [2]. Tähtsad on ka muud hoonega seotud nõuded nagu hoone esteetiline välimus, ökoloogiline efektiivsus, lihtne kasutamine. Kõik eelnevalt nimetatud tegurid mõjutavad lisaks energiatõhususele ka sisekliimat, seega nende täitmine ei tohiks kunagi tulla inimese tervist ja heaolu mõjutava sisekliima arvelt [3].

Sisekliimaks nimetatakse hoone õhuruumi seisundit ja selle seisundi muutumist. Sisekliima teguriteks peetakse temperatuuri, suhtelist õhuniiskust, õhus leiduvaid saasteaineid, valgust ja müra [1],[3]. Sisekliima peamiseks kvaliteedinäitajaks on mugavus ja inimese hea enesetunne, kuid mugavus on iga inimese puhul individuaalne [2].

Hoonete sisekliimadest rääkides tuleb silmas pidada ka seda, et lisaks büroohonetele kuuluvad töökeskkonna alla ka kooliruumid, kus on tegevust sarnase tegevusega, milleks on vaimne töö istuvas asendis [5].

Büroohonete ja koolimajade keskkondades esinevad siseruumi õhukvaliteedi probleemid võivad olla erinevad. Üheks suurimaks erinevuseks on see, et kooliruumides võib asustus olla kuni neli korda tihedam ühe ruutmeetri kohta kui kontoriruumides. Samuti on paljudele ammu ehitatud ja renoveerimata koolimajadele sageli iseloomulik puudulik ventilatsioon, ebatõhus ruumide hooldus ja koristamine. Varasemalt Eestis tehtud büroohonete ja koolimajade uuringute tulemustest selgub, et büroohonetes on oluliselt parem sisekliima kui koolimajades [4].

### **1.1.1 Miks on vaja mõõta sisekliima väärtusi?**

Keskmine tööealine inimene veedab hinnanguliselt 80-90% oma ajast siseruumides, sealhulgas poole oma ärkvelolekuajast töökeskkonnas. Ka lapsed veedavad valdava enamiku (35-50h nädalas) oma ärkvelolekuajast kooli või lasteaia siseruumides. See tähendab, et koolikeskkond mõjutab otseselt laste tervist ja õppimist ning tervislik keskkond aitab kaasa nende arenemisele terveteks ja oskuslikeks täiskasvanuteks [4]. Sama kehtib ka tööealiste inimeste kohta. Seetõttu on sisekliima kvaliteet inimese tervise, heaolu ja tööviljakuse seisukohalt väga oluline [6].

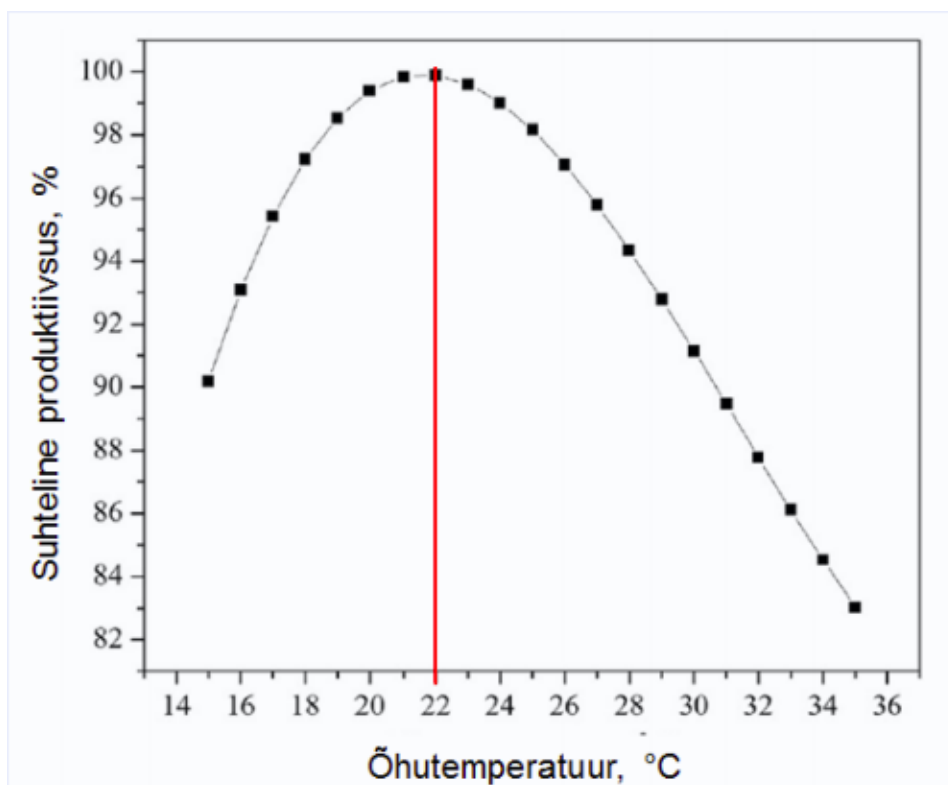
Ruumis valitseval keskkonnal on pikema aja vältel elusorganismide elutegevusele suur mõju. Üks olulisemaid ja inimesele tajutavamaid töökeskkonna kujundajaid on temperatuur. Kõige enam tuleb töötajate poolt kaebusi just töökeskkonna temperatuuri kohta. Temperatuuri suurenedes hakkavad, sõltuvalt töö iseloomust, vaimne või füüsiline teovõime langema ning võib väheneda ka motivatsioon [4].

Teine olulisim töökeskkonna kujundaja on süsihappegaas. Ruumides on süsihappegaasi peamiseks allikaks inimeste väljahingatav õhk. Suure süsihappegaasi sisalduse korral tekib ebamugav ja umbne tunne ning pideva kokkupuute korral võivad tekkida peavalu, peapööritus ja iiveldus [6].

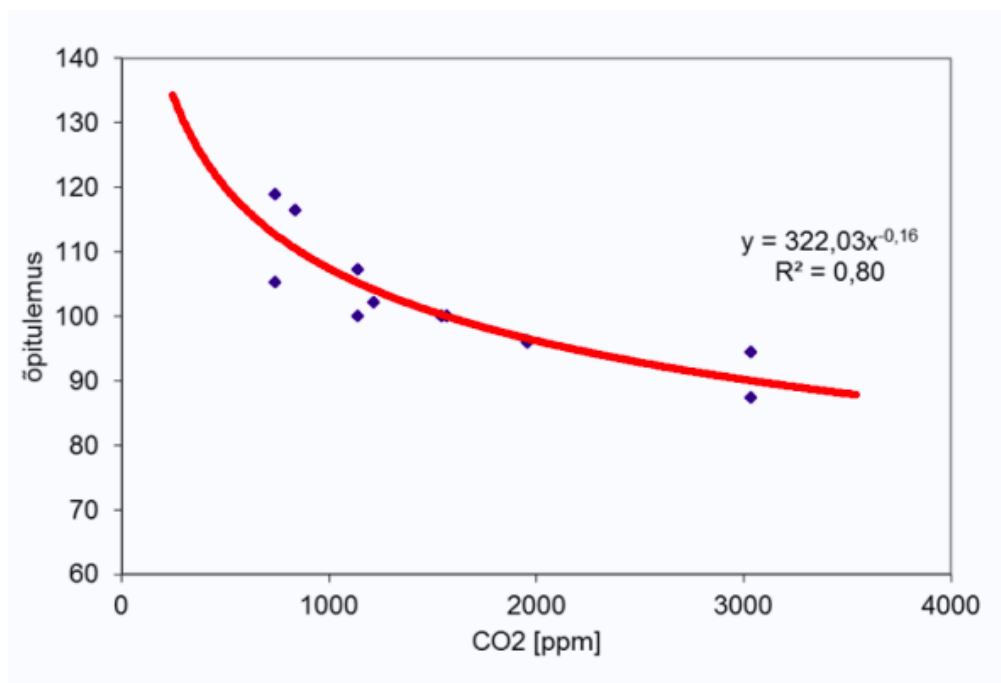
Saastunud õhul on lastele märksa suurem mõju kui täiskasvanutele, kuna laste kopsud, immuunsüsteem ja kesknärvisüsteem ei ole veel täielikult välja arenenud ning nende füüsiline aktiivsus, hingamiskiirus ja hingatava õhu kogus on suurem võrreldes nende kehakaaluga kui täiskasvanud inimesel [4].

Kehvast sisekliimast tingitud levinumad tunded on ebamugavus- ja rahulolematusetunne, keskendumisraskused, peavalu ja töövõime langus. Need ei too üldiselt kaasa otsest haigestumist, kuid tundlikumatel inimestel võivad pikema aja jooksul tekkida haigestumised. Äärmistel juhtudel võib inimene kaotada töövõime kas osaliselt või täielikult. Sellest järeldades on selge, et halb sisekliima võib vähendada organisatsiooni tööviljakust vähendades kasumit ja suurendades kulusid [1].

Töökeskkonna kliima ja produktiivsus on omavahel seotud. Temperatuuri näol on tegemist seosega, millel on maksimaalse tulemusega optimum 22 °C ja nii madalamad kui ka kõrgemad temperatuuri väärtused vähendavad töö produktiivsust (Joonis 1) [5].



Joonis 1: Õhutamperatuuri ja suhtelise produktiivsuse seos [5]



Joonis 2: Süsihappegaasi kontsentratsiooni ja õpitulemuste seos [5]

Samuti saab järeldada, et suurem on motivatsioon 17 °C keskkonnas kui 29 °C keskkonnas, mis on liiga soe [4].

Need tulemused näitavad kui tähtis on optimaalse sisekliimaga töökeskkond nii töötajatele kui õppijatele.

Erinevate uuringute kokkuvõte:

- Õhuvahetuse kahekordistamine vähendab haigestumist ja haiguse tõttu puudumist ca 10% ning suurendab kontoritöö produktiivsust ca 1,5%
- Iga 10% õhuga rahulolematute hulga vähenemine kasvatab kontoritöö produktiivsust ca 1%
- Temperatuuri vähendamine 1°C võrra, siis kui temperatuurid on üle 24°C, tõstab kontoritöö produktiivsust ca 1,5%
- Liiga madala temperatuuri tõstmine 20°C-ni tõstab kontoritöö produktiivsust 2%
- Sisekeskkonna kvaliteedi tõstmiseks tehtud investeeringud tasuvad ennast ära enamasti alla 2 aastaga [5]
- Kui süsihappegaasi sisaldus siseõhus suureneb 2000 ppm-ni, langeb õpilaste õppimisvõime ca 30% [7]
- Erinevate ebasobivate keskkonnatingimuste kombinatsioon (temperatuur üle 20-22°C ja süsihappegaasi tase üle 1000 ppm) võib vähendada õpilaste õppeedukust kuni 30% [5]

### 1.1.2 Sisekliimale esitatavad nõuded

Alates 15.10.2019 on sisekliimale esitatavate nõuete kohta kehtiv standard EVS-EN 16798-1. Kuna autoril ei olnud töö kirjutamise hetkel tasuta ligipääsu hetkel kehtivale standardile, siis on järgnevalt välja toodud kaks tabelit sisekliimale esitatavatest normidest pärit sellele eelnevalt kehtinud EVS-EN 15251 standardist.

Tabel 1: Süsihappegaasi (CO<sub>2</sub>) kontsentratsiooni normid [5]

Sisekliima klass	CO <sub>2</sub> kontsentratsioon üle välisõhu <sup>1</sup> kontsentratsiooni (ppm)	CO <sub>2</sub> kontsentratsioon (ppm)	Seletus iseloomustus /
I	550	950	Parim
II	800	1200	Hea
III	1350	1750	Rahuldav
IV	>1350	>1750	Puudulik <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Keskmise CO<sub>2</sub> kontsentratsioonina välisõhus on arvestatud 400 ppm.

<sup>2</sup>Sobimatu pidevalt kasutatavaks töö-, õppe või eluruumiks

Tabel 2: Temperatuuri normid (kontorid, konverentsiruumid, auditooriumid, kohvikud, restoranid, klassiruumid)[5]

Sisekliima klass	Temperatuuri vahemik, kütteperiood, °C	Temperatuuri vahemik, jahutusperiood, °C	Seletus iseloomustus /
I	21,0 – 23,0	23,5 – 25,5	Parim
II	20,0 – 24,0	23,0 – 26,0	Hea
III	19,0 – 25,0	22,0 – 27,0	Rahuldav
IV	<19,0	>27,0	Puudulik

- Õpperuumi ühes liitris siseõhus võib olla keskmiselt kuni 1000 mikrolitrit (ppm) süsinikdioksiidi
- Õpperuumi siseõhu optimaalne suhteline niiskus peab olema vahemikus 40–60%. Talvel võib nädala keskmine suhteline niiskus langeda 25%-ni ja suvel tõusta 70%-ni

- Õhutemperatuur peab õpperuumis olema vähemalt 19 °C, võimlemissaalis vähemalt 18 °C ja duširuumis vähemalt 24 °C. Õhutemperatuuri mõõtmiseks peab õpperuumis olema termomeeter [7]

### **1.1.3 Lahendusi olukorra parandamiseks ja nõuete täitmiseks**

Kergeim lahendus olukorra parandamiseks oleks mitte lubada õpilastel viibida õppetöö ruumides vahetunni ajal ja tuulutada ruumi avades aknad. Nii ei jätkuks süsihappegaasi kogunemist klassis ja vahetuks saastatud õhk värskes õhu vastu.

Tehtud analüüside tulemustest selgub, et ruumide tuulutamisel akende kaudu langes süsihappegaasi sisaldus siseõhus keskmiselt kümne minutiga allapoole lubatud 1000 ppm piiri [7].

Ventilatsioonisüsteemi olemasolul reguleerida ventilatsioon õppetöö ajaks intensiivsemaks. Ruumi ventilatsiooniks loetakse ruumist saastunud õhu eemaldamist ja selle asendamist värskes õhuga.

Seega on ventilatsioonisüsteemi põhiülesandeks ruumiõhu kvaliteedi tagamine. Samuti võib ventilatsiooni abil muuta ruumis olevat temperatuuri, varustades ruumi soojusega, kui sissepuhkeõhk on jahedam või vastupidi. Ventilatsioonisüsteemi abil on võimalik mõjutada ka ruumiõhu niiskust. Üldjuhul seda ei kasutata, kuna see on tehniliselt keerukas ja kallis. Ventilatsioon ei tohi inimesi täis olevas ruumis põhjustada ebameeldivaid kõrvalnähte nagu tuuletõmbus, ebahütlane temperatuur ja segav müra [3].

## 1.2 Prognoosimine

Aegrida on regulaarsete ajaintervallidega mõõdetud vaatluste jada. Vaatluste sagedust võib aegreas mõõta tundides, päevades, nädalates, kuudes, kvartalites ja isegi aastates. Mõnikord võivad aegridade intervallideks olla ka sekundid ja minutid - näiteks klikkide või kasutaja külastuste arvu puhul iga minuti kohta.

Aegridade prognoosimisel on suur kaubanduslik tähtsus, sest ärile olulised tegurid nagu nõudlus ja müük, veebisaidi külastajate arv, aktsia hind jne on sisuliselt aegridade andmed.

Aegridade prognoosile eelnev samm on aegridade analüüs. See on tähtis, kuna hõlmab vaatlustele omaste olemuste erinevate aspektide mõistmist, et teha sisukaid ja täpseid prognoose [12]. Ning täpne prognoosimine on tähtis, et hoida kokku kuludelt ja saavutada edu.

Aegridade prognoosimine jaguneb kaheks [13]:

1. Ühemõõtmeliste aegridade prognoosimine – prognoosimiseks kasutatakse ainult eelnevaid väärtusi
2. Mitmemõõtmeliste aegridade prognoosimine – prognoosimiseks kasutatakse lisaks eelnevatele väärtustele ka eksogeenset muutujat

Käesolevas lõputöös on kasutatud ühemõõtmeliste aegridade prognoosimist – täpsemalt *AutoRegressive Integrated Moving Average* ehk ARIMA algoritmi [14].

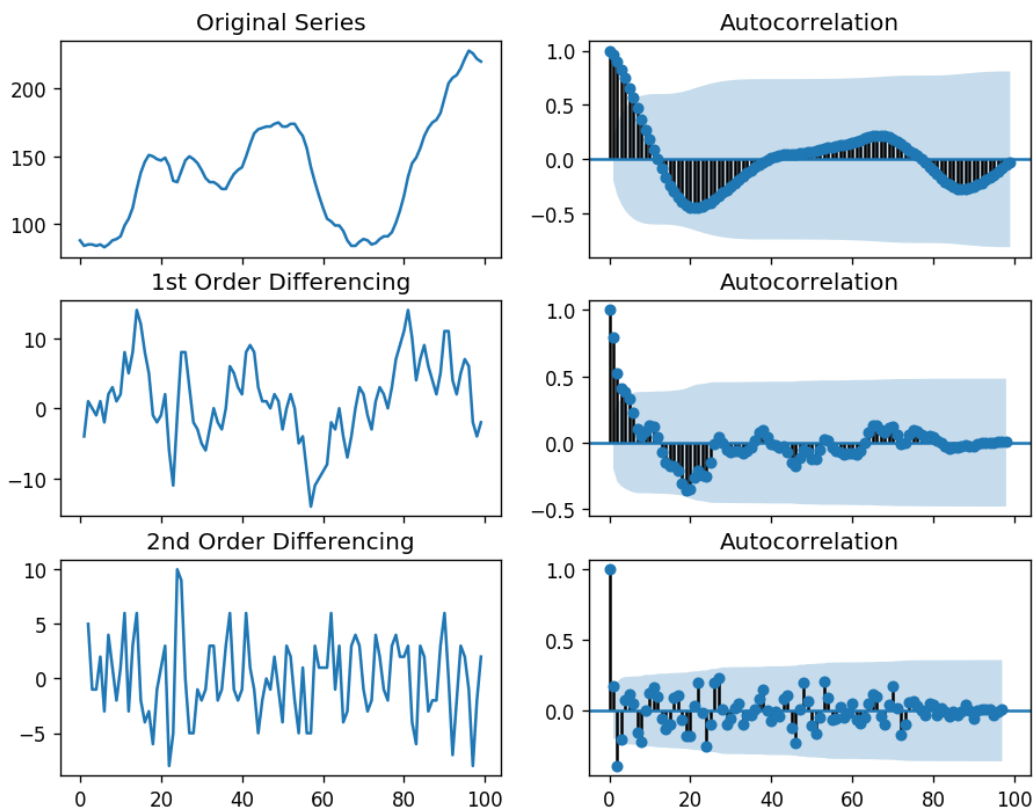
ARIMA on tegelikult mudelite klass, mis „selgitab“ antud aegrida tema enda varasemate väärtuste, st oma viivituste ja mahajäänud prognoosivigade põhjal, et võrrandit saaks kasutada tulevaste väärtuste prognoosimiseks. ARIMA mudelitega saab modelleerida mis tahes mitte hooajalist aegrida, millel on mustrid ja mis pole juhuslik valge müra [13].



ARIMA mudelit iseloomustavad 3 muutujat [13]:

1.  $p$  - AR-termini väärtus, mis viitab  $Y$  mahajäämuste arvule, mida kasutatakse ennustajana
2.  $q$  - MA-termini väärtus, mis viitab viibinud prognoosivigade arvule
3.  $d$  - diferentseerimiste arv, mida on vaja teha, et saada aegrida statsionaarseks

Aegrida on vaja viia statsionaarsele kujule. Statsionaarne aegrida on selline, mille omadused ei sõltu ajast [14]. Kõige tavalisem viis saada aegrida statsionaarseks on seda diferentseerida ehk lahutada praegusest väärtusest eelnev väärtus. Olenevalt aegria keerukusest võib olla vaja rohkem kui ühekordset diferentseerimist, kuid peab kindel olema, et aegrida ei diferentseerita rohkem kui minimaalselt vajalik [13].

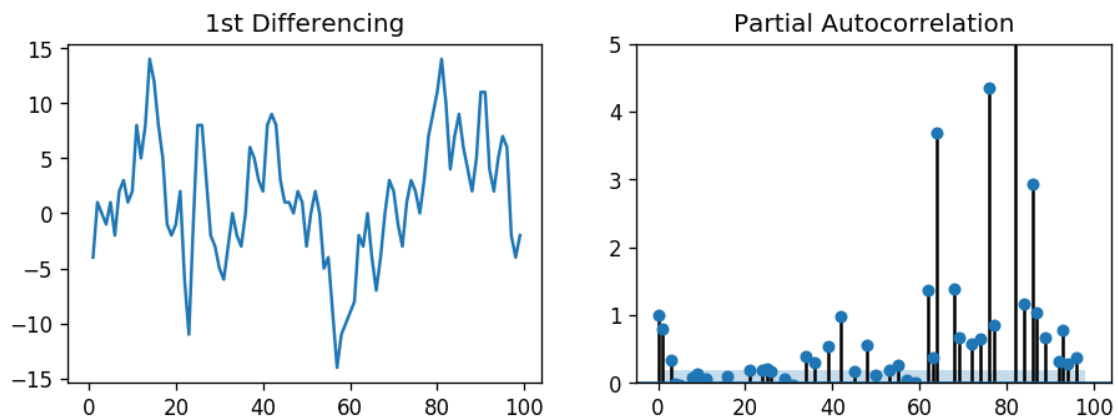


Joonis 3: Aegria diferentseerimised ja nende autokorrelatsiooni graafikud [13]

Eelneval joonisel (Joonis 3) on näha, et statsionaarsus saavutatakse kahe diferentseerimisega, aga vaadates teist korda diferentseeritud autokorrelatsiooni

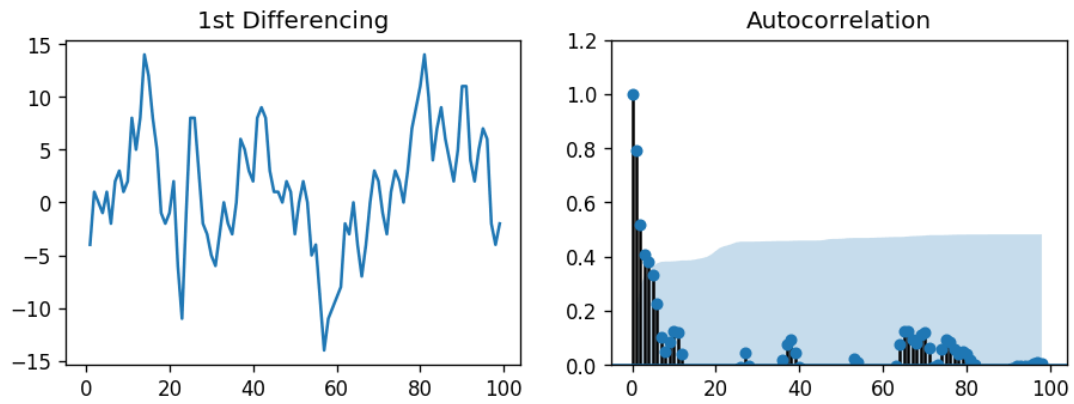
graafikut, on näha, et teine punkt graafikul (esimest punkti ei loeta) läheb liiga kiirelt negatiivsesse suunda, mis võib tähendada seda, et aegrida on üle diferentseeritud. Antud juhul valiti  $d=1$  [13].

Vajaliku väärtuse AR-termini jaoks saab vaadates osalise autokorrelatsiooni (PACF) graafikut. Tavaliselt seatakse esialgu AR-termini väärtuse võrdseks nii paljude järjestikku olevate viivitustega, mis ületavad PACF-graafiku olulisuse piiri (sinine ala graafikul). Järgneva PACF-graafiku (Joonis 4) alguses on näha, et sinist ala ületavad 2 punkti (esimest punkti ei loeta). AR-termini väärtused võib valida nii 1, kui ka 2. Antud juhul valiti  $p=1$  [13].



Joonis 4: PACF graafik AR-termini väärtuse leidmiseks [13]

MA-termini leiab samal viisil (Joonis 5), kuid ACF-graafikult. Kuna graafikul on kaks punkti tunduvalt rohkem üle sinise ala, siis valiti esialgselt  $q=2$  [13].



Joonis 5: ACF graafik MA-termini väärtuse leidmiseks [13]

Nüüd, kui on olemas väärtused  $p$ ,  $d$  ja  $q$ , saab genereerida ARIMA mudeli. Selle genereerimisel tuleb kaasa palju erinevat infot (Joonis 6). Jälgida neist tuleb AIC ja  $P > |z|$ , sest parima mudeli omadus on minimaalne AIC väärtus ning  $P > |z|$  väärtused peaks olema väiksemad kui 0,05 [13].

ARIMA Model Results						
<b>Dep. Variable:</b>	D.value	<b>No. Observations:</b>	99			
<b>Model:</b>	ARIMA(1, 1, 2)	<b>Log Likelihood</b>	-253.790			
<b>Method:</b>	css-mle	<b>S.D. of innovations</b>	3.119			
<b>Date:</b>	Wed, 06 Feb 2019	<b>AIC</b>	517.579			
<b>Time:</b>	23:32:56	<b>BIC</b>	530.555			
<b>Sample:</b>	1	<b>HQIC</b>	522.829			
=====						
	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
-----						
<b>const</b>	1.1202	1.290	0.868	0.387	-1.409	3.649
ar.L1.D.value	0.6351	0.257	2.469	0.015	0.131	1.139
ma.L1.D.value	0.5287	0.355	1.489	0.140	-0.167	1.224
ma.L2.D.value	-0.0010	0.321	-0.003	0.998	-0.631	0.629
Roots						
=====						
	Real	Imaginary	Modulus	Frequency		
-----						
AR.1	1.5746	+0.0000j	1.5746	0.0000		
MA.1	-1.8850	+0.0000j	1.8850	0.5000		
MA.2	545.3515	+0.0000j	545.3515	0.0000		
-----						

Joonis 6: ARIMA mudeli kokkuvõte [13]

Kuna antud juhul  $P>|z|$  väärtused on suuremad kui 0,05, tuleb muuta p või q väärtusi ning uus mudel genereerida.

Kogu eelneva töö parimaks automaatseks ARIMA mudeli genereerimiseks on Pythonis olemas teek nimega pmdarima [13].

## **1.3 Rakendusele esitatavad nõuded**

Töö eesmärgiks on rakenduse edasiarendus, tänu millele on rakenduses rohkem ja paindlikumad võimalused andmeanalüüsiks.

### **1.3.1 Funktsionaalsed nõuded**

Rakenduse abil peab kasutaja saama teha järgnevaid tegevusi:

- menüüst valida, milliseid sensoreid kuvada
- näha valitud sensorite ja ajavahemiku kohta keskmistatud väärtusi
- genereerida graafik, mis annab ülevaate ühelt või mitmelt sama modaalsusega sensorilt saadud andmete kohta valitud ajaperioodi jooksul
- graafikule kuvatakse ka prognoositavad väärtused, et tuvastada mingi konkreetse näidu (nt CO<sub>2</sub>) kasutaja poolt määratud piiri ületamine lähitulevikus

### **1.3.2 Mittefunktsionaalsed nõuded**

- rakenduse lähtekood peab olema dokumenteeritud piisaval tasemel, et seda on võimalik tulevikus muuta ja täiendada
- kasutatud tehnoloogiate dokumentatsioon peab olema heal tasemel
- süsteem peab olema integreeritav Thinnecti teiste rakendustega
- lähtekood peab olema avalik

## 2 Kasutatud tehnoloogiad

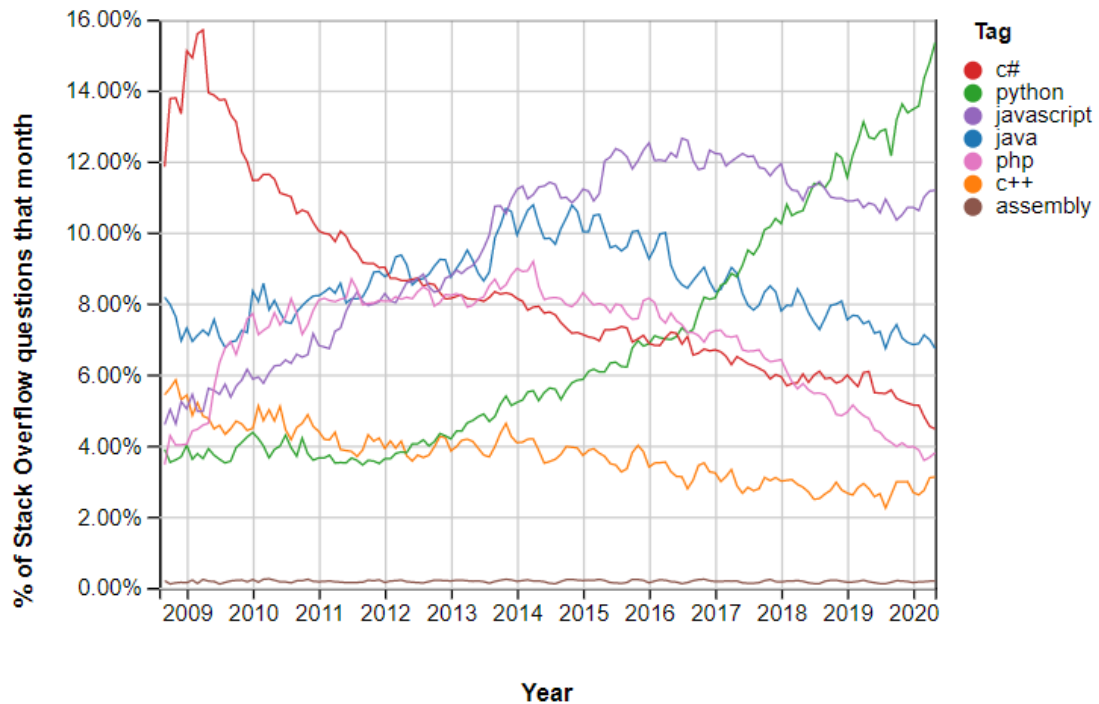
Kuna antud töö on järk varasemale bakalaureuse tööle, siis on rakendus jätkuvalt Vue.js raamistikul. Programmeerimiskeelena on samuti endiselt kasutusel Typescript ja süsteemi visuaalseks disainiks Tailwind CSS raamistik. Eelneva autori poolt järgitud printsiipide järgimist on jätkatud. Lisaks on prognoosimise mooduli jaoks kasutusele võetud Python ja Flask Python.

Lisaks võetud tehnoloogiate valik on tehtud järgnevate kriteeriumite põhjal:

- Pythonis on olemas prognoosimise implementeerimist lihtsustavad teegid
- Thinnecti API on realiseeritud Pythonis, seega on ennustamise implementatsioon keeles Python kergesti lisatav

### 2.1 Python

Python on kiirelt kerkimas kõige populaarsemaks programmeerimise keeleks maailmas. Seda on järgnevalt graafikult näha [9].



Joonis 7: Stack Overflowis esitatud küsimuste hulk %-des [9]

Tänu sellele on suurem võimalik leida juba valminud lahendus vajalikule probleemile.

Pythoni arenduskeskkond on kasutajasõbralik, tänu millele kulub vähem aega arendamise tööriistast arusaamisele ning on rohkem aega reaalseks arendamiseks. Python on disainitud nii, et see oleks kergesti loetav ja lähedane inglise keelele. Selle süntaks on arusaadav ja sisutihe. Pythonis saab sama tulemuse saavutada vähemate arvu ridade koodiga kui C või Java keeles [9].

Python sai valitud ka põhjusel, et antud lõputöös on kasutatud masinõpet ja masinõppe jaoks on Python kõige populaarsem keel ning seda järgmiste eelistega [9]:

- Pythoni süntaks on efektiivne ja täpne
- Pythonil on madal õppimiskõver
- Python on hästi integreeritav teiste programmeerimiskeeltega
- Ulatuslik avatud lähtekoodiga teekide tugi (ik *extensive open-source library support*)

Lisaks sellele pakub Python paljusid erinevaid raamistikke ning teeke, mis säästavad palju aega [9].

Populaarseimad teegid, mis on kasutusel ka antud lõputöös [8]:

- NumPy - kõige tuntum teek, millega saab teha erinevaid keerulisi matemaatilisi operatsioone
- Pandas - kõige populaarsem Pythoni teek, mida kasutatakse andmeanalüüsiks
- Matplotlib - andmete visualiseerimise teek, millega saab kuvada diagramme

## 2.2 Flask

Flask on populaarne Pythoni veebiraamistik, mida kasutatakse veebirakenduste arendamiseks. Flask on kerkinud populaarsemaks kui varem esikohal olnud Django. Selle põhjuseks on tõenäoliselt see, et Flask on rohkem suunatud mikroteenustele. Flask on nagu liim, mis lubab erinevad teegid omavahel kombineerida [9].

Flaski raamistiku kasutamise eelisteks on vähene sõltuvuste uuendamine ja pidev turvavigade otsimine. See raamistik kompileerib moodulid ja teegid, mis säästab arendajat kirjutamast madalatasemelist koodi nagu lõimede haldamine (ik *thread management*) ja protokollid [10].

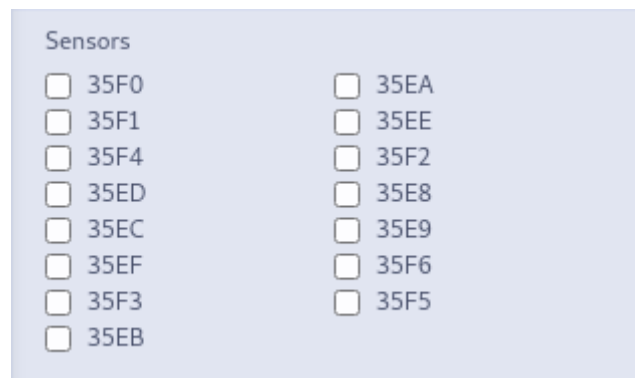


### 3 Rakenduse edasiarenduse kirjeldus

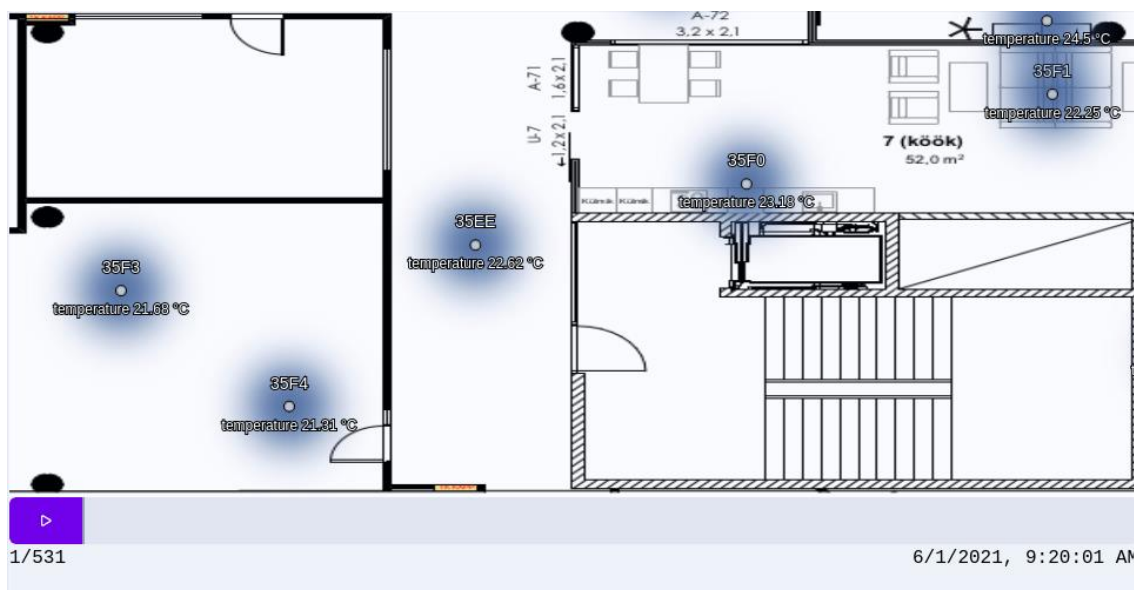
Käesolev peatükk annab ülevaate rakenduse edasiarendustest ning selgitab kuidas need rakenduse osad töötavad. Rakenduse lähtekood koos edasiarendustega on leitav autori repositooriumist [11].

#### 3.1 Sensorite valik

Menüüsse sai lisatud valik sensoritest, mis ilmub menüüsse pärast esmast filtreerimist (Joonis 8). Menüüs kuvatakse kõik sensorid, mis on salvestanud näite valitud ajavahemikus. Sellest olenevalt võib ajavahemikku jooksvalt muutes menüüsse sensoreid lisanduda või sealt kaduda. Samamoodi nagu sündmuste tüüpide puhul, on tehtud ka sensorite puhul - kui jätta valimata kõik sensorid, siis valitakse neist kõik.

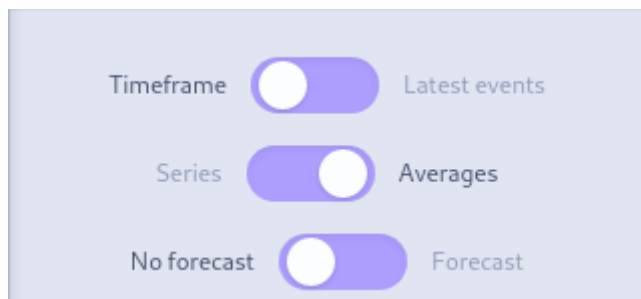


Joonis 8: Ekraanipilt sensorite valikust



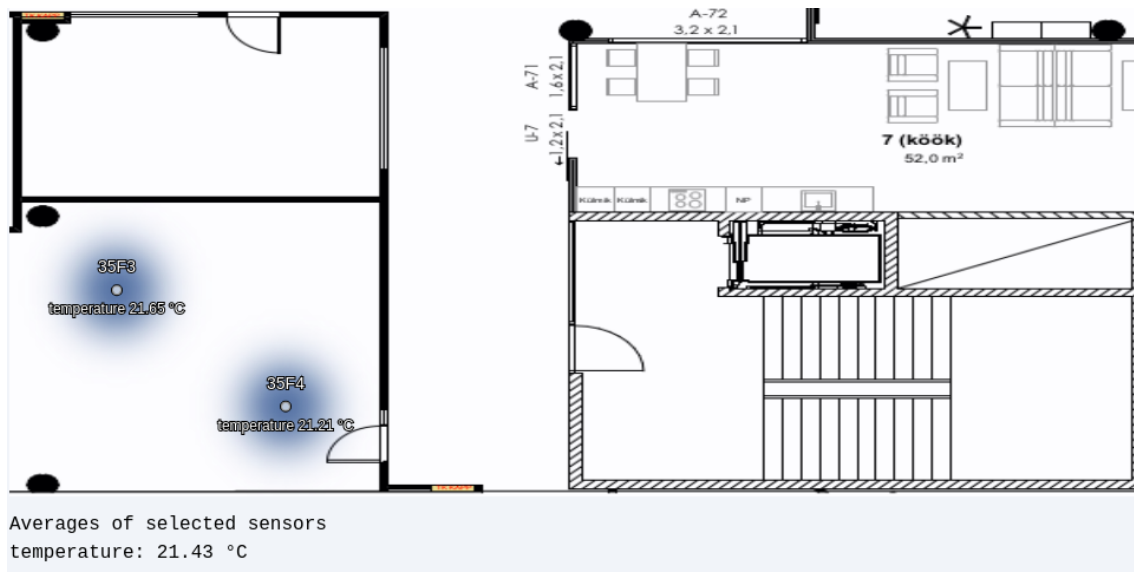
Joonis 9: Ekraanipilt korruse plaanist kõigi sensoritega

Lisaks sensoritele on menüüsse ilmunud ka võimalus kuvada keskmistatud näite ning prognoosida (Joonis 10).



Joonis 10: Ekraanipilt keskmiste näitude ja prognoosimise valikutest

Valides nüüd nt sensorid 35F3 ja 35F4, mis asuvad samas ruumis, asendub korruse plaani all olev sündmuste järjestuse riba infoaga keskmistatud sensori näitude kohta. Samuti kuvatakse korruse plaanil ainult valitud sensoreid (võrdle Jooniseid 9 ja 11). Niimoodi on võimalik saada info mõne kindla ruumi kohta.



Joonis 11: Ekraanipilt korruse plaanist kahe valitud sensoriga

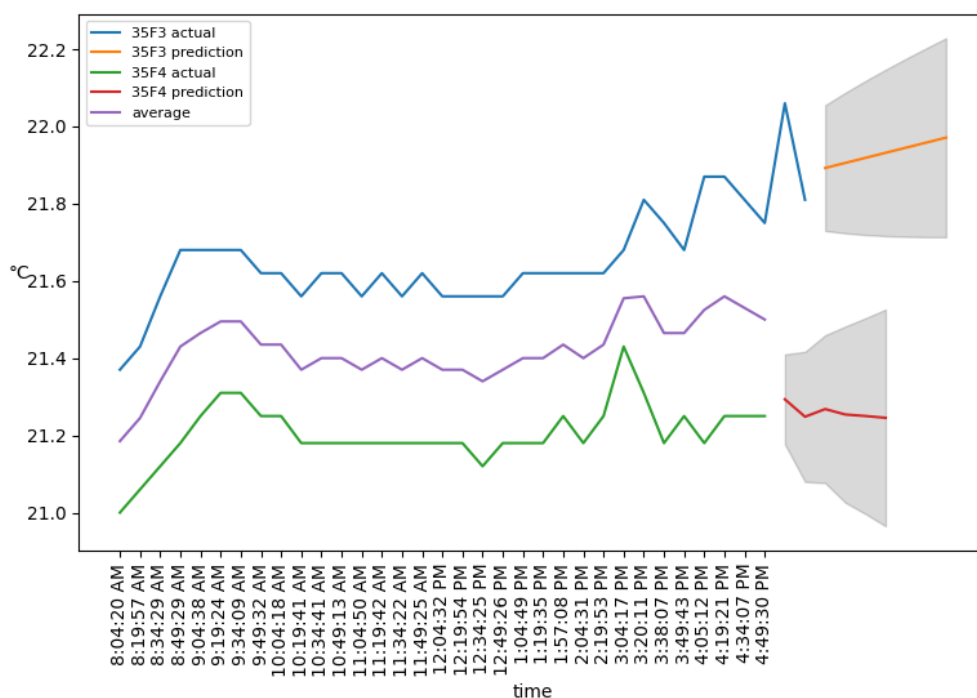
Samuti on võimalik kuvada keskmised kõigi sündmuste tüüpide kohta, mille kohta on rakenduses salvestatud sensori näidud (Joonis 12).

```
Averages of selected sensors
temperature: 21.43 °C
battery voltage: 3.6 V
flash_sleep_time: 3606940.31 s
uptime: 3610191.65 s
radio_sleep_time: 3528392.55 s
cpu_sleep_time: 3515888.16 s
tx: 690476 packets
tx: 34605699.53 bytes
```

Joonis 12: Ekraanipilt keskmistest väärtustest

### 3.2 Prognoosimise graafiku genereerimine

Kuna sündmustel on enamasti erinevad mõõtühikud, siis neid samal graafikul kuvada ei saa. Seetõttu on prognoosimise puhul tähtis, et oleks valitud üks sündmuse tüüp, vastasel juhul graafikut genereerima ei hakata. Juhul, kui valitud sensorite arv on suurem kui 1, genereeritakse graafikule ka nende keskmine. Keskmise puhul tulevikku ei prognoosita. Graafik genereeritakse eraldi avanevas veebilehitseja aknas.



Joonis 13: Graafik kella 8st-5ni

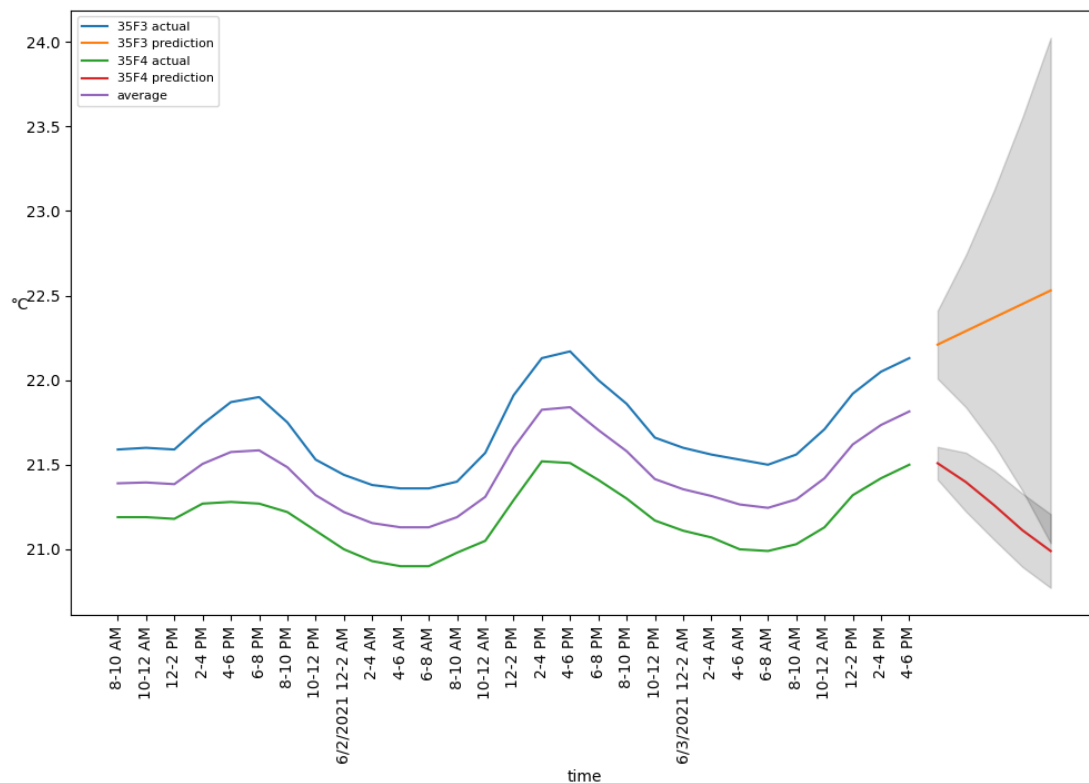
Ajatemplite genereerimine graafikule võib toimuda mitmel erineval viisil ning see sõltub valitud ajavahemikust ning sel ajavahemikul esinenud sensori näitude arvust.

- Kui näitude arv on väiksemvõrdne kui 96 (kuna keskmiselt mõõdab sensor näidu iga 15 min tagant, siis päeva jooksul saadakse 96 näitu), siis kuvatakse näidud nende saamise ajatempliga (Joonis 13)
- Kui ajavahemik on 2 päeva ja näitude arv on väiksemvõrdne kui 120, siis kuvatakse näidud keskmistatult 1h kaupa.

Muudel juhtudel, kui ajavahemik on

- 2-3 päeva, siis kuvatakse näidud keskmistatult 2h kaupa (Joonis 14)
- 4-7 päeva, siis kuvatakse näidud keskmistatult 4h kaupa
- 8-14 päeva, siis kuvatakse näidud keskmistatult 12h kaupa
- 15-31 päeva, siis kuvatakse näidud keskmistatult päeva kaupa

Kõigi viiside puhul ühine omadus on see, et päeva vahetudes kuvatakse lisaks kellajale ka kuupäev. Pikema ajavahemiku või vähem kui 8 näidu puhul graafikut ei genereerita.



Joonis 14: Graafik 3 päeva vältel

### **3.3 Kõige uuemate sensori näitude kuvamisega seotud bugi**

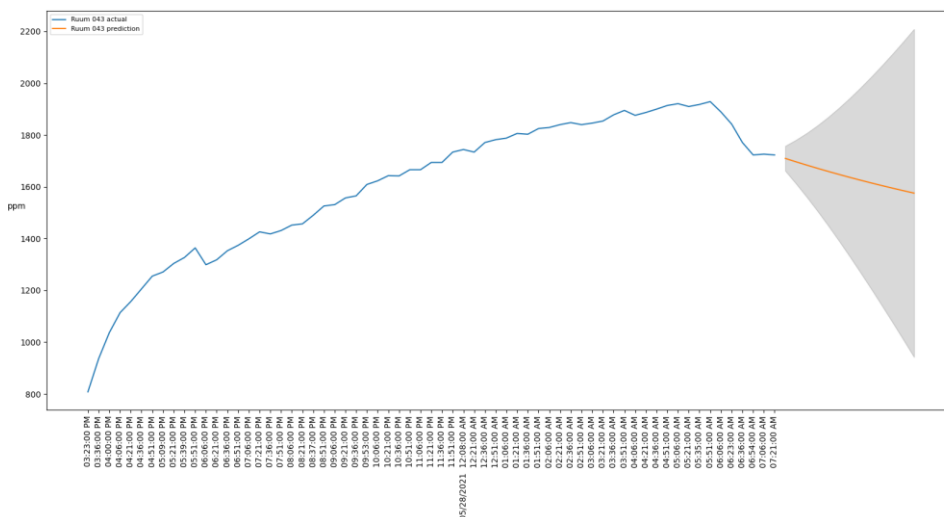
Lisaks avastas autor rakendusest eelmise autori poolt sissejäänud bugi. See seisnes selles, et kui hakati pärima kõige uuemaid andmeid, mida tehakse automaatselt iga 30 sekundi tagant, siis see jäigi neid pärima, olenemata sellest, et valikuid oli muudetud ning tahetud jälle mingit kindlat ajaperioodi vaadelda. See tekitas korruseplaani sensori näitude kuvamisel järske andmete muutusi, mis olid kasutaja jaoks arusaamatud. See viga sai parandatud.

## 4 Mõõtmistulemused teistes Tallinna koolides

Siseruumi kliima mõõtmine pole ainult Tallinna Tehnikaülikoolis kasutusel, vaid ka teistes Tallinna koolides nagu nt Tallinna 32. keskkool, Kalamaja kool, Pelgulinna Gümnaasium, Tallinna Kuristiku Gümnaasium (TKG) ja Tallinna Laagna Gümnaasium (TLG).

Autor analüüsis kokku 40 klassiruumi (8 iga kooli kohta) kohta saadud CO<sub>2</sub> tasemeid. Neist 37 jäid EVS-EN 15251 standardi järgi sisekliima klassi I ja II, mis tähendavad siis vastavalt parimat ja head. Ülejäänud 3 klassiruumi andmed olen järgnevalt ka välja toonud.

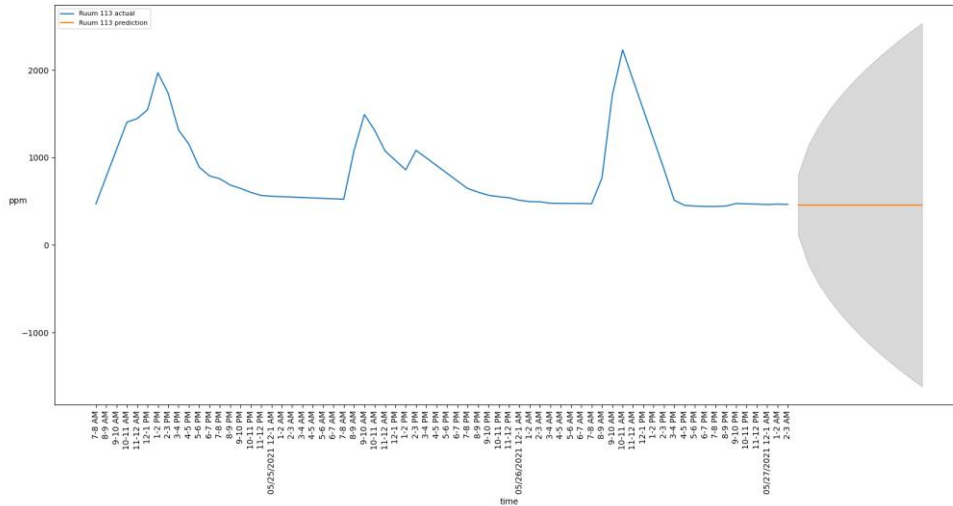
TLG klassiruumi 043 puhul on graafikult (Joonis 15) näha, et CO<sub>2</sub> tase on põhimõtteliselt terve mõõtmiste perioodi vältel kasvanud. Huvitav on ka asjaolu, et mõõtmised on tehtud öösel, seega on seal ilmselt toimunud mingisugune üritus, mis kestis terve öö.



Joonis 15: TLG klassiruumis 043 mõõdetud CO<sub>2</sub> väärtused

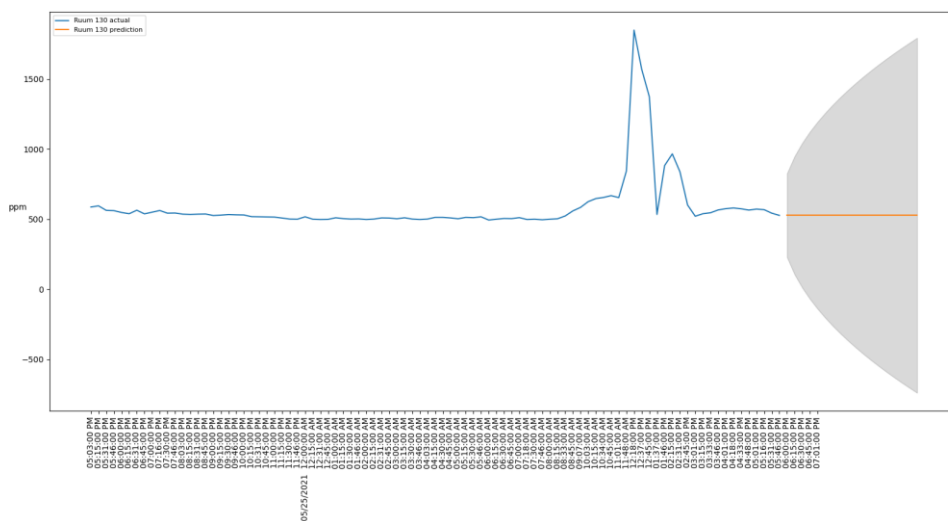
Järgmiselt graafikult (Joonis 16) on näha, et Kalamaja koolis olevas klassiruumis 113 on 3 päeva vältel CO<sub>2</sub> tase praktiliselt terve koolipäeva üle normi. See tähendab, et

klassiruumi ei tuulutata ja sel puudub ventilatsioon ning seetõttu pärsib see selles ruumis toimuvat õppetööd.



Joonis 16: Kalamaja kooli klassiruumis 113 mõõdetud CO<sub>2</sub> väärtused

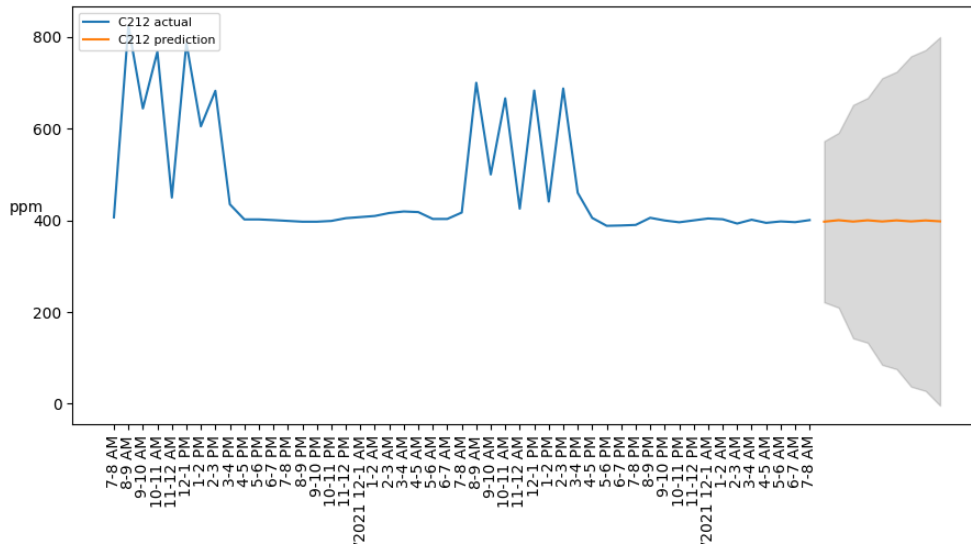
Pelgulinna gümnaasiumi klassiruumis 130 mõõdetud tulemuste (Joonis 17) puhul on näha, et valdavalt on CO<sub>2</sub> tase normis, kuid keskpäeval tõuseb järsult kõrgeks, seejärel langeb ja tõuseb jälle, kuid poole vähem. Ilmselt toimub selles klassiruumis 2 koolitundi, millest esimeses on poole rohkem õpilasi.



Joonis 17: Pelgulinna gümnaasiumi klassiruumis 130 mõõdetud CO<sub>2</sub> väärtused

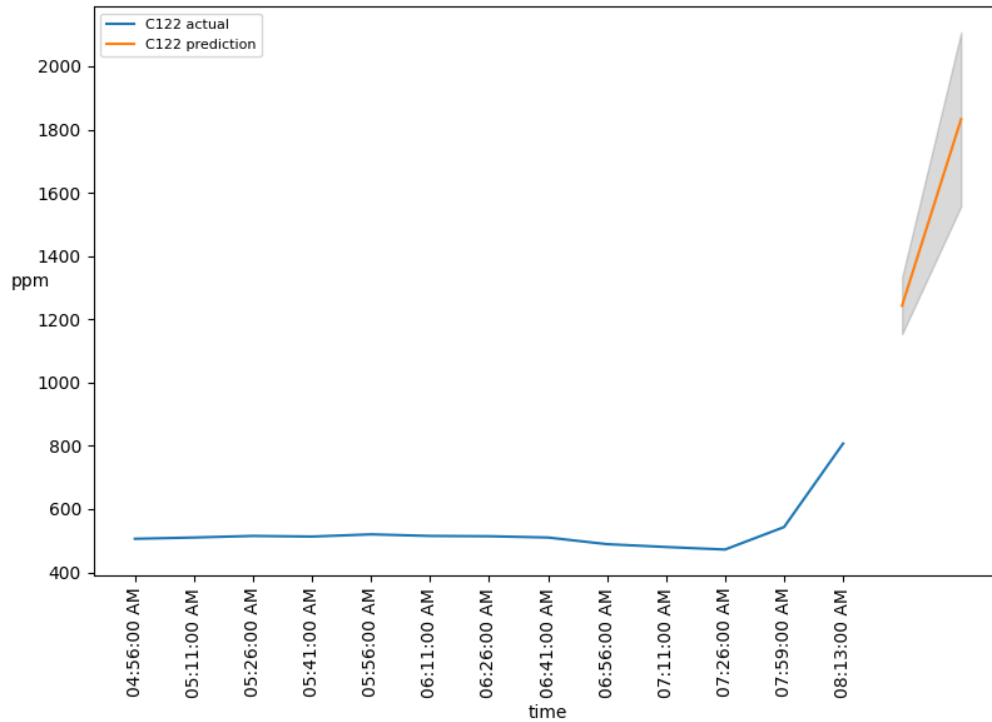


Järgnevalt on välja toodud ka graafik (Joonis 18) ühe hästi õhutatud klassiruumi kohta Tallinna 32. Keskkoolis.



Joonis 18: Tallinna 32. Keskkooli klassiruumis C212 mõõdetud CO<sub>2</sub> väärtused

Sellelt on näha, et CO<sub>2</sub> tase jääb kahe koolipäeva vältel sisekliima klassi I, mis on väga hea. CO<sub>2</sub> tase liigub graafikul üles-alla. See tähendab ilmselt seda, et kui ruumis toimub tund, siis CO<sub>2</sub> tase liigub üles ning kui alla, siis oli vahetund ning tuulutati klassiruumi. Ajavahemikus, kus graafiku joon pikalt 400 ppm piiril on, ilmselt tunde ei toimunud ning klass oli tühi.



Joonis 19: Lühiajalise tuleviku ennustamine

Viimaseks on välja toodud graafik demonstreerimaks, kuidas võiks asi välja näha, kui kell oleks hetkel 8:13. Kuna ajateljelt on näha, et iga näidu vahe on umbes 15 min, siis graafikult on näha, et prognoosimise osa on samuti võrdne kahe näidu vahelise kaugusega ehk siis ajaliselt 15 min pikkusega. Graafilt ennustust vaadates on näha, et lähiajal on CO<sub>2</sub> tase kõrgeks tõusmas, seega oleks vaja mõelda ruumi tuulutamisele.

## 5 Võimalikud tulevased arendused

Algselt plaanitud rakenduse edasiarendustest jäi osa täitmata. Sellest tulenevalt on autor järgnevalt välja toonud, mida võiks juurde arendada ja mida muuta.

Esiteks võiks autori nägemuse järgi osa loogikat *front end* koodist viia *back end* koodi. Hetkel käib nt ajatemplite ja nende väärtuste paaride genereerimine *event*-ite pealt *front end* koodis. Selle võiks ära teha *back end*-i poolel ning saata front endi valmis kujul andmed. Kindlasti muudaks see ka rakenduse kiiremaks.

Hetkel on rakenduses üks kasutaja ning sellega on võimalik muuta sensorite asukohta ning sellekohane info salvestub andmebaasi. Siinkohal oleks mõistlik tekitada erinevate rollidega kasutajad ja jätta sensorite asukoha muutmise võimalus ainult admin kasutajale.

Tuleviku prognoosimise põhjal saab lisada funktsionaalsuse hoiatuste saatmiseks meilile/mobiilile, kui mingi näidu tase hakkab kasutaja poolt määratud piiridest väljuma. Nt CO<sub>2</sub> tase ruumis läheb lähiajal liiga kõrgeks või kui sensor lakkab mingil põhjusel töötamast ja ei saada enam näite. Samuti teistsuguste võimalike anomaaliate korral.

Lisaks võib graafiku uues aknas avamise asemel genereerida graafiku rakenduse veebilehel.

## 6 Kokkuvõte

Antud töö eesmärgiks oli juhtida töötajate tähelepanu hoone sisekliimale, kuna sellel on otsene mõju inimese tervisele, heaolule ja tööviljakusele. Hoonete sisekliimat kirjeldati põhjalikult, tuues välja erinevad nõuded hoone sisekliimade kohta ning nende mõjudest inimesele täpsemalt. Lisaks sellele oli eesmärgiks ka varem arendatud rakenduse edasiarendamine ja täiendamine, mis võimaldaks rohkemate võimalustega muuta analüüsi paindlikumaks ja informatiivsemaks.

Rakenduse menüüsse sai juurde arendatud sensorite valik ning prognoosimise graafiku genereerimise funktsionaalsus. Tänu prognoosimise funktsionaalsusele saab lähitulevikku ennustades võtta kasutusele vastavad abinõud – nt 15 min pärast CO<sub>2</sub> taseme tõusmisel normipiiridest välja tuleks ruumi tuulutada. Lisaks sai parandatud ka varem rakendusse jäänud bugi.

Autor analüüsis ka erinevates Tallinna koolides mõõdetud CO<sub>2</sub> näitusid. Analüüsid 5 kooli ja iga kooli kohta 8 klassi, selgus, et enamus klassiruumides on CO<sub>2</sub> tase üsna hea. Kolmes koolis oli 1 klass, milles kippus CO<sub>2</sub> tase normipiiridest välja minema.

Töö eesmärgid said suures osas täidetud, kuid edasiarenduste jaoks on veel ruumi küllaga.

## Kasutatud kirjandus

- 1 Wargocki, P; Seppänen, O; Andersson, J; Boerstra, A (2006) Indoor climate and productivity in offices, REHVA Guidebook No 6
- 2 Laht, J (2010) Hoonete sisekliima ja energiatõhusus Tartu koolide ja Valga lasteaia „Kaseke“ näitel, Magistritöö, TÜ Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
- 3 Kärbo, N (2016) Hoone kasutamise mõju nende energiatõhususele ning hea sisekliima saavutamisele Eesti energiatõhusates büroohoonetes, Magistritöö,
- 4 Tuulik, K; Harzia, H; Karajeva, G; Saare, K jt (2015) Soojustatud ja soojustamata koolimajade sisõhu kvaliteedi uuring Tallinnas, Keskkonnatervise uuringute keskus, Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ
- 5 Kurnitski, J; Murdvee, M; Kõiv T-A.; Teichmann, M (2015) Sisekliima, õpitulemus, tööväljakus
- 6 Hrenov, G (2007) Kontoritöötajate terviseriskid seoses töökeskkonna ja töötingimustega, Magistritöö, TÜ Tervishoiu instituut
- 7 Jälgige oma kooli sisekliimat! [Võrgumaterjal]. Available: <https://opleht.ee/2017/12/jalgige-oma-kooli-sisekliimat/> [Kasutatud 6.06.2021].
- 8 Top 9 Python Libraries for Machine Learning in 2021 [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.upgrad.com/blog/top-python-libraries-for-machine-learning/> [Kasutatud 7.06.2021].
- 9 What is python used for? [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.stxnext.com/what-is-python-used-for/> [Kasutatud 7.06.2021].
- 10 What is Flask used for? [Võrgumaterjal]. Available: <https://dev.to/amigosmaker/what-is-flask-used-for-2do5> [Kasutatud 8.06.2021].
- 11 Indoor-sensor-visualizer/forecasting [Võrgumaterjal]. Available: <https://bitbucket.org/skenmark/workspace/projects/IN> [Kasutatud 14.06.2021].
- 12 Time Series Analysis in Python – A Comprehensive Guide with Examples [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.machinelearningplus.com/time-series/time-series-analysis-python/> [Kasutatud 14.06.2021].
- 13 ARIMA Model – Complete Guide to Time Series Forecasting in Python [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.machinelearningplus.com/time-series/arima-model-time-series-forecasting-python/> [Kasutatud 14.06.2021].
- 14 Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2018) *Forecasting: principles and practice*, 2nd edition, OTexts: Melbourne, Australia. OTexts.com/fpp2. [Kasutatud 14.06.2021].

## **Lisa 1– Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Sken Mark Savipõld

- 1 Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose "Targa ehitise siseruumide sensorandmete rakendus: andmete visualiseerimine, analüüs, rakenduse edasiarendused", mille juhendaja on Jaanus Kaugerand
  - 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
- 2 Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
- 3 Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

14.06.2021

---

1 Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.