

Tallinna Ülikool
Erialasid Lõimiv Uuendus

Janeli Arukask, Otto Grünberg, Kaspar Kiltmaa, Ege Klemmer, Kaia Laas, Evelyn Marder

ÕHU KVALITEEDI KONTROLL HAAPSALU KOLLEDŽI

RUUMIDES

ELU projekti aruanne

Juhendaja: Martti Raavel

Haapsalu 2025

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	3
1. PROBLEEMI OLULISUS, KIRJELDUS JA MEETODITE VALIK.....	5
1.1 Probleemi olulisus ja kirjeldus	5
1.2 Meetodite ja tegevuste valik ning sobivus projekti eesmärkidega	7
2. NÕUDED ÕHUKVALITEEDI SEIRESÜSTEEMILE.....	9
3.1 Seadmete valik	10
3.2 Seadmete seadistus ja lähtekoodi kirjutamine	11
3.3. Korpuse disain	14
3. SIDUSRÜHMAD JA TEGEVUSED SIDUSRÜHMADENI JÕUDMISEKS.....	16
4. TULEMUSTE KOKKUVÕTE	18
KASUTATUD ALLIKAD.....	20
LISAD.....	22
LISA 1. Projekti lähtekood.....	22
LISA 2. Seiresüsteemi seadmete prototüüp märgutuled maketeerimislaua	28
LISA 3. LED märgutulede jootmine makettplaadile.....	29
LISA 4. Õhukvaliteedi seireseadmed Haapsalu Kolledžis nädisandmeid kogumas	30
LISA 5. Süsihappegaasi, temperatuuri ja õhuniiskuse 08.05.2025 ööpäeva graafikud ...	31

SISSEJUHATUS

Haapsalu kolledži õhukvaliteedi monitoorimise projekt keskendub siseõhu parameetrite – CO₂ taseme, õhuniiskuse ja temperatuuri – reaajas jälgimisele eesmärgiga hinnata õppe- ja tööruumide õhu kvaliteeti ning vajadusel leida lahendusi selle parandamiseks.

Meie projekti eesmärk on luua Haapsalu kolledži ruumidesse usaldusväärne ja kasutajasõbralik süsteem, mis mõõdab reaajas õhu kvaliteeti – sealhulgas CO₂ taset, temperatuuri ja õhuniiskust. Süsteem koosneb nii riistvarast (andurid) kui ka tarkvarast (andmete kogumise ja esitamise lahendus). Lisaks tehnilise lahenduse loomisele on oluline tõsta tudengite ja töötajate teadlikkust, kuidas siseõhk mõjutab tervist, enesetunnet ja õppimisvõimet.

Paljudes õppe- ja tööruumides jääb siseõhu kvaliteet sageli tähelepanuta, kuigi see mõjutab otseselt inimeste keskendumisvõimet, produktiivsust ja üldist heaolu. Haapsalu kolledžis pole seni olnud süsteemset viisi õhukvaliteedi jälgimiseks. Puuduliku ventilatsiooni ja kõrge CO₂ taseme tõttu võivad tekkida väsimus, peavalu ja õppe edukuse langus (Juurak, 2021). Seetõttu on vaja lahendust, mis aitaks tuvastada probleemseid kohad ja annaks soovitusi olukorra parandamiseks.

Loodav süsteem aitab ennetada terviseriske ja parandada õpikeskkonda, toetades tudengite ja töötajate heaolu ning tõstes õppetöö efektiivsust. Reaajas andmed võimaldavad kiiret reageerimist (nt ruumide õhutamist õigel ajal), aidates luua tervislikuma ja produktiivsema õpikeskkonna. Teadlikkuse tõstmise kaudu saavad kasutajad paremini mõista õhukvaliteedi tähtsust ja selle seoseid igapäevase enesetunde ja õppimisvõimega.

Projekti käigus töötatakse välja integreeritud seiresüsteem, mis koosneb klassi- ja tööruumidesse paigaldatavatest anduritest ning andmete kogumise ja analüüsi infosüsteemist. Lisaks tehnilise lahenduse loomisele keskendutakse teadlikkuse tõstmisele õhukvaliteedi mõjust tervisele, koostades informatiivseid materjale.

Projekti uudsus seisneb interdistsiplinaarses lähenemises, kus rakendusinformaatika, tervisejuhtimise, andragoogika, pedagoogika ja disaini erialade tudengid teevad koostööd, et pakkuda terviklikku ja kasutajasõbralikku lahendust. Lõpptulemuseks on praktiline tööriist, mis aitab Haapsalu kolledžil parandada õppekeskkonna kvaliteeti ja suurendada nii tudengite kui ka töötajate heaolu.

Meie rühma roll on luua toimiv ja kasutajasõbralik lahendus, mis aitab mõõta ja jälgida Haapsalu kolledži ruumide õhukvaliteeti. Meie ülesanded hõlmavad kogu protsessi – alates vajaduste välja selgitamisest ja lahenduse kavandamisest kuni seadmete paigaldamise, andmete kogumise ning tulemuste esitlemiseni. Samuti hoolitseme selle eest, et lõplik süsteem oleks lihtne kasutada ja aitaks inimestel paremini mõista siseõhu mõju nende enesetundele ja töövõimele.

Lisaks tehnilise lahenduse loomisele on meie eesmärk teha õhukvaliteedi teema tudengitele ja töötajatele arusaadavaks, pakkudes selgitusi, kuidas saadud andmeid kasutada ning miks on hea õhukvaliteet oluline. Meie töö tulemusena tekib süsteem, mis aitab praktiliselt parandada õpikeskkonda ja heaolu kolledžis.

1. PROBLEEMI OLULISUS, KIRJELDUS JA MEETODITE VALIK

1.1 Probleemi olulisus ja kirjeldus

Hea siseõhu kvaliteet on oluline nii tudengite kui ka töötajate tervise, heaolu ja õpitulemuste seisukohalt. Uuringud on näidanud, et kõrge CO₂ tase ning ebasobiv temperatuur ja õhuniiskus võivad põhjustada väsimust, keskendumisraskusi ja üldise mugavuse vähenemist, mis mõjutavad otseselt õppimise ja töötamise efektiivsust.

Uuringud on näidanud, et klassiruumide ventilatsiooni ja temperatuuri kvaliteet mõjutab õpilaste õpitulemusi märkimisväärselt, sest ebapiisav hapnik, õhuniiskus ja ebasobiv temperatuur võivad mõjutada hingamisteede tervist ning üldist mugavustunnet, mis on eriti oluline õpikeskkondades. Wargocki ja Wyon (2013) leidsid, et CO₂ kontsentratsiooni tõusmine üle 1000 ppm (*parts per million*, miljondikosa. Suhtelise suuruse mitesüsteemne dimensioonita mõõtühik, mis väljendab arvulist suhet üks miljondik tervikust) ning ebapiisav ventilatsioon võivad vähendada õpitulemusi kuni 30%. Ventilatsiooni õhuvoolu hulga tõstmine 3 L/s inimese kohta 10 L/s inimese kohta parandas ülesannete täitmise kiirust 8–14%, samas kui klassiruumi temperatuuri vähendamine 25°C-lt 20°C-le tõi kaasa 2–4% ülesande täitmise paranemise iga kraadi kohta. Kuigi lühiajalised katsed ei näidanud selget seost osakeste kontsentratsiooni ja õpitulemuste vahel, viitavad varasemad uuringud pikaajaliste tervisemõjude võimalikkusele. Õhutemperatuuri mõõtmiseks peab olema õpperuumis termomeeter ning temperatuur peab olema vähemalt 19 °C, võimlemissaalis vähemalt 18 °C ja duširuumis vähemalt 24 °C. Tuuletõmmet ruumides ei tohi olla ning õhu liikumine peab olema väiksem kui 0,21 meetrit sekundis (m/s). (Tervisekaitsenõuded koolidele, 2013, § 12)

Satish et al. (2012) leidsid samuti, et CO₂ kontsentratsiooni tõus võib otseselt mõjutada kognitiivset võimekust ja juba 1000 ppm juures vähenes otsustusvõime mõõdetavatel skaaladel 11–23% võrreldes 600 ppm tasemega ning 2500 ppm juures halvenes otsustusvõime 44–94%. Erinevalt varasematest eeldustest, mille kohaselt CO₂ mõju tuleneb selle korrelatsioonist teiste saasteainetega, kinnitas antud uuring, et CO₂-l on iseseisev negatiivne mõju kognitiivsele funktsioonile ka siis, kui ventilatsiooni ja temperatuuri hoitakse konstantsena. Kuna koolides ja väikestes ruumides võib CO₂ tase sageli ületada 1000 ppm, võib see põhjustada pidevat kognitiivset langust, vähendades töö-

ja õppimisvõimet. Seega on CO₂ taseme pidev jälgimine ja automaatne ventilatsiooni juhtimine oluline sisekeskkonna kvaliteedi tagamiseks ja õpikeskkonna optimeerimiseks. (Terviseamet, 2025).

Samuti võivad ebapiisav õhuniiskus ja ebasobiv temperatuur mõjutada hingamisteede tervist ning üldist mugavustunnet, mis on eriti oluline õpikeskkondades (Wargocki & Wyon, 2013). Vabariigi Valitsuse 30.05.2013. a määrus nr 84 sätestab muuhulgas ka nõuded sisekliimale Eestis. Õpperuumi üks liiter siseõhku võib sisaldada keskmiselt kuni 1000 ppm CO₂. Optimaalne suhteline niiskus peab jääma vahemikku 40% kuni 60%. Talvel võib langeda 25%-ni ja suvel tõusta 70%-ni. Liigne niiskus soodustab hallituste ja tolmulestadete levikut, mis süvendavad astmat ja allergiaid (Itse, 2025; REHVA, 2020).

Reaalajas õhukvaliteedi monitoorimine võimaldab tuvastada probleemsed piirkonnad ja ajad, mil õhu kvaliteet halveneb, ning rakendada koheselt meetmeid selle parandamiseks. See proaktiivne lähenemine aitab ennetada terviseprobleeme ja parandada õppeprotsessi efektiivsust (Mendell & Heath, 2005).

Euroopa riikides kehtivad siseõhu kvaliteedi piirnormid on väga erinevad, kuna ühtset õigusakti kõigi siseõhus levivate saasteainete kohta ei ole. WHO soovitab piirnorme mitmetele ohtlikele saasteainetele, nagu süsinikmonooksiid (CO), formaldehüüd ja radoon, kuid liikmesriigid kohandavad neid oma regulatsioonides vastavalt vajadusele. Soome on üks väheseid riike, mis on kehtestanud konkreetsemad siseõhu kvaliteedi piirnormid, mis vastavad WHO soovitustele. Samas Saksamaa ja Prantsusmaa reguleerivad siseõhus levivaid saasteaineid peamiselt ehitusmaterjalidest eralduvate emissioonide kaudu. Eesti regulatsioon keskendub peamiselt töökeskkonna ja lasteasutuste õhukvaliteedi nõuetele, kuid laiemad piirnormid siseõhus levivatele saasteainetele puuduvad. (Pindus, 2015)

Lisaks hapnikule, süsihappegaasile ja lämmastikule sisaldab siseõhk ka muid aineid, millest mõned võivad teatud kogustes olla tervisele ohtlikud. Siseruumides levivad saasteained võivad põhjustada nii lühiajalist (ägedat) kui ka pikaajalist (kroonilist) tervisemõju. Lühiajaliste terviseprobleemide puhul on võimalik seostada mõju konkreetsete saasteainetega, kuid krooniliste haiguste, nagu astma, puhul võib inkubatsiooniperioodi pikkus raskendada otsese tekkepõhjuse määramist. Siseõhu mõju hindamiseks inimese tervisele tuleb arvestada nii siseruumis viibitud aja pikkust, saasteainete kontsentratsiooni

siseõhus kui ka väliskeskkonnast siseruumidesse kanduvate ning ventilatsiooni kaudu väljuvate saasteainete peenosakeste (PM2.5) sisaldust. Euroopa Komisjoni rahastatud projektide käigus on loodud erinevaid siseõhu saasteainete mõõtmistulemusi sisaldavaid andmebaase, kuid nende kasutamine on piiratud puuduliku info jagamise, intellektuaalomandi küsimuste ning poliitiliste ja majanduslike takistuste tõttu. Selle tulemusena ei jõua olulised teadustulemused alati poliitikakujundajateni, kes saaksid neid kasutada regulatsioonide ja seaduste loomisel. (Euroopa Komisjon, 2006)

Käesolev projekt seisneb integreeritud süsteemi loomises, mis ühendab rakendusinformaatika, tervisejuhtimise, pedagoogika, andragoogika ja disaini erialad. Selline interdistsiplinaarne lähenemine võimaldab luua tervikliku lahenduse, mis mitte ainult ei kogu andmeid, vaid ka analüüsib neid ning pakub praktilisi soovitusi õhukvaliteedi parandamiseks. Lisaks aitab projekt tõsta teadlikkust siseõhu kvaliteedi olulisusest õppeasutustes ja kogukonnas laiemalt.

1.2 Meetodite ja tegevuste valik ning sobivus projekti eesmärkidega

Projekti „Õhu kvaliteedi kontroll Haapsalu kolledži ruumides“ eesmärk on luua reaalajas toimiv õhukvaliteedi seiresüsteem, mis aitab parandada õppe- ja töökeskkonna tervislikkust ning tõsta teadlikkust siseõhu mõjust heaolule ja töövõimele. Valitud meetodid – integreeritud andurite kasutamine koos andmete kogumise ja visualiseerimise tarkvaralahendusega – toetavad otseselt projekti eesmärke, võimaldades pidevat siseõhu parameetrite jälgimist ning kiiret reageerimist probleemidele.

Reaalajas monitooring on tõendus põhisel viis siseõhu kvaliteedi hindamiseks ja selle parandamiseks vajalike otsuste tegemiseks. Uuringud näitavad, et CO₂ taseme, temperatuuri ja õhuniiskuse jälgimine aitab ennetada terviseriske ja parandada kognitiivset võimekust (Wargocki & Wyon, 2013; Satish et al., 2012). Andurite valikul lähtuti standarditest ja parimatest praktikatest, tagades, et mõõdetavad näitajad vastavad Tervisekaitsenõuetele koolidele (2013) ning rahvusvahelistele soovitustele (REHVA, 2020).

Tarkvaralahendus põhineb Haapsalu kolledžis juba kasutusel oleva ElasticStack platvormil, kuna see tagab süsteemi lihtsa integreerimise ja vähendab täiendavaid kulusid ning võimaldab efektiivset andmete kogumist, analüüsi ja visuaalset esitlust (Sporsem, Hatling, & Mikalsen, 2021). Lisaks tehnilisele seirele lisati süsteemile LED-märkuanded, et

pakkuda kasutajatele kohest visuaalset tagasisidet siseõhu seisundi kohta, mis suurendab teadlikkust ja motiveerib ruume õhutama (Zeni et al., 2020).

2. NÕUDED ÕHUKVALITEEDI SEIRESÜSTEEMILE

Selleks, et tagada ruumides tervislik ja mugav sisekliima, on vaja välja töötada seiresüsteem, mis võimaldab pidevalt jälgida olulisi õhukvaliteedi näitajaid ning teavitada kasutajaid võimalike normist kõrvalekallete korral. Alljärgnevalt on kirjeldatud süsteemi tehnilised ja funktsionaalsed nõuded, mis on koostatud vastavalt projekti käigus kogutud infole ning kehtivatele regulatsioonidele.

Pärast põhjalikumat uurimist sai selgeks, et vaja on mõõta kolme asja: õhutemperatuuri, õhuniiskust ja süsihappegaasi (CO₂)sisaldust ruumi õhus. Sellest tulenevalt on vaja andurit või andureid, mis on võimelised neid mõõtma. Andurite juhtimiseks on vaja kasutada mikrokontrollerit, kas Raspberry Pi (<https://www.raspberrypi.com/>), Arduino (<https://www.arduino.cc/>) või Espressif ESP32 (<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>). Mikrokontroller peab omama Wi-Fi ühenduse tuge andmeedastuseks. Kasutajate teavitamiseks näitude hetkeseisust tuleks näitused kuvada kas anduril olevale ekraanile või anda eelnevalt määratud piirväärtuste ületamise korral märku erinevat värvi tuledega:

- Roheline - kõik on hästi
- Kollane - õhuniiskust üle 60% (Vabariigi Valitsuse 30.05.2013. a määrus nr 84) või temperatuur üle piirmäära (näiteks 30 kraadi)
- Punane - süsihappegaasi sisaldus õhus on liiga suur, vaja tuulutada (üle 1000 ppm) (Vabariigi Valitsuse 30.05.2013. a määrus nr 84)

Seiresüsteem peab olema võimeline andmeid üle Wi-Fi andmebaasi saatma, et tagada võimalus hilisemaks andmete analüüsiks. Andmete jaoks kasutame ElasticStack lahendusi, kuna need on koolil juba kasutusel (M. Raavel, intervjuu, 26. märts 2025).

- Logstash andmete kogumiseks ja salvestamiseks
- Elasticsearch andmete talletamiseks
- Kibana visualiseerimiseks (personalile üldpildi saamiseks ja analüüsiks)

Andurite asukohale on järgnevad nõuded (Anciaux, 2021):

- Ei tohi olla kütteallika/akna/ukse vahetus läheduses
- Ei tohi olla prügikasti vms gaase tootva asja vahetus läheduses

- Inimesest soovitatavalt 1.5m kaugusel, aga kindlasti ei tohi olla kohas, kuhu otse peale hingatakse
- Kõrgusel, kus inimesed kõige rohkem hingavad ehk 1.5 kuni 1.8 m kõrgusel põrandast

Toide USB toiteadapteriga seinakontaktist või akupangaga, olenevalt asukohast, kuhu seiresüsteem paigaldatakse.

3.1 Seadmete valik

Projektis vajaminevate seadmete valiku võib jaotada kolmeks osaks: osa üks - mikrokontroller andurite juhtimiseks, osa kaks - temperatuuri- ja niiskusandur, osa kolm - CO₂ andur.

Sobivaid mikrokontrollereid on palju ning kaalumisel oli kolm erinevat: Arduino, RaspberryPi ja ESP32. Kõigil neil on omad eelised ja puudused. Arduino on üldjuhul esimene valik kui on käsil selline projekt, nagu meil. Miinusteks Arduino puhul on Wi-Fi toe puudumine andmete edastamiseks ja kõrgem hind võrreldes teistega. RaspberryPi on väga hea jõudlusega kuid sellest kolmikust kõige kallim. Kuna tahame piiratud eelarvega saavutada võimalikult palju siis langeb RaspberryPi valikust välja. ESP32 on andurite juhtimiseks väga levinud. Eelised teiste ees on madal volutarve, madalam hind ja väike füüsiline suurus. Seetõttu otsustasime kasutada andurite juhtimiseks ESP32 mikrokontrollerit. (Velasco, 2023)

Temperatuuri- ja niiskusanduri puhul lähtusime varasemast kasutuskogemusest DHT22 anduriga. Odav, selle projekti jaoks piisav mõõtetäpsusega (0,1 kraadi/0.1% õhuniiskust), madala volutarbega ning füüsiliselt väikese suurusega. (DHT22 dokumentatsioon <https://cdn.sparkfun.com/assets/f/7/d/9/c/DHT22.pdf>)

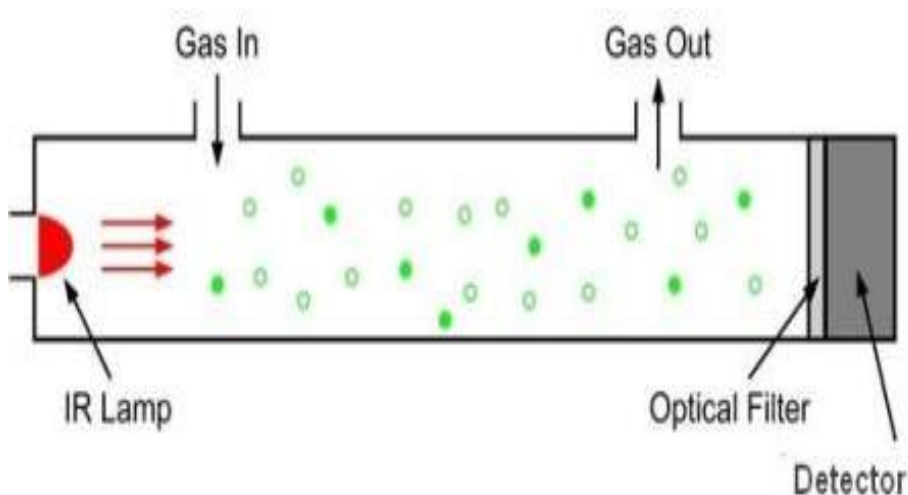
Süsihappegaasi anduri valimisega oli keerulisem. Esmalt oli vaja selgeks teha kuidas CO₂ taset õhus mõõdetakse. Kõige kuluefektiivsem on kasutada infrapuna neeldumise põhimõttel põhinevat gaasituvastusandurit (NDIR). NDIR-andurid on tuntud täpsuse, stabiilsuse ja madala hooldusvajaduse poolest. (CO2Meter, 2024)

NDIR-anduri põhikomponendid hõlmavad:

- Infrapunakiirguse allikat (infrapuna lamp või LED)

- Gaasikambrit, kuhu õhk siseneb
- Optilist filtrit, mis laseb läbi ainult CO₂-le iseloomuliku lainepikkusega kiirguse
- Infrapunadetektorit, mis mõõdab neeldunud kiirguse hulka.

Kui infrapunakiirgus läbib gaasikambrit, neelab CO₂ teatud lainepikkustel kiirgust. Optiline filter tagab, et detektor mõõdab ainult neid lainepikkusi, mida CO₂ neelab. Mõõdetud neeldumise põhjal arvutatakse CO₂ kontsentratsioon õhus.

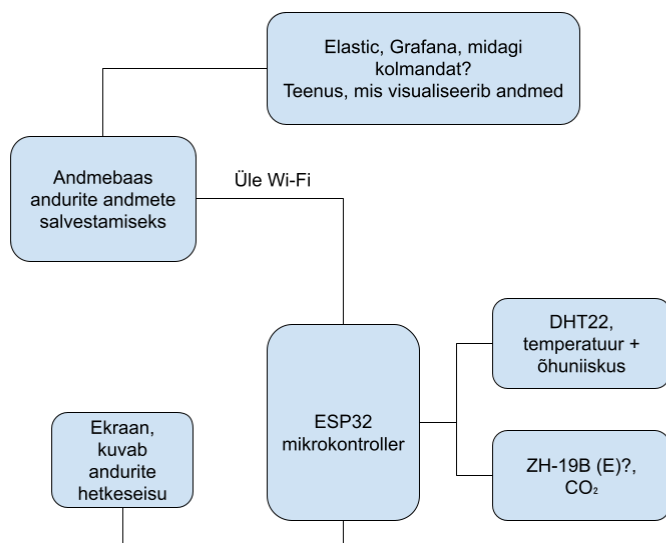


Joonis 1. NDIR-anduri ehitus (CO₂Meter, 2020)

Kuna co2meter.com lehel olnud andurite hinnad algasid 50 eurost tuli hakata otsima odavamaid alternatiive. Otsing sõnadega “*low-cost co2 sensor*” suunas meid MH-Z19B anduri juurde. Sellel on meie projekti jaoks piisav mõõtmisvahemik (kuni 5000 ppm CO₂) ja mõõtmistäpsus ning madal hind. Miinusteks pikk soojenemisaeg, 3 minutit ja pikk mõõtesagedus, korra 90 kuni 120 sekundi jooksul. See mõõtmisagedus määras ka selle kui sagedasti näitusid kesksesse haldusesse edastatakse. (Winsen, n.d.)

3.2 Seadmete seadistus ja lähtekoodi kirjutamine

Vajalikud seadmed valitud ja tellitud siis võis asuda planeerima seda, kuidas need omavahel tööle võiksid hakata. Esimese sammuna löime skeemi, kuidas lahendus võiks välja näha:



Joonis 2. Esmane lahenduse skeem (Kiltmaa, 2025)

Algne mõte oli kuvada andurite näite ekraanil kuid sellest plaanist loobusime. Esiteks ekraani suurus, mida plaanisime kasutada (umbes 1 tollise diagonaaliga) oleks olnud liiga väike, et sealt mõistlikult infot välja lugeda. Teiseks oleks see tõstnud ka projekti koodi keerukust. Selle asemel otsustasime kasutada LED valgusfoori: roheline - kõik näidud korras, kollane - temperatuur või õhuniiskus üle piirväärtuse (30 kraadi või 60 %) ja punane - CO₂ üle piirväärtuse (1000 ppm).

Kui lisada andurite kõrvale ka selgitav tekst mida see valgusfoor tähendab siis peaks see olema mõistetavam kui numbrid väikesel ekraanil.

Programmi koodi ESP32 mikrokontrollerisse (edaspidi ESP32) saamiseks kasutasime Arduino IDE (<https://www.arduino.cc/en/software/>) nimelist integreeritud programmeerimiskeskonda. See võimaldab kirjutada enamlevinud mikrokontrolleritele sobivat koodi (ESP32 ja Arduino), kasutada nii tootjapoolseid kui kolmanda osapoole teeke kui ka testida oma koodi enne mikrokontrollerisse laadimist.

Projektis kasutatud koodi võib jagada 3 osaks. Nendeks on:

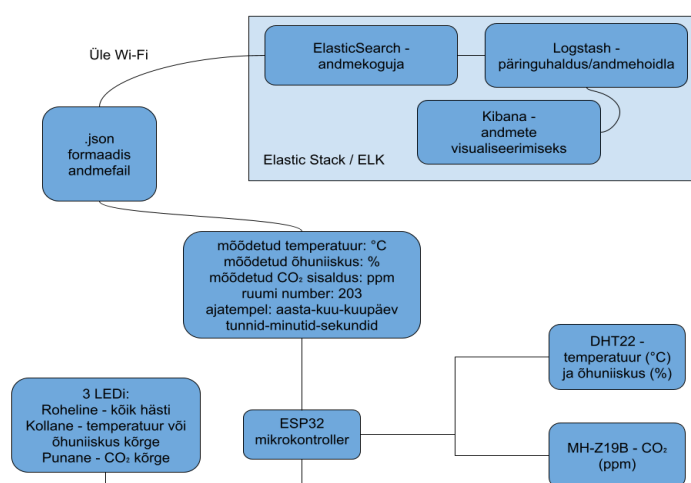
1. muutujate defineerimine- milliseid kontakte andurid kasutavad suhtlemiseks ESP32-ga, mõõtude laved, mis teegid on kasutuses, Wi-Fi võrgu nimi ja parool, ElasticSearchi IP-aadress, kasutajanimi ja parool

2. esmane seadistus - ESP32 ühendatakse eelnevalt defineeritud Wi-Fi võrku, sünkroniseeritakse ajanaît pool.ntp.org ajaserveriga, seatakse andurid valmis näitude mõõtmiseks

3. põhitsükkel/programm -

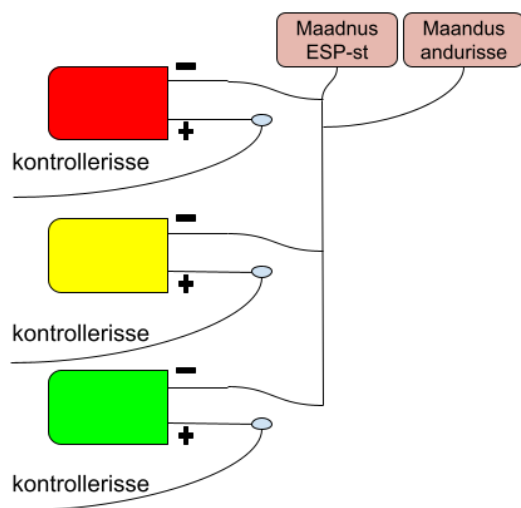
- Mõõdetakse temperatuur, niiskus ja CO₂.
- Kontrollitakse, kas väärtused on edukalt saadud.
- Kontrollitakse, kas väärtused ületavad määratud laved:
 - Temp > 30 °C
 - Niiskus > 60%
 - CO₂ > 1000 ppm
- Hoitakse ajalugu viimase 3 CO₂ mõõtmise kohta.
- Vastavalt tulemustele lülitatakse sisse sobiv LED:
 - Kui CO₂ kõrge 3x järjest → punane LED
 - Kui CO₂ langenud → kollane LED, ja hiljem roheline kui temp/niiskus on normis
 - Kui ainult temp/niiskus kõrge → kollane LED
 - Kui kõik normis → roheline LED

Andmed väljastatakse käsureale ja saadetakse Elasticsearchi JSON-vormingus. JSON on lühend sõnadest *JavaScript Object Notation* ja on tekstiformaat andmete hoiustamiseks ja saatmiseks (https://www.w3schools.com/js/js_json_intro.asp). Paus 90 sekundit, seejärel tsükkel kordub. Lähtekoodi leiab aruande lisade alt, Lisa 1.



Joonis 3. Lõplik skeem valminud lahendusest (Kiltmaa, 2025)

LEDide ühendamiseks tekkis ootamatult raskus. Probleemiks sai piisava koguse maanduspesade puudumine ESP32-l. Andurid kasutasid algselt ära mõlemad maanduspesad jättes LEDid ilma maanduseta. Esmane lahendus oli ühendada LEDid maketeerimislauale, teha jadaühendus ühe maanduspesa, LEDide ja anduri vahel. Sellise prototüübiga saime märgutuled tööle ja säilis ka anduri funktsionaalsus. Maketeerimislauale see aga jääda ei saanud: kasutusel oli palju juhtmeid, maketeerimislaud ise võttis palju ruumi ja ei olnud lihtsalt liigutatav (Lisa 2). Seetõttu oli vaja märgutuled viia eraldi makettplaadile (trükkplaadile) koos märgutulede ühendamiseks vajalike kaablite ja kahe maanduspesaga - üks maanduspesa ühendatud ESP32-te, teine andurisse. Pilt märgutulede mooduli valmimisest on leitavad lisade alt, Lisa 3.



Joonis 4. LED märgutulede mooduli skeem (Kiltmaa, 2025)

Kui esialgne seadistus on tehtud, on vaja seadmed veel vooluvõrku ühendada. Valmis õhukvaliteedi andurid saavad elektritoite USB-C pesa kaudu, mis jätab toite jaoks kaks varianti. Saab kasutada akupanka, aga saab ka adapteri kaudu otse vooluvõrku ühendada.

3.3. Korpuse disain

Andurile vajaminevad seadmed olid olemas ja ka omavahel ühendatud ning andur testitud. Järgmiseks tuli leida lahendus anduri välimusele. Esialgu meenutas see seinakontakti ühendatud juhtpundart, mille otstes rippusid erinevad komponendid (Lisa 4). See ei olnud esteetiliselt kuigi meeldiv, mistõttu oli vaja leida korpuse näol sobiv lahendus.

Kaubanduses on saadaval palju andureid, mida kinnitatakse seinale, kuid otsustasime leida lahenduse, mis sobiks nii lauale asetamiseks kui ka riputamiseks. Selleks

tuli mõõta kolme erineva anduri suurused ning arvestada ka juhtmete mahutavusega korpuses. Nende andmete põhjal sai määrata umbkaudse suuruse, mida on vaja prototüübi valmistamiseks.

Õhukvaliteedi anduri korpusele on esitatud keerulisemad nõuded. Näiteks CO₂ andur vajab oma korrektseks mõõtmiseks õhu liikumist, nii siis peab korpusel olema võimalikult palju õhuavasid. Prototüübi valmistamiseks sai valitud mustrisse seatud väikeste avadega metallkorpust, mida on võimalik asetada alusele. Korpuse ülemises osas on kolm väikest tulukest: punane, kollane ja roheline. Need tuled annavad anduri kasutajale märku, millise kvaliteediga õhk on mõõdetavas ruumis. Anduri värvus sai valitud valge, et see sobiks hästi interjööri.

3. SIDUSRÜHMAD JA TEGEVUSED SIDUSRÜHMADENI JÕUDMISEKS

Projekti „Õhu kvaliteedi kontroll Haapsalu kolledži ruumides“ õnnestumiseks on oluline teavitada ja kaasata peamisi sidusrühmi, kes hakkavad loodud süsteemi kasutama või saavad sellest mõjutatud. Kuigi projekti fookus oli peamiselt tehnilise lahenduse loomisel, pöörati tähelepanu ka teadlikkuse tõstmisele ja info levitamisele. Sidusrühmadeni jõudmise tegevused keskendusid infomaterjalide loomisele, et tutvustada projekti eesmäärke, tulemusi ja loodud lahenduse kasutusvõimalusi.

Tudengid on hoone või teenuse igapäevased kasutajad, kelle ootused keskenduvad mugavale, funktsionaalsele ja toetavale keskkonnale, mis soodustab nende õppimist ja heaolu. Nad väärtustavad kasutajasõbralikke, ligipääsetavaid ja kaasaegseid lahendusi, sealhulgas head õhukvaliteeti ja tehnilisi võimalusi (Zeni et al., 2020). Külastajad, kes viibivad hoones lühiajaliselt, hindavad eelkõige lihtsat orienteerumist, positiivset esmamuljet ning turvalist ja mugavat keskkonda. Nende jaoks on oluline, et kõik vajalik oleks kergesti leitav ja kasutatav, ilma liigsete takistusteta (Roofigari-Esfahan et al., 2023).

Õppejõud ja muu personal vajavad oma tööks paindlikke ja tehniliselt hästi varustatud ruume, mis toetaksid erinevaid õpetamismeetodeid ja võimaldaksid tõhusalt läbi viia õppetööd. Nende huvi on toimivad lahendused ja tehniline tugi, mis aitaks vältida katkestusi õppetöös (Zeni et al., 2020). Töötajad, sealhulgas tugipersonal, ootavad ergonoomilisi ja efektiivseid töötingimusi, mis toetaksid nende igapäevast tegevust. Nende jaoks on oluline stabiilsus, sujuv koostöö teiste osapooltega ja toimiv infrastruktuur, mis ei tekitaks lisakoormust (Sporsem et al., 2021).

Tegevused sidusrühmadeni jõudmiseks:

- Viidi läbi intervjuu Haapsalu kolledži õppejõu Martti Raaveliga, et selgitada välja kolledži vajadused ja olemasolevad tehnilised võimalused süsteemi integreerimiseks.
- Planeeriti infot jagada kolledži sisekommunikatsiooni kanalite kaudu, sh koridorides asuvate televiisorite abil, kus kuvatakse kooli teadandeid ja teavet uue õhukvaliteedi seiresüsteemi kohta (selle teostamiseni ei jõutud).
- Koostatakse visuaalseid ja lihtsasti mõistetavaid infomaterjale, mis tutvustavad süsteemi kasutamist ja õhukvaliteedi tähtsust igapäevases õppe- ja töökeskkonnas.

- Lisaks kasutatakse sotsiaalmeedia kanaleid, eelkõige Facebooki, et jõuda nii tudengite kui ka laiemale avalikkuseni. Postituste kaudu jagatakse infot projekti eesmärkidest, valminud lahendusest ja selle kasust kasutajatele.

Projektirühm tegutseb kuni projekti lõpuni, koordineerides erinevate sidusrühmade ootusi ja vajadusi. Nende ülesanne on tagada, et projekt viiakse edukalt lõpule vastavalt ajakavale ja eelarvele, arvestades seejuures kõikide osapoolte huve. Eduka töö jaoks vajab projektirühm sujuvat kommunikatsiooni ja koostööd kõigi sidusrühmadega, et lahendused vastaksid tegelikele vajadustele ja toetaksid hoone või teenuse kasutajate heaolu ja eesmärke (Alnhari & Qureshi, 2024).

Projekti visuaalse kommunikatsiooni ja teavitustöö eest vastutasid meie tiimi liikmed, kelle ülesandeks oli koostada infoplakateid, mis selgitavad loodud süsteemi tööd ning selle mõju kolledži õppimis- ja töökeskkonnale. Plakatitel on näha funktsioonide tutvustust ja visuaalset selgitust, kuidas selle erinevad värvid annavad märku siseõhu kvaliteedist.

Infomaterjalide koostamisel lähtuti teadusuuringutest, mis näitavad, et mõõdukas CO₂ taseme tõus võib vähendada keskendumisvõimet ja õppimist kuni 23%. Sellepärast on oluline, et kasutajad mõistaksid, miks hea siseõhk on oluline ning kuidas nad saavad ise selle parandamisse panustada näiteks tuulutades ruume õigel ajal.

Visuaalsed plakatid loodi nii, et need oleksid arusaadavad ja silmapaistvad kolledži korides ja peagi ehk ka veebiplatvormidel. Edasised sammud on läbi arutatud kolledži turundustiimiga, et saaksime lisada nii Instagrami kui ka Facebooki postitused, mis tutvustaksid meie projekti ja selle kasulikkust ning vajadusest tudengitele ja sealsetele töötajatele

4. TULEMUSTE KOKKUVÕTE

Projekti tulemusena loodi Haapsalu kolledži valitud ruumidesse praktiline ja toimiv õhukvaliteedi seiresüsteem, mis võimaldab mõõta CO₂ taset, temperatuuri ja õhuniiskust ning kuvada tulemusi nii LED-tulede abil kui ka veebipõhises vaates. Reaalajas andmete kogumine võimaldab kasutajatel reageerida õhukvaliteedi muutustele kiiresti ja teadlikult, toetades tervislikumat ja õppimist soodustavat keskkonda. Tarkvaralahendus põhineb olemasoleval ElasticStack platvormil, mis lihtsustab andmete haldamist ja visualiseerimist ning võimaldab süsteemi sujuvat integreerimist kolledži olemasolevatesse IT-lahendustesse. Lisaks tehnilisele arendusele pöörati projektis tähelepanu kasutajate kaasamisele ja teadlikkuse tõstmisele. Valmisid visuaalsed teavitusmaterjalid, mis aitavad süsteemi igapäevaselt kasutada ja andmeid mõista. Projekti nähtavuse suurendamiseks jagati infot ka Facebookis. Lisaks viidi läbi intervjuu ning koguti tagasisidet, mis võimaldas tuvastada kasutajate vajadusi ja ootusi ning nende põhjal süsteemi täiendada.

Lõpptulemusena valmis prototüüp, mida on võimalik edasi arendada ja rakendada ka teistes sarnastes haridusasutustes. Süsteemi jätkusuutlikkus on tagatud kolmel tasandil: seadmed ja kood antakse üle projekti juhendajale Martti Raavelile, tagades tehnilise halduse; kasutajate teadlikkuse suurendamine toetab lahenduse igapäevast rakendamist; ning süsteemi skaleerimine ja arendus on võimalik ressursside olemasolul. Seega on projekti väljundid – tehniline lahendus, juhendid, teavitusmaterjalid ja kogemus – edasiantavad ja toetavad Haapsalu kolledži keskkonna jätkusuutlikku arengut.

Projekti saab jätkata mitmel suunal. Üks neist on projekti raames loodud süsteemi skaleerimises (seadmete arvukuse suurendamine). Teine suund on loodud seadmete täiendamises. Täiendamise all peame silmas näiteks komponentide paigutust ühele trükkplaadile ja ka CO₂ andurite vahetamist töökindlamate vastu. Kõik projekti raames loodud süsteemid, lahendused ja muu selline antakse üle selle ELU projekti juhendajale (HK poolne kontakt/kooli esindaja) Martti Raavelile.

Esialgsed mõõtmistulemused viitavad sellele, et klassiruumide kasutamise ajal toimub süsihappegaasi (CO₂) kontsentratsiooni märgatav tõus, mille ulatus varieerub sõltuvalt konkreetsest ruumist. Kuigi mõõdetud väärtused ei ületa kriitilisi piirmäärasid, võivad need pikaajalisel kokkupuutel siiski mõjutada õppijate heaolu ja keskendumisvõimet. Lisaks täheldati kõikumisi ka õhutemperatuuris ja suhtelises õhuniiskuses, mis võivad

viidata ventilatsiooni ebapiisavusele või ruumide erinevale kasutuskooormusele (Lisa 5). Arvestades, et parameetrite kõikumised ja õhukvaliteedi näitajad on klassiruumide lõikes märkimisväärselt erinevad, on põhjendatud soovitus laiendada olemasolevat seiresüsteemi ka teistesse õpperuumidesse. See võimaldaks saada terviklikuma ja usaldusväärsema ülevaate siseõhu kvaliteedist kogu koolimaja klassiruumide ulatuses ning toetaks teadlikke otsuseid keskkonnatingimuste parandamiseks.

KASUTATUD ALLIKAD

- Alnhari, A. A., & Qureshi, R. (2024). Unified external stakeholder engagement and requirements strategy. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2409.05019>
- Anciaux, L. (2021). *Practical guide to installing CO₂ sensors*. IoT Factory. https://iotfactory.eu/wp-content/uploads/2021/08/Practical_Guide_Installation_CO2_Sensor-by_IOT%20Factory.pdf
- CO₂Meter. (2020). *How does an NDIR CO₂ sensor work?* <https://www.co2meter.com/blogs/news/how-does-an-ndir-co2-sensor-work>
- Euroopa Komisjon. (2006). *Towards healthy air in dwellings in Europe: The THADE report*. https://ec.europa.eu/health/ph_projects/2001/pollution/fp_pollution_2001_frep_02.pdf
- Itse, B. (2015). Tervisehädade taga võib peituda hallitusseen. *Lõuna-Eesti Postimees*. <https://lounapostimees.postimees.ee/3083601/tervisehadade-taga-voib-peituda-hallitusse>
- Mendell, M. J., & Heath, G. A. (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air*, 15(1), 27–52.
- Pindus, M. (2015). *Siseõhu saastainete piirnormid erinevates Euroopa maades*. Keskkonnatervise uuringute keskus. <https://www.etag.ee/wp-content/uploads/2015/12/KTUK-sise%C3%B5hu-saastainete-piirnormid-Euroopa-maades.pdf>
- REHVA. (2020). *REHVA COVID-19 guidance document* (Version 3, August 3, 2020). Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations. https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V3_03082020.pdf

- Roofigari-Esfahan, N., Morshedzadeh, E., & Dongre, P. (2023). A conceptual framework for designing interactive human-centred building spaces to enhance user experience in specific-purpose buildings. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2308.14876>
- Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environmental Health Perspectives*, 120(12), 1671–1677.
- Sporsem, T., Hatling, M., & Mikalsen, M. (2021). Invisible data curation practices: A case study from facility management. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2112.01225>
- Tervisekaitsenõuded koolidele. (2013). *Riigi Teataja*, RT I, 31.05.2013, 12. <https://www.riigiteataja.ee/akt/131052013012?leiaKehtiv>
- Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2013). Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and Environment*, 59, 581–589. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.007>
- Winsen. (n.d.). *MH-Z19B CO₂ sensor datasheet (ver 1.0)*. https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19b-co2-ver1_0.pdf
- Zeni, P., Troop, M., White, D., & Wilson, K. E. (2020). The user experience design for learning (UXDL) framework: The undergraduate student perspective. *The Canadian Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 11(3). <https://doi.org/10.5206/cjsotl-rcacea.2020.3.8328>
- Juurak, R. (2021). Miks on koolil vaja ventilatsioonisüsteemi? [2025, mai 10]. <https://opleht.ee/2021/10/miks-on-koolil-vaja-ventilatsioonisusteemi/>
- Velasco, A. (2023). Comparong microcontrollers: what brain should I go with? [11.05.2025]. <https://www.digikey.com/en/maker/projects/comparing-microcontrollers-what-brain-should-i-go-with/02d2dcb1a0d441f5a11fc9956559b226>
- CO2Meter. (2024). How to measure carbon dioxide accurately. [11.05.2025]. <https://www.co2meter.com/blogs/news/how-to-measure-carbon-dioxide>

LISAD

LISA 1. Projekti lähtekood

```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <DHT.h> //https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library
#include <time.h>
#include <HardwareSerial.h>
#include <Mhz19.h> //https://github.com/malokhvii-eduard/arduino-
mhz19

// === KONFIGURATSIOON ===
const char* ssid = "Wi-Fi võrgu nimi";
const char* password = "Wi-Fi võrgu parool";

const char* es_host = "http://10.168.60.250:9200/sensor-data/_doc";
//Elasticsearchi IP aadress
const char* es_user = "elastic"; //Elasticsearchi kasutajanimi
const char* es_pass = "changeme"; //Elasticsearchi parool

const char* room_name = "8/1-3";

// DHT22 andur GPIO4 (D4)
#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// MH-Z19B ühendused ESP32 külge (kasutame HardwareSerial2)
#define RXD2 16 //MH-Z19B TX → ESP32 RX
#define TXD2 17 //MH-Z19B RX ← ESP32 TX
HardwareSerial co2Serial(2);
Mhz19 co2Sensor;

// LED pin'id
#define GREEN_LED 27
#define YELLOW_LED 14
#define RED_LED 12
```

```

// Lävend
const int CO2_THRESHOLD = 1000; // ppm
const float TEMP_THRESHOLD = 30.0; // °C
const float HUMIDITY_THRESHOLD = 60.0; // %

bool co2HighHistory[3] = {false, false, false};
int historyIndex = 0;

// Aja sünkroniseerimine
void setupTime() {
    configTime(0, 0, "pool.ntp.org", "time.nist.gov");
    Serial.print("🕒 Ootan ajasünkroniseerimist");
    while (time(nullptr) < 100000) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("🕒 Kellaaeg sünkroniseeritud!");
}

String getTimestamp() {
    time_t now = time(nullptr);
    struct tm* timeinfo = localtime(&now);
    char buffer[30];
    strftime(buffer, sizeof(buffer), "%Y-%m-%dT%H:%M:%SZ", timeinfo);
    return String(buffer);
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    delay(100);
    Serial.println("🚀 Alustan...");

    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.print("🔌 Ühendun WiFi-ga");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
}

```

```

}

Serial.println("\n✅ WiFi ühendatud, IP: " + WiFi.localIP().toString());

dht.begin();

co2Serial.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
co2Sensor.begin(&co2Serial);
co2Sensor.setMeasuringRange(Mhz19MeasuringRange::Ppm_5000);
co2Sensor.enableAutoBaseCalibration();

Serial.println("🕒 CO2 anduri eelsoojendus...");
while (!co2Sensor.isReady()) {
    delay(50);
}

setupTime();

// LEDid
pinMode(GREEN_LED, OUTPUT);
pinMode(YELLOW_LED, OUTPUT);
pinMode(RED_LED, OUTPUT);

digitalWrite(GREEN_LED, LOW);
digitalWrite(YELLOW_LED, LOW);
digitalWrite(RED_LED, LOW);
}

void loop() {
    float temperature = dht.readTemperature();
    float humidity = dht.readHumidity();
    int co2 = co2Sensor.getCarbonDioxide();

    bool hasTemperature = !isnan(temperature);
    bool hasHumidity = !isnan(humidity);
    bool hasCO2 = (co2 >= 0);

    if (!hasTemperature) Serial.println("⚠️ Temperatuuri lugemine ebaõnnestus!");
}

```

```

    if (!hasHumidity) Serial.println("⚠ Niiskuse lugemine
ebaõnnestus!");
    if (!hasCO2) Serial.println("⚠ CO2 lugemine ebaõnnestus!");

    if (!hasTemperature && !hasHumidity && !hasCO2) {
        Serial.println("✖ Mitte ühtegi väärtust ei saadud, vahelejätmine.");
        delay(5000);
        return;
    }

    bool tempHigh = hasTemperature && temperature > TEMP_THRESHOLD;
    bool humidityHigh = hasHumidity && humidity > HUMIDITY_THRESHOLD;
    bool co2High = hasCO2 && co2 > CO2_THRESHOLD;

    // CO2 ajaloo jälgimine (viimased 3 mõõtmist)
    co2HighHistory[historyIndex] = co2High;
    historyIndex = (historyIndex + 1) % 3;

    bool lastThreeCO2High = co2HighHistory[0] && co2HighHistory[1] &&
co2HighHistory[2];
    bool lastThreeCO2Low = !co2HighHistory[0] && !co2HighHistory[1] &&
!co2HighHistory[2];

    // LED loogika
    if (lastThreeCO2High) {
        digitalWrite(RED_LED, HIGH);
        digitalWrite(YELLOW_LED, LOW);
        digitalWrite(GREEN_LED, LOW);
    } else if (digitalRead(RED_LED) == HIGH && lastThreeCO2Low) {
// Punane → kollane
        digitalWrite(RED_LED, LOW);
        digitalWrite(YELLOW_LED, HIGH);
        digitalWrite(GREEN_LED, LOW);
    } else if (digitalRead(YELLOW_LED) == HIGH && !tempHigh &&
!humidityHigh) {
// Kollane → roheline
        digitalWrite(RED_LED, LOW);
        digitalWrite(YELLOW_LED, LOW);

```

```

    digitalWrite(GREEN_LED, HIGH);
} else if (tempHigh || humidityHigh) {
    digitalWrite(RED_LED, LOW);
    digitalWrite(YELLOW_LED, HIGH);
    digitalWrite(GREEN_LED, LOW);
} else {
    digitalWrite(RED_LED, LOW);
    digitalWrite(YELLOW_LED, LOW);
    digitalWrite(GREEN_LED, HIGH);
}

// Kuva mõõdetud väärtused konsooli (testimiseks)
Serial.println("☑ Mõõdetud andmed:");

if (hasTemperature) Serial.println("🌡 Temperatuur: " +
String(temperature, 1) + " °C");

if (hasHumidity) Serial.println("💧 Niiskus: " + String(humidity,
1) + " %");

if (hasCO2) Serial.println("☐ CO2: " + String(co2) + "
ppm");

String timestamp = getTimestamp();
String json = "{";

bool first = true;
if (hasTemperature) {
    json += "\"temperature\": " + String(temperature, 1); first =
false;
}

if (hasHumidity) {
    if (!first) json += ","; json += "\"humidity\": " +
String(humidity, 1); first = false;
}

if (hasCO2) {
    if (!first) json += ","; json += "\"co2\": " + String(co2); first
= false;
}

json += ", \"room\": \"" + String(room_name) + "\", ";

```

```

json += "\"@timestamp\": \"" + timestamp + "\"";
json += "}";

Serial.println("🔗 Saadan Elasticsearchi:");
Serial.println(json);

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    HTTPClient http;
    WiFiClient client;
    http.begin(client, es_host);
    http.setAuthorization(es_user, es_pass);
    http.addHeader("Content-Type", "application/json");

    int httpCode = http.POST(json);
    String payload = http.getString();

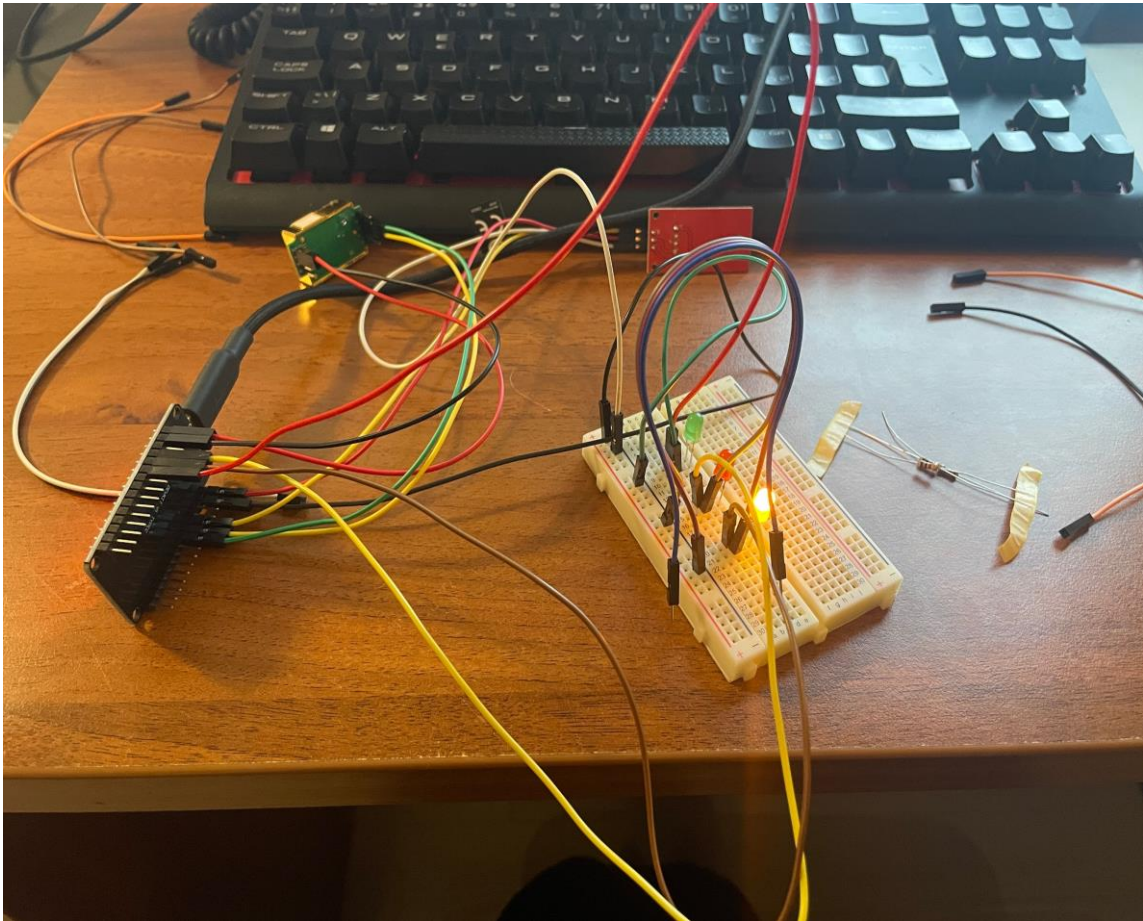
    Serial.print("🔗 HTTP vastus: ");
    Serial.println(httpCode);
    Serial.println(payload);

    http.end();
}

delay(90000); // 90 sekundit
// delay(60000); // 1 minut
}

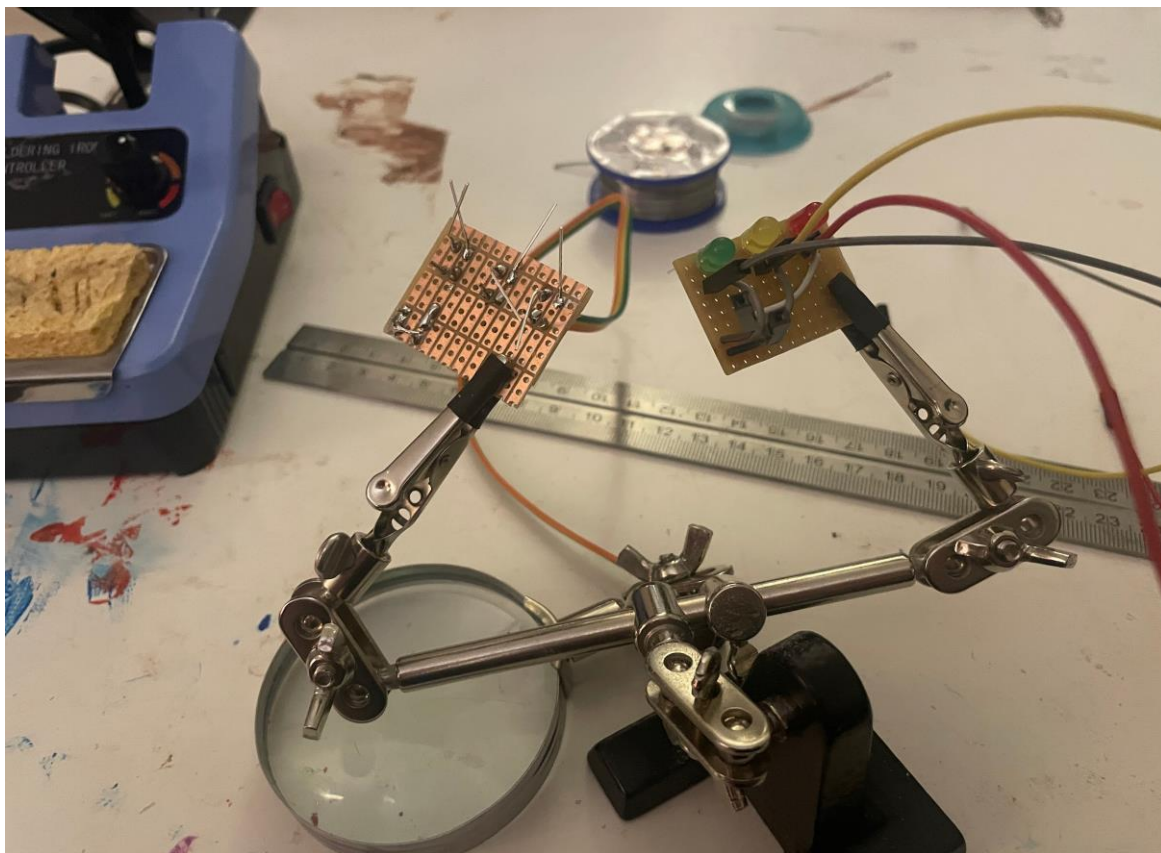
```

LISA 2. Seiresüsteemi seadmete prototüüp märgutuled maketeerimislaual



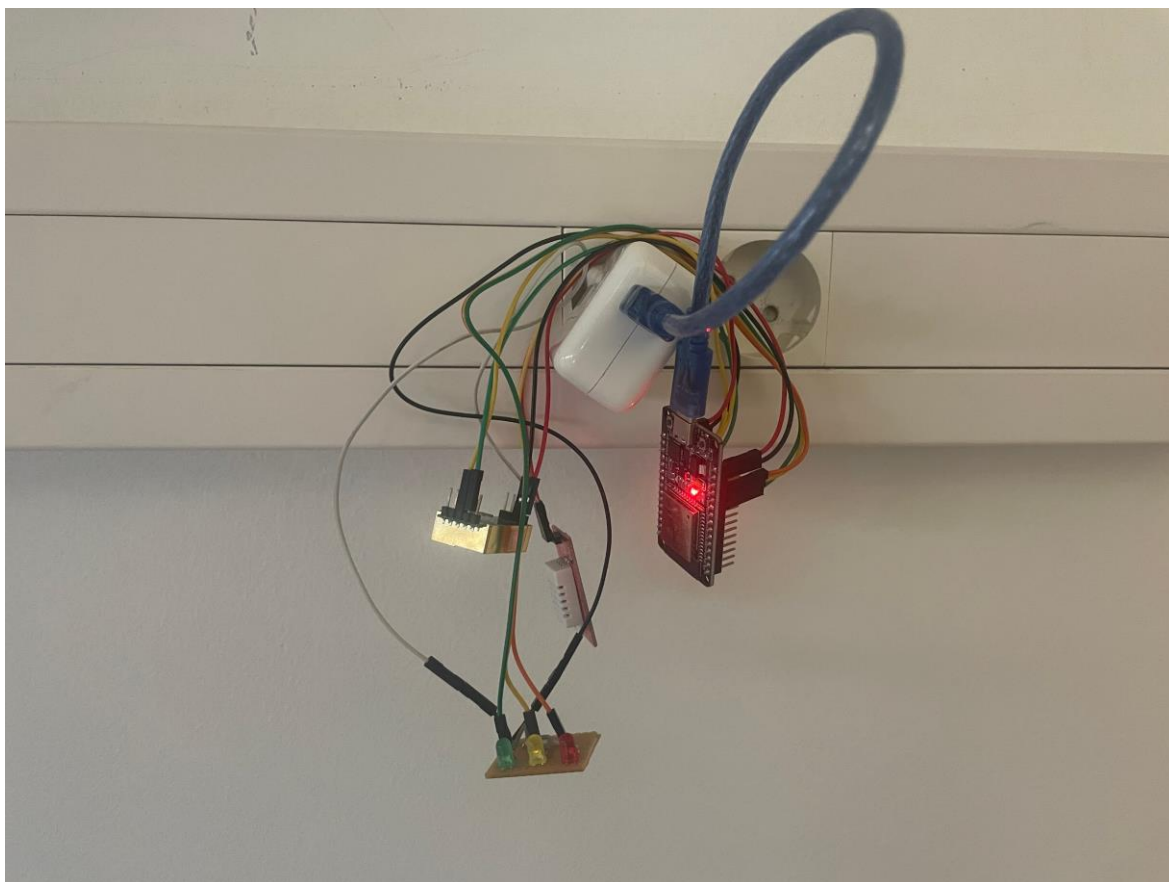
Joonis 5. Seiresüsteemi seadmete prototüüp märgutuled maketeerimislaual (Kiltmaa, 2025)

LISA 3. LED märgutulede jootmine makettplaadile



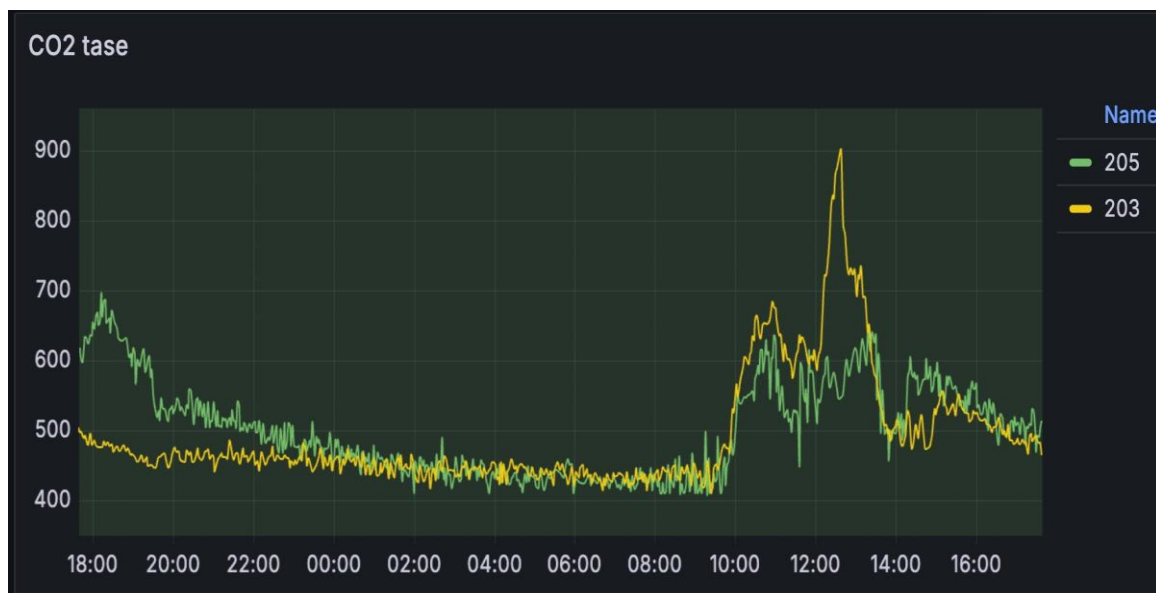
Joonis 6. LED märgutulede jootmine makettplaadile (Kiltmaa, 2025)

LISA 4. Õhukvaliteedi seireseadmed Haapsalu Kolledžis näidisandmeid kogumas



Joonis 6. Õhukvaliteedi seireseadmed Haapsalu Kolledžis näidisandmeid kogumas (Kiltmaa, 2025)

LISA 5. Süsihappegaasi, temperatuuri ja õhuniiskuse 08.05.2025 ööpäeva graafikud



Õhuniiskus

