

TARTU JAAN POSKA GÜMNAASIUM

AKSEL BULAVS

11.D KLASS

ÕHUKVALITEET GÜMNASISTIDE KODUSTES ÕPPERUUMIDES SÜSINIKDIOKSIIDI KONTSESTRATSIOONI ALUSEL

JUHENDAJAD: KAIE MÄGIMETS, AGO ROOTSI

SISSEJUHATUS

Siseõhu kvaliteet mõjutab olulisel määral inimese tervist ja töövõimet, kuna enamik inimestest veedab suurema osa ööpäevast siseruumides. Üheks tähtsamaks siseõhu kvaliteedi näitajaks on süsinikdioksiidi (CO₂) kontsentratsioon.

CO₂ ehk süsihappegaas on hingamisel eralduv gaas, mis liiga suure kontsentratsiooni korral mõjub halvasti inimese vaimse töö efektiivsusele, sealhulgas õppimisvõimele, mistõttu on oluline hoida CO₂ kontsentratsioon erinevates õppekeskkondades alla standardis EVS-EN-15251 toodud piirnormi 1000 ppm. Siiani on läbi viidud mitmeid CO₂ mõõtmisi koolides, aga õppetööd tehakse peale koolide ka õpilaste kodudes. Paraku õpilaste koduste õpikeskkondade CO₂ kontsentratsiooni kohta ei ole Eestis spetsiaalseid uuringuid mulle teadaolevalt veel tehtud. Seepärast tahtsin teada saada, kas süsihappegaasi kontsentratsioon õpilaste kodudes vastab nõuetele.

Töö eesmärk oli välja selgitada, milline õhukvaliteet (CO₂ kontsentratsioon ja temperatuur) ja missugused ventilatsioonisüsteemid on õpilaste kodudes ning tutvuda õpilaste harjumustega (kas õppimise ajal on ukсед ja aknad kinni või mitte, kas tube õhutatakse jne). Samuti uurida, missugust tüüpi majad on kõige problemaatilisema õhukvaliteediga. Selleks viisin läbi kakskümmend CO₂ kontsentratsiooni mõõtmist Tartu gümnasistide kodudes.

Töö esimeses osas selgitan, mille järgi õhukvaliteeti hinnatakse ning annan ülevaate erinevatest ventilatsioonitüüpidest ja nende tööpõhimõtetest. Samuti tutvustan varasemate teemakohaste uuringute tulemusi. Töö teises osas kirjeldan mõõtmiste metoodikat ja analüüsin mõõtmistulemusi.

Kirjanduslike allikatena kasutasin hoonete sisekliima, CO₂ mõõtmise tulemuste ja ventilatsiooniga seotud materjale, mida leidsin nii paberil kui internetist.

Täna oma juhendajaid, õpetaja Kaie Mägimetsa ja Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledži lektor Ago Rootsit, et ta mulle uurimistöö tegemise osas abiks oli, jagades minuga oma CO₂ mõõtmiste ja ventilatsioonisüsteemide-alaseid teadmisi ja mõõtmiste läbiviimiseks vajalikku tehnikat.

SISUKORD

1. SISERUUMIDE ÕHUKVALITEET JA VENTILATSIOON.....	4
1.1 Siseõhk ja selle kvaliteet	4
1.2 Ventilatsiooni tüübid ja tööpõhimõtted	6
1.2.1 Loomulik ventilatsioon.....	8
1.2.2 Mehaaniline ventilatsioon.....	8
1.3 Varasemad teemakohased uuringud Eestis	9
2. CO ₂ KONTSESTRATSIOONI MÕÕTMISED GÜMNASISTIDE KODUSTES ÕPPERUUMIDES.....	11
2.1 Mõõtmiste metoodika	11
2.2 Mõõtmistulemuste analüüs ja järeldused	12
2.2.1 CO ₂ sisaldus õpilaste tubades	12
2.2.2 Keskmine ruumitemperatuur	13
2.2.3 Inimeste arvu ja toa ruumala suhe	14
2.2.4 Hoone tüüp, ehitusaasta ja ruumi õhutihedus	14
2.2.5 Ventilatsioonisüsteemi olemasolu	15
2.2.6 Uste ja akende avamine.....	16
2.2.7 CO ₂ vähima ja suurima mõõtmistulemuse analüüs	17
2.2.8 Mõõtmistulemused sugude lõikes	18
KOKKUVÕTE	19
ABSTRACT	20
KASUTATUD MATERJALID	21
LISAD	22
Lisa 1 Mõõtmiste infoleht.....	22
Lisa 2. CO ₂ ja temperatuuri mõõtmisgraafikud	24

1. SISERUUMIDE ÕHUKVALITEET JA VENTILATSIOON

1.1 Siseõhk ja selle kvaliteet

Tänapäeval veedavad inimesed suurema osa oma päevast siseruumides. Seetõttu on tarvilik pöörata tähelepanu siseõhu kvaliteedile, millel on inimese tervisele ja enesetundele väga oluline mõju. Halb õhukvaliteet võib põhjustada erinevaid terviseprobleeme alates ebamugavustundest ja väsimusest kuni peavaluni ning lõpetades allergia ja respiratoorsete haigustega, sealhulgas astmaga. Väidetavalt võib halb õhukvaliteet halvendada südame- ja veresoonkonna haiguste kulgu ning põhjustada vähki. Siseõhk võib sisaldada hulga tervisekahjustusi põhjustavaid saasteaineid, mis võivad sinna sattuda nii sise- kui ka väliskeskkonnast. Sisekeskkonnast pärit saasteallikad võivad olla ehitus- ja sisustusmaterjalid, niiskuskahjustustega ehituskonstruksioonid, tehnilised seadmed (ventilatsioon), lemmikloomad, inimtegevus (näiteks toiduvalmistamine, koristamine jne). Väliskeskkonna saasteallikateks võivad muuhulgas olla nii tööstus, liiklus kui ka pinnas. (Siseõhk, 2016)

Siseõhu kvaliteeti mõjutavaid tegureid võib jagada:

- füüsikalised mõjurid nagu õhutemperatuur, õhuniiskus, õhu liikumiskiirus, õhu ionisatsioon, müra, vibratsioon, kiirgus jne;
- keemilised mõjurid nagu CO₂ kontsentratsioon, teiste kahjulike gaaside ja aerosoolide kogus ja kontsentratsioon õhus ning ka seal levivad ebameeldivad lõhnad, üldine õhu koostis;
- bioloogilised mõjurid nagu viirused, bakterid, seente eosed, õietolm ja tolmukestad. (Laht, 2010, 7)

Siseõhu saasteained võivad pärineda erinevatest allikatest, mida üldiselt võib jagada:

- hoone elanike tegevusest tulenevad allikad (kütmine, toidu valmistamine, suitsetamine);
- bioloogilised allikad (nt tolmukestad, allergeenid, mikroorganismid nagu bakterid ja seened);
- ehitus- ja viimistlusmaterjalid (lenduvad orgaanilised ühendid, formaldehüüdid, asbest jms);
- välisõhu saasteained (benseen, CO, plii, lämmastikoksiidid, õhus lenduvad peened osakesed, vääveldioksiid, lenduvad orgaanilised ühendid, osoon jms).

Välisõhu osatähtsus ruumiõhu saastamisel on suurem linnades, eriti tiheda liiklusega tänava ääres ja tööstuspiirkondade läheduses (Abel & Voll, 2010, 42–46; Tuulik jt, 2015, 15).

Uuringud on näidanud, et õpperuumide siseõhu kvaliteeti mõjutavad peamiselt mikrokliimanäitajad (õhutemperatuur, õhuniiskus) ja CO₂ sisaldus (Tuulik jt, 2015, 15).

Õhutemperatuuri peetakse üheks olulisemaks parameetriks, kuna see mõjutab otseselt inimeste mugavustunnet. Ruumi temperatuur ei tohi olla ei liiga madal ega liiga kõrge. Inimese jaoks on optimaalne temperatuur siseruumides 22–25 °C. Koolides on õpperuumide minimaalseks õhutemperatuuriks kehtestatud 19 °C (Tervisekaitseõuded, 2013). Tööviljakus on otseses seoses temperatuuriga, temperatuuri tõustes hakkavad vaimne ja füüsiline teovõime langema. On leitud, et parim temperatuurivahemik vaimse töö tegemiseks on 21–22 °C (Kurnitski jt, 2015, 17; Seppänen & Seppänen, 1998, 15; Tuulik jt, 2015, 16).

Suhtelise õhuniiskuse all mõistetakse õhus oleva ja õhu temperatuurile vastava küllastava veeauru rõhu suhet, mida on väljendatud protsentides. Õpperuumi siseõhu optimaalne suhteline õhuniiskus peab olema vahemikus 40–60%. Talvel võib nädala keskmine suhteline õhuniiskus langeda 25%-ni ja suvel tõusta 70%-ni (Tervisekaitseõuded, 2013). Kõrge niiskusesisaldusega ruumides esineb rohkem hallitusseeni ja niisugustes ruumides viibijail suureneb oht haigestuda ülemiste hingamisteede haigustesse. Ohtlik on ka liiga madal õhuniiskus (alla 25%), mis võib tekitada limaskestade ärritust (nt ebameeldivat kuivustunnet silmades, ninas, kurgus ja suus). Samuti suurendab madal suhteline õhuniiskus õhu tolmumist, paberi ja tekstiilikiudude eraldumist ning soodustab staatilise elektri teket (Kurnitski jt, 2015, 15).

Põhiline siseõhu saastaja on süsinikdioksiid ehk CO₂ – lõhnatu ja värvitu gaas. Siseruumides on CO₂ peamiseks tekkeallikaks inimene, kelle väljahingatud õhus on seda umbes 4%, välisõhus seevastu vaid 0,04–0,045% ehk ligikaudu sada korda vähem (Abel & Voll, 2010, 41, 49). Ruumi õhu CO₂ sisaldust kasutatakse õhukvaliteedi hindamiseks: kui ventilatsioon tagab normikohase CO₂ sisalduse, on sellega tagatud ka muude lisandite sisalduse mahtumine normi piiresse. Samas ei ole senini selge, missugune CO₂ tase võib tervisehäireid põhjustada. Küll aga näitab kõrge CO₂ sisaldus, et ruumi ventilatsioon ei ole piisav (Seppänen & Seppänen, 1998, 27).

CO₂ kontsentratsiooni mõõdetakse ppm-ides (*parts per million*). See tähendab, et vaadeldavas ruumis on miljoni osakese kohta nii mitu osakest (Angelstok, 2006, 4).

Eestis puudub praegu veel seadusandlus, mis määraks kindlaks elamute ja avalike hoonete siseõhu keemiliste ainete lubatud sisaldused. Küll aga on Vabariigi Valitsus kehtestanud tervisekaitseõuded koolieelsete lasteasutuste ja koolide sisekliimale. Sellele vastavalt on CO₂ kontsentratsiooni lubatud tase haridusasutuste siseruumides, sealhulgas õpperuumides, 1000 ppm-i (Tervisekaitseõuded, 2011; Tervisekaitseõuded, 2013). Nimetatud taset ületades hakkab vähenema ruumisviibijate keskendumis- ja tegevusvõime, mistõttu õppimise ja töötamise produktiivsus langeb.

1.2 Ventilatsiooni tüübid ja tööpõhimõtted

Peaaegu kõiki sisekliimat mõjutavaid tegureid saab parandada ventilatsioonisüsteemidega. Ventilatsioon on reguleeritav õhuvahetus ruumides, mille ülesanne on tagada inimestele sobiv keskkond, samuti ka seadmetele, hoonetarinditele, materjalidele, saadustele ning tehnoloogiliste protsesside nõuetele vastav keskkond (Angelstok, 2006, 4). Ruumide ventileerimiseks on olemas erinevaid süsteeme, mida kasutatakse vastavalt vajadusele ja võimalusele.

Ventilatsioonisüsteeme kirjeldatakse järgnevatel terminite kaudu (Angelstok, 2006, 18):

Välisõhk – vaadeldavast ruumist väljapoole jääv õhukeskkond. Tavaliselt mõeldakse selle all õues olevat õhku.

Ruumiõhk – vaadeldavas ruumis olev õhukeskkond. Seda mõistet kasutatakse tavaliselt majasisese toaõhu kirjeldamiseks.

Sissepuhkeõhk – õhk, mis juhatakse ruumi läbi selleks ettenähtud süsteemide, mitte ei sisene sinna lekkekohtade kaudu. Õhu sissepuhet võib korraldada nii loomulikult kui ka mehaaniliselt.

Väljatõmbeõhk – loomulikult või mehaaniliselt ruumist selleks ette nähtud süsteemi kaudu eemaldatav õhk.

Siirdeõhk – avade, uste või lekkekohtade kaudu ühest ruumist teise liikuv õhk.

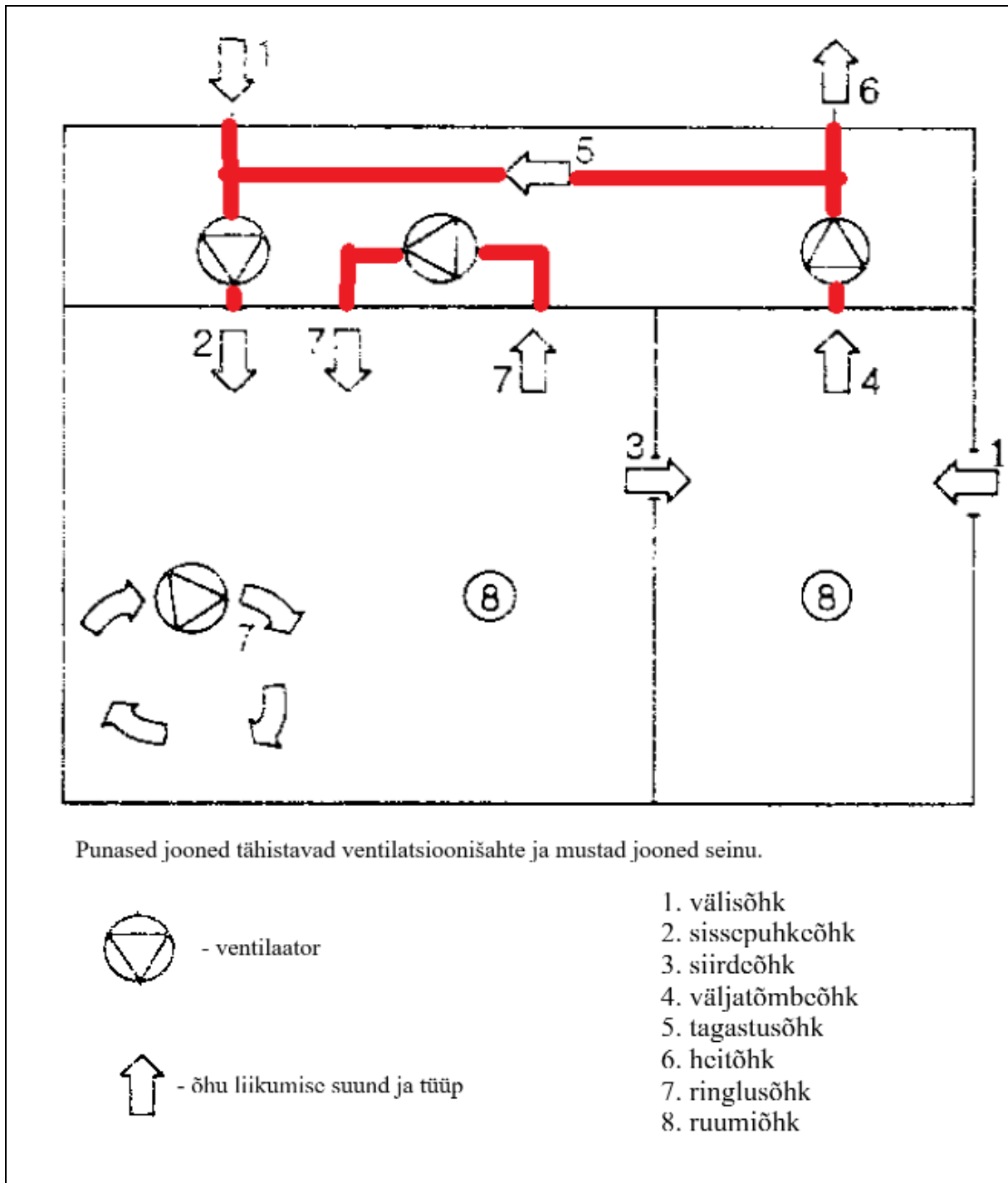
Tagastusõhk – sissepuhkeõhu alaliik, mille korral osa väljatõmmatavast õhust suunatakse ruumi tagasi. Lisaks tagastatud siseõhule peab ruumi ka veel ventileerima välisõhuga, muidu oleks tegu lihtsalt siirdeõhuga. Seda ventileerimisviisi kasutatakse tavaliselt väljatõmbeõhuga kaduma läinud soojuse tagastamiseks siseruumidesse.

Heitõhk – õhk, mis on ruumist või mingist piirkonnast eemaldatud.

Ringlusõhk – ainult ruumi piires liikuv õhk, mida kasutatakse peamiselt ruumi kütmiseks või jahutamiseks.

Filtratsioonõhk – siseõhu ja välisõhu vaheliste lekkekohtade kaudu liikuv õhk. See toimib peamiselt tuule või temperatuurierinevuste kaudu.

Loetletud terminid on kujutatud joonisel 1.



Joonis 1. Ventilatsioonisüsteemi terminid (Angelstok, 2006: 18)

Tavaliselt kasutatakse ventilatsioonisüsteemi töö efektiivsuse ja õhukvaliteedi kirjeldamiseks CO₂ kontsentratsiooni ruumides. Teiste kahjulike gaaside kontsentratsioon siseõhus on enamasti proportsionaalne CO₂ kontsentratsiooniga. Kuna kahjulikke gaase on väga palju erinevaid ja nad on normaaltingimustes väga väikese kontsentratsiooniga, siis neid eraldi välja ei tooda.

1.2.1 Loomulik ventilatsioon

Loomulikus ventilatsioonisüsteemis toimub õhuvahetus õhu tiheduste vahe ja/või tuule toimel ilma sundliikumise komponentideta lekkekohtade ja/või avade kaudu. Eramutes on peamised lekkekohad halvasti tihendatud aknad ja siseruumidesse viivad ukсед. Niimoodi on võimalik saavutada täielikku ruumiõhu vahetust 0,5–1 kord tunnis. Loomulikku ventilatsiooni kasutatakse tavaliselt siis, kui on vaja saavutada kehtestatud normide piiridesse jääv õhu kvaliteet ruumides, milles käib vähe inimesi või kus on tagatud suur ruumala ühe inimese kohta. Selleks on tavaliselt elamud, trepikojad, laoruumid jne (Angelstok, 2006, 24, 39).

Loomuliku ventilatsiooni korral on ventileeritavad ruumid ühendatud välisõhuga õhukanalite võrgu kaudu, mille abil eemaldatakse saastunud õhk, ehk tegemist on väljatõmbega. See töötab konvektsiooni mõjul, st et soojem, hõredam siseõhk asendub külmem ja tihedama välisõhuga raskusjõu toimel. Seega töötab selline väljatõmbesüsteem vaid siis, kui välisõhk on külmem kui siseõhk (Angelstok, 2006, 24, 39).

Sissepuhe on tavaliselt korraldatud sise- ja välisõhku eraldava konstruktsiooni ebatiheduste kaudu. Õhuvahetus toimub tänu temperatuurierinevustest ja tuulest tingitud õhurõhkude erinevustele, seega saab sissepuhke intensiivsus reguleerida vaadeldava ruumi õhutiheduse muutmisega. Mida tihedamad on ruumi seinad ja nendes olevad avad (nt aknad, ukсед), seda vähem õhuvahetust toimub.

Kirjeldatud süsteeme kasutatakse sageli elamutes. Need süsteemid ei nõua peaaegu mingit hooldust ega lisakulutusi näiteks elektrile, et ventilaatoreid käivitada ja töös hoida. Loomuliku ventilatsiooni puudus on see, et sissetõmbeõhu ja väljatõmbeõhu kogused ei ole muutlikule olukorrale vastavalt seadistatavad ning see võib põhjustada õhukvaliteedi languse kehtestatud piirnormidest madalamaks, kuna ruumist saab väljuda ainult nii palju saastunud siseõhku, kui samaaegselt asendub läbi ruumi ebatiheduste. Ka puudub loomuliku ventilatsiooni puhul soojatagastus, mis tähendab, et loomulik ventilatsioon suurendab soojakadu rohkem kui soojatagastusega mehaaniline ventilatsioon (Angelstok, 2006, 24, 39).

1.2.2 Mehaaniline ventilatsioon

Mehaanilist ventilatsiooni kasutatakse siis, kui loomulik ventilatsioon ei suuda tagada ruumi piisavat õhuvahetust. Seda tehakse tehniliselt, kasutades õhu sundliikumise komponente, näiteks ventilaatoreid. Tavaliselt koosneb mehaaniline ventilatsioonisüsteem nii sissepuhkesüsteemist kui ka väljatõmbesüsteemist, erandjuhtudel on mehaaniline ventilatsioon ehitatud neist ainult ühega. Kui kasutatakse ainult sissepuhkesüsteemi, peavad leiduma ka avad, mille kaudu saastunud õhk saab ruumist väljuda. Ainult väljatõmbesüsteemi korral peab olema tagatud puhta õhu juurdevool ruumi. Nende nõuete

täitamata jätmisel võib mehaanilise sundsissepuhkega või -väljatõmbega ruum sattuda vastavalt ülerõhu või alarõhu alla ja soovitud õhuvahetust ei toimu (Angelstok, 2006, 43).

Mehaanilised sissepuhkesüsteemid koosnevad üldjuhul õhu sissetõmbeavadest, ventilaatorist, õhutorustikust, filtritest, mürasummutitest, õhu jaotus- ja reguleerimisseadmetest. Sinna võivad veel lisanduda õhu soojendus- ja niisutusseadmed, et muuta toaõhust külmemat ja kuivemat välisõhku toaõhuga sarnasemaks. Mehaanilised väljatõmbesüsteemid koosnevad tavaliselt ventilaatorist, õhutorustikust, väljatõmbeavadest ja mürasummutitest. Kui siseruumist eemaldatav õhk on välisõhust rohkem saastunud, kasutatakse ka õhupuhastusseadmeid, peamiselt võib neid näha tööstuskeskkonnas (Angelstok, 2006, 43).

Välisõhu sissetõmbeavad paigutatakse üldjuhul maast vähemalt kahe meetri kõrgusele või kui õhku võetakse haljasalalt, mitte tänavalt, siis ühe meetri kõrgusele, et tagada õhu puhtus seeläbi, et õhku tõmmatakse hoonesse atmosfääri kõige vähem saastunud tsoonist. Õhuava ei tohi sisse tõmmata heitõhku ega kahjulikke või ebameeldiva lõhnaga gaase. Väljatõmbeavad planeeritakse õhu sissetõmbeavadest kõrgemale, sest kahjulike gaasidega saastunud õhk kipub olema saastumata õhust kergem ja mida kõrgemal on ava, seda tugevam tuul sellele tavaliselt mõjub. Tuul omakorda kannab saasteained hoonest eemale. Hoone sees paigutatakse õhu sissepuhkeavad tavaliselt ruumi ülemisse ossa, sest ventilatsioonitorud jooksevad üldjuhul lagede ja järgmiste korruste põrandate vahel ning siis ei põhjusta avast väljuv õhk ruumisolijatele ebameeldivustunnet. Õhuavade planeerimisel peab arvestama nende sobivust interjööri ja jälgima, et neid teiste ruumis olevate seadmetega ei blokeeritaks. Ventilatsiooniavade katted ei tohiks takistada õhuvoolu ning avadest väljuvat õhuhulka peaks saama reguleerida (Angelstok, 2006, 43).

1.3 Varasemad teemakohased uuringud Eestis

Õpilaste koduste õpperuumide õhukvaliteeti ei ole mulle teadaolevalt uuritud. Küll aga on sisekliima kvaliteedi uuringuid tehtud korduvalt koolides. Terviseameti järelevalve all on kõik koolid – iga-aastaselt kontrollitakse ligikaudu 50% koolidest. 2012. aastal oli järelevalve all 585 kooli, millest kontrolliti 297 ning ilmnas, et 19% õpilastest viibis ebapiisava ventilatsiooniga koolihoonetes (Tuulik, 2015, 14).

Keskkonnatervise uuringute keskus viis koostöös Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ-ga 2014. aasta sügisel kaheksas Tallinna üldhariduskoolis läbi siseõhu kvaliteedi uuringu. Ühe kooli kahes klassiruumis (kokku valimis 16 klassiruumi) mõõdeti CO₂ taset, õhuniiskust ja -temperatuuri. Uuringusse kaasati nii soojustatud kui soojustamata koolimajad. Lisaks vaadeldi, kas kooli asukoht (kõrge liiklustihedusega maantee lähedus või roheala) avaldub

mõõtmistulemustes. Uuringust selgus, et vaid 7 klassis 16-st jäid CO₂ tasemed lubatud piiridesse. Nendest 7 klassist 3 asusid soojustamata koolimajas (loomuliku ventilatsiooniga), kolm koolis, kus on mehaaniline ventilatsioon ja üks kõrge liiklustihedusega teest kaugemal. Mõõtmistulemuste põhjal võis väita, et uuringus osalenud koolidest enamik ei ole ventilatsioon piisav. Üldiselt oli CO₂ tase kõrgem soojustatud klassiruumides, samuti kõrgema temperatuuriga ruumides ja hoonetes, mis asusid kõrge liiklustihedusega maantee läheduses (Tuulik, 2015, 10).

2015. aastal uuris ja hindas Terviseamet siseõhu kvaliteeti 2013–2015. aastal ehitatud koolides ja lasteaedades. Selleks uuriti hoonete sisekeskkonda, hinnati katseliselt niiskuse, temperatuuri, CO₂ ning teatud keemiliste saasteainete sisaldust ruumide siseõhus ning selgitati välja õpilaste rahulolu kooli siseõhu kvaliteediga. Uuringusse kaasati 11 kooli ja neli lasteaeda. Mõõtmistulemused näitasid, et 12% uuritud klassiruumides ületas CO₂ tase lubatud piirmäära, milleks on 1000 ppm. Lasteaedades oli olukord parem, CO₂ tase jäi uuritud ruumides lubatud piiridesse. Samas halvendasid sageli õhu kvaliteeti viimistlusmaterjalidest õhku erituvad erinevad keemilised ühendid (Sillamaa, 2016).

Mujal maailmas tehtud uuringud näitavad, et temperatuurist, ventilatsioonist ja süsihappegaasist tulenevad ebasobivad keskkonnatingimused (klassiruumi temperatuur üle 20–22 °C ja süsihappegaasi tase üle 1000 ppm) võivad vähendada õpilaste õppeedukust kuni 30%. Tõhusamaks õppimiseks on vaja madalat CO₂ kontsentratsiooni. Selle saavutamiseks tuleb tähelepanu pöörata ventilatsioonisüsteemi tööle. Õpitulemus väheneb, kui ventilatsiooni määr on väiksem kui 8 l/s inimese kohta. Seevastu õhuvahetuse kahekordistamine vähendab haigestumist ja haiguse tõttu puudumist ligikaudu 10% (Kurnitski jt, 2015, 19–21).

2. CO₂ KONTSESTRATSIOONI MÕÕTMISED GÜMNASISTIDE KODUSTES ÖPPERUUMIDES

2.1 Mõõtmiste metoodika

Kasutasin kvantitatiivset uurimismeetodit ja mugavusvalimit ehk kaasasin uuringusse need Tartu Jaan Poska Gümnaasiumi õpilased, kes elavad Tartu linnas ja olid valmis minuga koostööd tegema. Mõõtmised viisin läbi ajavahemikus 14. november 2017 kuni 12. veebruar 2018. Tegin 20 mõõtmist erinevates ruumides/majades. Läksin varem kokkulepitud ajal pärast koolitundide lõppu koos mõõtevahenditega gümnaasistide juurde koju. Kohapeal täitsin ära infolehe, millele kandsin andmed uuritava ruumi ja seal elavate isikute kohta: hoone tüüp, ehitusaasta, toa ruumala, uste ja akende arv, ventilatsioonisüsteemi olemasolu, ruumis elavate isikute arv ja nende mass (vt lisa 1). Seejärel seadsin tuppa üles CO₂ kontsentratsiooni ja ruumi temperatuuri mõõtmise anduri Delta OHM HD45, mille ühendasin sülearvutiga (vt joonis 2). Anduri paigutasin võimalikult toa keskele ja toas istuva inimese pea kõrgusele, kuna suurema osa ajast siseruumides veedavad inimesed istudes. Seejuures jälgisin, et toasviibija ei saaks andurile peale hingata, sest see oleks mõõtetulemusi märgatavalt muutnud. Toasviibijal palusin oma toas toimetada samamoodi nagu tavaliselt, pööramata tähelepanu mõõteseadmele, avades ka uksi ja aknaid vastavalt soovile.



Joonis 2. Andur Delta OHM HD45

Pärast parameetrite lehe täitmist ja anduri ülesseadmist, lahkusin vaadeldavast ruumist ning tuln tagasi kokkulepitud ajaks. Arvestatava tulemuse saamiseks jätsin mõõteriista tööle vähemalt kaheks tunniks. Andur salvestas mõõtmistulemusi vieminutilise intervalliga. Uuritavasse õpperuumi naastes täiendasin vajadusel parameetrite lehte, lisasin mõõtmise lõpukellaaja ja laadisin anduri mõõtetulemused sülearvutisse. Andsin toas viibija(te)le ka ülevaate mõõtmistulemustest ja vajadusel selgitasin, kuidas oleks võimalik parandada nende õpperuumi õhukvaliteeti.

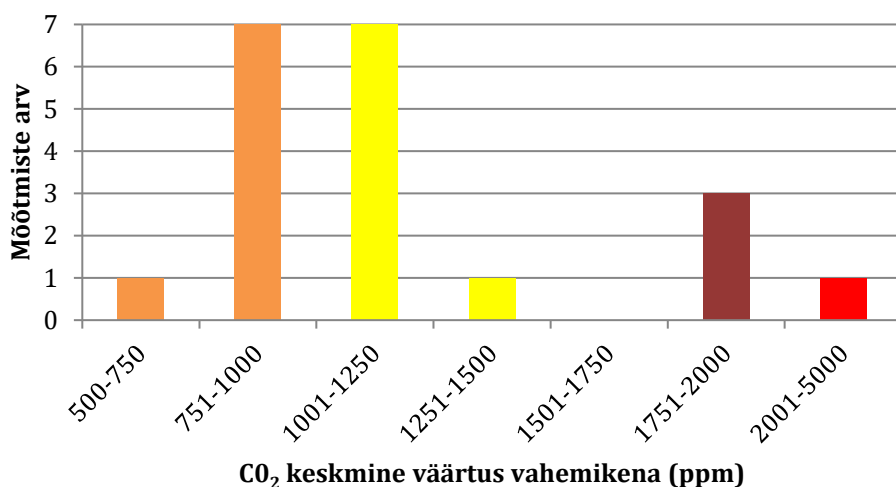
2.2 Mõõtmistulemuste analüüs ja järeldused

Mõõtmistulemuste analüüsimiseks kandsin mõõteandurisse salvestunud andmed üle arvutisse ja kasutasin seejärel programmi Microsoft Office Excel.

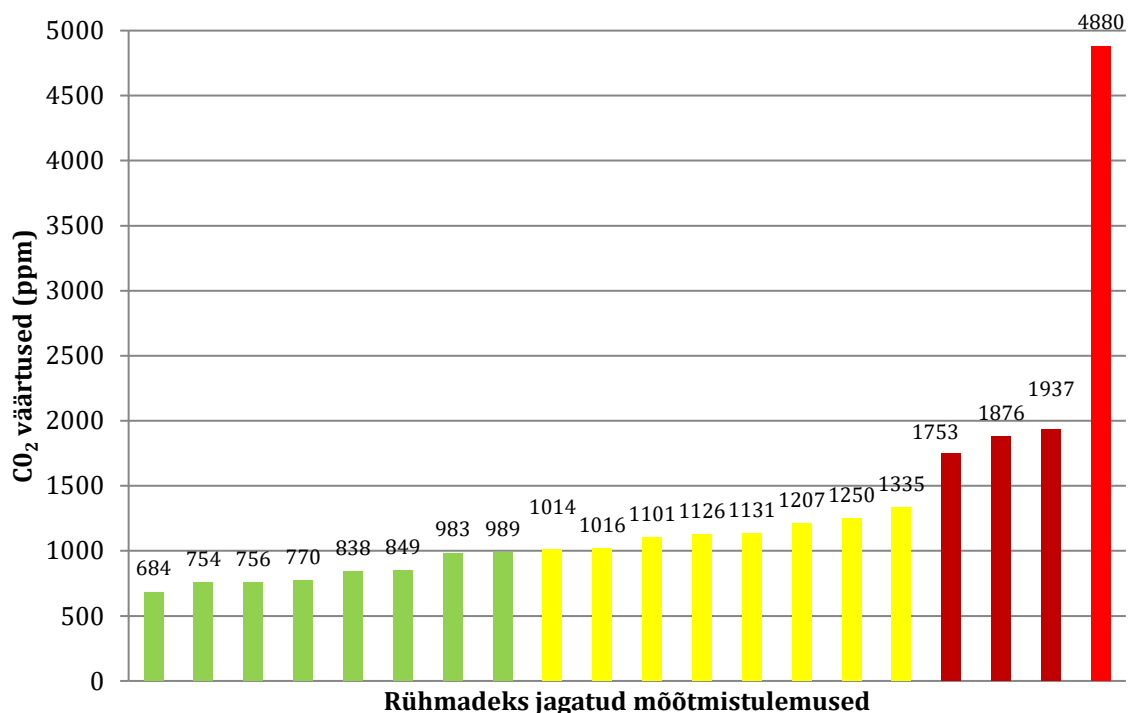
Mõõdetud ruumides elas üksi 14 gümnasisti, ruumi jagati kas ühe perekonnaliikme või koolikaaslasega viiel korral. Ühel juhul elati toas aga neljakesi.

2.2.1 CO₂ sisaldus õpilaste tubades

Mõõtmistulemuste põhjal oli madalaim keskmine CO₂ sisaldus õpilaste tubades 684 ppm-i ja kõrgeim keskmine CO₂ sisaldus 4880 ppm-i. Kaheksa õpilase toas jäi CO₂ keskmine sisaldus alla 1000 ppm-i (vahemikku 684–989 ppm-i). Kahe õpilase toas võib CO₂ keskmist sisaldust lugeda piiripealseks – 1014 ja 1016 ppm-i. Ülejäänud kümne mõõtmise korral ehk pooltel juhtudest ületas CO₂ keskmine sisaldus aga lubatud määra. Kuuel korral jäi see vahemikku 1100–1335 ppm-i, kolmel korral vahemikku 1753–1937 ppm-i ning ühe mõõtmise puhul ületas CO₂ keskmine sisaldus lubatud normi ligi viiekordselt, ulatudes 4880 ppm-ni. (Vt joonised 3 ja 4.)



Joonis 3. CO₂ keskmine sisaldus gümnasistide kodustes õpperuumides suuruse järgi klassidesse jaotatult

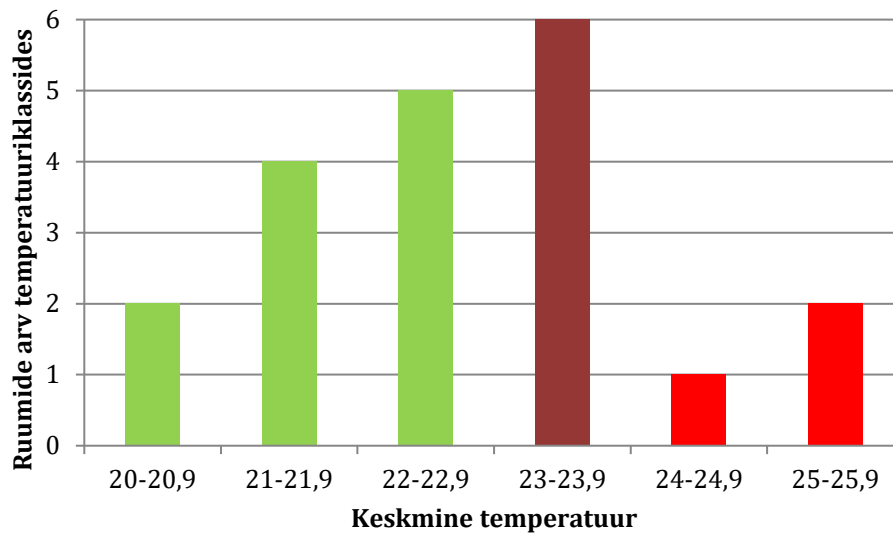


Joonis 4. CO₂ keskmine sisaldus gümnasistide kodustes õpperuumides kõikide mõõtmiste korral eraldi (proovid on x-teljel järjestatud mõõtmistulemuste alusel)

Analüüsisin ka seda, kui kiiresti CO₂ tase ruumis muutus. Selleks arvutasin välja CO₂ näitude vahe iga viie minuti tagant ning võtsin nendest keskmise. Selgus, et kõige väiksem CO₂ kontsentratsioon keskmine muutus terve mõõtmise käigus (ehk CO₂ kontsentratsiooni keskmine amplituud) oli 131 ppm ja kõige suurem 1366 ppm. Seejuures toimus vaadeldaval perioodil üle pooltel juhtudel CO₂ väärtuste märkimisväärne üles-alla kõikumine.

2.2.2 Keskmine ruumitemperatuur

Järgnevalt analüüsisin keskmist temperatuuri tubades. Teooriale tuginedes on soodsaim temperatuur õppetegevuseks 20–22 °C (Kurnitski jt, 2015, 17; Seppänen & Seppänen, 1998, 15; Tuulik jt, 2015, 16). Madalaim keskmine temperatuur oli 20,6 °C, kõrgeim 25,6 °C. Õppetegevuseks soovitatud temperatuurivahemikku 20-22 °C jäi kuue õpilase tuba, ülejäänud 14 õpilasel oli koduses õpperuumis temperatuur soovitatud tasemest kõrgem (vt joonis 5). Vaatasin tehtud mõõtmiste põhjal ruumi temperatuuri minimaalset ja maksimaalset kõikumist, mis olid vastavalt 0,3 °C ja 5,5 °C. Seejuures esines temperatuuri üles-alla kõikumist vaid neljal korral, ülejäänud 16 juhul muutus temperatuur ühtlaselt ühes suunas – 14 korral tõusis ja kahel korral langes vähesel määral (vastavalt 0,3 °C ja 0,3 °C võrra).



Joonis 5. Keskmine temperatuur gümnaasistide tubades

Eeldasin, et keskmine CO₂ kontsentratsioon ja keskmine temperatuur on omavahel seotud, kuna osad õpilased on harjunud avama oma õpperuumis aknaid ning õhutusest tuleneva CO₂ kontsentratsiooni langusega kaasneb tavaliselt ka temperatuuri langus (aastaajast tingituna oli välisõhk külmem kui siseõhk). Korrelatsioonianalüüsist programmiga Microsoft Excel aga selgus, et statistiliselt olulist (korrelatsioonikordaja pidi olema vähemalt 0,3) seost keskmise CO₂ kontsentratsiooni ja keskmise temperatuuri vahel siiski ei olnud. CO₂ ja temperatuuri mõõtmisgraafikud on ära toodud lisas 2.

2.2.3 Inimeste arvu ja toa ruumala suhe

Üks oluline CO₂ kontsentratsiooni mõjutav tegur on ruumis viibivate inimeste arvu ja toa ruumala suhe. Mida suurem on inimeste kogumass, seda rohkem nad CO₂ välja hingavad. Suuremat kasvu ja/või suurema kehakaaluga inimene toodab rohkem CO₂ kui väiksem ja kergem inimene. Liites kokku kõigi ruumis tavaliselt elavate ja seal mõõtmise ajal ka viibinud inimeste massid, sain arvu, mis näitab biomassi suurust toas (kilogrammides). Jagades biomassi (kg) toa ruumalaga (m³), sain biomassi kilogrammides toa ühe kuupmeetri kohta (kg/m³) ehk biomassi kontsentratsiooni toas. Minu hüpotees oli, et mida rohkem on toas ühe ruumalaühiku kohta inimesi (ehk mida suurem on biomassi kontsentratsioon), seda suurem on keskmine CO₂ tase ja selle muutumise keskmine amplituud. Korrelatsioonianalüüs näitas, et hüpotees pidas paika: seos oli mõlemal juhul statistiliselt oluline (vastavalt 0,7267 ja 0,5287).

2.2.4 Hoone tüüp, ehitusaasta ja ruumi õhutihedus

Järgnevalt huvitas mind, kuidas mõjutab õhu kvaliteeti hoone tüüp (eramaja või korterelamu), ehitusaasta ja ruumi õhutihedus.

Mõõtmisi käisin tegemas üheksas eramajas ja üheteistkümnes korteris. Jagasin hooned ehitusaasta järgi nelja rühma: 2013–2015 ehitatud ehk uusarendused (3 hoonet), ajavahemikus 1995–2007 ehk eelmise ehitusbuumi ajal valminud (4 hoonet), aastatel 1970–1990 ehk hilisemal nõukogude perioodil ehitatud (7 hoonet) ja enne 1970. aastat (1836–1953) valminud elamud (6 hoonet). Valdavalt oli tegemist kivihoonetega (16 elamut), puithooneid oli 4. Viimasesse kahte rühma jäävast 13 majast või korterist oli sellel sajandil renoveeritud kaheksa.

Keskmine CO₂ kontsentratsioon jäi eramajades alla nõutud piirnormi (1000 ppm-i) või selle lähedale viiel juhul üheksast (56%), suurim CO₂ kontsentratsioon oli eramajade korral 1876 ppm. Kortertes jäi keskmine CO₂ kontsentratsioon piirnormidesse või nende lähedale viiel juhul üheteistkümnest (45%), suurim keskmine CO₂ kontsentratsioon oli 4880 ppm. Eramajade keskmiste CO₂ kontsentratsioonide keskmiseks tuli 1049 ppm-i, kortertes aga 1528 ppm-i. See näitab, et kortertes kipub olema halvem õhukvaliteet kui eramajades. Niisugune asjaolu võib olla tingitud sellest, et eramajad olid peamiselt ehitatud 21. sajandi alguses või 20. sajandi lõpus, mistõttu oli juba nende planeerimisel arvestatud ventilatsiooni ja tubade õhutamisega. Vanemates, renoveeritud ja ka renoveerimata kortertes, ei oldud ventilatsioonile enamasti tähelepanu pööratud.

Enamikel hoonetel (16 hoonel ehk 80%-l) olid tihedad pakettaknad koos tihendiga, läbi mille loomulikku ventilatsiooni ei toimu. Puitaknad olid ühes uusarenduses ja kolmes enne 1970. aastat ehitatud majas, millest kaks oli 21. sajandil ja üks 20. sajandi lõpus renoveeritud. Uksed olid kõikides hoonetes puidust. Neist tihedaid (spetsiaalse tihendiga tihendatud või hästi tihedate piitadega) oli 7 juhul (35%). Ülejäänud uksed (13 ruumil) olid ebatihedad ja läbi uksepragude toimus loomulik ventilatsioon. Tihedad uksed on peamiselt hiljuti, 21. sajandil renoveeritud, majadel ja kolmel uusarendusel, ühel ehitusbuumi ajal ehitatud, ühel hilisemal nõukogude perioodil ehitatud ja ka kahel enne nõukogude aega ehitatud majal.

Soovisin teada saada, kas ruumi õhutihedus ja CO₂ kontsentratsiooni keskmine amplituud (ehk iga viie minuti järel mõõdetud muutuse keskmine suurus) on omavahelises sõltuvuses. Mõõtmisandmeid analüüsides mul otsest seost leida ei õnnestunud. Põhjuseks oli ilmselt see, et vaatamata tihedatele ustele ja akendele, ei saa neid ruume lugeda absoluutselt tihedaks, kuna kõigis neis avati aeg-ajalt uksi-aknaid.

2.2.5 Ventilatsioonisüsteemi olemasolu

Ventilatsioonisüsteem oli paigaldatud 7 ruumi 20st (35%), millest kolm olid uusarendustes, kaks viimase ehitusbuumi ajal ehitatud majas ja kaks enne nõukogude aega valminud, kuid 21. sajandil renoveeritud, hoones. Mehaaniline ventilatsioon oli olemas neljal, loomulik ventilatsioon kolmel juhul. Seejuures oli mehaanilisel ventilatsioonil kõigil neljal juhul olemas

mehaaniline väljatõmme, ent mehaaniline sissepuhe oli vaid ühel korral. Ülejäänud juhtudel kasutati õhu loomulikku sissevoolu selleks ettenähtud avadest.

Loomuliku ventilatsiooni korral oli sissepuhkeks toa välisseina ülemises osas asuv lihtne ventilatsiooniava, mille kaudu toimus õhuvahetus. Loomulikku väljatõmmet ei esinenud. Keskmine CO₂ kontsentratsioon oli ventilatsioonisüsteemidega varustatud ruumide korral viiel juhul seitsmest (71%) alla piirnormi (1000 ppm) või sellele väga lähedal (1016 ppm). Kõige kõrgem keskmine CO₂ kontsentratsioon oli ventilatsioonisüsteemiga varustatud ruumis 1126 ppm, mis on küll üle soovitusliku piiri, kuid veel toasviibijaid oluliselt ei mõjuta. Seega parandas ventilatsioonisüsteemi olemasolu ruumi õhukvaliteeti tuntuvalt ning CO₂ kontsentratsioon oli valdavalt madal.

Üldiselt oli siseõhu kvaliteet parim uusarendustes, milles suurim keskmine CO₂ kontsentratsioon oli 989 ppm-i, ning ehitusbuumi ajal valminud majades, mille suurim keskmine CO₂ kontsentratsioon oli 1126 ppm-i. Nendest hoonetest 7st 6s (86%) jäid mõõtmistulemused soovitatud normi piiridesse ja ka 7. hoones olid tulemused vaid napilt üle piirmäära. See tuleneb ilmselt asjaolust, et viimasel ajal ehitatud majadesse on planeeritud korralikud ja nõuetele vastavad ventilatsioonisüsteemid või ventileerimise võimalused. Ventilatsioonisüsteem oli olemas 7 majast 5s.

Problemaatilisemaks osutusid nõukogude ajal ja enne nõukogude aega ehitatud majad. Nõukogude ajal ehitatud majades oli CO₂ kontsentratsioon normi piires vaid ühel juhul seitsmest (14%), suurim keskmine CO₂ kontsentratsioon oli 1937 ppm. Kuigi vaadeldud ruumidest oldi viit 21. sajandil renoveeritud, ei oldud seal pandud erilist rõhku ventilatsioonile, mitte üheski kõnealustest majadest polnud ventilatsioonisüsteemi. Enne nõukogude aega ehitatud majades oli üldine siseõhu olukord natuke parem kui nõukogude ajal valminud hoonetes. Kuuest vaadeldud ruumist oli piirnormidele vastav keskmine CO₂ kontsentratsioon kolmel juhul (50%) alla piirmäära. Samas saavutati ühes hoones suurimaks keskmiseks CO₂ kontsentratsiooniks rekordiline 4880 ppm-i, mis ületab lubatud piirmäära ligi viiekordselt. Kahel juhul oli neis majades olemas ka ventilatsioonisüsteem. Kolme hoonet oli renoveeritud 21. sajandil ja ühte 20. sajandil. Kokkuvõtvalt võib öelda, et uuritud vanemate majade puhul eriti üldistusi teha ei saa, kuna kõik majad on ehitatud väga erinevatel aegadel, samuti on neid renoveeritud erinevatel aegadel kui üldse, ning renoveerimisel pole järgitud sarnaseid standardeid.

2.2.6 Uste ja akende avamine

Uksi ja aknaid lugesin lahtisteks siis, kui kas või üks toas olevatest udest või akendest oli natuke praakil või avatud õhutusavaga. Kinnise ukse taga õpiti kaheksal juhul (40%). Neist pooltel juhtudel ületas keskmine CO₂ tase lubatud määra. Ülejäänud nelja ruumi keskmist

CO₂ taset aitas alla piirmäära (1000 ppm-i) tõenäoliselt hoida see, et aeg-ajalt avati aken. Gümnasistide küsitlemisel ütlesid mõned, et neil on aken kogu aeg õhutusavaga lahti ning ülejäänud nentisid, et avavad aknaid, kui toa siseõhu kvaliteet põhjustab liiga kõrge temperatuuri või lämbe õhu tõttu neile ebamugavust. Need, kes oma toa ust kinni hoida tavatsesid, ütlesid, et peamine uste sulgemise põhjus on teistest tubadest kostuv õppimist segav lärm või müra.

Üldse oli aken ruumis avatud 11 korral (55%). Keskmine CO₂ kontsentratsioon jäi neist 7 juhul alla piirnormati (1000 ppm) või sellele väga lähedale (1014 ppm) (64%), 4 korral seevastu ületas tunduvalt lubatud määra. Lahtise uste korral jäädi normi piiresse või selle lähedale 5 juhul 12st (42%), ülejäänud tulemused ületasid tunduvalt soovituslikku piirnormati. Need mõõtmistulemused näitavad, et tõhusam oli akende avamine kui ukse lahti hoidmine. Niisugune tulemus on ootuspärane, kuna ka muude siseruumide õhu CO₂ sisaldus on suurem kui välisõhul ja õhutatava ruumi ukse avamisel halveneb ilma välisõhu juurdevooluta hoone siseruumides ringleva õhu ehk siirdeõhu kvaliteet tervikuna.

2.2.7 CO₂ vähima ja suurima mõõtmistulemuse analüüs

Tehtud kahekümnest mõõtmisest oli kõige väiksem keskmine CO₂ kontsentratsioon 684 ppm. Selline tulemus saadi eelmise ehitusbuumi aegses eramajas, mis oli valminud aastal 2000. Vaadeldud toa ruumala oli 49 m³, toal oli kaks ebatihedat puidust ust, mida hoiti kinni ja kaks tihedat pakettakent. Toas elas üks gümnasist ja seal ei olnud ventilatsioonisüsteemi. Sellegipoolest jäi keskmine CO₂ kontsentratsioon madalaks, kuna toasviibija õhutas tuba, mõlemad aknad olid õhutusavadega pidevalt lahti, tekitades sel viisil kahe avatud aknaga toas kerge tuuletõmbe. Suuruselt järgmine keskmine CO₂ kontsentratsioon oli 754 ppm-i, mis saavutati 2013. aastal valminud uusarenduses, kus vaadeldava toa ruumala oli 35 m³ ning ruumil oli üks tihe, tihediga puidust uks, mida hoiti lahti, ja kaks tihedat pakettakent, millel hoiti samuti pidevalt õhutusava lahti. Ruumi oli ehitatud ka ventilatsioonisüsteem, mis koosnes ühest loomulikust sissepuhke- ning ühest mehaanilisest väljatõmbeavast. Toas viibis mõõtmise ajal üks gümnasist.

Need kaks mõõtmistulemust näitavad, et ruumi siseõhu kvaliteedi tõstmiseks ei ole ühte absoluutselt õiget lahendust, vaid et kaasa mängivad erinevad tegurid, nagu ruumi suurus, tihedus, ventilatsioonisüsteem ja ruumisviibija harjumused ruumi õhutamisel. Selgub, et ventilatsioonisüsteemi pole ilmtingimata vajagi, piisab ka toa õhutamisest akende kaudu, kui sellest tulenev temperatuurilangus ei tekita ruumisolijale ebamugavusi. Kahjuks ei ole külmema ilmaga niisugune meetod külmakartlike inimeste jaoks sobiv.

Kõigi kahekümne mõõtmise korral oli kõrgeim keskmine CO₂ kontsentratsioon 4880 ppm-i. Tehnilistel põhjustel mõõdab andur CO₂ kontsentratsiooni vahemikus

0–5000 ppm-i. Maksimaalset mõõtmispiiri ületades hakkab andur mõõtetulemuste asemel väljastama veateateid. Antud mõõtmisel oligi tegemist olukorraga, kus CO₂ kontsentratsioon tõusis mõõtmise käigus üle 5000 ppm-i piiri, mistõttu ei olnud võimalik saada täpset suurimat keskmist CO₂ kontsentratsiooni. Kasutasin siinkohal konservatiivset hinnangut ja asendasin veateated väärtustega 5000 ppm-i (tegelikkuses võis see väärtus suurem olla). Sedavõrd ekstreemse mõõtmistulemuse sain 1921. aastal ehitatud puithoone korteris, mida oli viimati renoveeritud 1976. aastal. Toa ruumala oli 44 m³ ning toal oli üks puidust ebatiheda lahtine uks. Ruumil oli veel ka kaks puidust akent, mis olid soojakadude vähendamiseks kleelindiga tihedalt kinni kleebitud, mistõttu aknaid ei olnud võimalik avada. Toas oli puitküttega ahi, kuid mõõtmise ajal seda ei köetud. Mingit ventilatsioonisüsteemi toas polnud. CO₂ kontsentratsioon tõusis väga kõrgele ilmselt veel ka seepärast, et nii väikse ruumalaga toas elas kokku neli inimest, saavutades kõige suurema biomassi kontsentratsiooni kilogrammides ruumalaühiku kohta, mida ma mõõtmistel registreerisin (7,05 kg/m³). Kuna mõõtetulemused ületasid soovituslikke piire koguni viiekordselt, oli selle ruumi õhukvaliteet minu jaoks üsna vastuvõetamatu. Ruumi elanikud aga ruumi õhu üle ei kurtnud.

2.2.8 Mõõtmistulemused sugude lõikes

Üsna sageli kohtab arvamust, et naissoost isikud on õhukvaliteedi suhtes tundlikumad, mistõttu nad pööravad meessoost isikutest rohkem tähelepanu oma ruumiõhu kvaliteedile (näiteks õhutavad sagedamini tuba). Uuringusse oli kaasatud võrdne arv meessoost ja naissoost isikuid. Võrreldes omavahel mõõtmistulemusi erinevate sugude vahel, ei õnnestunud leida erinevusi CO₂ keskmise taseme ega keskmise ruumitemperatuuri osas. Samuti ei saanud tuvastada gümnasistide soost tulenevat erinevat käitumist ruumi õhutamisel või kinnise ukse taga õppimise puhul.

KOKKUVÕTE

Süsihappegaasi mõõtmistulemused näitasid, et õhukvaliteet gümnasistide kodustes õpperuumides on üsna problemaatiline. Pooltes uuritud ruumides ületas keskmine CO₂ kontsentratsioon lubatud määra (1000 ppm-i). Temperatuur jäi ainult ligikaudu kolmandikul õpilastest vaimse töö tegemiseks soovitatud vahemikku 21–22 °C. Osaliselt tulenevad sellised tulemused puudulikust ventilatsioonist õpilaste tubades – vaid vähem kui pooltes neist oli olemas ventilatsioonisüsteem. Seejuures koosnesid ventilatsioonisüsteemid enamasti õhu sissetõmbeks mõeldud avast ning vaid mõnel juhul oli olemas mehaaniline väljatõmbeava.

Õhukvaliteedi poolest osutusid kehvemaks enne 1990. aastaid ehitatud korter- ja eramajad, kus olenemata sellest, kas neis paiknevaid ruume oli hilisemal ajal renoveeritud või mitte, ei olnud ventilatsioonile tähelepanu pööratud. Siseõhu kvaliteet oli kõige parem 21. sajandi uusarendustes ja ehitusbuumi ajal valminud hoonetes, eelkõige eramajades, milles viiel juhul seitsmest oli olemas töötav ventilatsioonisüsteem.

Veidi rohkem kui pooled gümnasistidest jätsid õppimise ajal oma toa ukse lahti või avasid aeg-ajalt akna. Seejuures õhutasid oma tuba akna avamise teel ka pooled kinnise ukse taga õppivatest noortest. Samas aga ei teadvustanud paljud õpilased, kelle koduses õpperuumis oli CO₂ tase liiga kõrge, probleemi või ei olnud mõõtmistulemustest üldse huvitatudki. See võib tuleneda sellest, et inimesed ise otseselt ei taju õhu kvaliteedi halvenemist kõrge CO₂ kontsentratsiooni korral ning seetõttu ei saa aru, kuidas see nende õppimis- ja keskendumisvõimet mõjutab. Osad õpilased siiski said aru probleemi olemasolust ja lubasid proovida oma õpperuumi õhukvaliteeti parandada, pöörates senisest rohkem tähelepanu oma toa regulaarsele õhutamisele akende kaudu. Selle kohta, kas uuringusse kaasatud gümnasistid oma käitumist pärast uuringut muutsid, puudub mul informatsioon.

Edaspidi vajaks uurimist gümnasistide teadlikkus siseõhu kvaliteedi näitajatest ja siseõhu kvaliteedi mõjust vaimse töö tegemise tõhususele. Niisuguste uuringute läbiviimine ja tulemuste tutvustamine aitaks kaasa noorte terviseteadlikkuse tõstmisele ja õpitulemuste paranemisele.

ABSTRACT

This research paper has been written on the topic “Air quality in high school students’ learning rooms” by Aksel Bulavs. The aim of the research was to determine if the quality of air in students’ homes is within the limits of set regulations and it was based on the CO₂ and temperature measurements recorded in the learning rooms of the high school students of Tartu during a period from 14.11.2017 until 12.02.2018.

The first chapter of the paper describes how the quality of air is determined and gives an overview of different types of ventilation systems and their principles of operation. It will also present some results from other relevant studies conducted earlier. The second chapter of the paper describes the research methodology and analyses the collected data.

The study revealed that the air quality in high school students’ learning rooms was quite problematic: the CO₂ concentration exceeded the set limits in half of the cases and the temperature was in the recommended range for studying in only one third of homes. It was partly because most of the students’ rooms were inadequately ventilated. Many students did not acknowledge the problem in the insufficient air quality in their rooms.

The results of this survey indicate that more surveys assessing the awareness of high school students’ knowledge about air quality and its impact on their learning effectiveness need to be conducted in the future.

KASUTATUD MATERJALID

Abel, Enno & Voll, Hendrik 2010. Hoonete energiatarve ja sisekliima. Tallinn: Presshouse OÜ.

Angelstok, Feliks 2006. Ventilatsiooni alused. – Sisekaitseakadeemia. Kättesaadav: http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/17329/Ventilatsiooni_alused.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (12.11.2017).

Kurnitski, Jarek; Murdvee, Mart; Kõiv, Teet-Andrus; Teichmann, Mare 2015. Sisekliima, õpitulemus, tööviljakus. – Tallinna Tehnikaülikool. Kättesaadav: http://terviseamet.ee/fileadmin/dok/Keskkonnatervis/ohk/Sisekliima_tooviljakus.pdf (12.11.2017).

Laht, Janika 2010. Hoone sisekliima ja energiatõhusus Tartu koolide ja Valga lasteaia „Kaseke“ näitel. Kättesaadav: http://www.terviseamet.ee/fileadmin/dok/Kasulikku/Keskkonnatervis/Magtoo_sisekliima_ja_energia.pdf. (21.12.2017).

Seppänen, Olli & Seppänen, Matti 1998. Hoone sisekliima kujundamine. Tallinn: Koolibri.

Sillamaa, Kaili 2016. Uute koolide ja lasteasutuste siseõhu kvaliteet. Kättesaadav: http://www.terviseamet.ee/fileadmin/dok/Keskkonnatervis/haridus_ja_sotsiaal/Kokku_siseohu_kv_2016.pdf. (02.03.2018).

Siseõhk 2016. – Terviseamet. Kättesaadav: <http://www.terviseamet.ee/keskkonnatervis/siseohk.html>. (06.03.2018).

Tervisekaitseõuded 2011 = Tervisekaitseõuded koolieelse lasteasutuse maa-alale, hoonetele, ruumidele, sisustusele, sisekliimale ja korrashoiule 2011. – Riigi Teataja I, määrus nr 131. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/111102011003>. (05.01.2018).

Tervisekaitseõuded 2013 = Tervisekaitseõuded koolidele 2013. – Riigi Teataja I. Määrus nr 84. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/128082013010>. (05.01.2018).

Tuulik, Kaili; Harzia, Hedi; Karajeva, Gültšara; Saare, Katri; Palu, Mihkel; Vainumäe, Keio; Arumäe, Tarvo; Maasikmets, Marek 2015. Soojustatud ja soojustamata koolimajade siseõhu kvaliteedi uuring Tallinnas. Kättesaadav: http://www.terviseamet.ee/fileadmin/dok/Keskkonnatervis/ktuk/Soojustatud_ja_soojustamata_koolimajade_siseohu_kvaliteedi_uuring_Tallinnas.pdf. (11.11.2017).

LISAD

Lisa 1 Mõõtmiste infoleht

Üldised andmed uuritava ruumi ja seal elavate isikute kohta

Üldandmed

järjekorra number:		alustuskellaaeg:	
kuupäev:		lõpetuskellaaeg:	
välitemperatuur:			

ruumi parameetrid

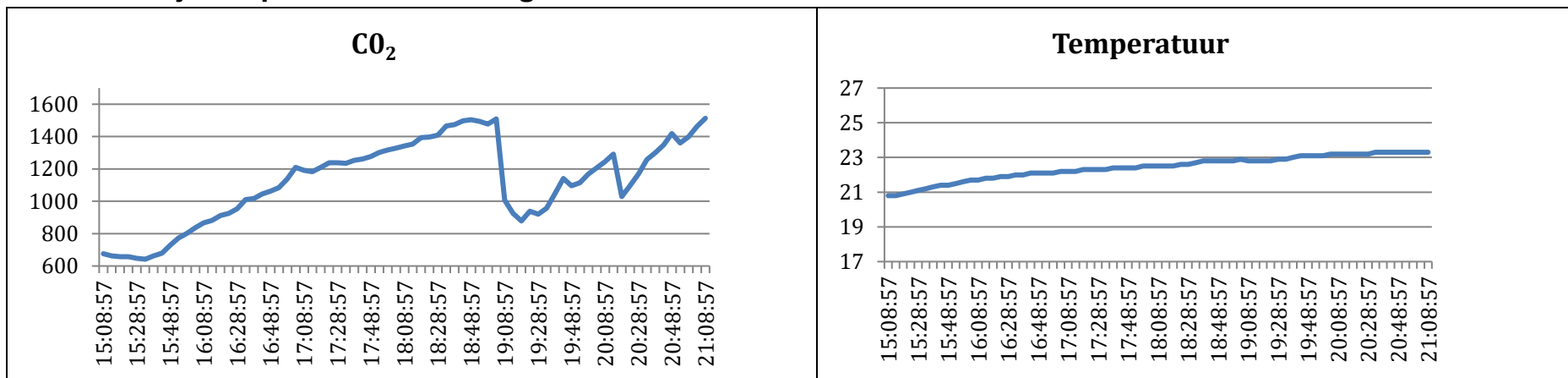
	väärtused:	märkused:
hoone tüüp:		
ruumi ruumala (m3):		
uste arv ruumis:		
uste tüüp ja materjal (tihe / ebatihe):		
akende arv ruumis (rõduksed ka):		
aknaraami tüüp ja materjal:		
ventilatsioonisüsteemi olemasolu ja tüüp:		
üldine ruumi tihedus (tihe / ebatihe):		

Ruumisviibijad ja nende liikumine

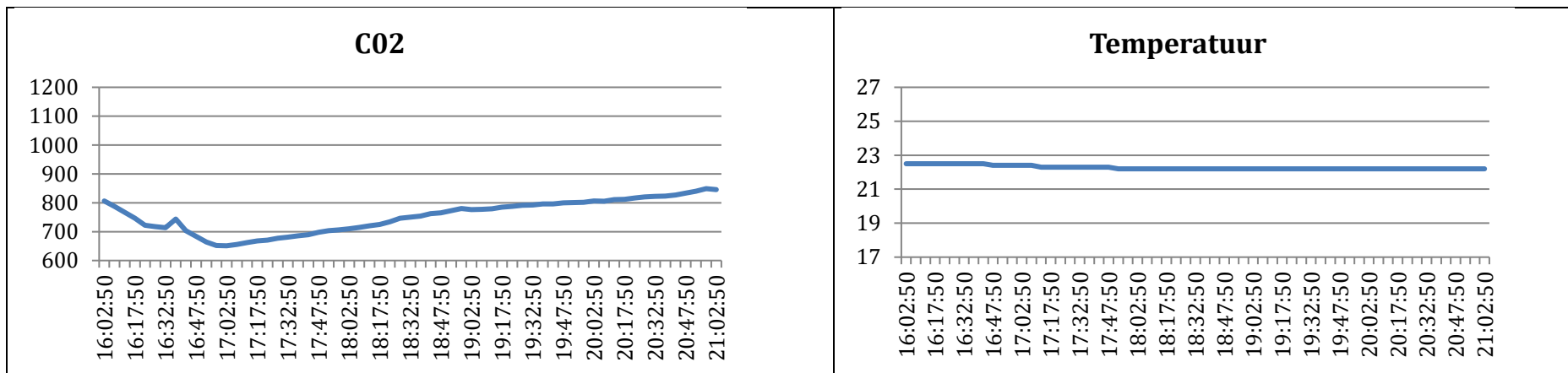
ruumis elavad isikud:	vanus:	kaal:	märkused:
isik nr. 1			
isik nr. 2			
isik nr. 3			
isik nr. 4			
isik nr. 5			

Märkused:

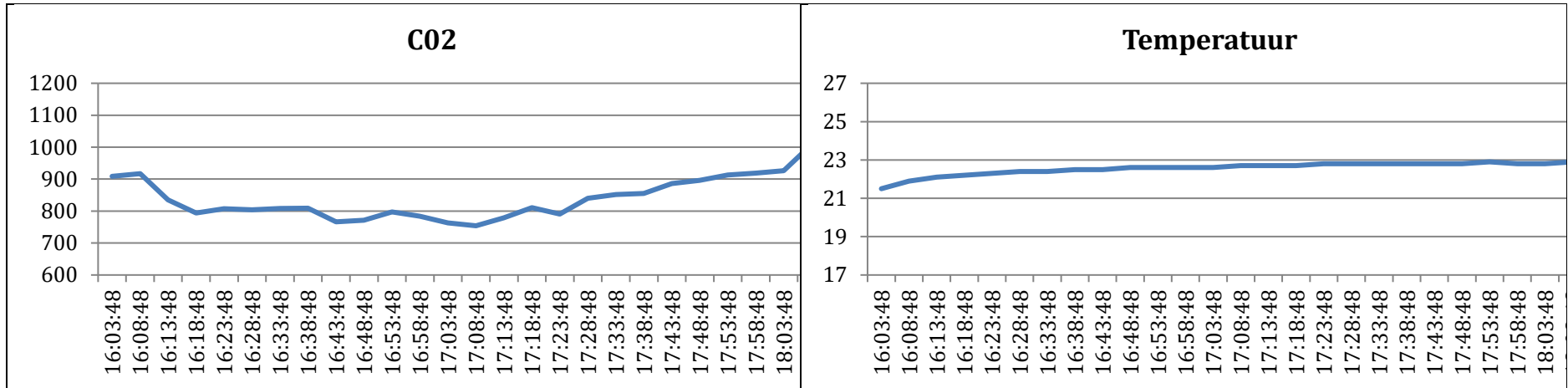
Lisa 2. CO₂ ja temperatuuri mõõtmisgraafikud



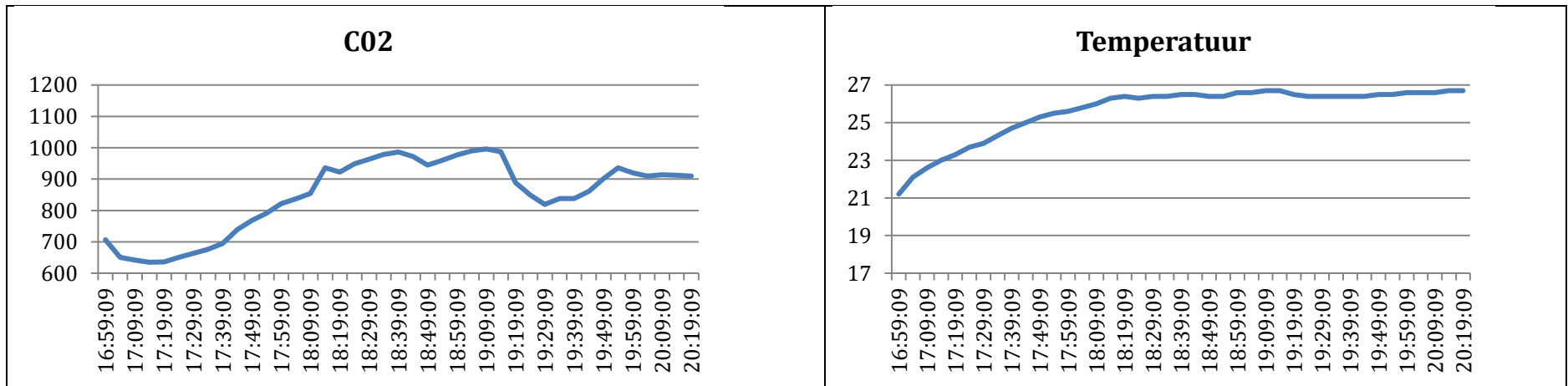
Mõõtmine nr 1. Min CO₂ 642 ppm, maks 1513 ppm, keskmine 1126 ppm. Min temperatuur 20,8° C, maks 23,3° C, keskmine 22,4° C.



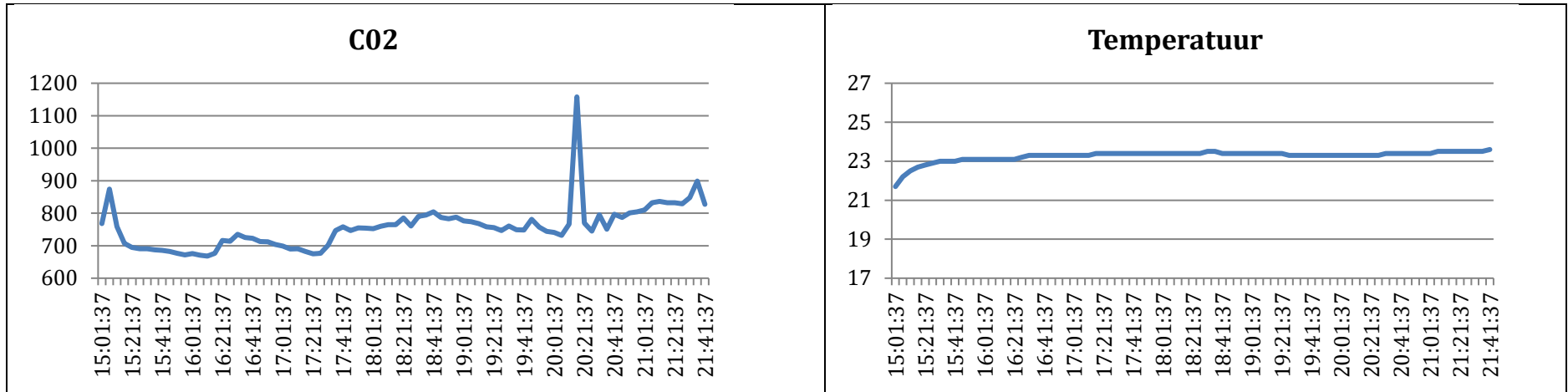
Mõõtmine nr 2. Min CO₂ 651 ppm, maks 849 ppm, keskmine 754 ppm. Min temperatuur 22,2° C, maks 22,5° C, keskmine 22,3° C.



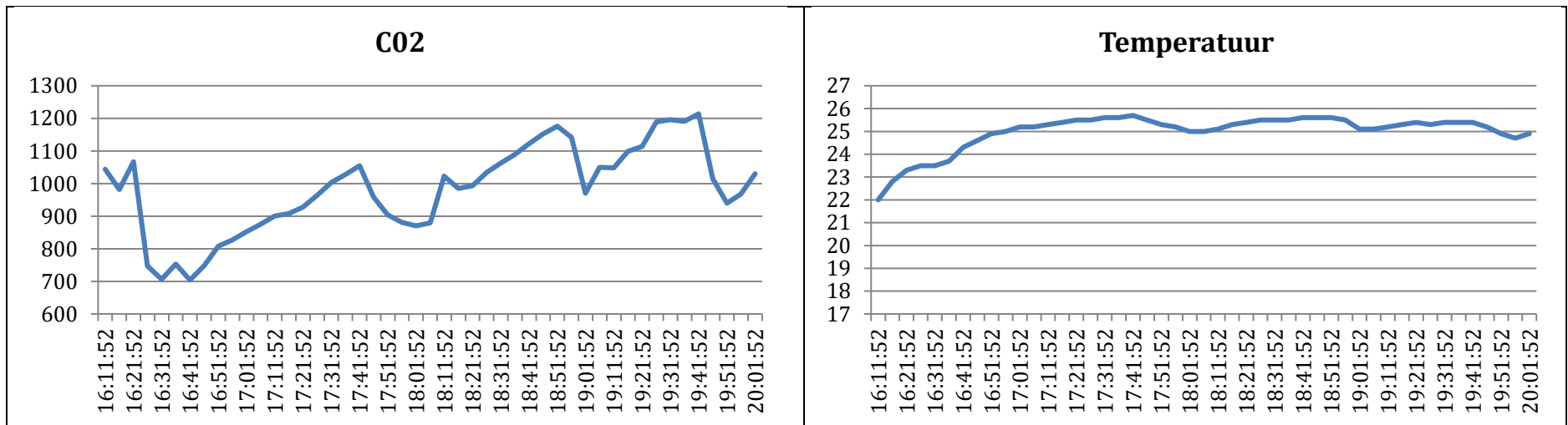
Mõõtmine nr 3. Min CO₂ 754 ppm, maks 1009 ppm, keskmine 838 ppm. Min temperatuur 21,5° C, maks 22,9° C, keskmine 22,6° C.



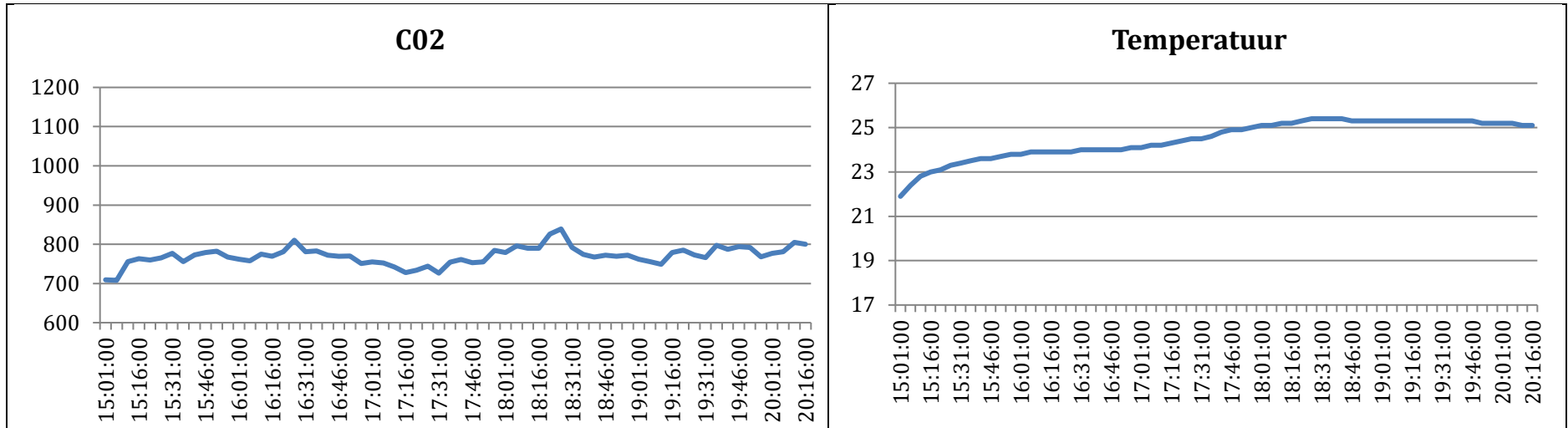
Mõõtmine nr 4. Min CO₂ 635 ppm, maks 996 ppm, keskmine 849 ppm. Min temperatuur 21,2° C, maks 26,7° C, keskmine 25,6° C.



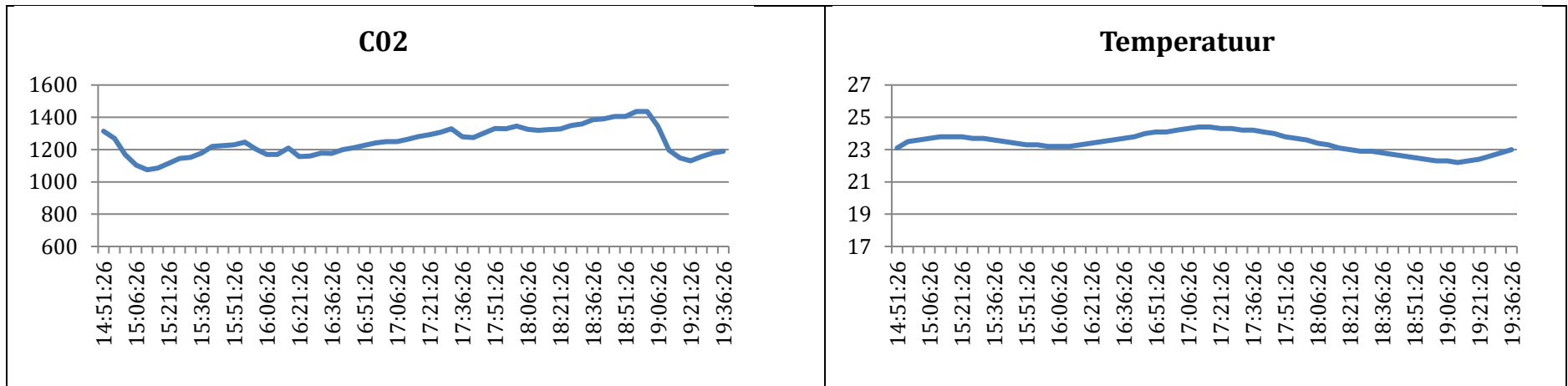
Mõõtmine nr 5. Min CO₂ 668 ppm, maks 1158 ppm, keskmine 756 ppm. Min temperatuur 21,7° C, maks 23,6° C, keskmine 23,3° C.



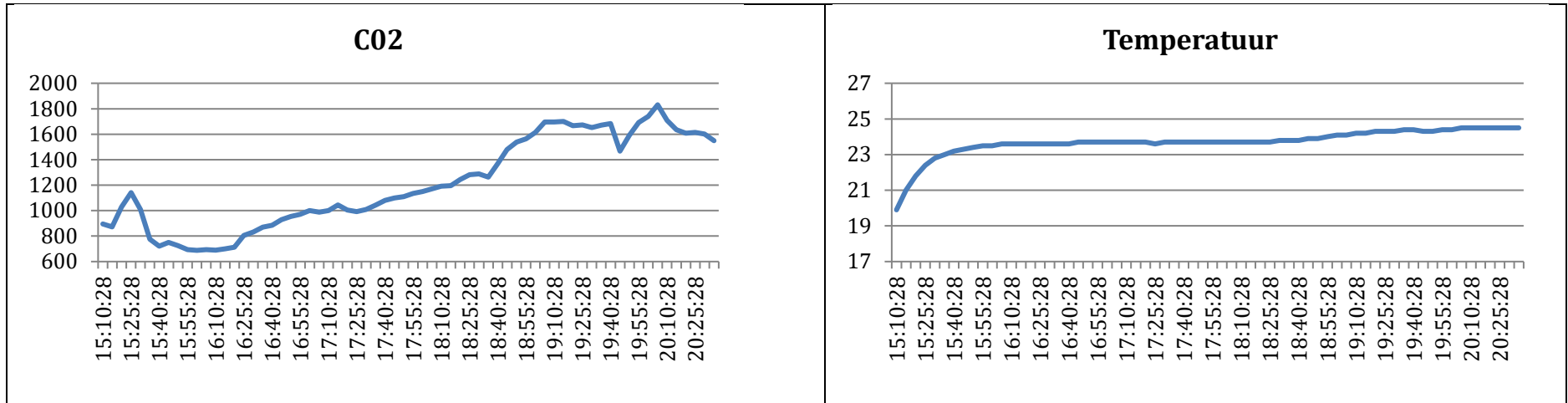
Mõõtmine nr 6. Min CO₂ 704 ppm, maks 1214 ppm, keskmine 983 ppm. Min temperatuur 22,0° C, maks 25,7° C, keskmine 25,0° C.



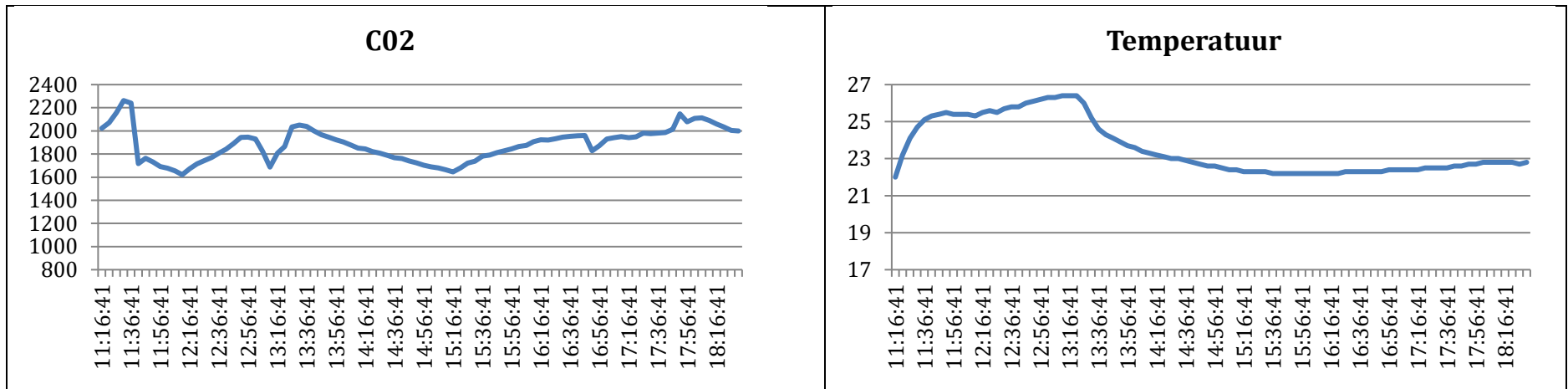
Mõõtmine nr 7. Min CO₂ 708 ppm, maks väärtus 839 ppm, keskmine 770 ppm. Min temperatuur 21,9° C, maks 25,4° C, keskmine 24,5° C.



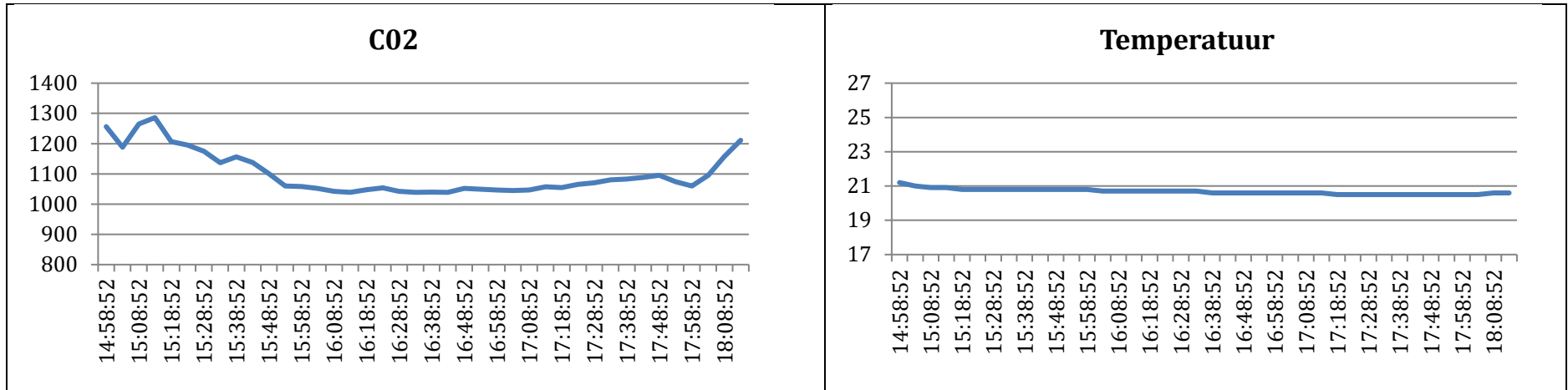
Mõõtmine nr 8. Min CO₂ 1075 ppm, maks 1436 ppm, keskmine 1250 ppm. Min temperatuur 22,2° C, maks 24,4° C, keskmine 23,4° C.



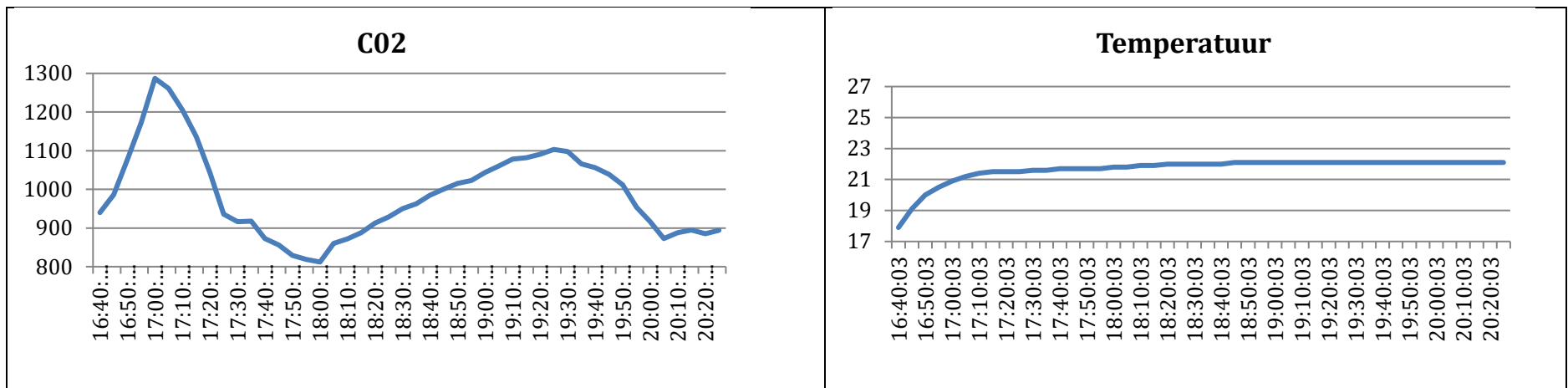
Mõõtmine nr 9. Min CO₂ 688 ppm, maks 1831 ppm, keskmine 1207 ppm. Min temperatuur 19,9° C, maks 24,5° C, keskmine 23,7° C.



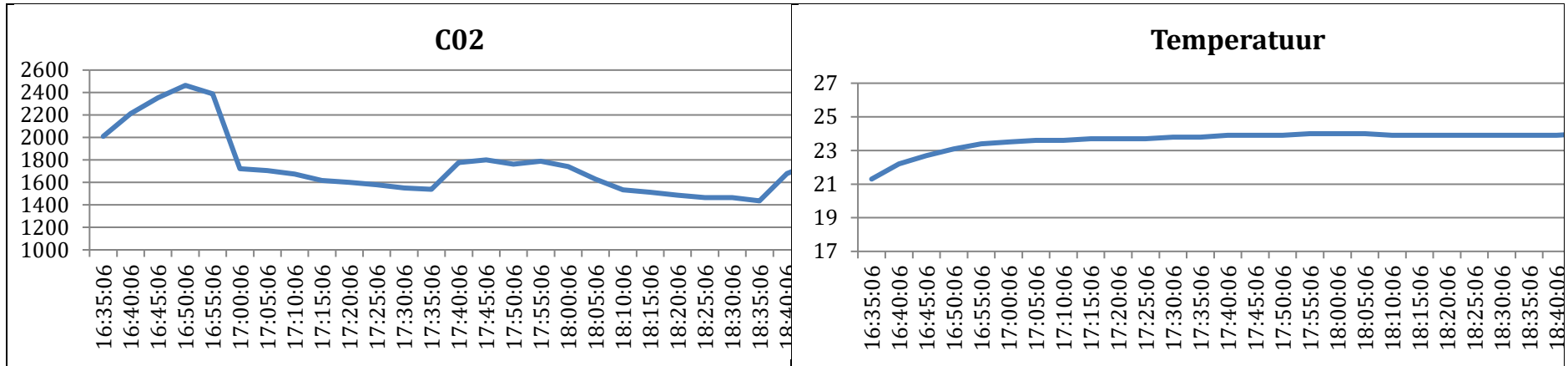
Mõõtmine nr 10. Min CO₂ 1621 ppm, maks 2262 ppm, keskmine 1876 ppm. Min temperatuur 22,0° C, maks 26,4° C, keskmine 23,6° C.



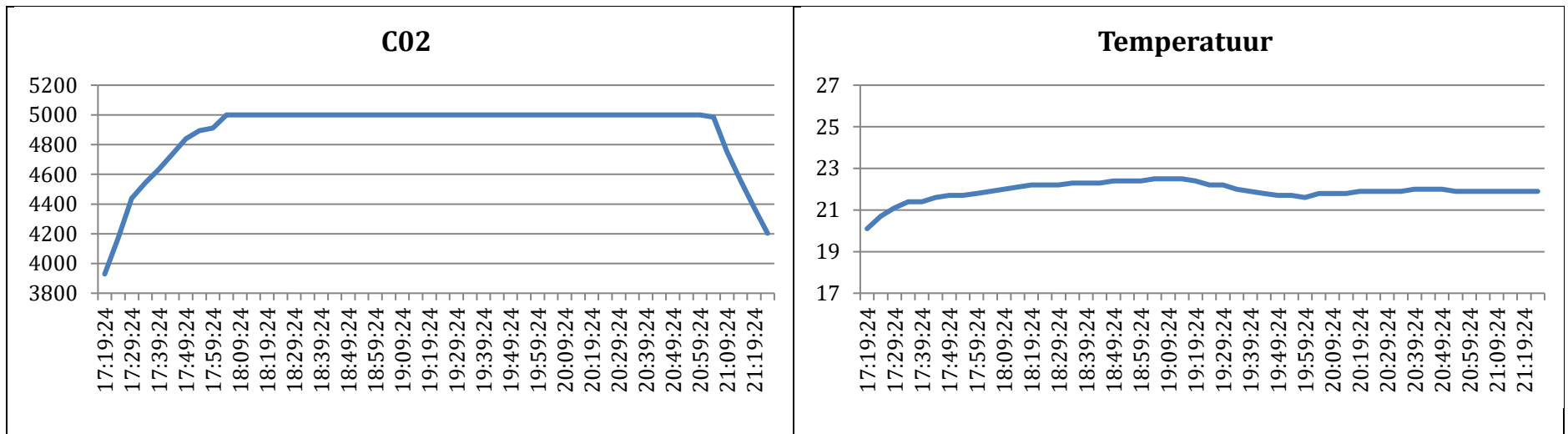
Mõõtmine nr 11. Min CO₂ 1039 ppm, maks 1286 ppm, keskmine 1101 ppm. Min temperatuur 20,5° C, maks 21,2° C, keskmine 20,7° C.



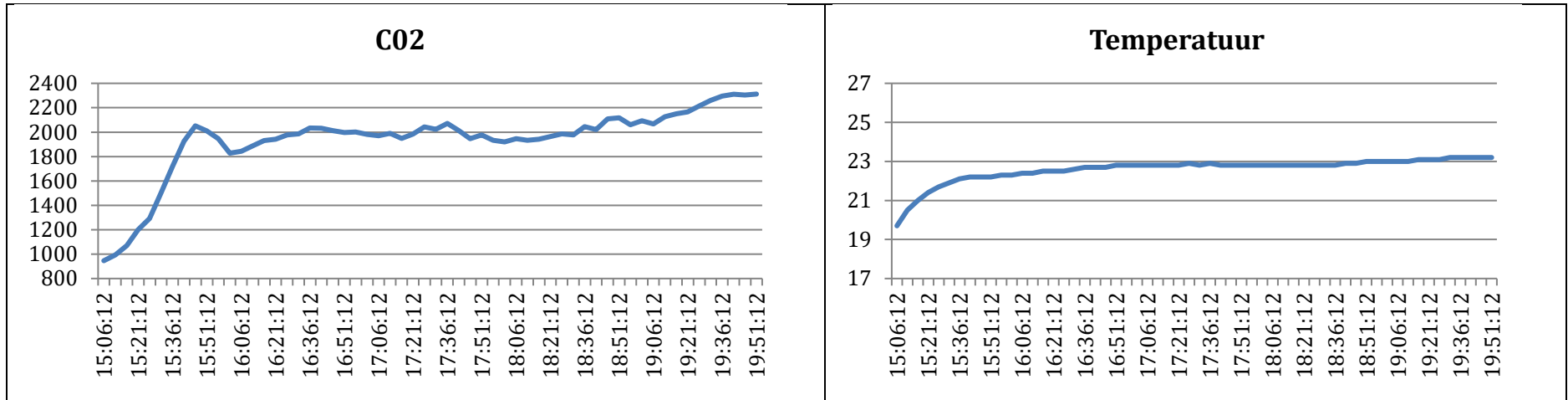
Mõõtmine nr 12. Min CO₂ 812 ppm, maks 1287 ppm, keskmine 989 ppm. Min temperatuur 17,9° C, maks 22,1° C, keskmine 21,7° C.



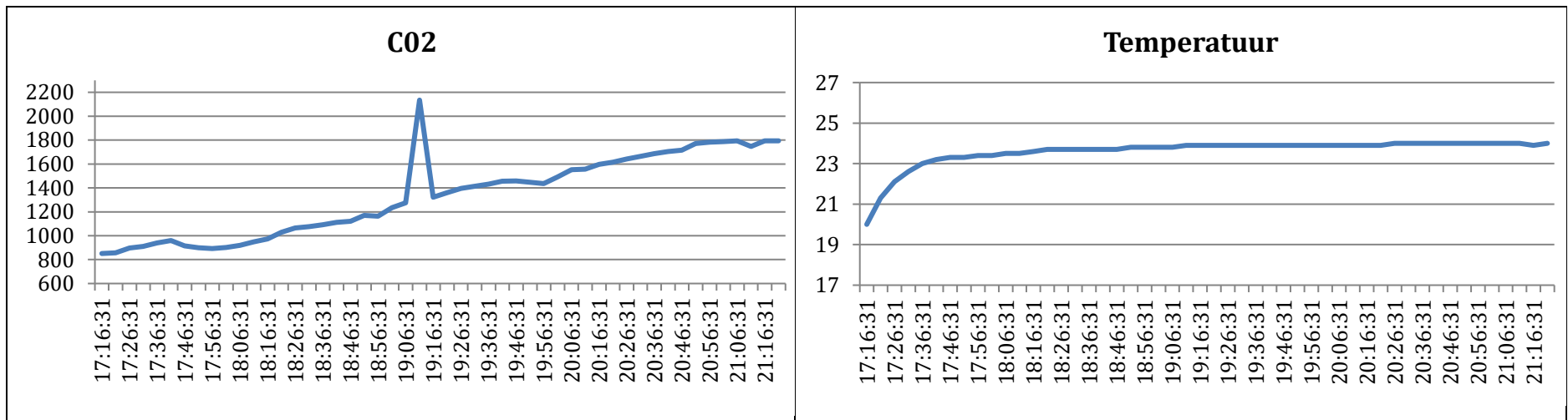
Mõõtmine nr 13. Min CO₂ 1436 ppm, maks väärtus 2464 ppm, keskmine 1753 ppm. Min temperatuur 21,3° C, maks 24,0° C, keskmine 23,6° C.



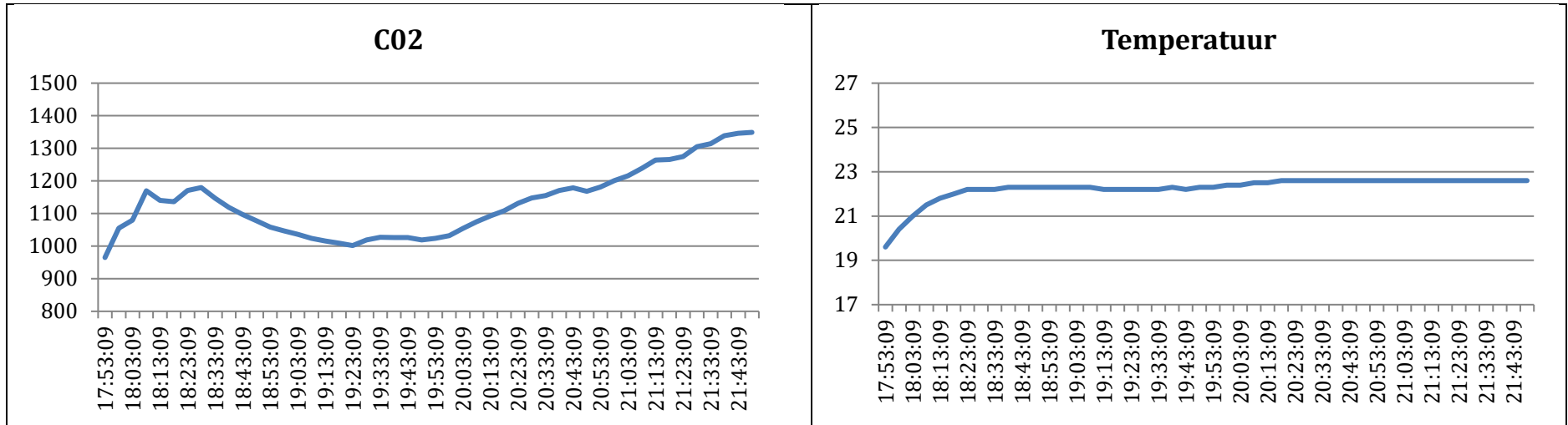
Mõõtmine nr 14. Min CO₂ 3929 ppm, maks hinnanguliselt 5000 ppm, keskmine 4880 ppm. Min temperatuur 20,1° C, maks 22,5° C, keskmine 21,9° C.



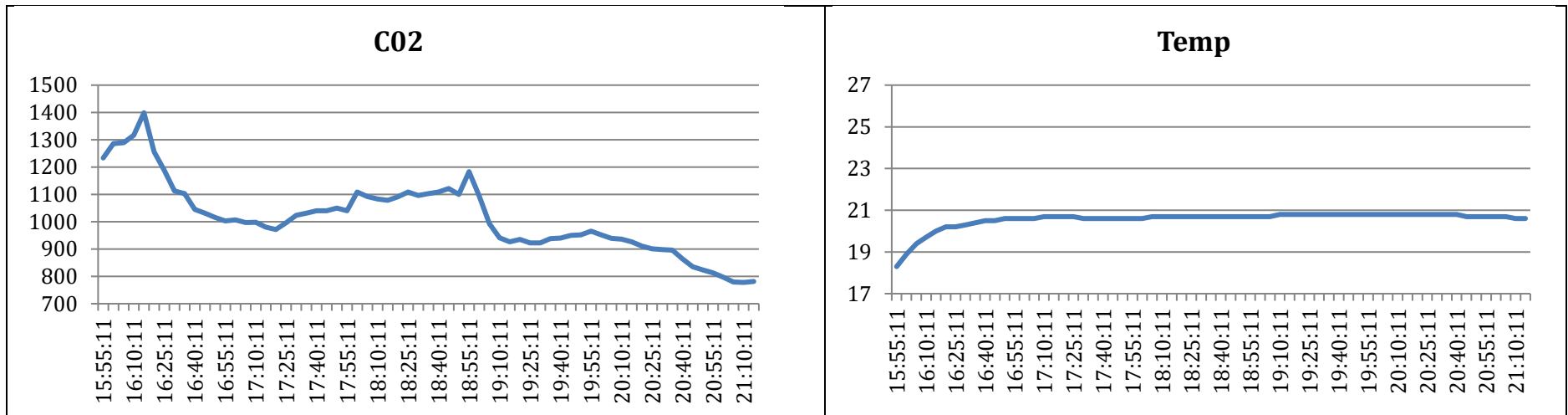
Mõõtmine nr 15. Min CO₂ 946 ppm, maks 2312 ppm, keskmine 1937 ppm. Min temperatuur 19,7° C, maks 23,2° C, keskmine 22,6° C.



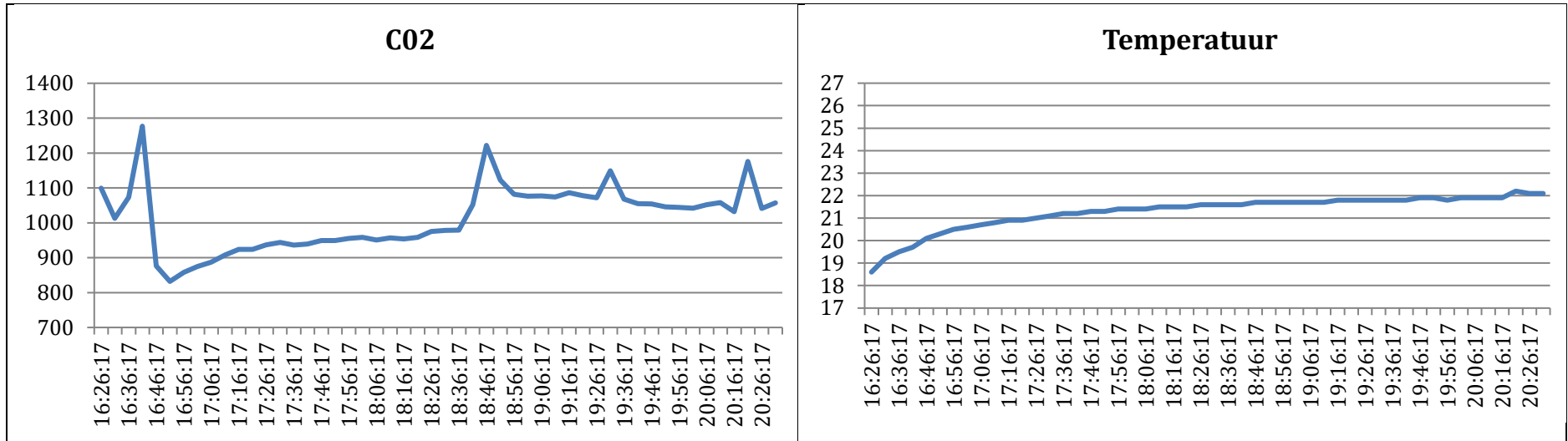
Mõõtmine nr 16. Min CO₂ 851 ppm, maks 2135 ppm, keskmine 1335 ppm. Min temperatuur 20,0° C, maks 24,0° C, keskmine 23,6° C.



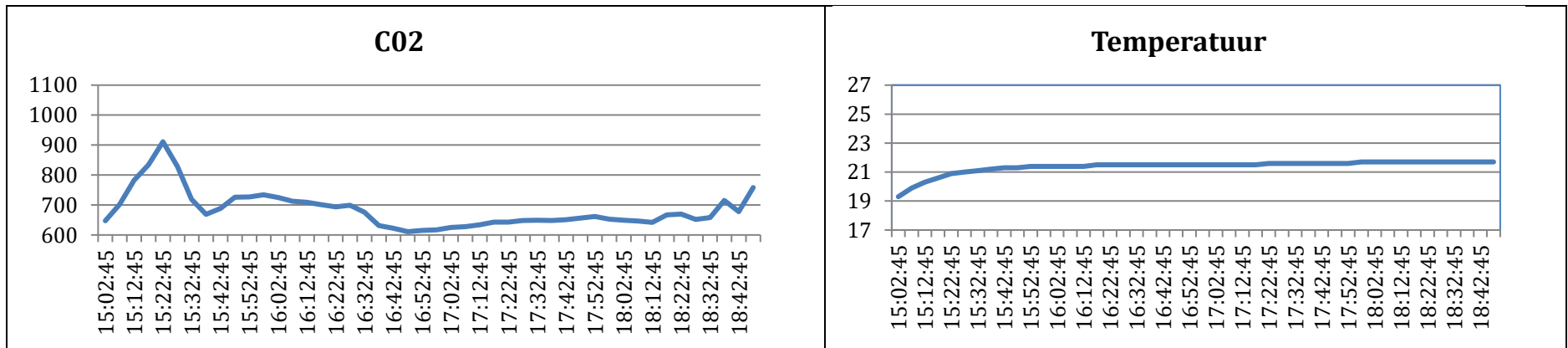
Mõõtmine nr 17. Min CO₂ 965 ppm, maks 1349 ppm, keskmine 1131 ppm. Min temperatuur 19,6° C, maks 22,6° C, keskmine 22,3° C.



Mõõtmine nr 18. Min CO₂ 778 ppm, maks 1399 ppm, keskmine 1016 ppm. Min temperatuur 18,3° C, maks 20,8° C, keskmine 20,6° C.



Mõõtmine nr 19. Min CO₂ 832 ppm, maks 1277 ppm, keskmine 1014 ppm. Min temperatuur 18,6° C, maks 22,2° C, keskmine 21,3° C.



Mõõtmine nr 20. Min CO₂ 611 ppm, maks 911 ppm, keskmine 684 ppm. Min temperatuur 19,3° C, maks 21,7° C, keskmine 21,4° C