

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Infotehnoloogia teaduskond

Herman Õunas 206775IACB

# **Juhtmeta kohtvõrgu seadmete määratlemise võimalused ventilatsioonisüsteemi näitel**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Johannes Ehala

MsC

Kaasjuhendaja: Andres Rähni

MsC

Tallinn 2024

## **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: Herman Õunas

13.05.2024

## **Annotatsioon**

Lõputöö eesmärk on tuua välja ning võrrelda erinevaid ventilatsiooniseadmete määratlemise viise juhtmeta kohtvõrgus, eesmärgiga saavutada ventilatsiooniseadmete erisuunaline puhumine. Aluseks on võetud Liewenthal Electronics OÜ projekt disainida ümber kliendi olemasolev juhtmega võrguga ventilatsioonisüsteem juhtmeta võrgule. Kui juhtmega süsteemis on ventilatsiooniseadmete ventilaatorid ühendatud juhtmetega juhtpaneelis olevate viikude külge, siis juhtmeta võrgus asuvad ventilatsiooniseadmed ainult samal raadiosageduslikul kanalil.

Töö eesmärgiks on saavutada ventilatsiooniseadmete erisuunaline puhumine nii, et süsteemi paigaldamine oleks võimalikult lihtne. Töös tuuakse välja eelnevalt mainitud probleemile erinevaid lahendusi, hinnatakse nende vastavust mõõdikutele ning võrreldakse lahendusi omavahel.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 36 leheküljel, 6 peatükki, 14 joonist, 1 tabel.

## **Abstract**

# **Device Classification Methods in a Wirelessly Connected Ventilation System**

The aim of this thesis is to bring forth and compare different classification methods of ventilation devices in a wireless network, with the aim to achieve alternating ventilation. The ventilation system is based off of Liewenthal Electronics OÜ's project of redesigning a client's ventilation system so that instead of the ventilation devices being controlled by a wired connection, the devices are being controlled by a wireless network.

The aim of the work is to achieve alternating ventilation in such a way, that the installation of the product is as simple as possible. The work brings out solutions to the aforementioned problem, where their compliance with applicable metrics is assessed. The solutions are also compare with one another.

The thesis is in Estonian and contains 36 pages of text, 6 chapters, 14 figures, 1 table.

## Lühendite ja mõistete sõnastik

<i>DIP</i>	<i>Dual Inline Package</i>
<i>I2C</i>	<i>Inter Integrated Circuit</i>
<i>IEEE</i>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
<i>LED</i>	<i>Light Emitting Diode, valgusdiod</i>
<i>MAC</i>	<i>Media Access Control, Meediumipääsu reguleerimine</i>
<i>MEMS</i>	<i>Micro-Electromechanical System</i>
<i>NFC</i>	<i>Near Field Communication, lähiväljaside</i>
<i>NXP</i>	<i>NXP Semiconductors</i>
<i>RSSI</i>	<i>Received Signal Strength Index, vastuvõetud signaali tugevus</i>
<i>SUS</i>	<i>System Usability Scale, Süsteemi kasutatavuse skaala</i>

## Sisukord

1 Sissejuhatus.....	10
2 Toote kirjeldus ja lahendatav probleem.....	11
2.1 Olemasoleva toote tööpõhimõte.....	11
2.2 Kavandatud toote arendus.....	13
2.2.1 Kliendi nõuded.....	13
2.2.2 Kavandatava toote riistavara.....	14
2.2.3 Kavandatava toote tarkvara.....	15
2.3 Lahendatav probleem.....	16
2.4 Ülesande lahendamise meetoodika.....	17
3 Raadiovõrgu tehnoloogia.....	19
3.1 Zigbee protokollide arhitektuur.....	19
3.2 Zigbee võrgu sätestamine ja seadmete ühendamine.....	21
3.2.1 Zigbee standardi võimalused RSSI lokaliseerimiseks.....	23
3.2.2 Zigbee põhise RSSI lokaliseerimise täpsus.....	23
4 Lahendused.....	25
4.1 Vahelduvventilatsiooni tagamise võimalused.....	25
4.1.1 Järjestikuline nummerdamine.....	25
4.1.2 Vasaku ja parema ventilatsiooniseadme eristamine.....	26
4.2 Automaatsed lahendused.....	27
4.2.1 Seadmete paaristamine läbi lokaliseerimise.....	27
4.2.2 Vasaku ja parema seadme automaatne tuvastus läbi andurite.....	28
4.3 Manuaalsed lahendused.....	33
4.3.1 Vasak/parem lüliti.....	33
4.3.2 DIP lüliti.....	34
4.3.3 Paaristamine NFC abil.....	35
4.3.4 Nupu ja LED-i abil paaristamine.....	37
4.3.5 Manuaalsete lahenduste mõõdikute kokkuvõte.....	38
5 Järeldused.....	39

5.1 Automaatsete lahenduste järelused.....	39
5.2 Manuaalsete lahenduste järelused.....	40
5.2.1 Manuaalsete lahenduste hindamine läbi mõõdikute.....	40
5.2.2 Manuaalsete lahenduste omavaheline võrdlus.....	41
5.3 Kõikide lahenduste kulu võrdlus.....	42
5.4 Kõikide lahenduste järelused.....	43
6 Kokkuvõte.....	45
Kasutatud kirjandus.....	46
Lisa 1– Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks.....	48

## Jooniste loetelu

Joonis 1. Ventilatsiooniseadme illustratsioon.....	.12
Joonis 2: Süsteemi tööpõhimõtte korteri/maja näitel.....	12
Joonis 3. Süsteemi arhitektuur.....	15
Joonis 4. Zigbee arhitektuuri kihid [2].....	.20
Joonis 5. Seadme kasutuselevõtu voodiagramm.....	.22
Joonis 6. Ventilatsiooniseadmete paaristamine läbi nummerdamise.....	.26
Joonis 7. 10 m/s õhu liikumine vasakult paremale läbi 90° radiaalse läbilõikega õhukanali põlve [7].....	.29
Joonis 8. 10 m/s õhu liikumine vasakult paremale läbi 90° ristkülikukujulise läbilõikega õhukanali põlve [7].....	.29
Joonis 9. Rõhu andurite paigutus paremal pool akent asuva ventilatsiooniseadme sees, juhul kui vähendada soojussalvesti suurust. Andurid on märgistatud punase ringiga....	30
Joonis 10. Labaga anduri tööpõhimõtte illustratsioon[25].....	.31
Joonis 11. Labaga anduri paigutus paremal pool akent asuva ventilatsiooniseadme näitel. Andur märgistatud punase ringiga.....	.32
Joonis 12. DIP lüliti [8].....	.34
Joonis 13. Manuaalsete lahenduste mõõdikute graafiline võrdlus. Graafikul olevad väärtused on protsentuaalsed. Ainult kulu väärtus on normaliseeritud, suurim väärtus(NFC lugeja) on kõige kallim.....	.41
Joonis 14. Kõikide lahenduste rahalise kulu võrdlus.....	.43



## **Tabelite loetelu**

Tabel 1. Manuaalsete lahenduste mõõdikutele vastavust kokkuvõttev tabel.....	38
--	----

# 1 Sissejuhatus

Ettevõttel Liewenthal Electronics OÜ on projekt disainida ümber kliendi soojustagastusega ventilatsioonisüsteem nii, et juhtmete asemel suhtleksid süsteemis olevad seadmed läbi juhtmeta võrgu. Süsteem koosneb ühest juhtpaneelist ning eraldiseisvatest ventilatsiooniseadmetest mis asuvad akende ääres välisseina sees (kaks ventilatsiooniseadet ühe akna ääres).

Töö keskendub sellele, et kuidas kindlustada ühe akna ääres asuvate ventilatsiooniseadmete erisuunalist puhumist, mis on vajalik soojustagastuse toimimiseks. Töö käigus ei implementeerita praktiliselt erinevaid lahendusi vaid analüüsitakse ning võrreldakse neid vastavalt nende teostatavusele ja kliendi nõuetele. Analüüsimisel toetutakse asjakohasele kirjandusele ning olemasoleva süsteemi spetsifikatsioonile.

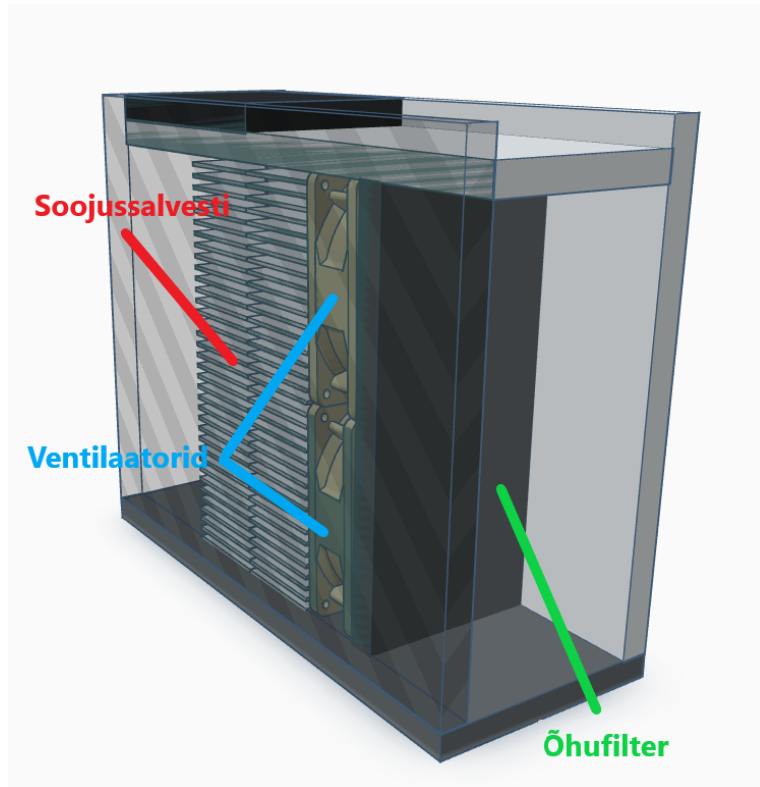
Töö on jaotatud neljaks osaks. Esimene osa kirjeldab olemasolevat ja kavandatavat toodet ning lahendatavat probleemi. Teine osa annab ülevaate ning vajaliku info kasutatavast juhtmeta kohtvõrgu tehnoloogiast. Kolmas osa kirjeldab erinevaid lahendusi lahendatavale ülesandele. Neljas osa võrdleb välja toodud lahendusi ning teeb selle põhjal järeldused.

## **2 Toote kirjeldus ja lahendatav probleem**

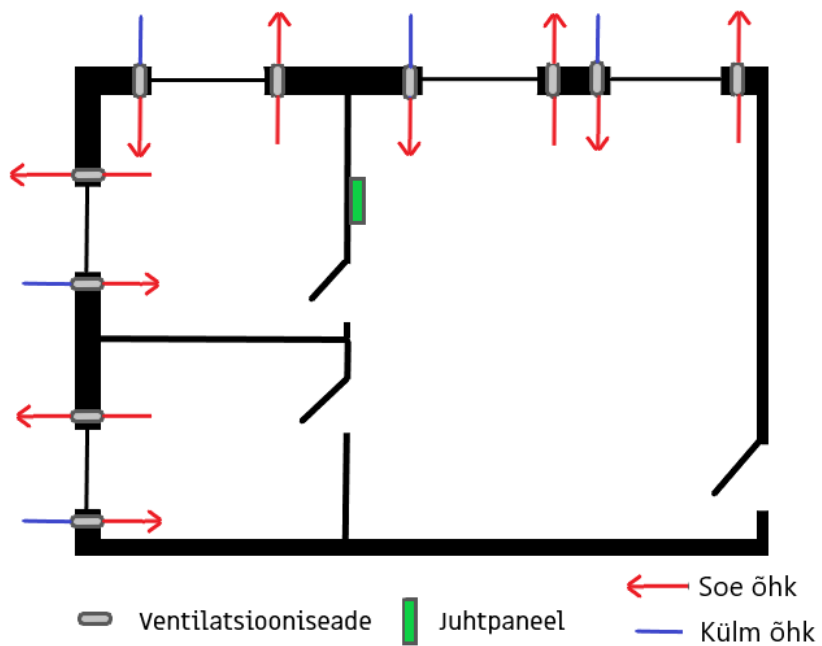
Peatükis seletatakse lahti olemasoleva ning kavandatava toote tööpõhimõtet, et anda olulist konteksti lahendatavale probleemile. Samuti on välja toodud lahendatav probleem ning metoodika selle lahendamiseks.

### **2.1 Olemasoleva toote tööpõhimõte**

Toode kujutab endast eraldiseisvatest joonisel 1 illustreeritud ventilatsiooniseadmetest koosnevat ventilatsioonisüsteemi, mis ehitise (nt elumaja, kortermaja jne) välisseina sisse paigutatud seadmete toimel ventileerib kindlat ala. Ventilatsiooniseadmete paigutust hoone suhtes kui ka süsteemi tööpõhimõtet on illustreeritud joonisel 2. Süsteem ise on piiratud 16 ventilatsiooniseadmega ehk maksimaalne ala mida ta suudab ventileerida piirdub ühe korteri või majaga. Paigalduse poolest on kaks ventilatsiooniseadet paigutatud ühe akna ääreossa, kus üks ventilatsiooniseade tõmbab hoonesse õhku sisse, teine õhku hoonest välja. Tervet süsteemi juhitakse läbi keskse juhtpaneeli terviklikult ehk ühtegi ventilatsiooniseadet ega paari eraldi võimalik juhtida ei ole.



Joonis 1. Ventilatsiooniseadme illustratsioon



Joonis 2: Süsteemi tööpõhimõtte korteri/maja näitel

Süsteemil on kolm erinevat konstantset töörežiimi:

1. Välja lülitatud
2. Ühesuunaline ventilatsioon - üks seade tõmbab õhku hoone seest välja, teine tõmbab väljast sisse. Soojustagastust antud režiimiga ei toimu, kuna seadmed ei vaheta peale kindlat intervalli oma puhumise suunda.
3. Vahelduvventilatsioon soojustagastusega - seadmed vahetavad peale kindlat intervalli oma puhumise suunda, kus paaris olevad seadmed puhuvad eri suundades.

Vahelduvventilatsiooniga saavutataksegi soojustagastus, kuna siseruumist tuleneva õhu toimel soojeneb seadme sees asuv alumiiniumst soojussalvesti, mis võimaldab ventilaatori puhumissuuna vahetamisel soojendada väljast tulevat õhku.

## **2.2 Kavandatud toote arendus**

Kliendi soov on eelnevalt mainitud toode ümber disainida selliselt, et ventilatsiooniseadmed oleksid võimelised suhtlema keskpaneeliga juhtmevabalt. Muutmisele läheb ainult juhtpaneeli riistvara ning ventilatsiooniseadmele lisatakse trükkplaat raadiomooduliga, mis tähendab, et ventilatsiooniseadme enda mehaanilised ning passiivsed osad jäävad muutmata. Olemasoleval tootel paikneb kõik loogika juhtpaneelis, kus ta suhtleb läbi juhtmete ventilatsiooniseadmetes asuvate ventilaatoritega. Kavandatud toode peab ka lisama ventilatsiooniseadmele viisi juhtida ventilaatoreid.

### **2.2.1 Kliendi nõuded**

Kliendi nõuded juhtmevaba kohtvõrgu tehnoloogia valiku poolest on järgmised:

1. Raadiomooduli ja selle lisade ühiku maksumus peab olema võimalikult madal.
2. Raadiovõrk peab kasutama litsentseerimata sagedusala, mille sagedus on alla 1 GHz.

3. Süsteem peab korrektselt töötama, isegi siis kui kattuv alal on mitu käseolevat ventilatsioonisüsteemi paigaldatud.
4. Kohapeal paigaldamine ja seadistamine peab olema kerge ning ei kasuta väliseid tööriistu (nt arvuti).
5. Valitud kohtvõrgu tehnoloogia peab toetama vähemalt 17 seadme lisamist.
6. Kui kõik eelnevalt mainitud nõuded on kahe tehnoloogia vahel võrdsed, siis eelistatud on tehnoloogia mis võimaldaks süsteemi juhtpaneelil töötada aku pealt.

Kliendi nõuete ning üldise süsteemi toimimise kohta on võimalik teha järgnevad järeldused:

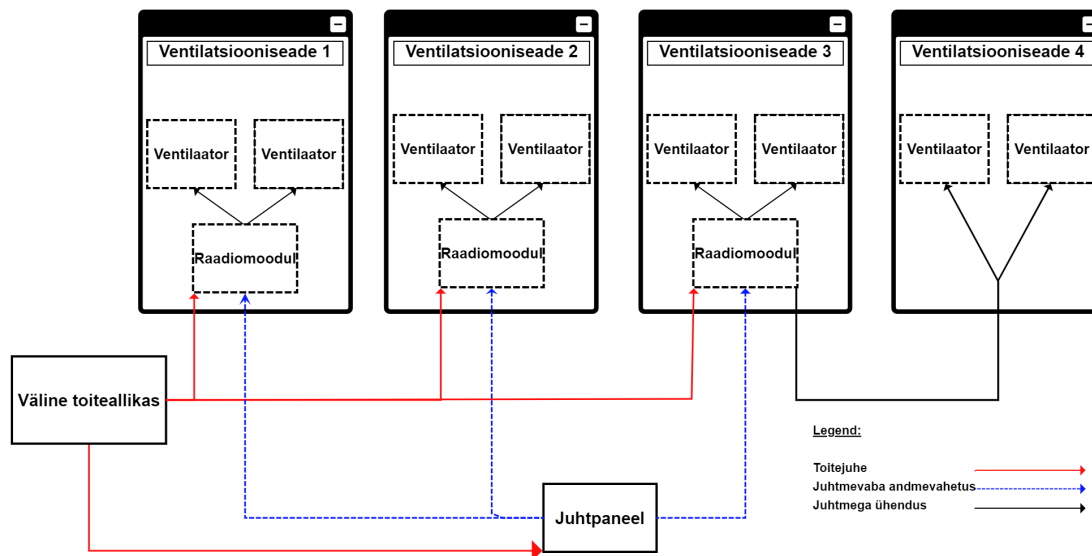
1. Andmete saatmise sagedus ning maht on madal.
2. Ventilatsiooniseadmete omavaheline suhtlus vajalik ei ole.
3. Ventilatsiooniseadmetel ega juhtpaneelil ei ole vajadust ühendada ennast mingisugusesse välisesse võrku(nt targa kodu juhtimise süsteem).

### **2.2.2 Kavandatava toote riistavara**

Kavandatud toode peab funktsioneerima identselt olemasolevale süsteemile, kuid seadmete juhtmega suhtlemise asemel peab olema selleks kasutusel juhtmeta kohtvõrk, nagu on illustreeritud joonisel 3. On võimalik, et juhtmeta lahendus nõuab ka olemasoleva juhtpaneeli kasutajaliidese ümber disainimist võimaldamaks paigaldajal lihtsamat seadmete paaristamist.

Süsteem koosneb järgnevatest osadest:

- Juhtpaneel – seinale asetsev LED-idega ning nuppudega koosnev kasutajaliides, läbi mille saab muuta eelnevalt mainitud režiime. Igal süsteemil on ainult üks juhtpaneel.
- Ventilatsiooniseade – hoone välisseinale sisse paigutatud ventilatsiooniseade.



Joonis 3. Süsteemi arhitektuur

Iga ventilatsiooniseade peab sisaldama endas eraldiseisvat raadiomoodulit. Riistvaralisest aspektist on iga radio moodul identne ehk kuigi akna suhtes vasakul ja paremal paiknevad ventilatsiooniseadmed on oma lõplikult ehituselt erinevad, siis nendes paiknevad raadiomoodulid peavad olema identsed. Juhtpaneeli ning ventilatsiooniseadmete raadiomoodulid peavad endas sisaldama mikrokontrollerit, kus nad võivad olla realiseeritud ühes komponendis raadiomooduli näol. Antenn on raadiomoodulil integreeritud. Lisaks peab ühel raadiomoodulil olema ka võime juhtida teise ventilatsiooniseadme ventilaatoreid. See võimaldab sobitada olemasolevasse süsteemi kavandatud ventilatsiooniseadmeid, ühendades olemasoleva ventilatsiooniseadme sees olevate ventilaatorite juhtmed kavandatava ventilatsiooniseadme raadiomooduli külge. Nii juhtpaneel kui ventilatsiooniseadmed saavad voolu elektrivõrgust ehk aku või patareide pealt kumbki oma voolu ei saa.

### 2.2.3 Kavandatava toote tarkvara

Tervet süsteemi juhib juhtpaneelis paiknev raadiomoodul ehk ventilatsiooniseadmed iseseisvalt mingisuguseid otsuseid või režiimi muutuseid ei tee. Juhtpaneelil on täielik kontroll terve süsteemi üle.

Võrgu loob juhtpaneel kohe peale selle sisse lülitamist. Ventilatsiooniseadmed peavad võrguga liitumisel end korrektselt identifitseerima. Ventilatsiooniseadmete paaristamise

ning kasutuselevõtu võimalusi käsitletakse töö käigus. Kui ventilatsiooniseade kaotab mingisugusel põhjusel ühenduse võrguga, siis juhtpaneel võtab ta ilma lisatud autentimiseta võrku tagasi. Samuti taastab juhtpaneel võrgu kadumisel võimalusel olemasoleva võrgu.

### **2.3 Lahendatav probleem**

Kuigi kaks ventilatsiooniseadet töötavad paaris on nad ikkagi iseseisvad ehk mõlemal on eraldi raadiomoodulid, välja arvatud sellisel juhul kui üks raadiomoodul juhib kahte ventilatsiooniseadet. Olemasolevas tootes on juhtpaneel ühendatud juhtmetega ventilatsiooniseadmes asuvate ventilaatoritega ehk juhtpaneel saadab kindlatest väljaviikudest välja ventilaatoreid juhtivat signaali. Juhtmeta võrgus on seadmed lihtsalt ühel raadiosageduslikul kanalil ehk algselt ei ole võimalik kindlaks teha, mis ventilatsiooniseadmed millises suunas puhuma peavad. Ehk ilma lisatud seadistamiseta ventilatsiooniseadmete ja juhtpaneeli vahel on süsteemis üks juhtpaneel ning ventilatsiooniseadmed, mida ei ole võimalik omavahel eristada. Süsteemi korrektseks tööks on vajalik see, et läbi mingisuguse lahenduse juhtpaneel teab, milline ventilatsiooniseade peab puhuma välja ja milline sisse.

Süsteemi korrektse töötamise jaoks on kriitiline paaris töötavate ventilatsiooniseadmete erisuunaline puhumine. Et seda kindlustada, võiks süsteem mingil moodusel teada, mis kaks ventilatsiooniseadet omavahel paaris peaks olema või lihtsalt kindlustada seda, et nad ühe akna ääres erisuunaliselt puhuksid.

Ideaalis toimub vahelduvventilatsiooni tagamine ilma paigaldaja sekkumiseta, lastes tarkvaral ja/või riistvaral see lahendada. Selline lahendus võimaldaks eemaldada inimfaktori probleemi lahendusest, kus selle toimimine oleneb ainult lõpliku lahenduse valikust ja kvaliteedist. Olenemata sellest, käsitletakse töös nii automaatseid kui ka manuaalseid lahendusi.



## 2.4 Ülesande lahendamise metoodika

Ülesandeks on tuua välja eelnevas peatükis mainitud probleemidele erinevaid lahendusi, analüüsida neid ning jõuda arvestades kliendi nõudeid, olemasolevat toodet ja tehnilisi piiranguid kõige parema lahenduseni. Ülesande lahendamise metoodikaks on analüüsida erinevaid lahendamise viise ning hinnata neid kasutades järgnevat mõõdikuid:

1. Usaldusväärsus – kas lahendus pakub erinevates tingimustes järjepidevaid ja korrektseid tulemusi. Manuaalsete lahenduste puhul viiakse kokku töös käsitletud lahenduse, uuringutes [12] või [14] vastava lahendusega ning tuuakse välja selle ülesande täitmise määr ehk kui suure protsendi ajast saavutati uuringus edukas paaristamine kahe seadme vahel. Kuna lahenduste praktilist testimist ei toimu, siis puudub viis automaatseid lahendusi empiiriliselt hinnata, mille tõttu automaatsete lahenduste puhul usaldusväärset hinnangut ei anta.
2. Paigalduse lihtsus – kui lihtne on seadme paigaldajal antud lahendust kasutada. Siin tuuakse välja uuringutest [12] või [14] teostatud vastava paaristamise meetodi SUS[13] skoori ja paaristamise teostamise aja, mille järgi saadakse lõplik paigalduse lihtsuse skoor. Automaatsetele lahendustele mõistetavalt paigalduse lihtsuse poolest hinnangut pole võimalik anda.
3. Kulu – lahenduse implementeerimiseks vajalik rahaline kulu. Mõõdik võtab ainult arvesse lahenduse jaoks vajaliku riistvara kulu. Vajalikud hinnad on leitud läbi Mouser'i ja Farnelli e-poodidest, kust leitakse kõige odavam toode, mis lahendusse sobib. Kui võimalik, valitakse kõige suurema võimaliku koguse tükihind, kus see ei ületa 20000, mis on ventilatsiooniseadmete eeldatav toodangu arv aastas.

Lahenduste hindamine toimub läbi uurimise protsessi ehk uuritakse läbi olemasoleva kirjanduse ning spetsifikatsioonide lahenduse teostatavust ning hinnatakse seda läbi eelnevalt välja toodud mõõdikute. Lahenduste praktilist testimist lõpptoote peal antud töös ei toimu.

Lahendusviisid saab jaotada kahte kategooriasse vastavalt sellele, kas paigaldaja peab teostama ise seadmete paaristamist:

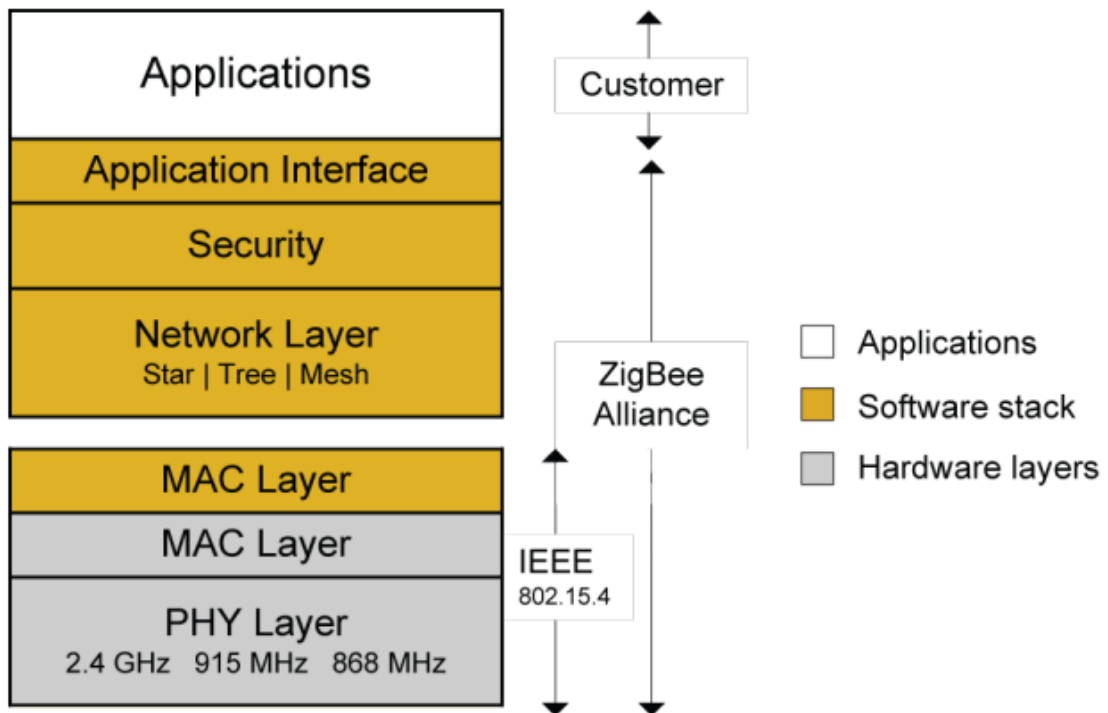
1. Automaatsed – seadmete paaristamine toimub võrgu seadistamisel tarkvaraliselt automaatselt ilma paigaldaja sekkumiseta.
2. Manuaalsed – ventilatsiooniseadmete paaristamiseks juhtpaneeliga peab paigaldaja lisaks ventilatsiooniseadmete paigaldamisele ka veel määratlemise manuaalselt teostama.

## **3 Raadiovõrgu tehnoloogia**

Peatükk seletab lahti Zigbee töötamise põhimõtet, arhitektuuri ning kuidas Zigbee tehnoloogia alustab oma võrku ning ühendab sinna seadmeid. Zigbee tehnoloogia valik on õigustatud läbi Liewenthal Electronics-i eelhindangu, kus tuvastati, et Zigbee on kliendi nõudeid arvestades kõige sobivam valik. Samuti käsitletakse seda, et kuidas ja milliseid Zigbee tehnoloogia funktsionaalsusi on võimalik kasutada ülesande lahendamiseks. Samuti tuuakse välja lahenduste käsitlemiseks vajalikku informatsiooni ning asjakohaseid uuringuid. Kuigi ülesande automaatsed lahendused sõltuvad suurel määral raadiovõrgu võimekusest, siis erinevate juhtmeta kohtvõrgu tehnoloogiate vahel võrdlust ei toimu, kuna see pole antud töö fookus.

### **3.1 Zigbee protokoll arhitektuur**

Zigbee on 802.15.4 standardil põhinev juhtmeta kohtvõrgu sideprotokoll, mille põhiomadusteks on madal hind, madal energiatarve ning kahepoolne suhtlus seadmete vahel [1] . Zigbee eesmärk on lihtsustada juhtmeta kohtvõrgu arendusprotsessi, eemaldades vajaduse luua enda protokoll raadiomoodulite vahelise suhtluse, kui ka raadiomooduli ning applikatsiooni vahelise suhtluse.



Joonis 4. Zigbee arhitektuuri kihid [2]

Lisaks IEEE 802.15.4 protokollilt pakutud alumistele võrgukihtidele lisab Zigbee arhitektuuri kolm lisakihti, milleks on võrgukiht, aplikatsiooni kiht ja Zigbee seadme objektid, mis on antud ülesande puhul juhtpaneel ning ventilatsiooniseadmed. Zigbee arhitektuuri kihid on visualiseeritud joonisel 4.

Zigbee arhitektuuri kõikide kihtide ülesanne on kindlustada, et alumine kiht teeb oma tööd korrektselt ning pakkuda liidest endast alumisele kihile. Arendaja üldjuhul välja toodud kihtidega ei suhtle, kui just ei ole vaja midagi Zigbee arhitektuuris muuta.

Zigbee seadmed jagunevad kolmeks tüübiks: [2]

1. Zigbee Koordinaator (ZC): kõige võimekam seade. Igas Zigbee võrgus on ainult üks koordinaator. Võrk on tavapäraselt algatatud koordinaatori poolt.
2. Zigbee Ruuter (ZR): käitub kui vahepealse seadmena, kandes infot teistele seadmetele edasi. Ruutereid ei ole võimalik energia säästmise otstarbel ooteolekusse panna.

3. Zigbee Lõppseade (ZED): suudab suhelda ainult ühe sõlmega, olles selleks kas koordinaator või ruuter. Lõppseade ei ole võimeline saatma andmeid edasi teistele seadmetele. Lõppseadmeid on võimalik panna ooteolekusse.

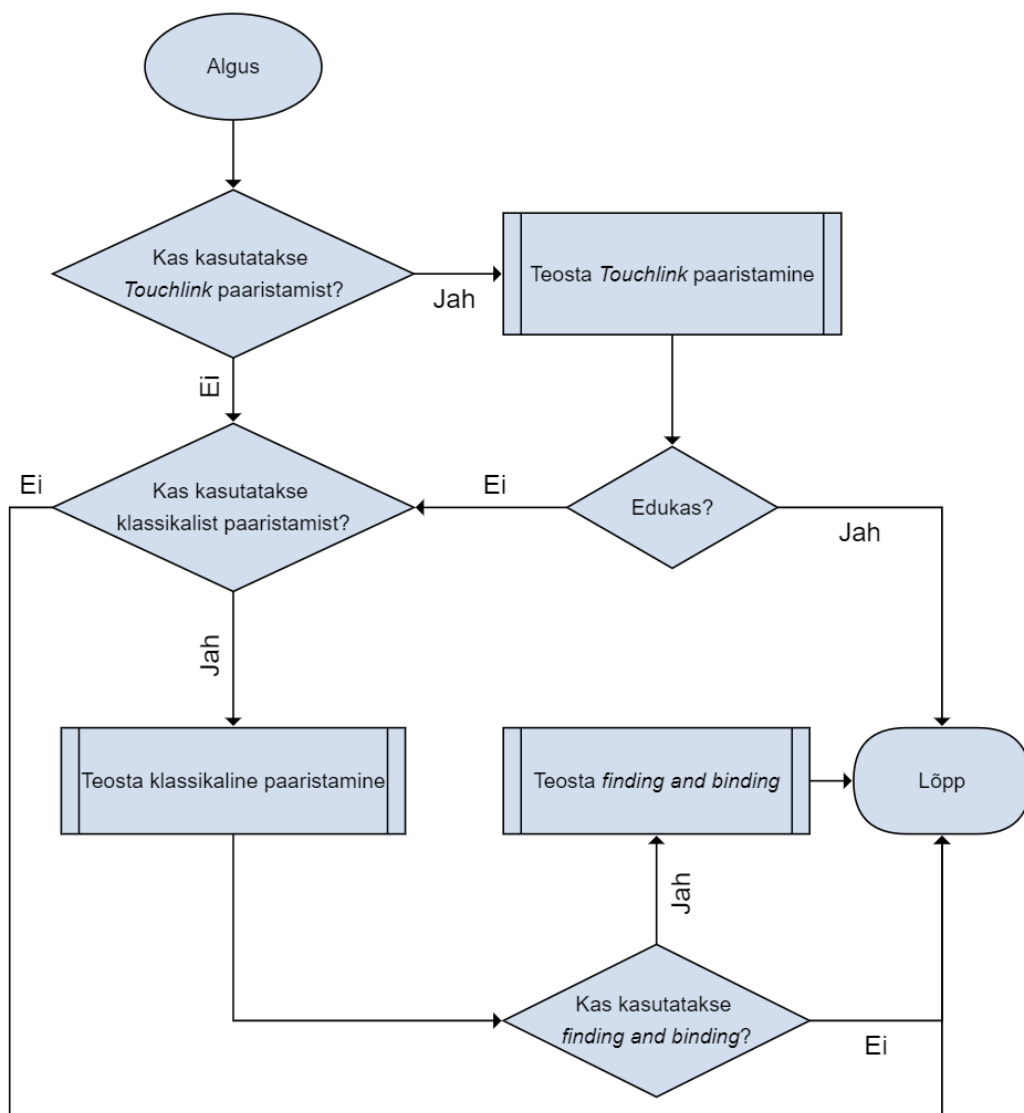
### **3.2 Zigbee võrgu sätestamine ja seadmete ühendamine**

Kohtvõrgu seadmete sätestamise on vajalik selleks, et iga seade oleks unikaalne ja autenditud võrgu poolt. Sätestamise peamine ülesanne on teha kindlaks, et võrku ühendatav seade on mõeldud just selle kindla võrgu jaoks. Seda saab seadistada eelnevalt, andes seadmetele kindlad tingimused, mida nad peavad täitma võrku ühendamiseks [3].

Zigbee seadmete kasutuselevõtt hõlmab endast seadmete avastust, nende ühendamist võrku ning seadmetele aadresside andmist. Seadmete kasutuselevõtu teostamiseks on Zigbee poolt pakutud kaks võimalust: [3]

1. *Touchlink* – seade võetakse võrku pannes juba võrgus oleva seadme ning ühendatava seadme omavahel lähestikku, võttes arvesse tootja poolt spetsifitseeritud RSSI lävendit.
2. Klassikaline – sõlm otsib endale võrku, skanneerides tootele spetsiifilisi raadiokanaleid.

Kahte lahendust on võimalik ka kasutada nii, et juhul kui esimene ei õnnestu, siis proovitakse teist. Kasutuselevõtu protsessi voodiagramm on välja toodud joonisel 5.



Joonis 5. Seadme kasutuselevõtu voodiagramm

Kui seade on võrku võetud kasutades klassikalist paaristamist, on võimalik kasutada *Finding and Binding* meetodit, kus seade paaristatakse teise võrgus oleva seadmega nende seadmete funktsionaalsuste põhiselt [2] . Näiteks kui on vaja, et valgusandur suhtleks otse vastava valgustiga, siis nad paaristatakse lisaks omavahel. Kui valgusteid, mis pole veel valgusanduriga ühenduses on mitu, siis vastavalt signaali tugevusele valitakse see valgusti, millega valgusandur ennast ühendab, mis ei anna alati korrektseid tulemusi. Automaatne *finding and binding* töötab ainult siis antud juhul korrektselt, kui on ainult üks valgusandur, millega valgustid peavad ennast ühendama või valgustite vaheline kaugus on nii suur, et signaali tugevusega on järjepidevalt võimalik kindlaks teha õige valgusti.

Lähtudes töös lahendatavast ülesandest, on vaja Zigbee poolt pakutavatele seadmete kasutuselevõtu meetoditele lisatud samme. Kui arvestada kavandatavat toodet ning selle nõudeid, siis *finding and binding* meetod ise seda nõutavale tasemele teha ei suuda. Juurde tuleks kasutuselevõtu protsessile lisada mingisugune automaatne(nt lokaliseerimise) või manuaalne(nt nupu vajutusega paaristamine) lahendus. *Touchlink* abil seadmete paaristamine antud toote puhul ka võimalik ei ole, kuna kõik võrgus olevad seadmed peavad selle jaoks olema sisse lülitatud ning ventilatsiooniseadmeid või juhtpaneeli üksteisele piisavalt lähedale asetamine *touchlink* paaristamise eesmärgil ilma selleta, et neid elektrivõrgust lahti ühendatakse, võimalik ei ole.

### 3.2.1 Zigbee standardi võimalused RSSI lokaliseerimiseks

Zigbee seadmed on võimelised kasutama RSSI mõõtmisi, et määrata seadme asukohta. Mõõtmised võivad olla kas kahe- või kolmedimensioonilised. Zigbee standardi järgi on pakutud kaks ülesandele lähtuvalt asjakohast meetodit lokaliseerimiseks: [4]

1. Lateratsioon - seadme positsiooni määramine kasutades mitut erinevat sõlme (seadet) [6] . Mida rohkem sõlmi kasutada on võimalik, seda täpsema tulemuse lateratsioon saavutab. Meetodi kasutamiseks on vajalik see, et määratav seade oleks Zigbee ruuter ning süsteemis oleks kokku vähemalt neli Zigbee ruuterit, kelle abil lokaliseerida.
2. Tsentraliseeritud – lokaliseerimine teostatakse tsentraliseeritud viisil seadme poolt, mis asub võrgus. Zigbee ruuterite olemasolu ei ole antud meetodiga tähtis, kuna seadme asukoht määratakse ainult Zigbee koordinaatori suhtes. Ei ole nii täpne kui lateratsioon.

Mõõtmiste väljundiks on seadme koordinaadid XY (Z), keskmine võimsus (dBm), *path loss exponent*, mõõtmiste vaheline periood, arvutamise periood ning mõõtmiste arv.

### 3.2.2 Zigbee põhise RSSI lokaliseerimise täpsus

Peatükk käsitleb Zigbee RSSI lokaliseerimise täpsuse hindamist, toetudes eelnevalt teostatud asjakohastele uuringutele. Zigbee RSSI lokaliseerimise lõplik täpsus oleneb paljudest parameetritest nagu näiteks mõõtmiste arv, mõõtmiste tehnika, raadiomooduli võimsus, keskkond jne.

2021.aastal [5] tehtud uuringus, kus kasutati nelja sõlme, et määrata viienda asukohta, saadi labori tingimustes keskmiseks veaks Zigbee lateratsiooni meetodit kasutades 1.60 meetrit. Koridoris mõõdetud tulemuste järgi oli viga keskmiselt 4.35 meetrit. Uuring jällegi pakkus välja alternatiivse mõõtmise meetodi, kus laboris ning koridoris oli keskmine viga vastavalt 0.68 ja 1.78 meetrit.

Kuid kui [5] tehtud uuringus olid kõik sõlmed ühes ruumis, siis uuringus [10] olid tingimused lähedasemad antud ülesandele, kus sõlmed olid paigutatud kindla ala peale erinevatesse ruumidesse. Erinevate tingimuste jaoks kohandatud algoritmiga saadi keskmiseks mõõteveaks 2,77 meetrit.

Mõlemad eelnevalt mainitud uuringud kasutasid suhteliselt madala võimsusega CC2420 raadiosageduslikku transiiverit [11], mille RSSI täpsus on  $\pm 6$  dB ning kasutab 2.4 GHz sagedusala, millel on teadaolevalt halvem takistustest läbivus kui 868 MHz sagedusalal toimivatel transiiveritel. On olemas uuemaid transiivereid, mis on tunduvalt suurema saatmisvõimsusega ning saavutavad RSSI täpsuseks  $\pm 1$  dB. Kavandatava süsteemi juhtpaneeli ning ventilatsiooniseadmete raadiomoodulid kasutavad integreeritud antenni, mõlemad uuringutes kasutatavad raadiomoodulid aga jällegi välist antenni.

On raske leida uuringuid, mis jäljendavad täpselt soovitud tingimusi, olgu nendeks transiiveri võimsus, sagedusala kasutus, välise antenni olemasolu jne. Suurt rolli mängib ka süsteemis olevate Zigbee sõlmede arv, mis mõjutab lateratsiooni meetodi täpsust. Eelnevalt mainitud uuringud pakuvad arusaama RSSI lokalisatsiooni üleüldisest täpsusest, mitte sellest kui täpne see lõpliku riistvara peal võiks olla.

Et RSSI lokalisatsioon oleks antud ülesandes kasutatav, peab maksimaalne mõõteviga olema väiksem kui võimalik minimaalne distantis kahe ventilatsiooniseadme vahel, mida mõjutab peamiselt see, kuidas ja millised aknad hoones paigutatud on. Isegi uuringus [5] saavutatud 0.68 meetrit keskmine mõõteviga osutub antud süsteemi jaoks liiga ebatäpseks ehk võib lõplikult öelda, et RSSI kasutamine seadmete lokaliseerimiseks on antud ülesande jaoks korrektse paaristamise eesmärgil kasutatav ei ole.



## **4 Lahendused**

Peatükk toob välja erinevaid lahendusi kuidas saavutada vahelduvventilatsioon. Samuti arutletakse nende lahenduste kasutamise ja implementeerimise viise ning tuuakse välja lahenduse tugevusi ja nõrkusi. Lahendused jaotatakse peatükis 2.4 välja toodud meetodile automaatseteks ning manuaalseteks lahendusteks.

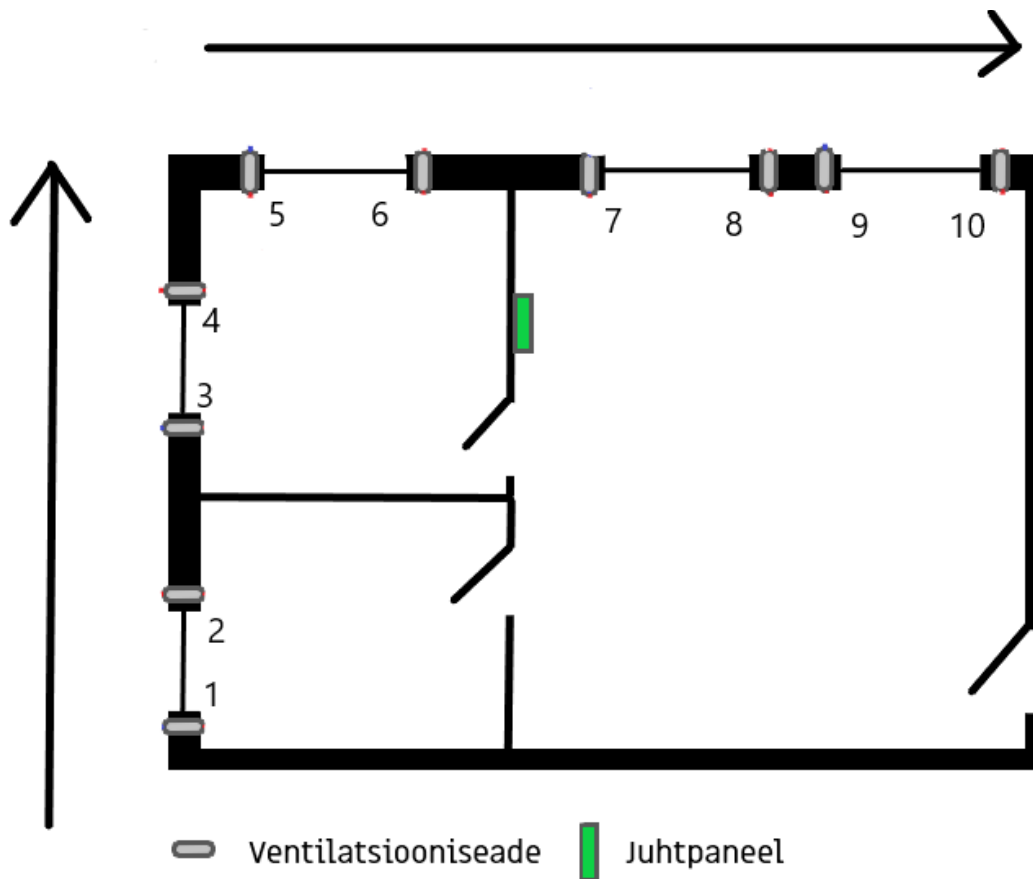
### **4.1 Vahelduvventilatsiooni tagamise võimalused**

Käesolev peatükk seletab lahti erinevaid meetodeid vahelduvventilatsiooni tagamiseks. Meetodite kasutamise jaoks on vajalik see, et seadmed oleks läbi mingisuguse automaatse või manuaalse lahenduse võrku võetud ja sätestatud, peale mida on võimalik tagada vahelduvventilatsioon vastavalt järjestikulisele nummerdamisele või algse puhumissuuna sätestamisega, olenevalt mis automaatset või manuaalset lahendust on kasutatud.

#### **4.1.1 Järjestikuline nummerdamine**

Antud meetodiga on vajalik ventilatsiooniseadmed järjestikuliselt nummerdada nagu on välja toodud joonisel 6. Ehk alterneeruv ventilatsioon tagatakse sellega, et ventilatsiooniseadmed 1 ja 2, 3 ja 4 jne. töötavad omavahel paaris.

Meetodi puhul on vajalik see, et ventilatsiooniseadmed oleks kas paaristatud kindlas järjekorras, neile oleks antud unikaalsed identifikaatorid või nende paiknemine üksteise suhtes oleks korrektselt määratud lokaliseerimisega. Lõpptulemuseks on see, et läbi nummerdamise on süsteemil teada, mis ventilatsiooniseadmed kõrvuti asuvad.



Joonis 6. Ventilatsiooniseadmete paaristamine läbi nummerdamise

Töös käsitletavat lahendused, mis kasutavad antud meetodit on järgnevad:

1. Seadmete paaristamine läbi lokalisatsiooni.
2. DIP lüliti.
3. Paaristamine NFC abil.
4. Nupu ja LED-i abil paaristamine.

#### 4.1.2 Vasaku ja parema ventilatsiooniseadme eristamine

Süsteem ei pea ilmtingimata teadma, mis ventilatsiooniseadmed omavahel paaris peavad töötama, ega seda, mis ventilatsiooniseadmed, millise teise ventilatsiooniseadme kõrval asuvad. Kui on teada ainult kas ventilatsiooniseade asub vasakul või paremal pool akent, siis on vahelduvventilatsiooni saavutamine ikkagi võimalik.

Kui ventilatsioonisüsteem alustab oma tööd, siis oleks võimalik sätestada nii, et vasakul pool akent asuv ventilatsiooniseade alustab välja puhumist ning paremal pool asuv sisse puhumist. Peale kindlat intervalli saadab juhtpaneel käsu, et kõik seadmed vahetaks oma puhumise suunda. Samuti on võimalik juhtpaneelil vabalt valitud ajal anda käsk, et kõik vasakpoolsed seadmed puhuvad välja ja parempoolsed sisse või vastupidi.

Töös käsitletavat lahendused, mis kasutavad antud meetodit on järgnevad:

1. Vasaku ja parema seadme automaatne tuvastus läbi andurite.
2. Vasak/parem lüliti.

## **4.2 Automaatsed lahendused**

Peatükk käsitleb peatükis 2.4 välja toodud automaatseid lahendusi, tuues välja nende implementatsiooni ja teostatavuse. Automaatseid lahendusi on töös kaks: seadmete paaristamine läbi lokaliseerimise ja vasaku ja parema seadme automaatne tuvastus läbi andurite.

### **4.2.1 Seadmete paaristamine läbi lokaliseerimise**

Kõik IEEE 802.15.4 standardil toimivad raadio moodulid on võimelised tegema RSSI mõõtmisi, millega on võimalik signaali tugevuse alusel võrgus olevaid seadmeid lokaliseerida ehk nende asukohta üksteise suhtes määrata. Zigbee võimalusi lokaliseerimiseks ning selle täpsust on käsitletud peatükkides 3.2.1 ja 3.2.2

Lokaliseerimise põhist paaristamist kasutatav süsteem kasutaks peatükis 4.1.1 välja toodud järjestikulise nummerdamise meetodit. Joonis 6 näite puhul on vajalik alustada kas seadmest 1 või 10, kuna näiteks ventilatsiooniseadmest 4 alustades ning nummerdades seadmeid järjekorras 4→3→2→1→5→6→7→8→9→10 õiget tulemust ei saavutata. Antud juhul peab süsteem valima esimeseks ventilatsiooniseadmeks selle seadme, mis on oma telje kõige äärmine ning tema kõrval telje peal ei asu ühtegi seadet. Korrektse tulemuse eesmärgil pole vahet kas alustada nummerdamist seadmest 1 või 10.

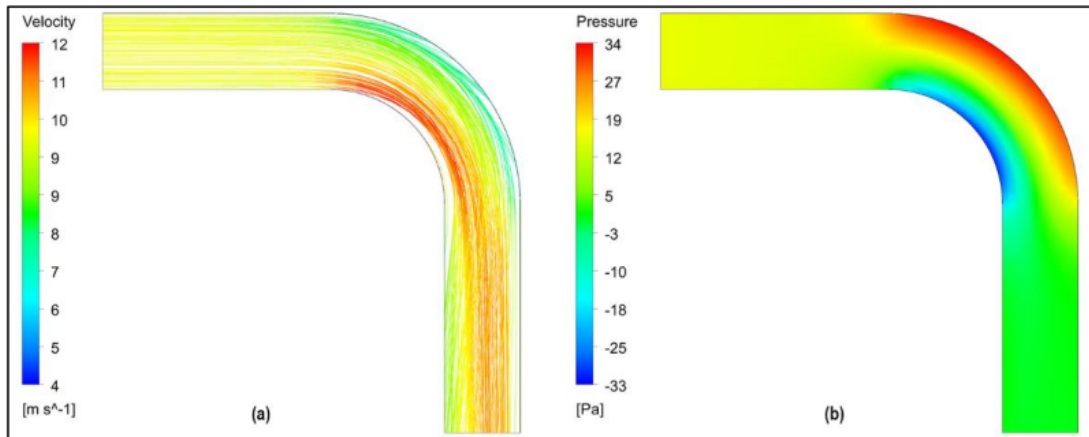
## **4.2.2 Vasaku ja parema seadme automaatne tuvastus läbi andurite**

Eelnevalt sai mainitud, et iga ventilatsiooniseade on oma riistvara poolest identne, kuid et saavutada seadme madalat profiili hoone välisfassaadi suhtes toimub välisõhu sisse tõmbamine akna siseosast ehk paigaldusel määratakse kummalt poolt seade õhku sisse tõmbab ning olenevalt sellest kas avatakse seadme vasak või parem paneel õhu sissetõmbeks ja välja puhumiseks nagu on illustreeritud joonisel 9. See tähendab, et lõplikult paigaldatud seadmeid on mingil määral võimalik omavahel eristada. Vasaku ja parema seadme eristamine võimaldab implementeerida vasaku ja parema ventilatsiooniseadme eristamise lahendust.

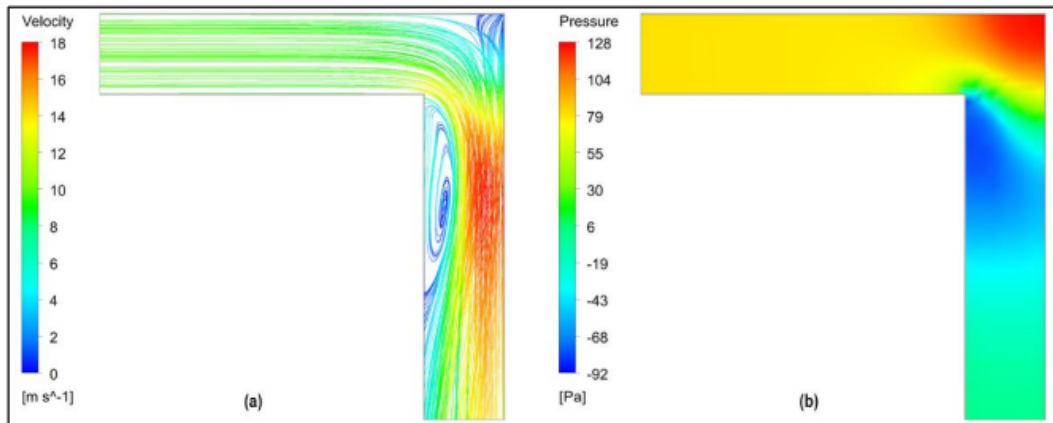
Et hinnata andurite kasutatavust kavandatavas tootes, on vajalik teada, kui kiiresti on ventilatsiooniseade läbi oma korpuse võimeline õhku liigutama. On teada, et ventilatsiooniseade on võimeline ventilaatorite 100% jõudluse juures liigutama  $47 \text{ m}^3$  õhku tunnis. Õhu liikumise kiirus on võimalik arvutada jagades õhu liikumise mahu ventilatsiooniseadme ristlõike pindalaga [24], milleks on  $0.0128 \text{ m}^2$ . Tulemuseks on see, et ventilatsiooniseadme sees maksimaalne saavutatav õhu liikumise kiirus on  $1.02 \text{ m/s}$ .

### **4.2.2.1 Automaatne tuvastus läbi rõhu andurite**

On teada, et õhu liikumine õhukanalites ümber  $90^\circ$  kurvide, põhjustab suuremat rõhku kurvi välisosas ning väiksemat rõhku siseosas, nagu on simuleeritud uuringus [7]. Ristkülikukujulise läbilõikega õhukanali põlve läbimisel joonisel 8, oli õhurõhu vahe õhukanali seinte vahel umbes  $120 \text{ Pa}$ . Radiaalse läbilõikega õhukanali põlve läbimisel joonisel 7 oli erinevus umbes  $60 \text{ Pa}$ . Probleeme võib tekitada jällegi see, et olemasolev ventilatsiooniseade ei tõmba enne kurvi õhku nii sirgjooneliselt sisse kui joonistel 8 ja 7, mis tähendab, et õhk ei ole niivõrd suunatud, mis võib vähendada rõhu erinevust.

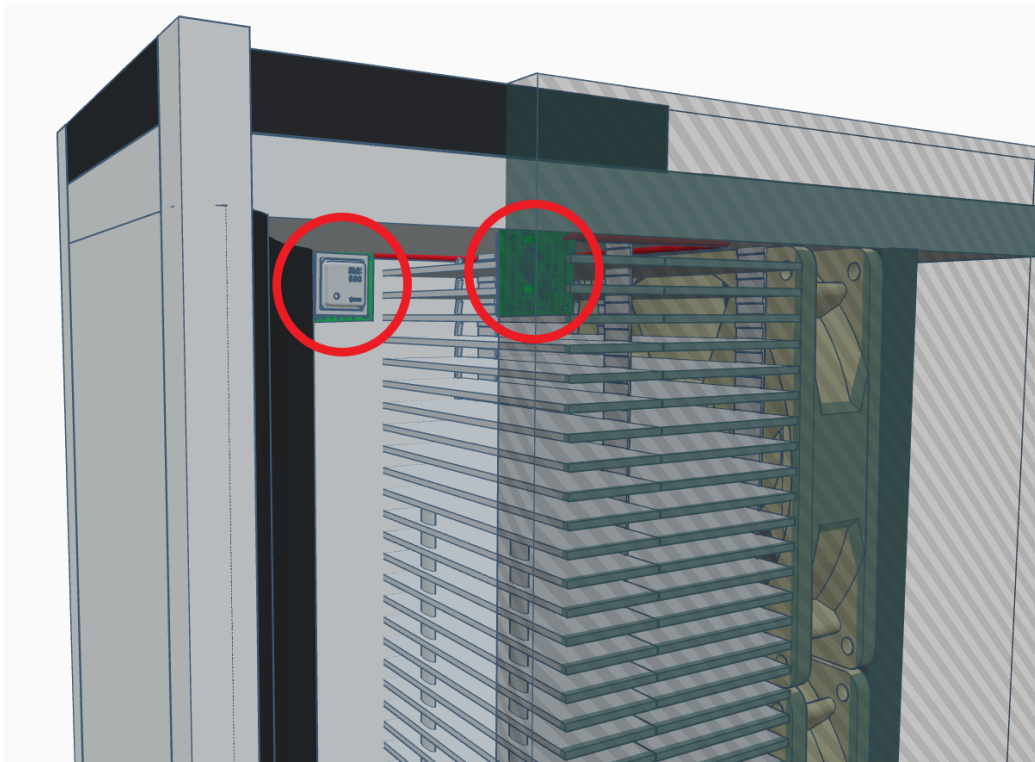


Joonis 7. 10 m/s õhu liikumine vasakult paremale läbi 90° radiaalse läbilõikega õhukanali põlve [7]



Joonis 8. 10 m/s õhu liikumine vasakult paremale läbi 90° ristkülikukujulise läbilõikega õhukanali põlve [7]

Rõhu anduri mahutamine õhu sissetõmbe jaoks mõeldud ava juurde on antud toote puhul keeruline, kuna seal asetseb soojussalvesti. Ainuke lahendus oleks muuta soojussalvestit ehk teha seda väiksemaks või teha spetsiaalsed kohad rõhu andurite jaoks. Andurite võimalikud asukohad on pakutud välja joonisel 9.



Joonis 9. Rõhu andurite paigutus paremal pool akent asuva ventilatsiooniseadme sees, juhul kui vähendada soojussalvesti suurust. Andurid on märgistatud punase ringiga.

Maksimaalse täpsuse saavutamiseks on mõttekas kasutada absoluutse rõhuanduri puhul mahtvuslikkuse põhjal andurit piezoresistiivse asemel. Keskkondlikud tegurid nagu näiteks õhuniiskus mõjutavad jällegi mahtvuslikke rõhuandureid rohkem kui näiteks piezoresistiivseid [15].

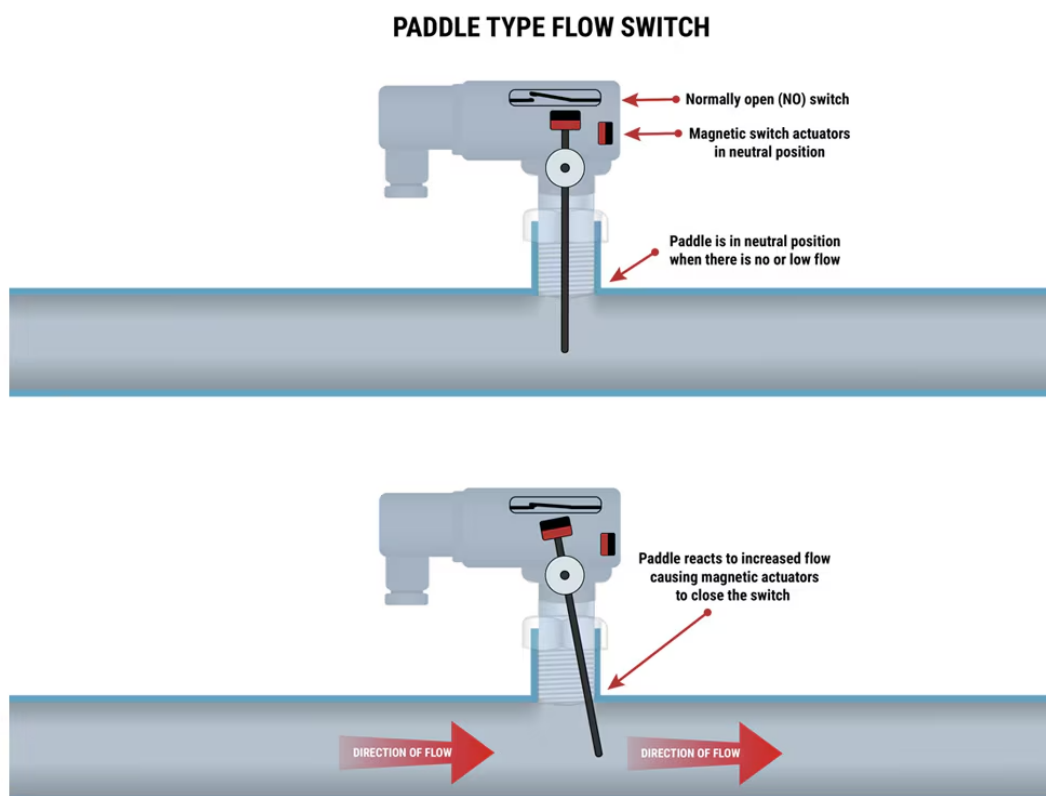
Nagu ka eelnevalt mainitud, siis ventilatsiooniseadme õhu sissetõmme ei ole niivõrd suunatud kui uuringus [7] välja toodud simulatsioonides, mis võib teha rõhu erinevuse tuvastamise keeruliseks. Samuti on õhu liikumise kiirus ligikaudu 10 korda väiksem kui simulatsioonis, mis vähendab rõhu erinevust õhukanali seinade vahel põlve läbimisel.

Kõige odavam absoluutne MEMS mahtvuslik rõhuandur[16], mis suudab andmelehe järgi  $\pm 1$  Pa täpsusega õhurõhku mõõta maksab 1.38€/tk, ehk 2.76€ kokku.

#### 4.2.2.2 Automaatne tuvastus läbi mehaanilise anduri

Alternatiivselt rõhu anduritele on võimalik kasutada mehaanilist andurit, mis suudaks mõõta õhuvoolu olemasolu ühes suunas. Sellisel otstarbel on lahendada oleks kasutada labaga andurit (*paddle flow switch*).

Labaga andur on kindla õhuvoolu puudumisel neutraalses asendis ehk andur kui lülitina on lahtine. Piisava õhuvoolu olemasolul liigub anduri laba tagasi ning magnetiliste täiturite toimel suletakse lüliti andes kavandatava toote puhul signaal ventilatsiooniseadet juhtivale elektroonikale, et õhuvool on tuvastatud. Illustratsioon anduri tööpõhimõttest on joonisel 10.



Joonis 10. Labaga anduri tööpõhimõtte illustratsioon[25]

Anduri asukoht võiks olla ventilatsiooniseadme korpuse ülemise osa all keskel, nagu on illustreeritud joonisel 11. Sellises asukohas on ta võimalikult lähedal ventilatsiooniseadet juhtivale trükkplaadile ning võimeline kindlaks tegema sisse tuleva õhu suunda. Kui ventilatsiooniseade asub vasakul pool akent, siis ei tuvastata õhu liikumist, aga paremal pool tuvastatakse. Kui kõikide ventilatsiooniseadmete õhu

sissetõmbe suund on kindlaks tehtud, siis on võimalik süsteem seadistada vastavalt peatükis 4.1.2 välja toodule.



Joonis 11. Labaga anduri paigutus paremal pool akent asuva ventilatsiooniseadme näitel. Andur märgistatud punase ringiga

Sellise otstarbega andur on saadaval 128.7€ eest[23] . Eelnevalt arvatud 1.02 m/s õhu liikumise kiirusest jääb antud juhul puudu, kuna andur suudab reageerida minimaalselt 1.16 m/s kiiruses liikuva õhuvoolu olemasolul.

#### 4.2.2.3 Automaatne tuvastus läbi õhuvoolumõõduri

Õhuvoolumõõduri (*air flow meter*) on andurid, mis suudavad tuvastada õhu liikumise kiirust. Antud ülesande puhul on vajalik kasutada andurit, mis suudab tuvastada õhu liikumist olenevalt suunast.

Anduri paigutus oleks sama, mis välja pakutud joonisel 11, kus ta paikneks korpuse ülemise osa all ventilaatorite puhumissuuna suhtes risti. Seal on see võimaline



tuvastama õhu liikumist olenevalt selle sisse tõmbamise poolest. Andur oleks oma mõõtmise suuna poolest paigutatud nii, et voolu suund oleks siseruumist vaadates vasakult paremale. Ventilatsiooniseadme õhu sissetõmbe suuna tuvastamiseks pannakse seadme ventilaatorid õhku sisse tõmbama. Kui ventilatsiooniseade asub vasakul pool akent, siis mõõtmistulemus peab olema kas null või negatiivne, aga kui ta asub paremal pool akent, siis positiivne. Kui kõikide ventilatsiooniseadmete õhu sissetõmbe suund on kindlaks tehtud, siis on võimalik kasutada vasaku ja parema ventilatsiooniseadme eristamise meetodit.

Kõige odavam andur, mis suudab ülesandega hakkama saada maksab 88.57 €/tk [26]. Kõrge hind tuleneb sellest, et anduri mõõtepiirkond on ülimalt madal ja täpne, suutes mõõta õhu liikumist antud ventilatsiooniseadmes -0.01 kuni 0.31 m/s, mis on antud ülesande jaoks piisavalt. Samuti tõstab anduri hinda see, et tema töötamiseks vajaliku temperatuuri vahemik on -20 kuni +85°C, kus miinuskraadides töötamine on antud toote jaoks vajalik.

### **4.3 Manuaalsed lahendused**

Antud peatükk käsitleb ülesande lahendamise viise, kus ventilatsiooniseadmete paaristamine juhtpaneeliga toimub läbi paigaldaja sisendi, olgu kas selleks nupu vajutamine, lüliti positsiooni muutmine jne. Peatükis on välja toodud neli lahendust manuaalseks paaristamiseks: vasak/parem lüliti, DIP lüliti, NFC paaristamine ning nupu vajutusega paaristamine.

#### **4.3.1 Vasak/parem lüliti**

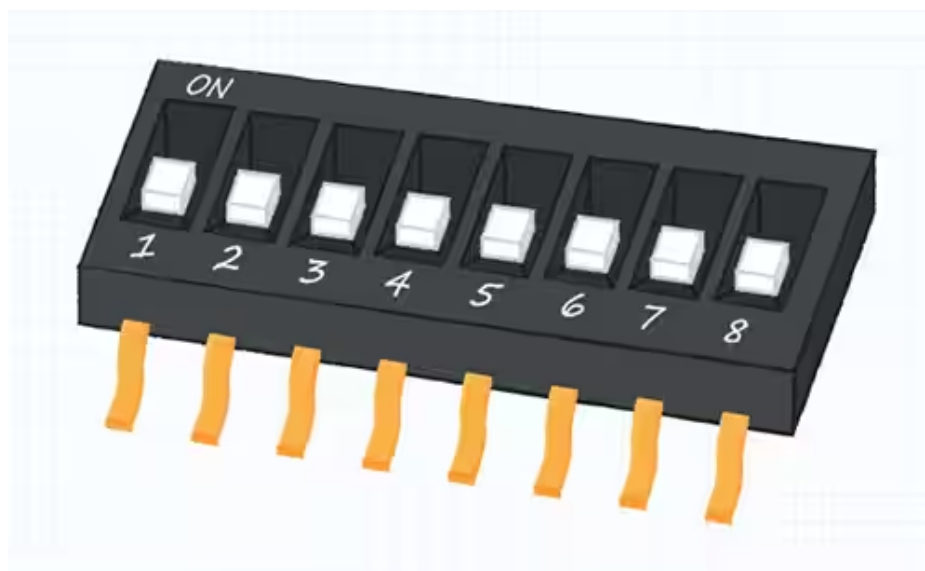
Kui iga ventilatsiooniseadme trükkplaadi peale paigutada kahe asendiga lüliti, mida saab muuta kahe oleku vahel (vasak/parem), siis süsteemi paigaldaja saaks vastavalt selle järgi, mis akna pool ventilatsiooniseade on seda lülitiga määrata. Peale seadme määramist on võimalik implementeerida vasaku ja parema ventilatsiooniseadme eristamise lahendust. Zigbee kasutuselevõtu protsessi antud juhul lisatud samme tegema ei pea, vaid on vaja ainult lugeda tarkvaras lüliti asend ning määrata algne puhumissuund. Paigaldamiseks ei ole vajalik voolu olemasolu ehk ühtegi süsteemis olevat seadet ei pea paigalduse ajal sisse lülitama. Kui paigalduse ajal on tehtud

tuvastatav viga, siis isegi lõppkasutaja on võimeline lüliti asendit korrektseks muutma, ilma selleta et oleks vaja korrata kohtvõrgu kasutuselevõtu protsessi.

Kuna lahendus pole paaristamisega seotud, siis seda lahendust ega midagi sellele sarnast uuringutes [12] ega [14] ei kajastata ehk usaldusväärsus ja lihtsuse mõõdikuid lahendusele läbi nende hinnata ei saa. Kahe asendiga lülitid on hinna poolest 0.25€ [17]

### 4.3.2 DIP lüliti

DIP lüliti on trükkplaadi peale paigutatav komponent, mis koosneb lülitite seeriast. DIP lüliteid kasutakse selleks, et anda manuaalselt lüliti sätestamisel tarkvarale teada arvuline väärtus. DIP lüliti illustratsioon on toodud välja joonisel 12.



Joonis 12. DIP lüliti [8]

Maksimaalne ventilatsiooniseadmete arv võrgus on 16 ehk 4 positsiooniga lüliti oleks võimalik kõik ventilatsiooniseadmed edukalt nummerdada. Et implementeerida peatükis 4.1.1 välja toodud järjestikulist nummerdamist, peab süsteemi paigaldaja igal ventilatsiooniseadme DIP lülitil korrektse kahendarvu väärtuse valima ning paigaldama seadme õigesse kohta. Zigbee kasutuselevõtu protsessi antud juhul muutma ei pea, kuna DIP lüliti poolt antud väärtus on ka võimalik peale seadme võrku võtmist lugeda.

Antud seadmete paaristamise meetodile teaduslikes uuringutes täpset vastandit on keeruline leida. Uuringus [14] välja toodud *Choose-and-Enter* meetod osutub antud lahendusega kõige sarnasemaks, kus osalejad pidid neljakohalise raskelt ära arvatava

kümnendnumbri valima ning sisestama selle mõlemal seadmel. Tulemuseks saadi, et paaristamine võttis keskmiselt aega ~32.7 sekundit, mis oli uuringu kõige ajaliselt kulukam lahendus ning ainult ~10% uuringus osalejatest leidsid, et meetodit oli kerge kasutada ning ~15% leidsid, et meetod oli kasutajasõbralik. Lahenduse *fatal error rate* oli 42,5%, kus ei saavutatud edukat paaristamist. Erinevalt uuringust on käesolevas töös välja pakutud DIP lüliti lahenduse puhul paigaldajal vajalik sisestada kahendarvuline number, mis võib osutada keerulisemaks isikutele, kes ei ole kahendsüsteemiga tuttavad.

Kulu poolest on 4 positsiooniga DIP lüliti 0.33€/tk [18].

### **4.3.3 Paaristamine NFC abil**

NFC on juhtmeta kommunikatsioonitehnoloogia, mis võimaldab lähestikku olevate NFC seadmete vahel saata andmeid nii, et üks seadmetest ei ole sisse lülitatud. NFC seadmed jagunevad passiivseteks ja aktiivseteks. Aktiivne seade on võimeline lugema ja isegi muutma passiivses seadmes olevaid andmeid [9]. Aktiivseteks seadmeteks loetakse üldjuhul NFC seadet, millel on raadiosageduslik transiiver (järgnevalt viidatud kui NFC lugeja) ning passiivseks seadmeks NFC seadet millel transiiverit ei ole (järgnevalt viidatud kui NFC silt).

On kaks meetodit kuidas kasutada NFC paaristamist antud süsteemis. Võimalikud meetodid on kirjeldatud järgnevates peatükkides. Mõlema meetodi puhul on vajalik peale klassikalise paaristamise sammu lisada tegevus, kus kontrollitakse seda, et kas võrku võetava seadme MAC aadress või NFC ID on eelnevalt loetud juhtpaneeli ehk Zigbee koordinaatori poolt.

#### **4.3.3.1 Juhtpaneel passiivse NFC seadmena**

Lahendus nõuab seda, et iga ventilatsiooniseadme peale oleks paigaldatud NFC lugeja, mis käituks aktiivse NFC seadmena ning juhtpaneeli peale NFC silt, mis käituks passiivse NFC seadmena.

Ventilatsiooniseadmed on vajalik kõik vooluga ühendada, et raadiomooduli unikaalne MAC aadress oleks võimalik kopeerida NFC lugeja peale. Ventilatsiooniseadmed ei otsi oma võrku, enne kui nende MAC aadress on loetud. Järgnevalt on vaja juhtpaneel paigutada igale ventilatsiooniseadmele piisavalt lähedale, et oleks võimalik MAC

aadress laadida raadiomooduli peal asuvalt NFC lugejalt juhtpaneeli NFC sildile. Edukalt NFC kiipide vahelisest suhtlusest on võimalik teavitada paigaldajat ventilatsiooniseadme peal asuva LED-iga.

Kui kõikide ventilatsiooniseadmete aadressid on juhtpaneeli NFC sildi peale loetud, siis on võimalik juhtpaneel vooluga ühendada, et ta saaks luua võrgu. Lisaks klassikalisele paaristamisele on vajalik lisada samm, mis kontrollib kas seade mis võrku võetakse omab MAC aadressi, mis asub juhtpaneeli NFC sildi peal.

#### **4.3.3.2 Nutiseade NFC lugejana**

Enamik tänapäeva nutitelefonid sisaldavad endas NFC lugejat. Kasutades nutitelefoni aktiivse NFC seadmena oleks võimalik kuluefektiivsuse eesmärgil paigaldada juhtpaneelile ning ventilatsiooniseadmetele NFC sildid. NFC kiipide vahelise suhtluse jaoks on vajalik arendada telefoniäpp.

Nagu ka raadimoodulitel, on igal NFC kiibil oma unikaalne ID. Nutitelefoni abil on võimalik kõikide ventilatsiooniseadmete peal asuvate NFC siltidelt lugeda nende ID ning kirjutada nad juhtpaneeli peal asuva NFC sildi peale. Sellise lahenduse puhul ei ole vajalik ventilatsiooniseadme sisse lülitamine paigalduse jaoks. Kui süsteem lülitatakse sisse, siis juhtpaneel loob võrgu ning võtab sinna võrku vastu ainult need ventilatsiooniseadmed, mille NFC siltide ID tal olemas on.

Peatükis 4.1.1 välja toodud järjestikulise nummerdamise lahenduse eesmärgil on kriitiline see, et ventilatsiooniseadmete aadressid skanneeritakse õiges järjekorras, näiteks nagu on välja toodud joonisel 6.

#### **4.3.3.3 NFC paaristamise vastavus mõõdikutele**

Kõige sarnasem analüüsitud lahendus on uuringus [12] *Seeing is Believing* meetod, kus isikul oli vaja skanneerida seadme peal olev ribakood ning veenduma et õige väärtus loeti seadme poolt. Usaldusväarsuse poolest saadi paaristamise edukuse protsendiks 90%. Lihtsuse aspektist oli meetodil keskmine paaristamise aeg ~39,25 sekundit. *Seeing is Believing* lahendus saavutas SUS suhteliseks skooriks ~60%.

Kulu poolest ei ole NFC sildid sugugi kallid. Näiteks NXP poolt toodetud NTAG I<sup>2</sup>C Plus seeria NFC sildid, mis sisaldavad endas ka I<sup>2</sup>C liidest raadiomooduliga

suhtlemiseks, maksavad 0.46€ tk [21] . Raadiosageduslikku transiiverit sisaldavad NFC lugejad on jällegi kallimad, kus kõige odavamaks osutus STMicroelectronics poolt pakutav ST25R95 NFC lugeja, mille hind on 1,76 €/tk [22] .

#### 4.3.4 Nupu ja LED-i abil paaristamine

Üks lihtne viis kuidas paaristamist teostada, oleks viia nupuvajutuse abil ventilatsiooniseade paaristamise režiimi. Sellisel moel ei saaks ventilatsiooniseade kohe sisse lülitumisel endale võrku otsida, vaid ootaks selleks nupuvajutust.

Juhtpaneel kui ka ventilatsiooniseadmed peavad olema enne paaristamise teostamist sisse lülitatud. Juhtpaneel loob sisse lülitumisel kohe võrgu, aga ventilatsiooniseadmed ootavad kuni nupuvajutuseni, et ennast võrgu otsimise režiimi panna, kus see läbib joonisel 5 kujutatud protsessi, aga selle asemel on lõpus juhtpaneeli peal vaja kinnitada ja võtta ventilatsiooniseade võrku vastu. Kinnitamiseks on pakutud välja vilgutada nii juhtpaneeli kui ventilatsiooniseadme peal LED-i samal sagedusel ning kui paigaldaja on veendunud, et tegu on õige ventilatsiooniseadmega, siis paaristamise lõpetuseks vajutab ta juhtpaneelil kindlat nuppu, et seade võrku vastu võtta. Selle implementeerimiseks on vajalik nii ventilatsiooniseadme kui juhtpaneeli Zigbee kasutuselevõtu protsessi lisada kohad, kust edasi liikumise jaoks on vajalik nupuvajutus. Ventilatsiooniseadmel on see koht enne võrgu otsimist ning juhtpaneelil enne seda kui ventilatsiooniseade võrku vastu võetakse. Kui seadet ei taheta võrku vastu võtta on võimalik seadistada programmis ajalõpu periood, peale mida lõpetatakse kasutuselevõtu protsess. Paaristades ventilatsiooniseadmed juhtpaneeliga järjestikulisena, on võimalik kasutada järjestikulise nummerdamise meetodit.

Uuringus [12] kõige sarnasem meetod antud lahendusele on *Button-Enabled Led Press* meetod, kus isikule on antud seade A ja B. Kui seadmel A läheb LED tööle, siis on vaja seadmel B vaja vajutada nuppu ning vastavalt sellele kuidas LED-id seadmel B tulemusena põlevad (roheline kui edukas paaristamine, punane kui mitte), siis vajutatakse seadmel A kas nuppu või mitte. Usaldusväarsuse poolest saavutati edukas paaristamine 82% ajast. Lihtsuse poolest võttis keskmine paaristamine aega ~60,38 sekundit ning SUS suhteline skoor oli ~56%. Kavandatava toote puhul võib paaristamine olla isegi keerulisem ja tülikam, kuna kaks paaritatavat seadet tõenäoliselt

ei asu üksteise kõrval, tehes mõlemal seadmel LED-i sageduste kontrollimise keerulisemaks kui uuringus.

Kulu poolest on võimalik valida odavamad tüüpi nupp ja LED, kuna komponentide kulumine on ebatõenäoline, arvestades et neid kasutatakse ainult paaristamise ajal. Seda arvestades on võimalik mõlemad nupu [19] ja LED-i [20] saada kokku 0.24 €/tk.

#### 4.3.5 Manuaalsete lahenduste mõõdikute kokkuvõte

Peatükk võtab kokku eelnevalt välja toodud uuringutest saadud eduka paaristamise protsendi, paaristamise kiiruse, SUS skoori ja kulu info tabeli Error: Reference source not found. kujul.

Tabel 1. Manuaalsete lahenduste mõõdikutele vastavust kokkuvõttev tabel

Lahendus	Edukas paaristamise protsent	Paaristamise kiirus	SUS skoor	Kulu
Vasak/parem lüliti	-	-	-	0.25€
DIP lüliti	57.5%	32.7 sekundit	12,5%	0.33€
NFC paaristamine	90%	39.25 sekundit	60%	0.46€(silt) 1.76€(lugeja)
Nupp ja LED	82%	60.38 sekundit	56%	0.24€

## 5 Järeldused

Peatüki eesmärk on analüüsida ning võrrelda omavahel erinevaid eelnevalt välja toodud lahendusi. Automaatseid ning manuaalseid lahendusi võrreldakse nii omavahel eraldi kui ka koos proovides jõuda kõige parema lahenduseni kavandatava toote jaoks.

### 5.1 Automaatsete lahenduste järeldused

Eelnevalt käsitletud automaatsete lahenduste vastavust peatükis 2.4 välja toodud mõõdikutele uuringus [12] ega [14] ühtegi automaatset paaristamise meetodit ei käsitleta, ega ei õnnestunud ka leida ühtegi uuringut, mis uurivad käesolevate automaatsete paaristamise meetodite usaldusväärsust. Selle põhjuseks on see, et paaristamise implementatsioon ning edukus sõltub suuresti tootest, kohtvõrgu tehnoloogiast ja kasutatavast riistvarast. Sellel põhjusel on käesolevas peatükis antavad järeldused diskussiooni vormis.

Peatükis 3.2.2 käsitletud RSSI täpsuse määramine andis tulemuse, mis välistab selle kasutamise lokalisatsiooni eesmärgil oma ebatäpsuse tõttu. Selle tõttu arvab töö autor, et antud lahendus sellisel kujul kavandatavasse tootesse ei sobi, kuna RSSI mõõtmiste mõõteviga on suurem kui lubatud selle jaoks, et ventilatsiooniseadmete asukohta korrektselt määrata.

Rõhu andurite kasutamine vasaku ja parema seadme eristamiseks ei ole autori arvates kindel lahendus. Nimelt on uuringu [7] simulatsioonis õhu liikumise kiirus ning selle suunatavus suurem, mis vähendab rõhu erinevust. Samuti on vajalik piisava täpsuse eesmärgil kasutada mahtuvuslikke rõhuandureid, mida mõjutavad keskkonnategurid.

Mehaanilise labaga anduri kasutamine kavandatavas tootes soovivat tulemust ei saavutaks. Minimaalne õhu liikumise kiirus mille peale andur reageerib on 1.16 m/s, olles väiksem kui 1.02 m/s maksimaalne võimalik õhu liikumise kiirus ventilatsiooniseadmes.

Ainuke automaatne lahendus, mis autori arvates saavutab piisava usaldusväarsuse, et tema kasutamine kavandatavas tootes oleks õigustatud, on õhuvoolumõõturiga lahendus. Antud lahendus suudab teoreetiliselt järjepidevalt tuvastada kumb ventilatsiooniseade asub vasakul ja kumb paremal pool akent ning on piisavalt vastupidav ilmastikutingimuste vastu.

## **5.2 Manuaalsete lahenduste järelused**

Peatükis võrreldakse manuaalseid lahendusi omavahel ning tuuakse ka välja nende vastavust mõõdikutele.

### **5.2.1 Manuaalsete lahenduste hindamine läbi mõõdikute**

Nagu ka peatükis 2.4 mainitud, siis manuaalsete lahenduste hindamine käib läbi uuringutes [12] ja [14] uuritud tulemuste, kus on kasutatud edukat paaristamise protsenti, SUS skoori ning paaristamise jaoks vajalikku keskmist aega.

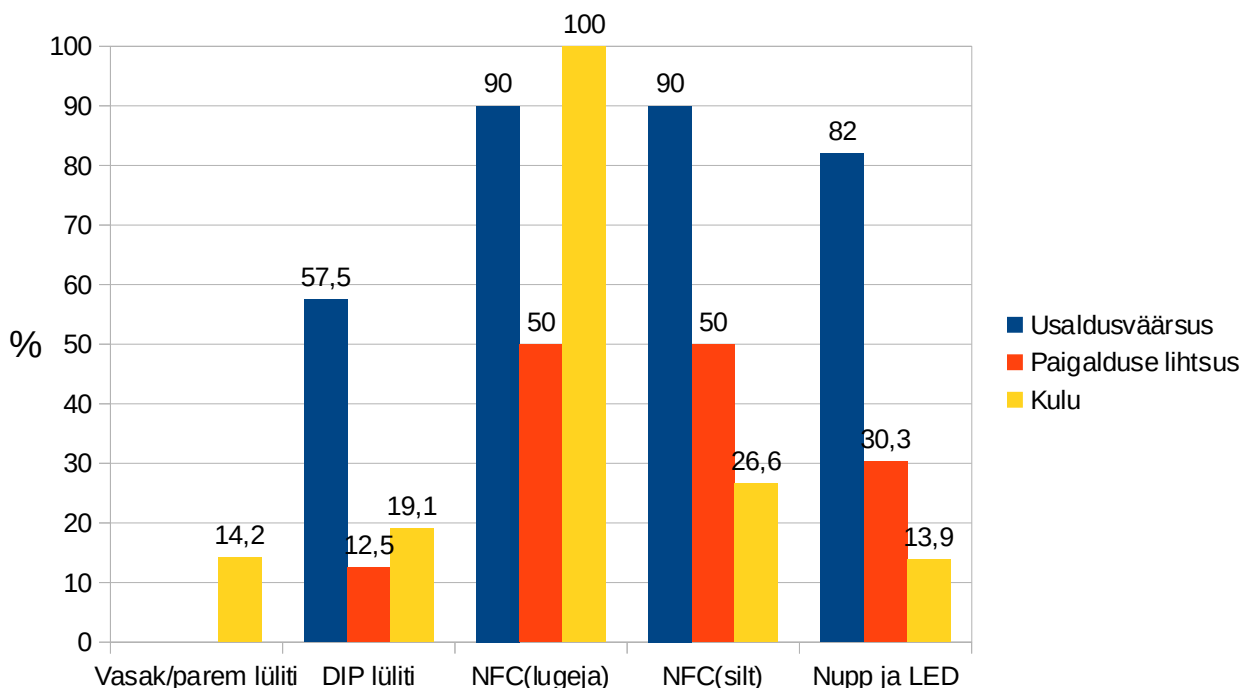
Lahenduste usaldusväarsust hinnatakse otseselt läbi eduka paaristamise protsendi, mis toob välja kui suur protsent ajast saavutatakse edukas paaristamine kahe seadme vahel.

Paigalduse lihtsuse poolest on võetud uuringust [12] arvesse mõõdikut, milleks on SUS skoor ning paaristamise jaoks vajalik keskmine aeg. SUS skoor[13] saadi küsitluse tulemusena, kus uuringus osalevatelt isikutele anti 10 väidet paaristamise meetodi kasutatavuse kohta, mida nad pidid 1-5 skaalal hindama. DIP lüliti lahenduse puhul uuringus [14] SUS küsitlust ei tehtud, aga küsiti hoopis uuringus osalejatelt kas nad arvavad, et DIP lüliti analoogset lahendust on kerge kasutada ja kas see on kasutajale sõbralik, kus on käesolevas töös võetud nende kahe tulemuse keskmine. Eelnevates uuringutes on välja toodud keskmine paaristamise aeg, mida kasutatakse käesolevas töös paigalduse lihtsuse hindamiseks. Lõplik paigalduse lihtsus saadakse järgneva valemi järgi: paaristamise aeg (normaliseeritud %) \* (SUS skoor(%) / 100).



## 5.2.2 Manuaalsete lahenduste omavaheline võrdlus

Ainuke lahendus, mille mõõdikutele vastavust ei leitud uuringutest [12] ega [14] oli vasak/parem lüliti lahendus. Vasak/parem lüliti, DIP lüliti, NFC paaristamise ning nupu ja LED-i abil paaristamise lahenduste võrdluse graafik on kujutatud joonisel 13. On vajalik ka välja tuua, et töös käsitletavat lahendused ei vasta üks-ühele nendele meetoditele, mis on välja toodud uuringutes [12] ja [14].



Joonis 13. Manuaalsete lahenduste mõõdikute graafiline võrdlus. Graafikul olevad väärtused on protsentuaalsed. Ainult kulu väärtus on normaliseeritud, suurim väärtus(NFC lugeja) on kõige kallim.

Usaldusväärssuse poolest osutus kõige paremaks lahenduseks NFC, peale mida olid vastavalt Nupp ja LED ning DIP lüliti lahendused. Nagu ka uuringus [14] on välja toodud, siis *choose and enter* meetodi ehk numbrilise kombinatsiooni valimise usaldusväärssus on liiga madal, et seda saaks antud lahenduses kasutada. NFC paaristamine ning nupp ja LED lahendus saavutasid usaldusväärssuse löikes rahuldava tulemuse. Isegi kui paaristamine ei ole alati edukas, siis paaristamine käib ventilatsiooniseadmete kaupa ehk paigaldajale on kohe võimalik teada anda kui paaristamine ei osutunud edukaks.

Et peatükis 2.4 välja toodud paigalduse lihtsuse skoori arvutada, on vajalik paaristamise kiirus normaliseerida, kuna kiirusel on suurem väärtus halvem, aga SUS skooril ja eduka paaristamise protsendil on see parem. Normaliseerimiseks võetakse kõige lühema

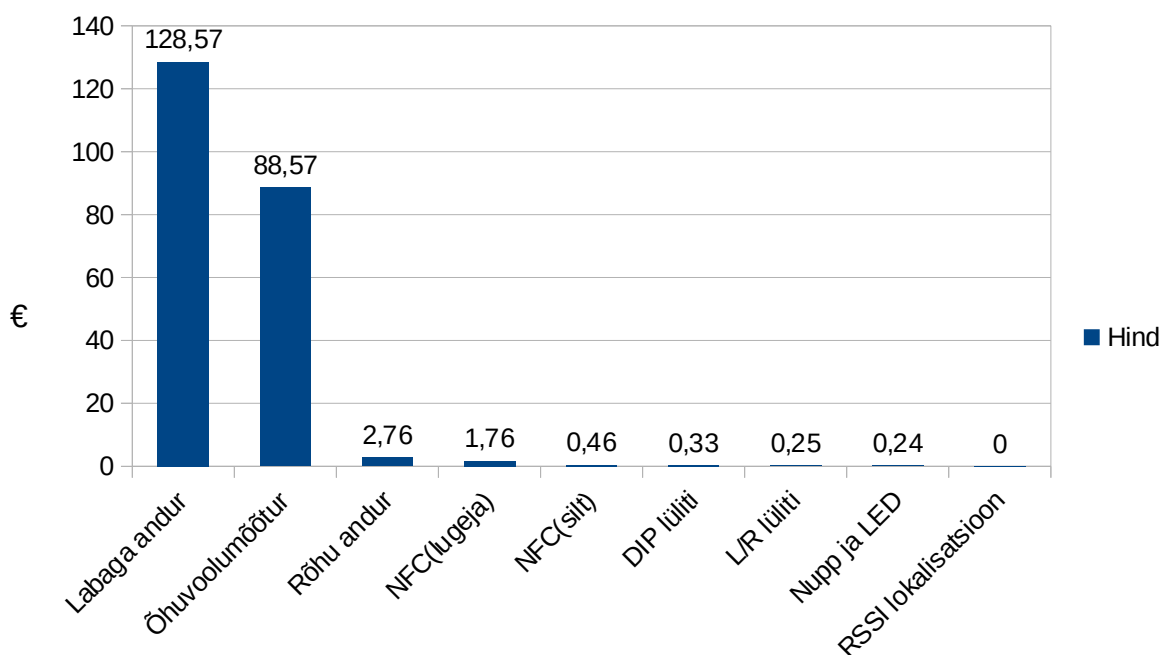
paaristamise ajaga lahendus ning pannakse selle väärtuseks 100%. Ülejäänud ajalised väärtused on vajalik jagada kõige väiksema ajalise väärtusega ning korrutada sajaga, et saada nende normaliseeritud protsentuaalne väärtus. Kõige parema tulemuse saavutas NFC lahendus, skooriga 50%, millele järgnevad nupp ja LED ning DIP lüliti.

Vasak/parem lüliti lahendus on oma paigalduse lihtsusest ning kiirusest manuaalsetest lahendustest kindlalt paigaldajale kõige kiirem ja lihtsam. Ainuke asi, mida paigaldaja peab tegema on määrama selle akna poole, kus ventilatsiooniseade asub.

Kõikidest manuaalsetest lahendustest osutus oma usaldusväarsuse ja paigalduse lihtsuse poolest kõige paremaks NFC paaristamise lahendus, kuid ka kõige kallimaks nii lugeja kui sildi puhul. Nupu ja LED-i lahendus oli oma mõõdikutelt vägagi rahuldavate tulemustega ning ka kõige odavama hinnaga. Kuigi vasak/parem lüliti ei saanud teiste mõõdikutega samalaadselt hinnata, siis autori arvates oleks see rakendatav kavandatavas tootes. DIP lüliti saavutas nii usaldusväarsuse kui ka paigalduse lihtsuse poolest kõige madalama tulemuse, kus niivõrd madala usaldusväarsuse poolest lahendus autori arvates kavandatavasse tootesse ei sobiks.

### **5.3 Kõikide lahenduste kulu võrdlus**

Lahenduse jaoks vajalik rahaline kulu on nii automaatsete kui manuaalsete lahenduste puhul kõige objektiivsemalt hinnatav mõõdik. Lahenduste kulude graafik on illustreeritud joonisel 14.



Joonis 14. Kõikide lahenduste rahalise kulu võrdlus.

Kolm kõige kulukamat lahendust on kõik automaatsed lahendused. Ainuke piisavalt usaldusväärne automaatne lahendus(õhuvoolumõõtur) on võrreldes manuaalsete lahendustega parimal juhul kümnetes kordades kallim. See tegur ei rahulda kliendi nõudeid, kus raadiomooduli ning selle lisade maksumus peab olema võimalikult madal. Sellel põhjusel on autori arvates automaatselt ülesande lahendamine usaldusväärset kliendi riistvara kulu nõuete kohaselt liiga kulukas.

## 5.4 Kõikide lahenduste järelused

Kavandatavasse tootesse sobivad eelnevates peatükkides tehtud järeluste põhjal kolm lahendust: vasak/parem lüliti, NFC abil paaristamine ning nupu ja LED-i abil paaristamine. Kõik kolm lahendust on manuaalsed, kus ainuke piisavalt usaldusväärne automaatne lahendus langes oma kõrge kulu tõttu valikust välja.

Usaldusväärseuse poolest on kõige parem lahendus NFC paaristamine millele järgneb nupp ja LED. Vasak/parem lüliti on järjestuses puudu, kuna talle usaldusväärseuse andmed puuduvad.

Paigalduse lihtsuse poolest on kõige parem lahendus vasak/parem lüliti, millele järgnevad vastavalt NFC paaristamine ning nupp ja LED lahendused. Vasak/parem lüliti kõige parem koht järjestuses on õigustatud läbi selle, et selleks on vajalik ainult üks võrreldavalt lihtne tegevus.

Kulu poolest on kõige parem lahendus nupp ja LED, millele järgnevad vastavalt vasak/parem lüliti ning mõlemad NFC paaristamise lahendused. Nupu ja LED ning vasak/parem lüliti lahenduste kulude vahel olulist erinevust ei ole.

Tulemustest võib järeldada, et kõik kolm lahendust on vahelduvventilatsiooni saavutamiseks kasutatavad. Igal mõõdikul on kõige parema tulemuse saavutanud erinev lahendus, mis teeb kollektiivselt kõige parema lahenduse valimise keeruliseks. Ehk tulemuseks kujuneb see, et kõik kolm lahendust on autori arvates võrdselt implementeeritavad kavandatavas tootes.

## 6 Kokkuvõte

Lõputöö eesmärgiks oli tuua välja ning võrrelda erinevaid meetodeid kuidas saavutada vahelduvventilatsioon juhtmeta kohtvõrgul põhineva ventilatsioonisüsteemi näitel. Töös sai tutvutud olemasoleva kui ka kavandatava tootega ning seal kasutatava kohtvõrgu tehnoloogiaga, milleks osutus Zigbee.

Tulemuseks on nelja automaatse ja nelja manuaalse lahenduse uurimine ning nende sobitamine kavandatavasse süsteemi. Käsitletud lahendusi hinnati vastavalt töös välja toodud mõõdikutele. Lahendusi võrreldi omavahel ning jõuti kolme kõige paremani. Kõik kolm lahendust olid manuaalsed: vasak/parem lüliti, NFC paaristamine ning Nupu ja LED-i abil paaristamine. Automaatsetest lahendustest osutus ainult õhuvoolumõõturit kasutav lahendus piisavalt usaldusväärseks, kuid oma võrreldavalt kõrge hinna poolest langes parimatest lahendustest välja.

Edasiarenduse võimaluseks oleks praktiliselt testida töös välja toodud lahendusi kavandatud toote peal eesmärgil viia kokku töö tulemusena tekkinud järeldused praktiliste tulemustega.

## Kasutatud kirjandus

- [1] Zigbee Alliance, Zigbee Specification Revision 22 1.0, 2017.
- [2] Silicon Labs, UG103-02: Zigbee Fundamentals Revision 1.5, 2021.
- [3] Zigbee Alliance, Zigbee Base Device Behavior Specification Version 1.0, 2016.
- [4] Zigbee Alliance, Zigbee Cluster Library Specification Revision 8, 2019.
- [5] A. Booranawong, K. Sengchuai, D. Buranapanichkit, N. Jindapetch and H. Saito, RSSI-Based Indoor Localization Using Multi-Lateration With Zone Selection and Virtual Position-Based Compensation Methods, 2021.
- [6] Dardari, Davide & Luise, M. & Falletti, Emanuela, Satellite and Terrestrial Radio Positioning Techniques, 2012.
- [7] Stojiljkovic, Branimir & Trninic, Marta, An adaptive approach to duct optimization of an industrial boiler air supply system using airfoils. Thermal Science, 2021.
- [8] Ryan Smoot.. CUI Devices Presents – The Basics of DIP Switches, 2021.
- [9] G. Madlmayr, J. Langer, C. Kantner and J. Scharinger, NFC Devices: Security and Privacy, 2008.
- [10] J. Larranaga, L. Muguira, J. -M. Lopez-Garde and J. -I. Vazquez, An environment adaptive ZigBee-based indoor positioning algorithm, 2010.
- [11] Texas Instruments, CC2420, 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / ZigBee-ready RF Transceiver, 2023.
- [12] Alfred Kobsa, Rahim Sonawalla, Gene Tsudik, Ersin Uzun, and Yang Wang, Serial hook-ups: a comparative usability study of secure device pairing methods, 2009.
- [13] Brooke, John, SUS - a quick and dirty usability scale, 1996.
- [14] Uzun, Ersin & Karvonen, Kristiina & Asokan, N., Usability Analysis of Secure Pairing Methods, 2007.
- [15] Santo Zarnik, Marina, and Darko Belavic. The effects of humidity on the stability of LTCC pressure sensors, 2012, pp. 133-140.
- [16] TDK InvenSense. Board Mount Pressure Sensor ICP-10101, Mouser Electronics, Külastatud 25.04.2024. <https://www.mouser.ee/ProductDetail/TDK-InvenSense/ICP-10101?qs=sGAEpiMZZMvWgbUE6GM3OavE8y1%252BdF%2FwzuFfuVi0kyJAatsh2pyKug%3D%3D>

- [17] E-Switch, SPST Switch KAG01TGGT, Mouser Electronics, K lastatud 25.04.2024,  
<https://www.mouser.ee/ProductDetail/E-Switch/KAG01TGGT?qs=Z%252BL2brAPG1IkU%252BRbiZPSiw%3D%3D>
- [18] CUI Devices, DIP Switch DS01-254-L-04BE, Mouser Electronics. K lastatud 25.04.2024,  
<https://www.mouser.ee/ProductDetail/CUI-Devices/DS01-254-L-04BE?qs=wnTfsH77Xs7iBoLQA4sMBw%3D%3D>
- [19] E-Switch, Pusbutton Switch TL2202EEZB(GRNACT), Mouser Electronics, K lastatud 25.04.2024,  
<https://www.mouser.ee/ProductDetail/E-Switch/TL2202EEZBGRNACT?qs=DRkmTr78QARuQeM5C7tGzQ%3D%3D>
- [20] Lite-ON. Standard LED LTST-C197KGKSKTCS2, Mouser Electronics, K lastatud 25.04.2024.  
<https://www.mouser.ee/ProductDetail/Lite-On/LTST-C197KGKSKTCS2?qs=9vOqFld9vZWa%252BsjzMIMIq%3D%3D>
- [21] NXP Semiconductors, NFC Tag NT3H2111W0FT1X. Mouser Electronics, K lastatud 25.04.2024,  
<https://www.mouser.ee/ProductDetail/NXP-Semiconductors/NT3H2111W0FT1X?qs=5ptrxOxu%252BRZCIHKQbf4S6Q%3D%3D>
- [22] STMicroelectronics, NFC Transponder ST25R95-VMD5T. Mouser Electronics, K lastatud 25.04.2024,  
<https://www.mouser.ee/ProductDetail/STMicroelectronics/ST25R95-VMD5T?qs=17cgNqFNU1hwf5BC2e1e3A%3D%3D>
- [23] Dwyer, Air Flow Paddle Switch AAFS, Premier Farnell Ltd, K lastatud 02.05.2024,  
<https://ee.farnell.com/dwyer/aafs/air-flow-paddle-sw-spdt-1800fpm/dp/4288160>
- [24] Al-Shemmeri, Tarik. Engineering fluid mechanics. Bookboon, 2012, pp. 50.
- [25] Omega Engineering, Ltd. What is a Flow Switch?, Külastatud 02.05.2024.
- [26] Sensirion, Digital Air Flow Meter SFM3119-240-CL, Mouser Electronics, Külastatud 02.05.2024,  
<https://www.mouser.ee/ProductDetail/Sensirion/SFM3119-240-CL?qs=aP1CjGhiNiGDnV%252B0zwlxNQ%3D%3D>

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

Mina, Herman Õunas

- 1 Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Juhtmeta kohtvõrgu seadmete määratlemise võimalused ventilatsioonisüsteemi näitel” mille juhendaja on Johannes Ehala.
  - 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.

13.05.2024

---

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 loomingu 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.