

# Jätevesipumppaamon hälytykset ja ohjaukset ESP32-piirillä



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

Syksy, 2023

Juho Vilska

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä Juho Vilksa

Vuosi 2023

Työn nimi Jätevesipumppaamon hälytykset ja ohjaukset ESP32-piirillä

Ohjaaja Juha Sarkula

Tämän työn tarkoituksena oli kehittää työn tilaajan kiinteistölle jätevesipumppaamoon järjestelmä, joka havaitessaan vian lähettäisi siitä tiedon kiinteistön omistajalle. Lisäksi tavoitteena oli mikropiirin avulla ohjata pumppaamon toimintaa releitä käyttäen tilaajan toivomalla tavalla. Tarve pumppaamon hälytysten ja ohjausten etätoiminnallisuuksiin syntyi siitä, että kiinteistön pumppaamokeskus sijaitsi tilassa, jossa ei tavallisesti juuri käydä. Tästä syystä mahdolliset vikatilanteet olisivat saattaneet jäädä pitkäksikin aikaa huomaamatta.

Työtä varten selvitettiin jätevesipumppaamon rakenteen ja toiminnan lisäksi erilaisia keinoja toteuttaa etävalvonta ja -hallinta. Lisäksi selvitettiin markkinoilla olevia, työn teettäjän kriteerit täyttäviä valmiita ratkaisuja. Tämän jälkeen valittiin työhön käytettävät tekniikat ja suunniteltiin työn vaatimukset täyttävä piirilevy, johon lisättiin tarvittavat komponentit. Mikropiirin ohjelmointi toteutettiin Arduino IDE-ympäristössä käyttäen C++-ohjelmointikieltä.

Piirilevyn moduulikoteloon kiinnittämistä varten suunniteltiin sopiva kiinnike, joka tulostettiin 3D-tulostimella. Pienjännitepiirien turvallista ohjausta varten rakennettiin erilliseen moduulikoteloon 24VDC ohjauspiiri, jota ohjattiin mikropiiriin liitetyillä releillä.

Lopuksi kokonaisuus asennettiin työn tilaajan pumppaamokeskuksen yhteyteen ja todettiin vaaditulla tavalla toimivaksi.

Avainsanat Arduino, esineiden internet, etäseuranta

Sivut 48 sivua ja liitteitä 1 sivu

Electrical and automation engineering

Abstract

Author Juho Vilksa

Year 2023

Subject Alarms and controls of a sewage pumping station with an ESP32-  
microcontroller

Supervisors Juha Sarkula

---

The aim of this thesis was to develop a system for the client's property's sewage pumping station that would remotely inform the owner of possible faults. In addition, the goal was to allow the use of relays to remotely control the pump station in a manner the client specified. The need for such a system arose because the pumping station's control panel was in an area that was not usually visited. Thus, possible faults could go unnoticed for a long time.

Various methods to implement remote control and monitoring were investigated for this thesis. In addition, ready-made solutions on the market that met the client's criteria were investigated. After this the solutions used for the project were chosen. A circuit board that would fulfill the requirements of the project was designed and the necessary components added. The programming of the microchip was done using Arduino IDE and C++-language.

A suitable bracket for attaching the circuit board to its case was designed and printed with a 3D-printer. A 24VDC control circuit in a separate case was implemented to safely control 230V circuits using the relays connected to the microchip.

Finally, the project was installed at the client's sewage pumping station and found to be working as required.

Keywords Arduino, internet of things, remote monitoring

Pages 48 pages and appendices 1 page

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Kehittämistyön tietoperusta .....	1
2.1	Jätevesipumppaamo .....	1
2.1.1	Rakenne ja toiminta .....	2
2.1.2	Ohjauskeskus.....	3
2.2	Mikropiirit .....	5
2.2.1	Arduino.....	6
2.2.2	ESP-mikropiirit.....	7
2.2.3	Raspberry Pi .....	8
2.3	Langattomat yhteydet.....	9
2.3.1	LoRaWAN .....	10
2.3.2	NB-IoT.....	11
2.3.3	LTE-M.....	12
2.3.4	Wi-Fi .....	12
2.3.5	Matkapuhelinverkko .....	13
2.3.6	ZigBee .....	14
2.4	Viestien lähettäminen käyttäjälle .....	16
2.4.1	Sähköposti .....	16
2.4.2	WhatsApp.....	17
2.4.3	Telegram.....	18
2.4.4	Signal .....	19
2.4.5	Push-ilmoitus IFTTT-palvelua käyttäen .....	19
2.5	Valmiit ratkaisut .....	21
3	Kehittämistyön tarkoitus ja tavoite .....	22
4	Työn suunnittelu ja toteutus .....	22
4.1	Käyttäjävaatimukset .....	22
4.2	Vaatimusmäärittely.....	23
4.2.1	Laitteisto.....	23
4.2.2	Ohjelmisto .....	24
4.2.3	Yhteys ja etäviestinnän mahdollistava palvelu .....	24

4.3	Valitut tekniikat ja palvelut .....	25
4.3.1	Valmiit ratkaisut .....	25
4.3.2	Laitteisto.....	25
4.3.3	Yhteys ja etäviestinnän mahdollistava palvelu .....	25
4.4	Etävalvontaratkaisun suunnittelu ja rakentaminen .....	26
4.4.1	Työn kohteena oleva pumppaamokeskus .....	26
4.4.2	Työssä käytetyt tarvikkeet .....	27
4.4.3	Piirilevyn suunnittelu .....	28
4.4.4	Sisääntulot.....	31
4.4.5	Näyttö.....	33
4.4.6	Releet .....	33
4.4.7	Muistikortti.....	35
4.4.8	Ohjelmointi.....	36
4.4.9	3D-tulostus .....	38
5	Tulokset ja johtopäätökset .....	39
6	Pohdinta ja kehittämissuhteet .....	41
	Lähteet.....	43

## Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1.	Grundfos Polar-pumppaamon rakenne (Grundfos, n.d.-a).....	2
Kuva 2.	Kari-pintakytkin 3H (Kari, n.d.).....	3
Kuva 3.	Esimerkki pumppaamon ohjauskeskuksesta (Liperin Itäinen Vesiosuuskunta, 2015b). .....	4
Kuva 4.	Arduino UNO WiFi Rev2 (Arduino, n.d.-b).....	6
Kuva 5.	ESP32-DevKitC V4 kehityspiiri (Espressif, n.d.-c).....	8
Kuva 6.	Raspberry Pi 4 Model B (Raspberry Pi, 2021).....	9

Kuva 7. LoRaWAN-verkon topologia (LoRa Alliance, n.d.).	11
Kuva 8. ZigBee-protokollan mesh-topologia (E-SPIN Group, 2023b).	16
Kuva 9. Esimerkki CallMeBot-palvelun käyttöönotosta (CallMeBot.com, 2021b).	18
Kuva 10. Esimerkkikuva Telegram-sovelluksesta puhelimessa (Telegram, n.d.-b).	19
Kuva 11. Esimerkki push-ilmoituksista (Android developers, n.d.-b).	20
Kuva 12. Esimerkki IFTTT-ohjelmasta.	20
Kuva 13. Työn teettäjän pumppaamokeskus.	27
Kuva 14. EasyEDA-ohjelmalla suunniteltu piiri.	29
Kuva 15. Reititetty piirilevy.	30
Kuva 16. Komponentit sisältävä piirilevy.	31
Kuva 17. Esimerkki kytkennästä mikropiirin ja lämpöreleen välillä.	32
Kuva 18. Releohjauksen piirikaavio.	34
Kuva 19. Relekotelo.	35
Kuva 20. Ohjelman loop()-funktion sisältö.	36
Kuva 21. Ohjelman vuokaavio.	38
Kuva 22. Kuva kiinnikkeestä sivulta ja edestä.	39
Kuva 23. Pumppaamokeskukseen asennettu kokonaisuus.	40

Taulukko 1. Ohjauksen toiminta liitteen 1 mukaisessa ohjauskeskuksessa. ....	5
Taulukko 2. Laitteistovaatimukset GPIO-liittimien suhteen.....	24
Taulukko 3. Työtä varten valitut sisään- ja ulostulot ja niiden kuvaukset. ....	32
Taulukko 4. Lista Telegram-komennoista. ....	37
Kaava 1. LED-valon etuvastuksen virrankulutuksen laskentakaava.....	33

## Liitteet

Liite 1.	Kari-pumppaamon ohjauspiirikaavio
----------	-----------------------------------

## 1 Johdanto

Työn tarkoituksena on kehittää kustannustehokas hälytys- ja ohjausjärjestelmä työn teettäjän kiinteistön jätevesipumppaamoon käyttäen mikropiiriä. Kehitettävän järjestelmän tulee toimia langattomasti etäyhteydellä ja ilmoittaa ongelmatilanteista reaaliajassa. Opinnäytetyön tekijällä on aiempaa kokemusta mikropiirien käytöstä erilaisissa elektroniikkaan liittyvissä projekteissa.

Työn tietoperustaa varten selvitetään jätevesipumppaamon toimintaperiaate. Lisäksi tutkitaan mikropiireihin, verkkoyhteyksiin sekä viestintäpalveluihin liittyviä vaihtoehtoja, jotka voisivat täyttää työn teettäjän asettamat vaatimukset. Tämän jälkeen valitaan työssä käytettävät tekniikat. Kerätyn tiedon pohjalta suunnitellaan ja toteutetaan toimiva järjestelmä työn teettäjän antamien kriteerien mukaisesti. Työssä selvitetään myös kaupallisia, jo markkinoilla olevia valmiita ratkaisuja, jotka voisivat sopia työn teettäjän kriteereihin. Työn toteuttamisen jälkeen esitellään valmis kokonaisuus ja käydään läpi johtopäätökset ja pohdinta työprosessista.

## 2 Kehittämistyön tietoperusta

Erilaisilla kohtuullisen hintaisilla mikropiireillä on nykyään aiempaan verrattuna helpompaa ja käyttäjäystävällisempää rakentaa ratkaisuja monenlaisiin ongelmiin. Näitä laitteita käyttämällä monia verkosta erillään olevia laitteita voidaan ns. älyllistää ja liittää osaksi internetiä. Tällaisista laitteista käytetään termiä IoT eli Internet of Things, esineiden internet. Aiemmin tällaisten ratkaisujen rakentaminen oli työläämpää ja kalliimpaa. Lisäksi internetin myötä ohjeistus elektroniikkapiirien rakentamiseen ja niiden kanssa toimimiseen on helpommin saatavilla.

### 2.1 Jätevesipumppaamo

Jätevesipumppaamon tarkoituksena on pumpata jätevesi pumppaamoa korkeammalla olevaan putkistoon. Tällainen tilanne tulee eteen silloin, kun viemärissä olevaa nestettä ei



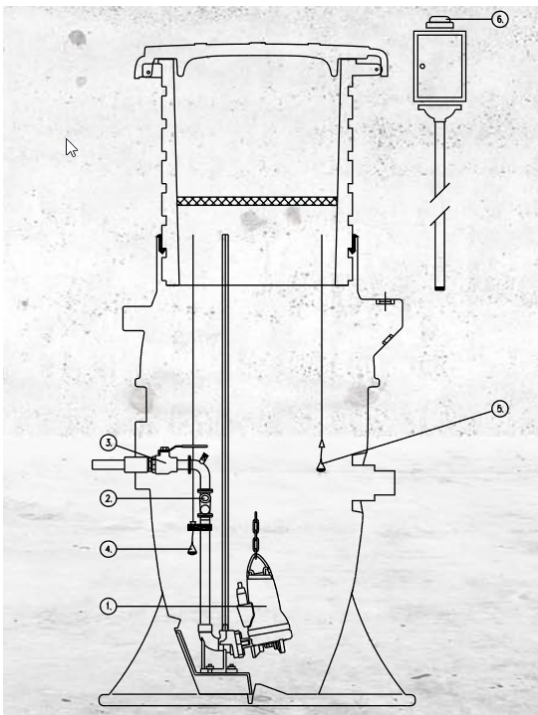
voida poistaa painovoiman avulla alempana olevaan putkistoon. Lisäksi pumppaamossa tulee olla anturi, joka ilmaisee häiriötilanteen. Jäteveden virtaaminen takaisin pumppaamoon tulee olla estetty. (Talotekniikkainfo, n.d.)

Pumppaamon ominaisuudet, kuten pumppujen määrä, tulee suunnitella tapauskohtaisesti sopimaan kulloinkin vallitseviin olosuhteisiin. (Xylem, n.d.)

### 2.1.1 Rakenne ja toiminta

Jätevesipumppaamo koostuu pumpuista, ohjauskeskuksesta, erilaisista pumppaamon tilaa valvovista pintakytkimistä ja jätevesisäiliöstä. Esimerkki eräästä kahden pumpun pumppaamosta nähdään kuvassa 1.

Kuva 1. Grundfos Polar-pumppaamon rakenne (Grundfos, n.d.-a).

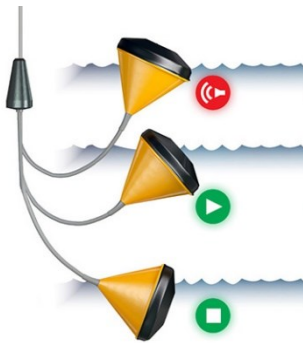


Pumppaamon tasoa tarkkailevia pintakytkimiä ovat ala-, ylä- ja hälytyspintakytkimet. Nämä voivat olla kaikki yhdistettyinä yhteen anturiin tai erillisiä. Vedenpinnan noustessa pintakytkin nousee vedenpinnan mukana ja sopivassa asennossa ilmaisee ohjauskeskukselle vedentason olevan esimerkiksi niin korkealla, että pumpun tulee käynnistyä. Lisäksi

pumppaamossa oleva punainen hälytysvalo syttyy, jos vedenpinta nousee hälytysrajan tasolle. Vihreä valo taas kuvaa normaalia pumpun käymistä. Tyypillisesti pumppu käy kerralla minuutista kahteen minuuttiin. (Liperin Itäinen Vesiosuuskunta, 2015a)

Kuvassa 2 on esitetty eräs Kari pintakytkin, jossa yksi pintakytkin sisältää 3 eri pinnantasoa ilmaisevaa kytkintä.

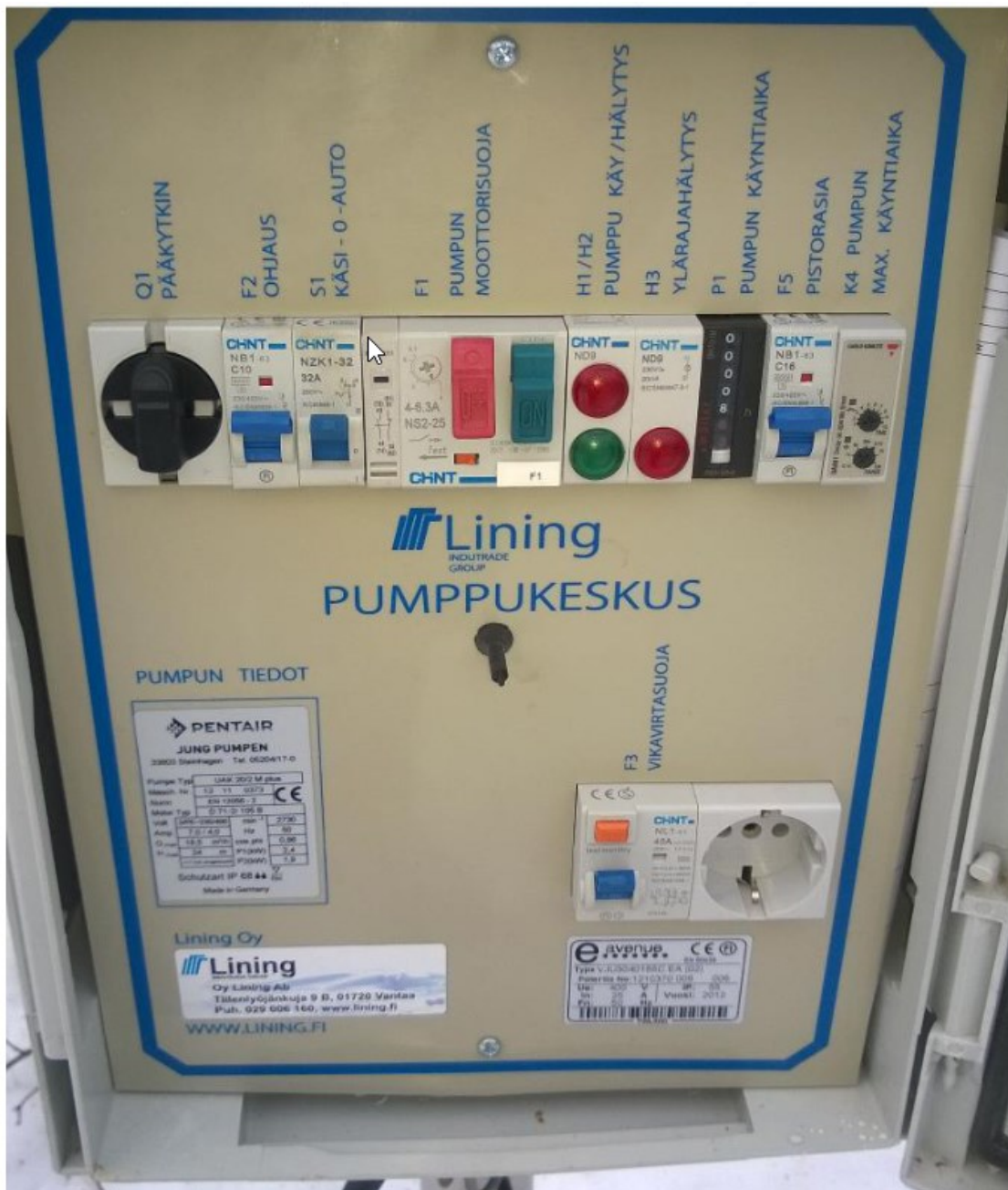
Kuva 2. Kari-pintakytkin 3H (Kari, n.d.).



### 2.1.2 Ohjauskeskus

Tässä osiossa käydään läpi yleisesti pumppaamojen ohjauskeskusten toimintaa käyttäen hyväksi muun muassa liitteen 1 piirikaavion kuvaamaa kahden pumpun pumppaamon toimintaa. Pumppulaitoksen ohjaus tapahtuu keskuksessa, joka sijaitsee yleensä pumppaamon yhteydessä. Keskuksessa sijaitsevat pumppaamon toiminnan kannalta vaaditut komponentit kuten johdonsuojakatkaisijat, sulakkeet, releet, kontaktorit ja lämpösuojat. Eräs esimerkki ohjauskeskuksesta on nähtävillä kuvassa 3.

Kuva 3. Esimerkki pumppaamon ohjauskeskuksesta (Liperin Itäinen Vesiosuuskunta, 2015b).



Liitteen 1 kuvaamassa esimerkissä jätevesisäiliössä on kaksi pintakytkintä ja kaksi pumpua, jotka vuorottelevat. Ensimmäinen pintakytkin KARI 3Y ohjaa pumppaamon toimintaa jäteveden pinnan noustessa eri korkeuksille ja toinen pintakytkin KARI 1H antaa hälytyksen pinnan noustessa liian korkealle tasolle. Kummallakin pumpulla on erillinen käyttökytkin S1 ja S2, joista voidaan asettaa pumput toimimaan joko käsikäytöllä tai automaattisesti pinta-antureiden ohjaamana.

Pintakytkin KARI 3Y antaa kolme eri signaalia riippuen pinnantasosta eli pintakytkimen kallistustasosta. Kärki 2 toimii alarajana ja pitopiirinä kärjen 3 liipaistessa kontaktorin 1 tai 2 vetäneeksi. Kärki 3 ilmaisee pinnan olevan sellaisella tasolla, että ensimmäinen vuorossa oleva pumppu käynnistetään. Kärki 4 ilmaisee pinnan olevan niin korkealla, että toinen pumppu käynnistetään ensimmäisen avuksi. Pinnan nousu näin korkealle johtuu joko pumpun toiminnassa olevasta viasta tai säiliön täyttymisestä jätevedellä nopeammin kuin yksi pumppu ehtii pumpata pois. Vuorottelureleen K3 toimintaa ohjataan releen K5 kautta. Rele K5 saa jännitteen aina kontaktorin K1 tai K2 käydessä ja tällöin vuorottelurele K3 vaihtaa kärkien asentoa. (Liite 1)

Kontaktorien K1 ja K2 yhteydessä on lämpösuojat, joiden laukeaminen antaa hälytyksen releen K4 kautta ja sytyttää lampun L1. Kontaktorien yhteydessä olevat lamput h1 ja h2 sytyvät pumppujen käydessä. Keskuksessa voi olla myös käyttötuntilaskurit pumppuille, joista seurataan pumpun käyttöaikaa ja kahden pumpun tapauksessa rasituksen jakautumista riittävän tasaisesti. (Liite 1)

Taulukossa 1 kuvataan liitteen 1 mukaisen kytkennän toimintaa. Taulukon harmaat palkit kuvaavat pintakytkimien ja hälytyskytkimen lähettämää aktiivista signaalia, sekä pumpun käymistä.

Taulukko 1. Ohjauksen toiminta liitteen 1 mukaisessa ohjauskeskuksessa.

Pintakytkin kärki 2												
Pintakytkin kärki 3												
Pintakytkin kärki 4												
Hälytyskytkin												
Pumppu 1												
Pumppu 2												

## 2.2 Mikropiirit

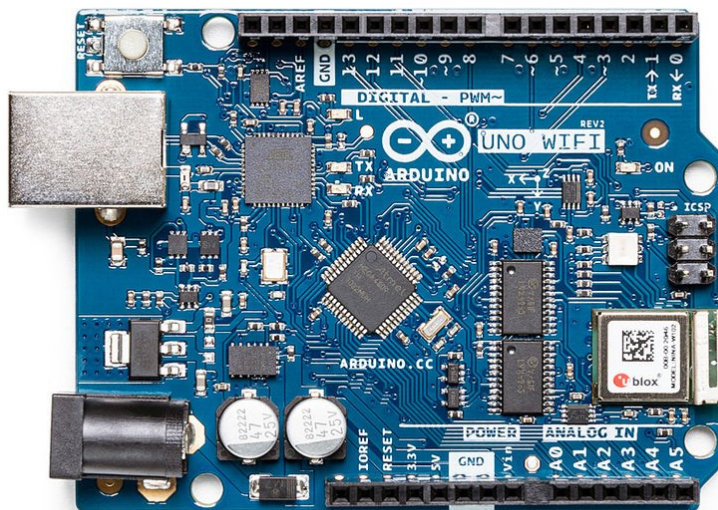
Tässä osiossa käydään läpi kolme yleisintä mikropiiriä IoT-projektien toteuttamista varten. (Semasinghe, L., 2022)

## 2.2.1 Arduino

Arduino on yleisnimitys avoimeen lähdekoodiin perustuvista edullisista mikropiireistä, joiden avulla on helppo rakentaa erilaisia sisään- ja ulostuloja vaativia projekteja. Julkaisunsa jälkeen mikropiirejä onkin käytetty laajasti kouluissa opetuksen yhteydessä. Mikropiirin ohjelmointiin käytetään tyypillisesti Arduino IDE-ohjelmaa ja ohjelmointikielinä C ja C++. (Arduino, 2023; Armenta, 2022)

Arduinoa on saatavilla erilaisilla ominaisuuksilla varustettuina ja ne on jaettu eri nk. perheisiin. Nano-perheen piirit ovat fyysiseltä kooltaan pieniä ja hinnaltaan tämän työn kirjoittamisen aikana alkaen 12,5 euroa. MKR-perheen piirit ovat puolestaan hieman monipuolisempia ja mahdollistavat erilaisten suojien ("shield") käytön ominaisuuksien lisäämiseksi. Arduinon Classic-perheeseen kuuluu esimerkiksi kuvassa 4 nähtävillä oleva Arduino UNO WiFi Rev2 jonka hinta on tätä työtä kirjoittaessa n. 50 euroa. (Arduino, n.d.-a)

Kuva 4. Arduino UNO WiFi Rev2 (Arduino, n.d.-b).



Sopiva Arduino-mikropiiri voidaan valita riippuen käyttötarkoituksesta ja vaadituista ominaisuuksista. Lisäksi mikropiireihin voidaan helposti asentaa sellaisia lisäosia, jotka laajentavat mikropiirin ominaisuuksia. Esimerkkejä tällaisista ovat mm. rele- ja moottorinohjauslisäosa. (Arduino, n.d.-c; Arduino, n.d.-d)

### 2.2.2 ESP-mikropiirit

Espressif Systems on perustettu vuonna 2008 ja tuonut markkinoille mm. ESP8266- ja ESP32-mikropiirit, joiden ominaisuuksiin kuuluu sisäänrakennettu Wi-Fi ja ESP32-piiriin myös bluetooth. Yhteysominaisuuksiensa vuoksi ESP-piirit ovat olleet suosittuja IoT-projekteissa. Ensimmäinen varsinainen IoT-käytössä suosiota saanut mikropiiri ESP8266 julkaistiin vuonna 2014. Vuonna 2016 julkaistiin ESP32. (Espressif, n.d.-a; Espressif, n.d.-b)

ESP8266-mikropiirin yhden ytimen prosessori toimii 80 – 160MHz taajuudella ja RAM-muistia on 160KB. Lisäksi flash-muistia on 4MB. Sisään- ja ulostuloja on yhteensä 16 kappaletta. Analogidigitaalimuuntimia on yksi kappaletta. (Hübschmann, 2020a)

ESP32-mikropiiri on edeltäjänsä ESP8266-piiriin verrattuna tehokkaampi ja ominaisuuksiltaan monipuolisempi. Mikropiirin kahden ytimen prosessori toimii 160 – 240MHz taajuudella ja RAM-muistia on 520KB. Flash-muistia on 16MB. Sisään- ja ulostuloja on yhteensä 22 kappaletta ja digitaalialogimuuntimia 2 kappaletta sekä analogidigitaalimuuntimia 18 kappaletta. ESP32-mikropiiri tukee Wi-Fi-yhteyksien lisäksi bluetooth-yhteyksiä. (Hübschmann, 2020b)

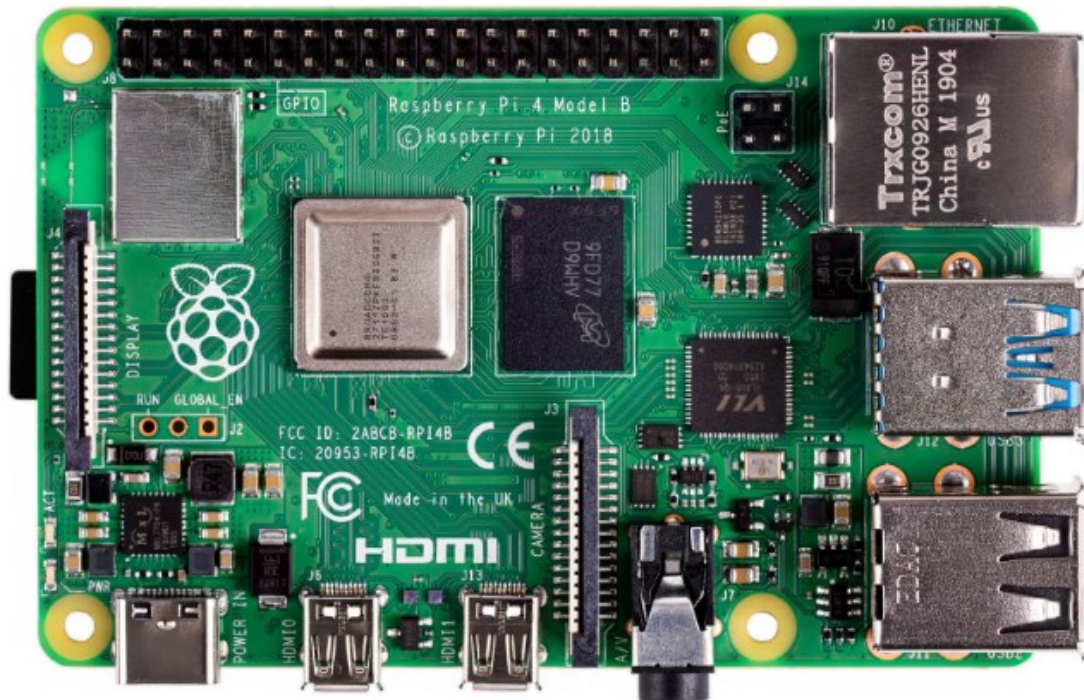
Molempia yllä mainittuja piirejä saa kolmessa eri muodossa: Mikropiirinä, moduulina ja kehityspiirinä. ESP32-DevKitC V4 kehityspiiri on nähtävillä kuvassa 5. (Hübschmann, 2020a)





version ominaisuuksien lisäksi myös Wi-Fi. Kuvassa 6 on nähtävissä Raspberry Pi 4 B.  
(Opensource.com, n.d.)

Kuva 6. Raspberry Pi 4 Model B (Raspberry Pi, 2021).



Raspberry Pi-laitteessa on GPIO (General Purpose Input/Output)-rima, jota voidaan käyttää erilaisten projektien yhteydessä esimerkiksi liittämällä niihin antureita tai moottoreita. Näiden liittimien toiminta voidaan määritellä ohjelmallisesti sisään- tai ulostuloksi. (Raspberry Pi, n.d.)

### 2.3 Langattomat yhteydet

Arduino-, ESP- ja Raspberry Pi-laitteet voivat käyttää monenlaisia erilaisia yhteystapoja ja tässä osiossa käydään niistä muutamia yleisimpiä läpi (Kamal, 2021).



### 2.3.1 LoRaWAN

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) on verkkoprotokolla, joka on suunniteltu erityisesti paristo- ja akkukäyttöisten IoT-laitteiden yhteyskeinoksi mahdollistaen yhteydet pitkilläkin välimatkoilla käyttäen mahdollisimman vähän virtaa. Protokolla mahdollistaa IoT-laitteiden langattoman yhdistämisen yhdyskäytävän kautta internetiin. Yhdyskäytävät toimivat siltana tulkaten IoT-laitteiden radiotaajuuslähetyksen IP-verkon lähetykseksi ja toisin päin. LoRaWAN-yhteyksien nopeudet vaihtelevat 0,3 kbps ja 50 kbps välillä. (LoRa Alliance, n.d.)

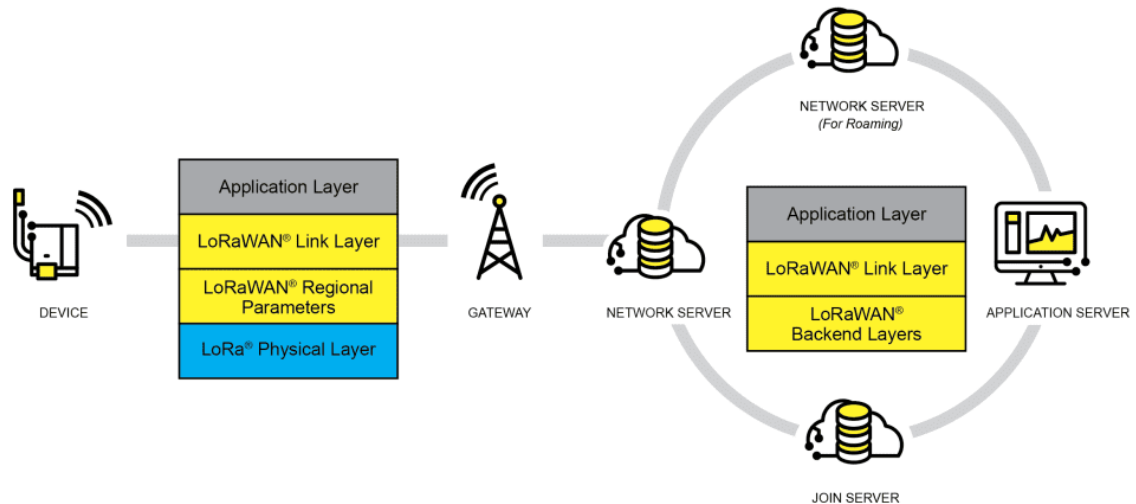
Useimmiten dataliikenne kulkee päätelaitteesta eli esimerkiksi anturista kohti verkkoa lähetyksen tapahtuen yleisimmin 15 - 60 minuutin välein. Päätelaitteiden akku tai paristo voi kestää jopa 10 vuotta. Kuuluvuus on pitkilläkin etäisyyksillä hyvä vaaditun tehon edelleen pysyessä mahdollisimman pienenä. LoRaWAN käyttää lupavapaata alle yhden gigahertsin taajuusaluetta. Digita tarjoaa lähes koko Suomen kattavan LoRaWAN-verkon. (Digita, n.d.; Anttila, 2019)

LoRaWAN tarjoaa kolme eri luokkaa A, B ja C, joiden erot ovat datapakettien lähetyksen ja vastaanoton viiveessä sekä IoT-laitteen virrankäytössä. (LoRa Alliance, n.d.)

- A-luokassa virrankäyttö on mahdollisimman pientä. Luokka mahdollistaa IoT-laitteen menemisen ns. deep sleep-tilaan, jolloin virrankäyttö on hyvin vähäistä. Ohjelmoinnista riippuen laite herää tietyin väliajoin lähettämään tietoa yhdyskäytävälle, jonka jälkeen se kuuntelee mahdollista lähetystä yhdyskäytävältä takaisin. Virrankäyttö saadaan minimoitua viiveen kustannuksella.
- B-luokka lisää edelliseen A-luokkaan säännöllisen aikaikkunan, jolloin IoT-laite kykenee vastaanottamaan datapaketteja yhdyskäytävältä. Tämä lisää virrankäyttöä jossain määrin mutta paristokäyttö on edelleen mahdollinen.
- C-luokassa IoT-laite on valmiina vastaanottamaan datapaketteja jatkuvasti silloin kun se ei ole lähettävässä tilassa. Tämä tila sopii lähinnä sellaisiin tilanteisiin, jossa virransyöttö on jatkuvasti saatavilla.

Kuvassa 7 on esitelty LoRaWAN-verkon toimintaperiaate.

Kuva 7. LoRaWAN-verkon topologia (LoRa Alliance, n.d.).



### 2.3.2 NB-IoT

NB-IoT (Narrow Band IoT) on nimensä mukaisesti kapealla 200kHz taajuusalueella toimiva verkkotekniikka, joka toimii LTE (Long Term Evolution)-verkossa joko käyttäen samaa taajuusaluetta kuin muut LTE-laitteet tai käyttäen omaa, pelkästään sille varattua kapeaa taajuusaluetta. Verrattuna tavalliseen 4G-tekniikkaan NB-IoT:n kuulumus saattaa olla jopa seitsenkertainen tiedonsiirtonopeuden ollessa 20 kbps – 250 kbps välillä. Verkkotekniikka sopiikin hyvin syrjemässä oleville IoT-laitteille, joiden tietoliikennetarpeet ovat vähäisiä, esimerkiksi erilaiset anturit tai talotekniikkaan liittyvät laitteet. NB-IoT on optimoitu erityisesti laitteille, jotka lähettävät tietoa verkkoon epäsäännöllisesti ja pieniä määriä pysyen fyysisesti paikallaan. Tämä optimointi mahdollistaa erilaiset virransäästöominaisuudet ja pidemmän akun keston siinä missä tavallisessa mobiiliverkossa tällainen olisi huomattavasti hankalampaa. (DNA, n.d.; u-blox, n.d.; Nordic Semiconductors, n.d.)

### 2.3.3 LTE-M

LTE-M (Long Term Evolution for Machines) on toimintaperiaatteeltaan melko samankaltainen NB-IoT:n kanssa siirtonopeuksien ollessa kuitenkin hieman suuremmat. Lisäksi LTE-M sopii paremmin liikkuviin laitteisiin tekniikan mahdollistaessa myös verkkovierailut eri alueilla. Kaistanleveys verkkotekniikalla on 1,4 MHz. LTE-M sopii sellaisiin käyttötarkoituksiin, joissa tarve verkkoliikenteelle on vähäistä suurempaa. Signaalin kantavuus on jopa nelinkertainen tavalliseen mobiiliverkkoon verrattuna. (DNA, n.d.; Nordic Semiconductors, n.d.)

### 2.3.4 Wi-Fi

Wi-Fi on eräs WLAN- eli langattoman verkkojärjestelmän (Wireless Local Area Network) kategoriaan kuuluva langaton verkkoteknologia, joka perustuu standardiin IEEE 802.11. Termit WLAN ja Wi-Fi menevät tyypillisesti sekaisin tarkoittaen kuitenkin eri asioita. Eniten käytetty WLAN-teknologia on Wi-Fi. WLAN-teknologia yleistyi alkujaan Yhdysvalloissa keinona liittää kotitaloudet verkkoon sellaisissa paikoissa, joissa kiinteän kaapeloinnin rakentaminen olisi ollut työlästä. Tällöin ns. ”viimeinen maili” (last mile) kotitalouksille johtavasta verkkoinfrastruktuurista voitiin toteuttaa langattomalla tekniikalla. WLAN oli myös sopivampi vaihtoehto käytettäväksi kannettavien tietokoneiden ja matkapuhelinten kanssa sekä esimerkiksi hotelli- ja lentoasemaympäristöissä, joissa verkkoa käyttävät laitteet ovat liikkeessä. (Huawei, n.d.)

Vuonna 1997 alun perin esitelty standardi IEEE802.11 on ajan myötä päivittynyt ja siihen on tullut useita muutoksia. Standardiin kuuluu myös tiedon lähettäminen infrapunavälillä, mutta tällä tekniikalla ei ole ollut käytännössä käyttöä. (ETHW, n.d.)

Standardin muutos 802.11b hyväksyttiin vuonna 1999 ja se toimii 2,4GHz taajuudella käyttäen 83,5MHz kanavanleveyttä. Suurin teoreettinen tiedonsiirtonopeus oli 11 Mbit/s joka oli merkittävä parannus alkuperäisen standardin kuvaamaan 1-2 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen. Tämän muutoksen myötä taajuusalue jaettiin neljään toista osin toistensa päälle meneviin pienempiin taajuusalueisiin. (ETHW, n.d.)

Seuraava merkittävä muutos standardiin oli vuonna 2003 ilmestynyt 802.11g, joka mahdollisti teoreettiseksi tiedonsiirtonopeudeksi jopa 54 Mbit/s. Käytännössä yhteyden nopeus oli kuitenkin tätä pienempi johtuen taajuusalueella toimivista muista laitteista, esimerkiksi mikroaaltouuneista, muista verkossa olevista 802.11b-standardia käyttävistä laitteista ja erilaisista muista häiriöistä. (ETHW, n.d.)

Tällä hetkellä uusin käytössä oleva standardin versio on 802.11ax, joka toimii 2,4 GHz, 5 GHz ja 6 GHz taajuuksilla. Aiempaan versioon verrattuna verkon toimintaa suurilla käyttäjämäärillä on parannettu nopeuksien lisäksi. (Zhou, 2021, s. 6)

### **2.3.5 Matkapuhelinverkko**

Matkapuhelinverkon kehitystä kuvataan eri sukupolvilla. Ensimmäisen sukupolven matkapuhelinverkkotekniikka kehitettiin 1980-luvulla ja toimi analogiselta pohjalta. Tähän sukupolveen kuuluu esimerkiksi NMT (Nordic Mobile Telephones). Tekniikka ei välttämättä ollut yhteensopivaa maasta toiseen. (Mishra, Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation : 2G/2.5G/3G.. Evolution to 4G, s. 5)

Toisen sukupolven myötä kehitettiin GSM (Global System for Mobile Communication) joka on digitaalinen tekniikka tarjoten tuen puheelle ja datalle jopa 9,6 kbps nopeudella. Lisäksi tekniikan myötä mahdollistui tekstiviestien lähettäminen ja vastaanottaminen. GPRS- ja EDGE-tekniikat mahdollistivat dataliikenteen nopeudeksi ihanteellisissa olosuhteissa jopa 384 kbps saakka. (Mishra, Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation : 2G/2.5G/3G.. Evolution to 4G, s. 5)

Kolmas sukupolvi ilmestyi vuonna 2000 ja kehityksen painopisteenä aiempaan sukupolveen verrattuna oli datansiirron nopeuden kasvattaminen. Kolmas sukupolvi mahdollistikin mm. videopuhelut, verkkopelien pelaamisen ja television katselun verkossa. Teoreettinen maksiminopeus 3G-verkossa on 14 Mbps. (Avnet, The, 2020)

Neljäs matkapuhelinverkkojen sukupolvi mahdollisti datansiirron nopeudet jopa 1 Gbps nopeuteen saakka samalla vähentäen viivettä. Lisäksi 4G oli ensimmäinen IP-pohjainen

matkapuhelinverkko. Viides matkapuhelinverkkotekniikan sukupolvi vastasi yhä kasvaviin tiedonsiirto- ja latenssivaatimuksiin. (Keenan, 2020)

Matkapuhelinverkko koostuu useista tukiasemista, joissa jokaisessa on antennit radioaaltojen lähettämistä ja vastaanottamista varten. Jokainen näistä tukiasemista kattaa jonkin tietyn maantieteellisen alueen. (Brooks, n.d.)

Matkapuhelinverkon kantavuus riippuu useista tekijöistä. Taajuus, jolla radioaallot lähetetään on eräs tekijä. Muita tekijöitä ovat verkon kapasiteetti, maaston muodot ja mahdolliset esteet sekä lähetysteho. Suomessa käytössä olevia taajuusalueita ovat 450MHz, 700MHz, 800MHz, 900MHz, 1800MHz, 2GHz, 2,6GHz, 3,5GHz ja 26GHz (Traficom, 2023). Matalalla taajuudella toimiva yhteys voi ihanteellisissa olosuhteissa kantaa 40km päähän. (Simmons, 2022)

### **2.3.6 ZigBee**

ZigBee on vuonna 2003 ratifioitu tekniikka, jonka avulla laitteet voivat viestiä toisilleen langattomasti, luotettavasti ja tietoturvalisesti yhdenmukaista kieltä käyttäen. Protokolla perustuu standardiin IEEE 802.15.4 ja toimii taajuusalueilla 868 MHz (Eurooppa), 915 MHz (Amerikka) sekä 2,4 GHz (maailmanlaajuisesti). Siirtonopeus 2,4 GHz taajuudella on teoriassa 250 kbps, 915 MHz taajuudella 500 kbps ja 100 kbps 868 MHz taajuudella. Signaalin kantavuus riippuu ympäristöstä ja lähetyksen tehosta, ollen kymmenestä metristä sataan metriin. Alle 1 GHz taajuutta käyttämällä voidaan saavuttaa jopa yli kilometrin kantavuuksia. ZigBee on hyvin yleisesti käytetty ratkaisu älykoteihin liittyvissä tuotteissa ja se on suunniteltu vähän virtaa vaativaksi, sopien siten hyvin akkukäyttöisiin laitteisiin. Uusin versio ZigBee-protokollasta on 3.0 ja se on suunniteltu toimimaan häiriöisilläkin radiotaajuuksilla. Versio 3.0 tuo myös parannuksia eri valmistajien laitteiden yhteensopivuuteen. (Connectivity standards alliance, n.d.; Digi, n.d.)

ZigBee-verkossa laitteilla voi olla yksi kolmesta roolista:

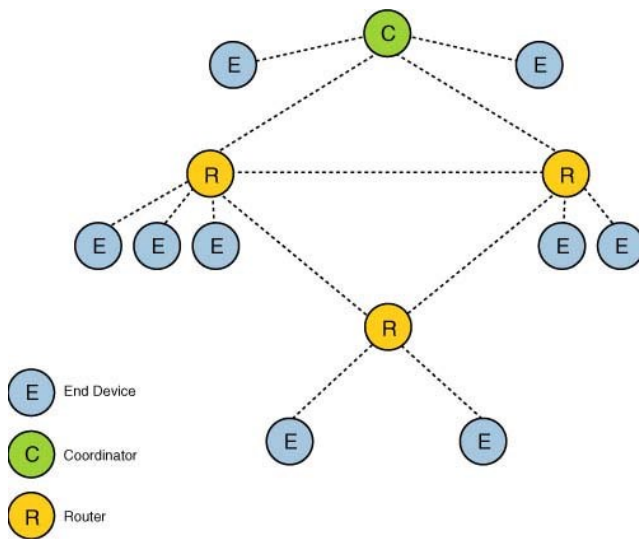
- Koordinoija vastaa verkon luomisesta ja niitä voi verkossa olla vain yksi. Lisäksi se reitittää tietoa laitteiden välillä. Koordinoija vastaa verkon ominaisuuksista, kuten kanavasta, osoitteesta, turvallisuudesta ja uusien laitteiden lisäämisestä verkkoon. (Silicon Labs, 2023)
- Reitittimet välittävät tietoa laitteiden välillä ja niiden tulee olla jatkuvasti päällä, tehden niistä sopimattomia akuilla käytettäväksi. Päätelaitteille tulevat viestit lähetetään aina ensin päätelaitteeseen yhteydessä olevalle reitittimelle. (Silicon Labs, 2023)
- Päätelaitteet voivat välillä olla virransäästötilassa, jolloin niiden käyttö akuilla mahdollistuu. Herätessään virransäästötilasta laite pyytää mahdollisia viestipäivityksiä päätelaitteesta vastuussa olevalta reitittimeltä. (Silicon Labs, 2023)

ZigBee-topologioita on kolme: tähti-, puu- ja mesh-topologia. Tähtimäinen topologia on näistä yksinkertaisin ja siinä yksittäiset päätelaitteet yhdistyvät kukin suoraan koordinoijaan. Kaikki tieto laitteiden välillä kulkee tällöin koordinoijan kautta. Tähtitopologia on altis häiriöille, sillä koordinoijan vikaantuminen voi keskeyttää verkon koko toiminnan. (E-SPIN Group, 2023a)

Puutopologia rakentuu tähtitopologian päälle lisäten siihen reitittimen. Tällöin päätelaitteet voivat olla yhteydessä koordinoijaan joko suoraan tai epäsuorasti reitittimen kautta. Reitittimillä voidaan kasvattaa ZigBee-verkon kantavuutta. Päätelaitteet eivät kuitenkaan reitittimen tai koordinoijan vikaantuessa kykene yhdistämään toiseen reitittimeen tai koordinoijaan, jolloin vian ilmetessä päätelaite jää ilman yhteyttä. (E-SPIN Group, 2023a)

Monipuolisin topologioista on kuvassa 8 nähtävillä oleva mesh-topologia ja se on näistä kolmesta eri topologiavaihtoehdosta vikasietoisin. Merkittävin ero muihin topologioihin on mahdollisuus käyttää useampia reittejä viestien välittämiseen. Yksittäisen reitin vikaantuessa tilapäisesti ilman yhteyttä jäävä päätelaite tai reititin etsii automaattisesti uuden reitin verkkoon. Jokainen verkossa oleva laite kykenee keskustelemaan kaikkien samassa verkossa olevien laitteiden kanssa. (E-SPIN Group, 2023a)

Kuva 8. ZigBee-protokollan mesh-topologia (E-SPIN Group, 2023b).



## 2.4 Viestien lähettäminen käyttäjälle

Työssä eräänä olennaisena osana on viestien lähettäminen käyttäjälle tai tarvittaessa komentojen vastaanottaminen ja välittäminen mikropiirille. Tässä osiossa on tarkoitus tutkia tämän toiminnallisuuden mahdollistavia keinoja.

### 2.4.1 Sähköposti

Sähköpostin avulla voidaan lähettää viestejä verkkoon liitettyjen laitteiden välillä ja se on ollut olemassa jo 1960-luvulta lähtien. Tällöin ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network)-verkossa kehitettiin keino lähettää viestejä koneelta toiselle. Suuremmalle yleisölle tutuksi sähköposti tuli vasta 1990-luvulla internetin, selainten ja sähköpostipalvelujen, kuten Hotmail-palvelun julkaisun myötä. Jokaisella sähköpostin käyttäjällä on oma, yksilöllinen sähköpostiosoitteensa, joka muodostuu kolmesta osasta: paikallisesta osasta, ”@”-merkistä ja verkkotunnuksesta. Esimerkki sähköpostiosoitteesta voisi olla vaikkapa [kayttaja@verkkotunnus.fi](mailto:kayttaja@verkkotunnus.fi). (Cloudflare, n.d.; Gibbs, 2016)

Sähköpostin lähettämistä varten tarvitaan postipalvelin eli MTA (Mail Transfer Agent) joka toimii ikään kuin postinkuljettajana ja käynnistää seuraavan SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)-vaiheen. SMTP selvittää sähköpostissa olevan vastaanottajan osoitteen perusteella

vastaanottajan palvelimen numeerisen IP (Internet Protocol)-osoitteen. Jos kyseisellä palvelimella on olemassa MX (Mail Exchange)-postipalvelin, ohjataan sähköposti sinne. Tämän jälkeen vastaanottaja voi käydä valitsemallaan tavalla noutamassa postipalvelimellaan olevan viestin. (Cloudflare, n.d.)

Vastoin yleistä käsitystä sähköpostien välitys ei välttämättä tapahdu viiveettä. Syitä tähän voi olla useita. Vastaanottava postipalvelin saattaa toimia hitaasti esimerkiksi roskapostin takia. Lisäksi sähköposti saattaa kulkea useammankin postipalvelimen kautta ennen kuin se päätyy varsinaisen vastaanottajan postipalvelimelle. Sähköpostia ei olekaan suunniteltu ensisijaisesti nopeus vaan sietokyky mielessä. Tämä on peruja ajalta, jolloin tietokoneet eivät olleet jatkuvasti yhdistettynä verkkoon. Viive sähköpostin lähettämisen ja vastaanottamisen välillä voi pahimmissa tapauksissa olla jopa päiviä. (Notenboom, 2017)

#### **2.4.2 WhatsApp**

WhatsApp on Metan omistama pikaviestisovellus, joka mahdollistaa käyttäjien väliset salatut viestit, video- ja äänipuhelut, ääniviestit sekä tiedostojen ja kuvien jakamisen. Sovellusta voi käyttää tietokoneella sekä Android- että iPhone-puhelimilla. Lisäksi Windowsille ja macOS:lle on olemassa oma sovelluksensa työpöytäkäyttöön. WhatsApp-sovellusta voi käyttää myös minkä tahansa selaimen kautta. Sovelluksen avulla käyttäjät voivat lähettää toisilleen yksityisviestejä tai luoda ryhmiä, joihin kuuluu useampia yhteystietoja. Suomessa WhatsApp-sovellusta käytti vuonna 2021 88% ihmisistä. (Picaro, 2023; Markkinointimaestro, 2023)

CallMeBot on eräs palvelu, joka mahdollistaa ilmaisten viestien lähettämisen esimerkiksi WhatsApp-sovelluksen kautta yksityisviestinä yksinkertaista verkko-osoitetta käyttäen. Ensimmäinen tulee lisätä palvelun puhelinnumero omaan puhelimeen ja lähettää tämän numeron käyttäjälle WhatsApp-viesti palvelun asettamiseksi päälle. Tämän jälkeen kyseisestä numerosta lähetetään viesti, jossa ilmoitetaan yksilöllinen avainkoodi palvelun käyttöä varten. Lopuksi viestejä voidaan lähettää käyttäen kuvassa 9 näkyvää osoitetta muokaten puhelinnumero, lähetettävä viesti ja yksilöllinen avainkoodi oikeiksi. Palvelu ei mahdollista viestien lähettämistä takaisinpäin WhatsApp-palvelusta esimerkiksi mikropiirille. (CallMeBot.com, 2021a)



Kuva 9. Esimerkki CallMeBot-palvelun käyttöönotosta (CallMeBot.com, 2021b).



### 2.4.3 Telegram

Telegram on eräs suosittu ja ilmainen pikaviestinsovellus, jonka painopiste on nopeudessa ja viestinnän turvallisuudessa. Sovellusta voi käyttää puhelimilla, tietokoneilla ja tableteilla. Sovelluksella on yli 700 miljoonaa kuukausittaista aktiivista käyttäjää. Telegram-sovelluksen avulla voi lähettää viestejä, kuvia ja tiedostoja. Sovelluksessa voi yksityisviestien lähettämisen lisäksi luoda jopa 200 000 jäsenen ryhmiä ja sillä voi soittaa myös video- ja äänipuheluita. WhatsApp-pikaviestinsovellukseen verrattuna Telegram on nopeampi ja turvallisempi ja sen lähdekoodi – palvelinpuolen lähdekoodia lukuun ottamatta - sekä ohjelmointirajapinta (API) on avoin. Lisäksi sovelluksen Bot API mahdollistaa monenlaisten työkalujen rakentamisen erilaisten toiminnallisuuksien toteuttamiseksi. Sovelluksen rahoittamista varten vuonna 2021 siihen lisättiin ominaisuudeksi mahdollisimman vähän häiriötä aiheuttavien mainosten esittäminen. Vuonna 2022 esiteltiin myös Premium-tili, jolla voi tukea Telegram-sovellusta ja ottaa käyttöön erilaisia ylimääräisiä ominaisuuksia. Kuvassa 10 nähdään esimerkki sovelluksen ulkoasusta puhelimella käytettynä. (Telegram, n.d.-a)

Telegram tukee laajasti erilaisten bottien eli pienten, Telegram-sovelluksen sisällä toimivien ohjelmien kehitystä. Näitä ohjelmia voidaan luoda ja käyttää Telegram-sovelluksen Bot API-rajapinnan avulla. Tämän rajapinnan käyttöä varten on olemassa erilaisia valmiita kirjastoja esimerkiksi Arduinolle ja ESP32:lle ja niitä käyttäen voidaan lähettää ja vastaanottaa viestejä Telegram-käyttäjien ja ohjelman välillä. Näitä ohjelmia voidaan lisätä useamman Telegram-käyttäjän keskusteluryhmiin ja niiden avulla voidaan lähettää kommentoja mikropiirillä toimivalle ohjelmalle. (Telegram, n.d.-a; Lough, B., 2020)

Kuva 10. Esimerkkikuva Telegram-sovelluksesta puhelimessa (Telegram, n.d.-b).



#### 2.4.4 Signal

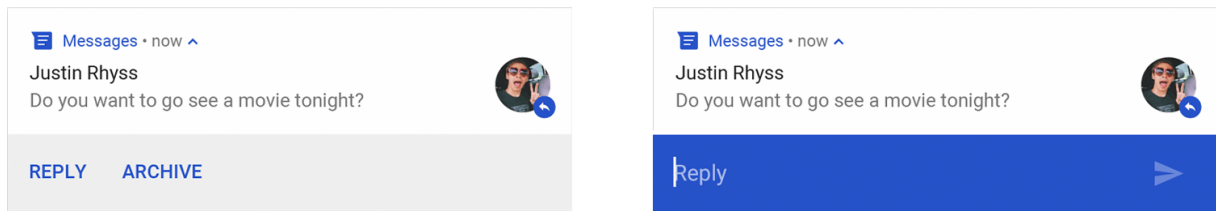
Signal on ilmainen pikaviestinsovellus jonka avulla sovelluksen käyttäjä voi lähettää viestejä ja soittaa video- sekä äänipuheluita ja jakaa tiedostoja. Yhteys on salattu. Signal-sovelluksessa ei ole mainoksia eikä käyttäjää tai käyttäjän toimintaa seurata millään tavoin. Sovelluksen toiminta ja kehitys rahoitetaan apurahoilla ja lahjoituksilla. Signal on saatavilla Android-, iPhone-, iPad-, Windows- ja Mac-laitteille. (Signal, n.d.)

Signal-sovellus tukee sovelluksen sisäisten pienten ohjelmien kehitystä, mutta näiden ohjelmien toimimista varten tulee käyttää erillistä Linuxia käyttävää palvelinta. (Muinos, F., 2020)

#### 2.4.5 Push-ilmoitus IFTTT-palvelua käyttäen

Push-ilmoitukset ovat viestejä, joita sovellukset tai verkkosivut voivat näyttää käyttäjän puhelimen tai tietokoneen näytöllä. Ilmoitukset voivat ilmaantua eri osiin näyttöä ja tämä riippuu esimerkiksi selaimesta ja käyttöjärjestelmästä. Ilmoituksessa saattaa tekstin lisäksi olla kuva. Lisäksi ilmoituksen yhteydessä voi olla nappeja, joista voidaan esimerkiksi vastata tekstiviestiin tai vaimentaa muistutus. Kaksi esimerkkiä push-ilmoituksesta on nähtävillä kuvassa 11. (IBM, n.d.; Android developers, n.d.-a)

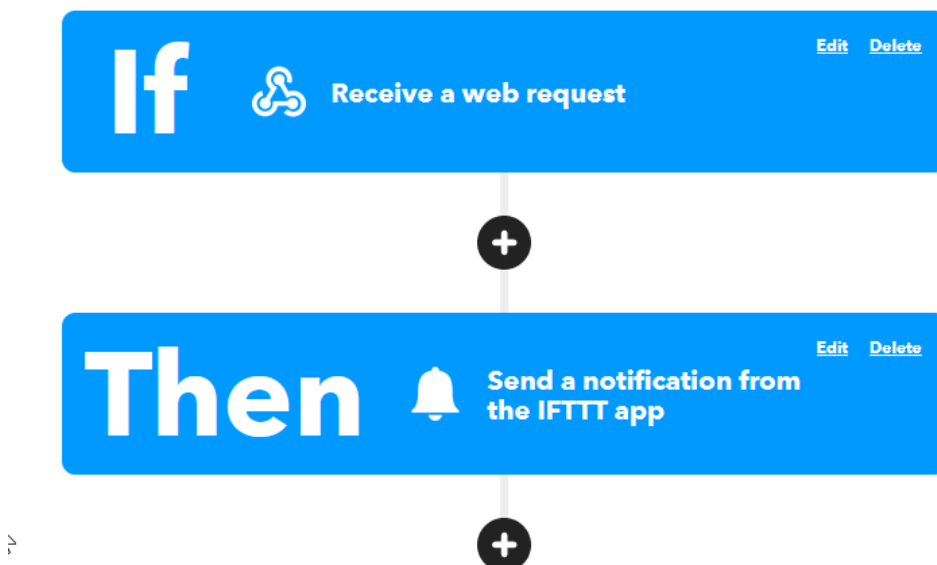
Kuva 11. Esimerkki push-ilmoituksista (Android developers, n.d.-b).



IFTTT on lyhenne sanoista "If This Then That". Verkossa toimiva palvelu mahdollistaa sellaisten toiminnallisuuksien toteuttamisen, joihin käytössä olevat laitteet eivät itsessään kykene. Yksinkertainen esimerkki toiminnasta on sellainen, jossa asukkaan saapuessa kotiin valot sytytetään automaattisesti. (IFTTT, n.d.)

Mikropiirien yhteydessä IFTTT-palvelua voidaan käyttää luomalla palveluun sovellus (Applet), joka mikropiiriin lähettämän viestipaketin saadessaan toteuttaa ennalta sovitun toiminnon. Esimerkki tällaisesta sovelluksesta on nähtävissä kuvassa 12. Jos sovellus vastaanottaa sen asetuksiin määritellyt ehdot täyttävän viestin se lähetetään eteenpäin käyttäjän puhelimeen, johon asennettu IFTTT-sovellus luo push-ilmoituksen. IFTTT-palvelun avulla voitaisiin lähettää myös esimerkiksi sähköposti tai tekstiviesti. (ESP32 I/O, n.d.)

Kuva 12. Esimerkki IFTTT-ohjelmasta.



## 2.5 Valmiit ratkaisut

Opinnäytetyön yhteydessä selvitettiin erilaisia markkinoilla jo olevia ja opinnäytetyön teettäjän vaatimuksia täyttäviä ratkaisuja. Selvitys tehtiin lähettämällä kysymykset sähköpostilla yrityksille, joiden verkkosivuilla oli maininta opinnäytetyön aiheeseen liittyvistä palveluista. Suurin osa etävalvontaratkaisuksista oli suunnattu suuremmille, teollisille asiakkaille mutta esimerkiksi Pipelife ja Grundfos tarjoavat etävalvontaratkaisuja myös pientaloasukkaiden tarpeisiin.

Pipelifen valikoimasta löytyy mm. seuraavia IoT- tai Lo-Ra-yhteydellä toimivia vaihtoehtoja:

- Älykäs pintavahti, joka ei vaadi pumppaamolta sähkönsyöttöä ja valvoo pumppaamon pintaa sekä lähettää ylärajahälytykset. Ratkaisu voidaan asentaa mihin tahansa pumppaamoon. Hinta alle 1000 €. (Pipelife, henkilökohtainen tiedonanto, 3.7.2023)
- Älykäs hälytysvalo, joka pumppaamon pinnanvalvonnan ja ylärajahälytysten lisäksi näyttää pumpun tilatietoja, valvoo pumpun ylikuumentumista, näyttää historiatietoja ja raportteja. Älykäs hälytysvalo kytketään pumppaamon sähkökeskukseen soveltuen yhden pumppaamon pumppaamoihin. Hinta noin 1000 €. (Pipelife, henkilökohtainen tiedonanto, 3.7.2023)
- Älykäs pumppaamo tarjoaa aiemmin mainittujen ominaisuuksien lisäksi etähallinnan ja erilaiset aikaohjelmat. Hinta yli 1000 €. (Pipelife, henkilökohtainen tiedonanto, 3.7.2023)

Käytännössä olemassa olevaan keskukseen jälkiasenteisina parhaiten sopivat ”Älykäs pintavahti” tai ”Älykäs hälytysvalo”. ”Älykäs pumppaamo” on järkevintä hintaa ja toimintavarmuutta ajatellen asentaa uusimalla koko keskus. Pipelife käyttää palvelujensa etäratkaisuna Smarthub-sovellusalustaa, jonka kustannukset riippuen ratkaisusta ovat 10 – 25e/kk. (Pipelife, henkilökohtainen tiedonanto, 3.7.2023)

Grundfosilla on tiettyihin ohjauskeskuksiin – LC231 ja LC241 – tarjolla etävalvonta tietoliikennekortin lisäämällä. Opinnäytetyö kuitenkin kohdistuu sellaiseen pumppaamoon,

jonka keskus ei tue etävalvontaa ja täten ohjauskeskus tulisi vaihtaa. Esimerkiksi LC 231-ohjauskeskuksen hinta paineanturilla ja sen kannakkeella on 1000 – 1200 euron välillä ilman arvonlisäveroä. (Grundfos, henkilökohtainen tiedonanto, 29.6.2023)

### **3 Kehittämistyön tarkoitus ja tavoite**

Työn tarkoituksena oli kehittää asiakkaan pientalotontilla olevalle jätevesipumppaamolle etävalvontaratkaisu. Pumppaamo sekä pumppaamon keskus sijaitsevat syrjässä tavallisilta arjen kulkureiteiltä ja vikatilanteiden havaitseminen riittävän ajoissa ilman etävalvontaa on haastavaa. Lisäksi erilaisten raporttien ja trendien kerääminen valvontaratkaisulla edesauttaisi poikkeuksellisen toiminnan havaitsemista ennen tilanteen muuttumista kriittiseksi.

Työssä on tarkoituksena rakentaa mikroprosessoriin perustuva verkon kautta yhteydessä oleva järjestelmä, joka valvoo haluttuja pumppaamon antureita ja toimintoja ilmoittaen niistä opinnäytetyön teettäjälle ongelmatilanteiden ilmaantuessa. Tällä tavoin ongelmiin voidaan puuttua välittömästi sellaisten ilmetessä.

### **4 Työn suunnittelu ja toteutus**

Tässä osiossa selvitetään työn teettäjän vaatimukset ja jaetaan ne tarkemmin eri osiin. Nämä eri osat kattavat laitteiston, ohjelmiston, laitteiston käyttämän yhteyden ja viestintäpalvelun sekä yleiset vaatimukset. Tämän jälkeen tietoperustan ja vaatimusten perusteella valitaan työn toteuttamiseen parhaiten soveltuvat ratkaisut ja perustellaan näiden valinta. Lopuksi laitteisto suunnitellaan, toteutetaan ja asennetaan.

#### **4.1 Käyttäjävaatimukset**

Työn teettäjän vaatimukset kokonaisuuden toiminnan kannalta käydään läpi tässä osiossa. Yleisenä vaatimuksena oli kokonaisuuden mahdollisimman edullinen hinta. Teettäjä halusi saada ilmoituksia erilaisista pumppaamon ohjauskeskuksen tapahtumista. Nämä tapaukset oli erikseen määritelty ja ne olivat seuraavat:

- Ilmoitus etänä lämpöreleen laukeamisesta
- Ilmoitus etänä lämpöanturien aktivoitumisesta
- Ilmoitus etänä hälytysvipan aktivoitumisesta
- Ilmoitus jos hälytysvipa aktivoituu ilman että käynnistysvipa aktivoituu

Näiden ilmoituksiin liittyvien vaatimusten lisäksi työn teettäjä halusi mahdollisuuden ohjata etäältä kahta erillistä relettä, joista ensimmäinen tuli saada päälle kolmeksi sekunniksi, jonka jälkeen rele palasi lepotilaan. Toista, pumppua ohjaavaa relettä tuli kyetä ohjaamaan muutamalla eri tavalla riippuen etäältä lähetetystä komennosta – joko kolmeksi sekunniksi päälle tai kolmeksikymmeneksi sekunniksi päälle kolmen sekunnin viiveen jälkeen. Lisäksi releiden toiminta tuli voida komennolla pysäyttää.

Valittavan laitteen tuli kyetä myös tilastoimaan pumpun käynti, osoittaa pumppaamon ja mikropiirin tila näytöllä sekä käyttää työn tilaajan Wi-Fi-verkkoa.

## 4.2 Vaatimusmäärittely

### 4.2.1 Laitteisto

Opinnäytetyön tilaajan vaatimusten perusteella voitiin laatia vaatimukset laitteiston suhteen.

- Laitteistossa tulee olla sekä sisään- että ulostuloja
- Laitteistoon tulee voida liittää pieni näyttö itse laitteen ongelmatilanteiden havaitsemiseksi ja selvittämiseksi
- Laitteistoon tulee voida liittää muistikortti, jotta itse mikropiirin rajallisen kirjoitusmäärän omaava muisti ei kuluisi
- Laitteisto tulee voida asentaa omaan koteloonsa DIN-kiskoon
- Laitteistossa tulee olla tuki valittuun langattomaan yhteyteen

Sisään- ja ulostuloihin liittyvät vaatimukset ovat nähtävissä taulukossa 2. Digitaalisia sisääntuloja tarvitaan tarkkailtavien releiden ja kontaktorien kärkien tilan havaitsemiseksi.

Mikropiiriin yhteydessä olevien releiden ohjausta varten tarvitaan digitaalisia ulostuloja, jotka asettavat releen joko päälle tai pois päältä.

Taulukko 2. Laitteistovaatimukset GPIO-liittimien suhteen.

#	Tyyppi	Kuvaus
1	Digitaalinen sisääntulo	Lämpörele
2	Digitaalinen sisääntulo	Lämpöanturi 150C
3	Digitaalinen sisääntulo	Lämpöanturi 170C
4	Digitaalinen sisääntulo	Käynnistysvipa
5	Digitaalinen sisääntulo	Hälytysvipa
6	Digitaalinen sisääntulo	Pumpun käynti
7	Digitaalinen ulostulo releelle	Reset
8	Digitaalinen ulostulo releelle	Pumpun ohjaus

#### 4.2.2 Ohjelmisto

Valittavalle laitteelle ohjelmoitavan ohjelman tuli kyetä toimimaan seuraavasti:

- Yhdistää langattomaan verkkoon ja yhteyden keskeytyessä yrittää yhdistää uudelleen
- Tarkastaa sisääntulojen tila määrätyin välein
- Sisääntulon tilan muuttuessa toimia sovitulla tavalla
- Lähettää ja vastaanottaa viestejä valittuja viestintäpalveluja käyttäen
- Kerätä lokitietoa pumpun käynnistä
- Tuottaa hälytyksiä sovitun käytännön mukaisesti

Hälytysten ilmoitusten suhteen haluttiin, että yhdestä ilmaantuneesta hälytyksestä lähtisi vain yksi viesti jatkuvan viestivirran sijaan.

#### 4.2.3 Yhteys ja etäviestinnän mahdollistava palvelu

Mikropiiriin tuli kyetä muodostamaan yhteys opinnäytetyön teettäjän Wi-Fi-verkkoon.

Pumppaamon ohjauskeskukseen ulottuu riittävän hyvin Wi-Fi-verkko, joka mahdollistaa laitteiston liittämisen internetiin ja sitä kautta viestien lähettämisen laitteistolta käyttäjälle ja komentojen lähettämisen laitteistolle.

Lisäksi laitteiston ja käyttäjän välillä tapahtuvalle etäviestinnälle asetettiin seuraavat ehdot:

- Viestintäpalvelun tulee toimia valitun laitteiston kanssa
- Viestintäpalvelun tulee olla maksuton
- Viestintäpalvelun kautta tulee voida lähettää viestejä molempiin suuntiin
- Viestien välittämisen tulee tapahtua alhaisella viiveellä

### **4.3 Valitut tekniikat ja palvelut**

#### **4.3.1 Valmiit ratkaisut**

Työssä selvitettiin valmiiden markkinoilla olevien ratkaisujen ominaisuuksia ja kustannuksia. Työn teettäjän asettamia vaatimuksia täyttäviä ratkaisuja ei löytynyt, sillä esimerkiksi yhdeksi kriteeriksi asetettu edullinen hinta ei näissä toteutunut. Lisäksi etävalvonta ja -ohjausmahdollisuus edellyttäisivät tyypillisesti kuukausimaksuun sitoutumista. Vaatimus etäohjauksesta pelkän etävalvonnan sijaan lisäisi nykyisen pumppaamokeskuksen järjestelmän muutuskustannuksia edelleen reilusti yli tuhanteen euroon.

#### **4.3.2 Laitteisto**

Mikropiiriksi valikoitui ESP32, sillä se oli työn tekijälle ennestään tuttu ja se täytti kaikki työlle asetetut laitteistoehdot. Mikropiirillä on tuki Wi-Fi-yhteydelle sekä SPI- että I2C-väylle, joten näytön ja muistikortin lisääminen onnistuvat. Lisäksi mikropiirillä on riittävä määrä GPIO-liittimiä, joten vaaditut sisään- ja ulostuloihin liittyvät ominaisuudet ovat mahdollisia.

#### **4.3.3 Yhteys ja etäviestinnän mahdollistava palvelu**

Yhteydeksi valittiin Wi-Fi, sillä se oli eräs työn teettäjän vaatimuksista. Asiakkaan ja laitteiston väliseen viestintään ratkaisuksi valikoitui Telegram, joka mahdollistaa viestimisen molempiin suuntiin riittävän alhaisella viiveellä ilman erillisen palvelimen asentamista ja on ilmainen. Lisäksi valitulle mikropiirille löytyy valmiita kirjastoja Telegram-sovelluksen kanssa toimimiseen.



## **4.4 Etävalvontaratkaisun suunnittelu ja rakentaminen**

### **4.4.1 Työn kohteena oleva pumppaamokeskus**

Työn teettäjällä käytössä oleva kuvassa 13 esitelty pumppaamokeskus on Fibox FPC, joka on autonlämmitysrasioista tuttuun piharasiaan rakennettu pumppaamonohjauskeskus. Keskuksessa on pääkytkin, johdonsuojakatkaisija, käyntiaikalaskuri, käsi-automaattivalintakytkin, johdonsuoja pistorasialle ja pistorasia. Kotelon kyljessä on punainen varotusvalo. Ohjauskeskus sijaitsee talon kellarissa siinä missä pumppaamo itsessään on kauempana tontilla.

Kuva 13. Työn teettäjän pumppaamokeskus.



#### 4.4.2 Työssä käytetyt tarvikkeet

Työn toteuttamista varten hankittiin mahdollisimman laadukkaita komponentteja, joiden käyttöä varten oli saatavilla selkeä ohjeistus.

- ESP32-DevKitC V4 (ESP32-WROOM-32D)-mikropiiri
- 1,3 tuuman OLED-näyttö, I2C-väylä
- Sparkfun MicroSD Transflash Breakout, SPI-väylä
- Punaisia ja vihreitä ledejä

- 330Ω vastuksia
- Ruuviliittimiä
- Kaksi 3,3/5VDC-jännitteellä toimivaa releitä
- Kaksi 12 – 230VAC/VDC -jännitteellä toimivaa releitä
- 24VDC jännitelähde
- Kaksi moduulikoteloita
- DIN-kiskoa
- Kaksi Wago-kiskoliitintä
- Wago 221-sarjan viputoimisia liittimiä
- Muistikortti

#### 4.4.3 Piirilevyn suunnittelu

Piirilevyn suunnittelussa käytettiin EasyEDA-ohjelmaa. Ohjelman kirjastot sisältävät valmiiksi suuren määrän erilaisia elektronisia komponentteja sekä käyttäjien sinne lisäämiä osia ja näiden mittapiirustuksia.

Suunnittelu aloitettiin etsimällä todellisia komponentteja vastaavat osat EasyEDA-ohjelman tietokannasta ja asettamalla ne suunnittelualueelle. Tämän jälkeen käyttäen jokaisen osan tietolehteä kytkettiin ne mikropiirin soveltuviin portteihin. Suunnittelun yhteydessä osien todellinen toimivuus testattiin koestuslevyllä ja erilaisilla testiohjelmilla virhekytkentöjen välttämiseksi.

Piirilevylle lisättiin näyttö josta voitiin havaita mikropiirin tila ja erilaisia pumppaamon sisään- ja ulostuloihin liittyviä tietoja. Lisäksi piirilevyn suunniteltiin paikka microSD-kortille pumppaamon erilaisten tietojen tallentamista varten. Tällä tavoin voitiin välttää kuluttamasta ESP32-mikropiirin varsin rajallista 512 tavun kokoista flash-muistia usein kirjoitettavalla tiedolla ja mahdollistettiin pidempiaikaisten historiatietojen kerääminen.

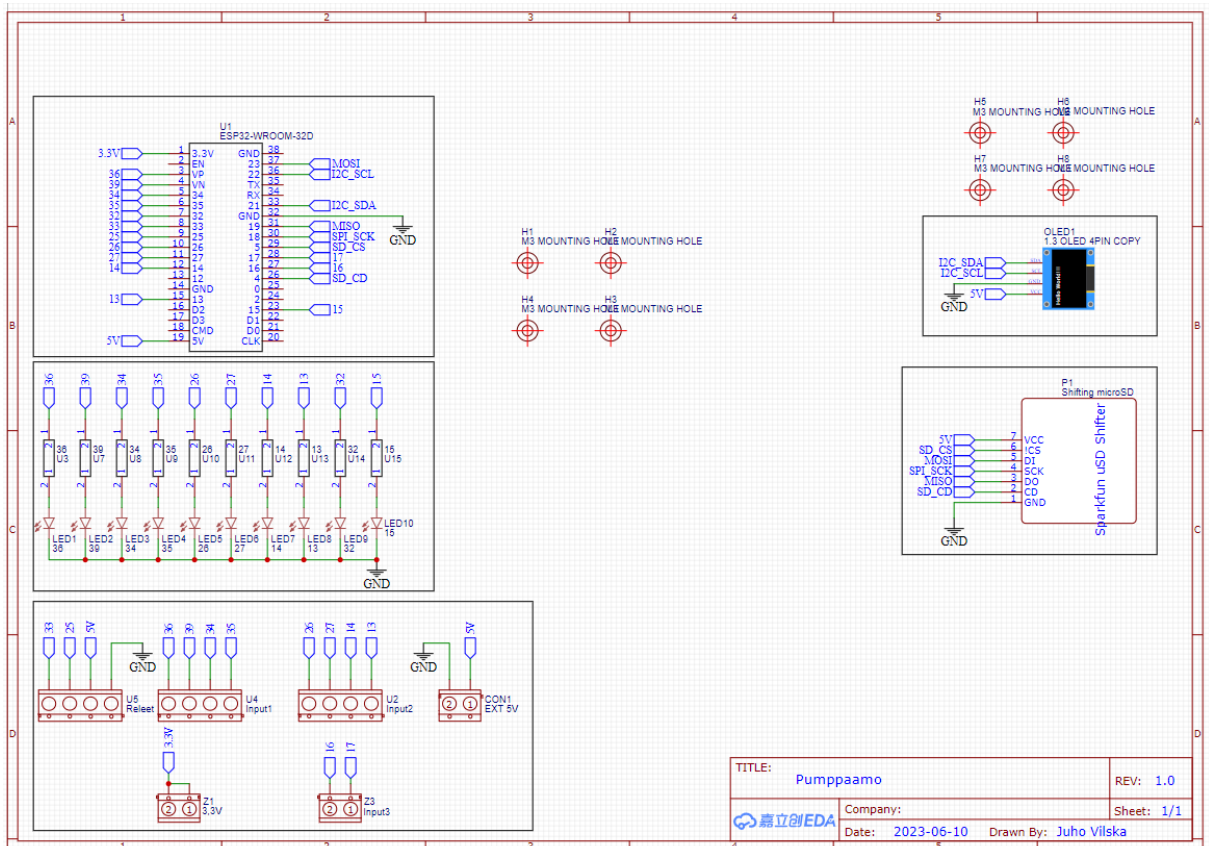
Suunnitteluvaiheen toisessa osassa ensimmäisen osan kytkentäkuvasta muodostettiin varsinainen piirilevy asettelemalla komponentit halutuille paikoille. Komponenttien sijoittelussa koitettiin pitää mielessä käyttömukavuus asennuskohteessa sijoittamalla ulos- ja

sisäntulot piirilevyn reunoille. Lisäksi sisäntulojen tilaa osoittavat led-valot sijoitettiin sisäntulojen liittimien kohdalle. Piirilevylle suunniteltiin myös liitin ulkoista 5 voltin virransyöttöä varten.

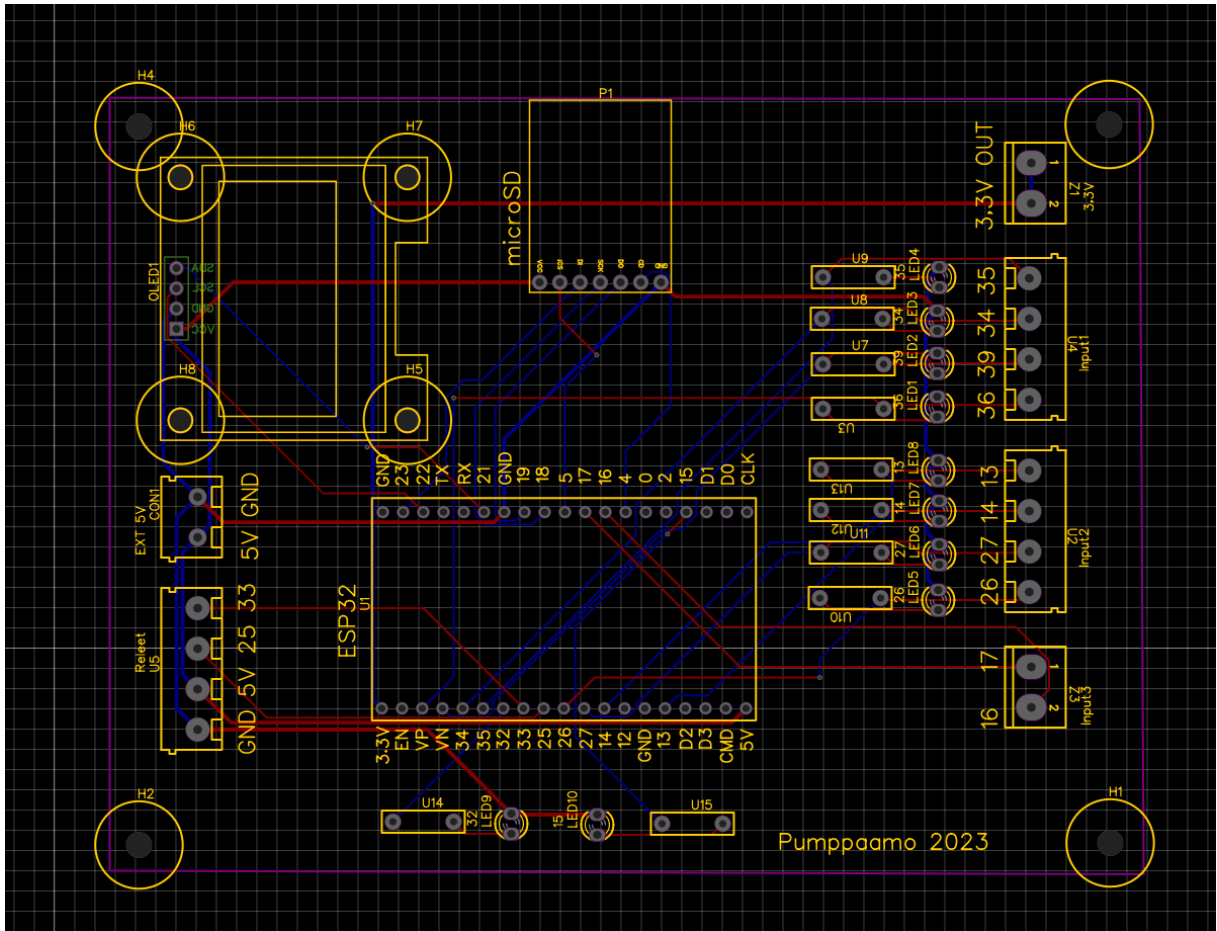
Komponenttien asettelun jälkeen ohjelman annettiin reitittää komponenttien väliset yhteydet käyttäen reititystä varten asetettuja sääntöjä. Ohjelman tekemän reitityksen järjestyks tarkastettiin ja sitä hieman muutettiin, jotta reitit eivät kulkisi esimerkiksi liian lähellä näyttöä varten tulevia kiinnitysreikiä. Lopuksi ohjelmasta tuotiin piirilevyn tuottajaa varten tiedosto, joka ladattiin tuottajan verkkopalveluun.

Kuvassa 14 on nähtävissä EasyEDA:n käyttöliittymä ja piirilevylle suunniteltu piiri, kuvassa 15 taasen suunnittelun toisessa osassa valmiiksi reititetty piirilevy. Kuva 16 esittää valmiista piirilevystä, johon on kolvattu komponentit.

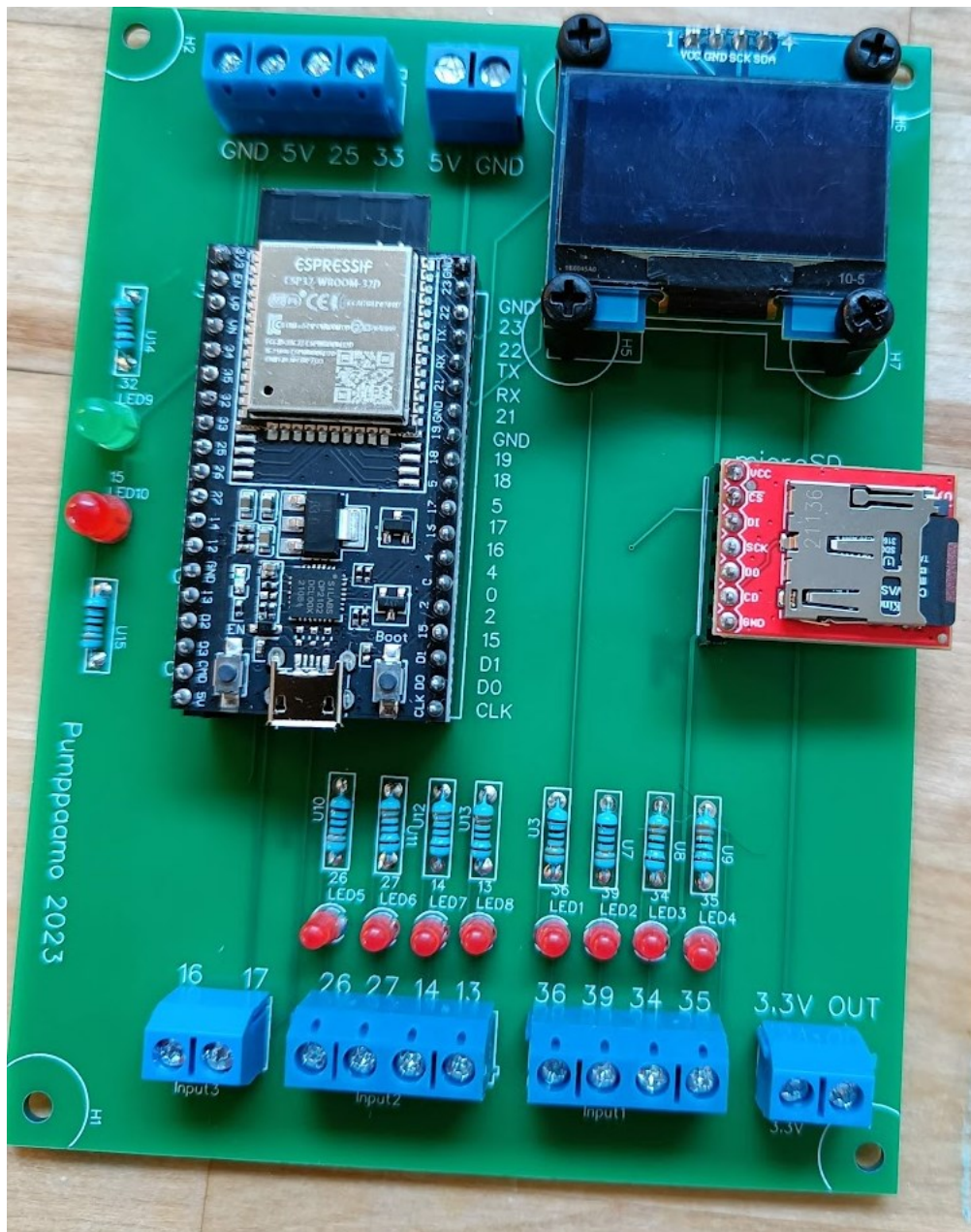
Kuva 14. EasyEDA-ohjelmalla suunniteltu piiri.



Kuva 15. Reititetetty piirilevy.



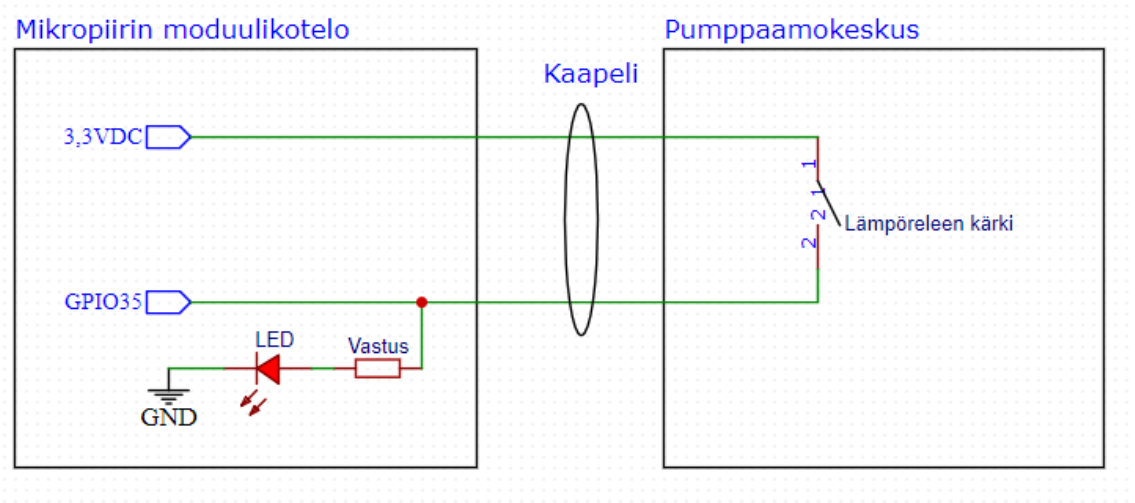
Kuva 16. Komponentit sisältävä piirilevy.



#### 4.4.4 Sisääntulot

ESP32 käyttää toiminnassaan 3,3VDC jännitettä. Sisääntuloissa piirilevyllä kaapelia pitkin syötettävä 3,3VDC jännite kiertää kunkin tarkkailtavan kärjen kautta takaisin mikropiirille tarkkailua varten piirille suunniteltuun GPIO-sisääntuloon. Sisääntulon rinnalla on punainen LED, joka syttyy, kun kyseiseen sisääntuloon tulee 3,3VDC jännite. Esimerkki kytkennästä on nähtävissä kuvassa 17.

Kuva 17. Esimerkki kytkennästä mikropiirin ja lämpöreleen välillä.



Sisään- ja ulostuloina käytettävät GPIO-liitännät valittiin siten, että niiden käyttäminen työn vaatimiin toimintoihin ei haittaa muuta piirilevyn toimintaa. Lopputulos on nähtävissä taulukossa 3.

Taulukko 3. Työtä varten valitut sisään- ja ulostulot ja niiden kuvaukset.

#	Tyyppi	Kuvaus	GPIO
1	Sisääntulo	Lämpörele	35
2	Sisääntulo	Lämpöanturi 150C	27
3	Sisääntulo	Lämpöanturi 170C	14
4	Sisääntulo	Käynnistysvipa	13
5	Sisääntulo	Hälytysvipa	36
6	Sisääntulo	Pumpun käynti	39
7	Ulostulo/Rele	Reset	26
8	Ulostulo/Rele	Pumpun ohjaus	33

Lisäksi piirilevylle haluttiin sisääntulojen tilaa kuvaavat ledit, joiksi valittiin kynnysjännitteeltään  $V_f = 1,6V$  punaiset ledit. Kynnysjännite varmistettiin yleismittarilla. Ottaen huomioon mikropiirin jännitesyötön antaman 3,3V jännitteen saatiin LED-valolle mitoitettua sellainen vastus, jonka avulla kyseinen yksittäinen piiri kuluttaa riittävän maltillisesti virtaa. Kokeilemalla koestinvälillä todettiin 330 ohmin vastuksen sytyttävän ledin riittävän kirkkaaksi. Piirin virrankulutus on kaavan 1 laskutoimituksen mukainen.



Kaava 1. LED-valon etuvastuksen virrankulutuksen laskentakaava.

$$U_r = 3,3V - 1,6V = 1,7V$$

$$I = \frac{U_r}{R_{led}} = \frac{1,7V}{330\Omega} = 0,00515 \dots A \text{ eli noin } 5mA \text{ (Hardware Fun, 2013)}$$

#### 4.4.5 Näyttö

Piirilevylle lisättiin näyttö, jotta mahdollisista piirilevyn ongelmatilanteista olisi helpompi viestiä. Esimerkiksi verkkoyhteyden katkettua tietoa vikatilanteen syystä ei helposti näkisi ilman näyttöä, vaan mikropiiriin jouduttaisiin liittämään tietokone sarjaporttiin lähetettyjen viestien lukemista varten.

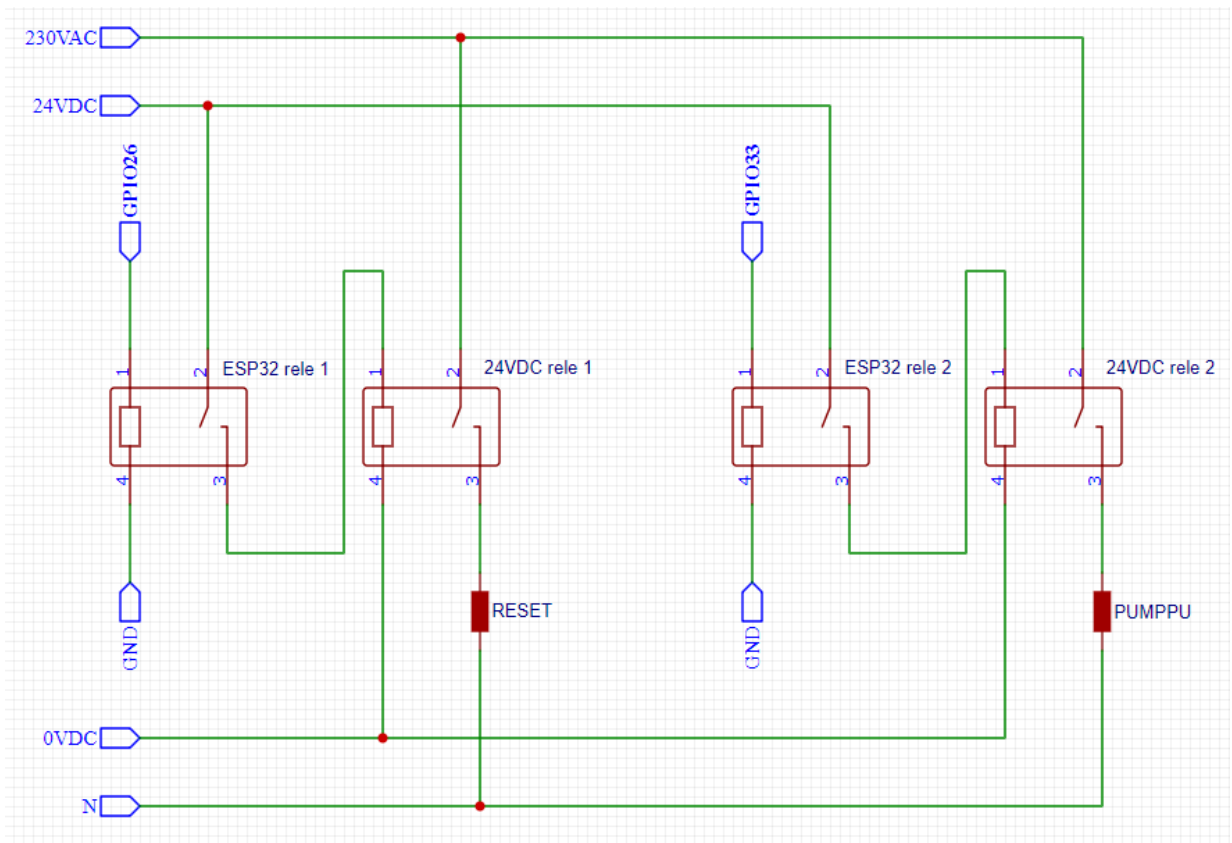
Näyttö on tekniikaltaan harmaasävyinen, OLED-tyyppinen ja kooltaan 1,3 tuumaa. Pikseleitä näytöllä on vaakasuunnassa 128 kpl ja korkeussuunnassa 64 kpl. Näyttö käyttää I2C-väylää ja yhdistettiin ESP32-piiriin GPIO-liittimiin 21 ja 22, jotka toimivat valitussa mikropiirissä oletuksena I2C-väylän liittiminä. Lisäksi näytölle tuotiin sekä 5VDC että GND (ground). Valitulle mikropiirille on olemassa valmiita kirjastoja, joiden avulla esimerkiksi tekstin tai kuvien piirtäminen näytölle onnistuu helposti.

#### 4.4.6 Releet

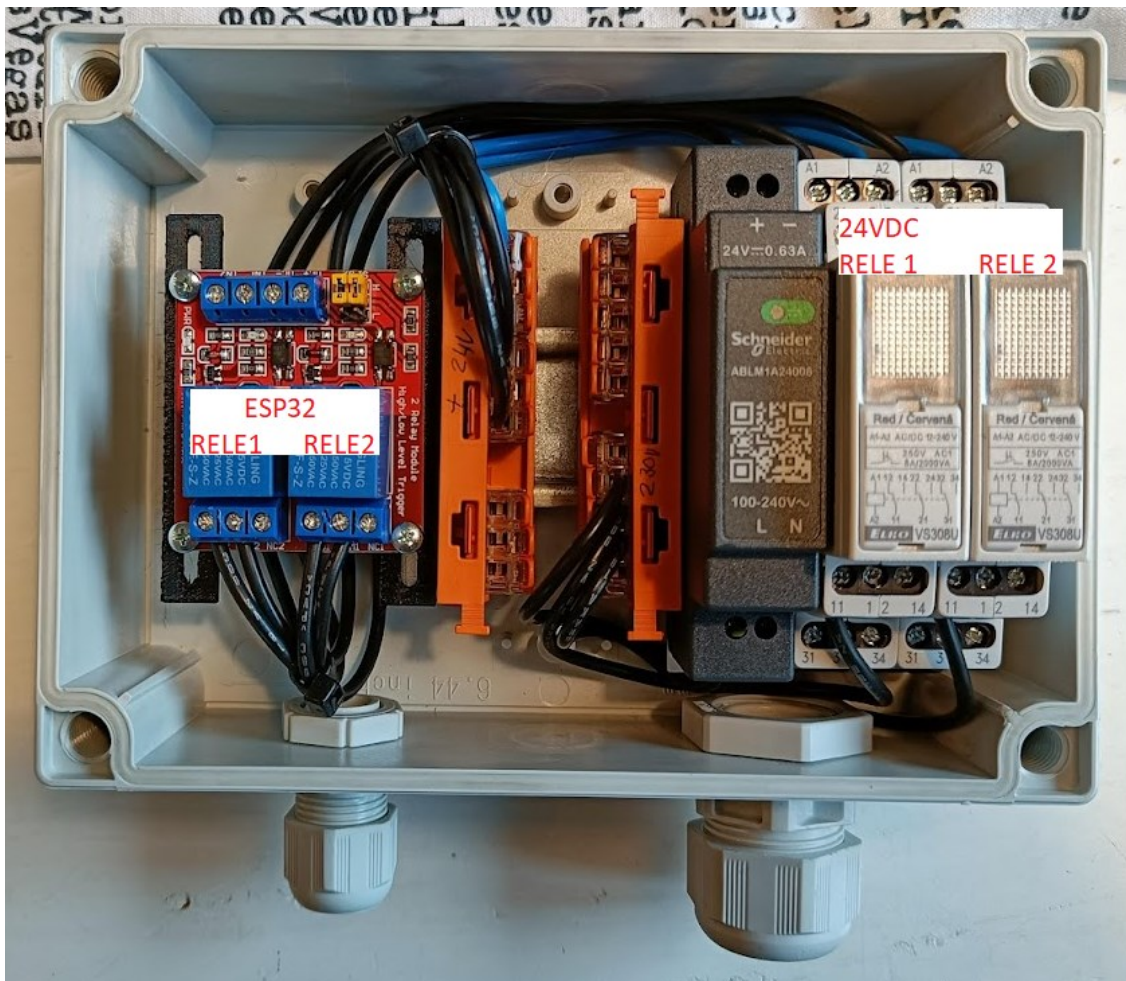
Pumppu- ja reset-releen ohjaus päätettiin toteuttaa omaan koteloonsa sijoitetuilla releillä ja piirilevylle suunniteltiin liittimet releiden liittämiseksi. Lisäksi väliin suunniteltiin 24VDC jännitteellä toimiva apupiiri, joka ohjaa varsinaista 230VAC ohjauspiiriä. Piirikaavio kytkennästä on nähtävissä kuvassa 18 ja itse relekotelo kuvassa 19.



Kuva 18. Releohjauksen piirikaavio.



Kuva 19. Relekotelo.



#### 4.4.7 Muistikortti

Muistikortille päätettiin alustavasti tallentaa tieto pumpun käyntiajasta millisekunneissa jokaisen päivän osalta muodossa ”päivämäärä:millisekunnit”. Jatkossa muistikortille voidaan työn teettäjän niin halutessa tallentaa muutakin tietoa. Käyntiaika tallennettiin millisekunneissa, sillä pumpun käyntiaika itse ohjelmassa lasketaan millisekunneissa. Muistikortin liittämiseksi mikropiiriin käytettiin SPI-väylää ja ESP32-mikropiiriin GPIO-liittimiä 4, 5, 18, 19 ja 23. Lisäksi muistikorttia lukevalle komponentille tuli syöttää 5VDC jännite ja GND.

#### 4.4.8 Ohjelmointi

Mikropiirin käynnistyessä se käy aluksi läpi ohjelmassa määritellyn `setup()`-funktion sisällön, jossa tämän työn tapauksessa muun muassa määritellään sisään- ja ulostulojen ominaisuudet ja näytön parametrit kuten fonttikoko, tarkastetaan SD-kortin toiminta ja yhdistetään Wi-Fi-verkkoon. `setup()`-funktion läpikäynnin jälkeen mikropiiri toistaa loputtomasti funktion `loop()`-sisältöä. Tämän työn ohjelman `loop()`-funktion sisältö on nähtävillä kuvassa 20.

Kuva 20. Ohjelman `loop()`-funktion sisältö.

```

219 void loop() {
220
221     checkInputs();
222     switchScreen();
223     processLogging();
224     checkNewTelegramMessages();
225     handleRelays();
226     checkWifiConnection();
227
228 }
```

Ohjelmointi tehtiin Arduino IDE-ympäristössä. Ohjelma jaettiin kahteen eri tiedostoon ohjelmakoodin selkeyttämiseksi. Pääasiallisessa ohjelmatiedostossa toteutettiin ohjelman muuttujien alustukset, mikropiirin käynnistykseen ja oheislaitteiden tarkistuksiin liittyvät asiat ja ylemmän tason ohjelmointi. Aputiedostoon kerättiin ohjelman käyttämät erilaiset funktiot. Muuttujien nimet on pyritty nimeämään sellaisiksi, että niistä käy suoraan ilmi mihin osaan ohjelmasta ne liittyvät.

Ohjelmaan lisättiin työn teettäjän vaatimat erilaiset toiminnot, joita voidaan käyttää Telegram-ryhmässä annettujen komentojen avulla. Listaus komentoista on taulukossa 4. Jokaisen annetun komennon jälkeen Telegram-ryhmässä oleva pienoissovellus vastaa käyttäjälle viestillä. Tällä tavoin käyttäjän on helppo varmistua siitä, että komento on mennyt perille.

Taulukko 4. Listaus Telegram-komennoista.

Komento	Kuvaus
/apua	Näyttää komentolistauksen
/tila	Sisään- ja ulostulojen tila
/pump on	Käynnistää pumppureleen
/pump off	Sammuttaa pumppureleen
/reset	Käynnistää reset-releen 3 sekunniksi
/eilen	Pumpun käyntiaika eilen
/tanaan	Pumpun käyntiaika tänään
/7pv	Pumpun käyntiaika 7 päivän ajalta

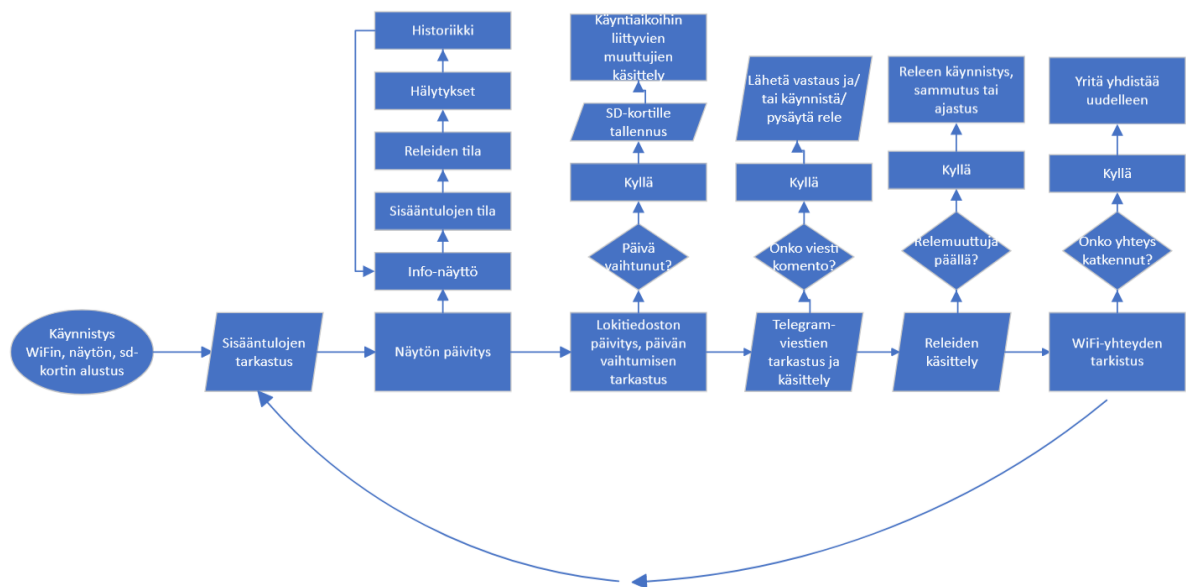
Ohjelmassa käytettiin useita erilaisia valmiita kirjastoja. Näistä kirjastoista on alla listaus ja kuvaus.

- SPI-kirjastoa käytetään ohjelmassa muistikortin kanssa keskustelemiseen
- SD-kirjasto mahdollistaa muistikortille kirjoittamisen ja siltä lukemisen
- Wire-kirjastoa käytetään I2C-väylän ja sitä myöten näytön kanssa toimimiseen
- Adafruit\_GFX-kirjasto avustaa erilaisten näyttöjen ohjaamisen kanssa ja sisältää valmiita toimintoja tekstin ja erilaisten grafiikoiden tulostamiseen
- Adafruit\_SH110X on kirjasto SH110X-ohjaimella toimivien OLED-harmaasävy näyttöjen ohjaamiseen
- WiFiClientSecure.h mahdollistaa turvallisen WiFi-yhteyden luomisen käyttäen TLS/SSL-suojausta
- WiFiManager.h mahdollistaa WiFi-yhteyden tietojen asettamisen mikropiirille sellaisessa ympäristössä, jossa ei ole ennestään tuttuja WiFi-tukiasemia. Tällöin mikropiirin luomaan tukiasemaan voidaan yhdistää esimerkiksi tietokoneella ja sieltä avautuvalta sivulta valita sopiva WiFi-verkko johon mikropiiri jatkossa yhdistää
- UniversalTelegramBot-kirjasto mahdollistaa viestien lähettämisen ja vastaanottamisen Telegram Bot API:n ja mikropiirin välillä
- ArduinoJson-kirjasto on eräs UniversalTelegramBot-kirjaston toiminnan kannalta tärkeistä kirjastoista
- time-kirjasto mahdollistaa erilaisten aikaan liittyvien funktioiden, kuten Date ja Time, käytön
- sntp (simple network time protocol)-kirjasto mahdollistaa mikropiirin ajan asettamisen internetissä olevan aikapalvelimen avulla

- math-kirjasto tarvitaan erilaisten laskutoimitusten suorittamista varten

Alla olevassa kuvassa 21 on esillä ohjelman toiminnan vuokaavio.

Kuva 21. Ohjelman vuokaavio.



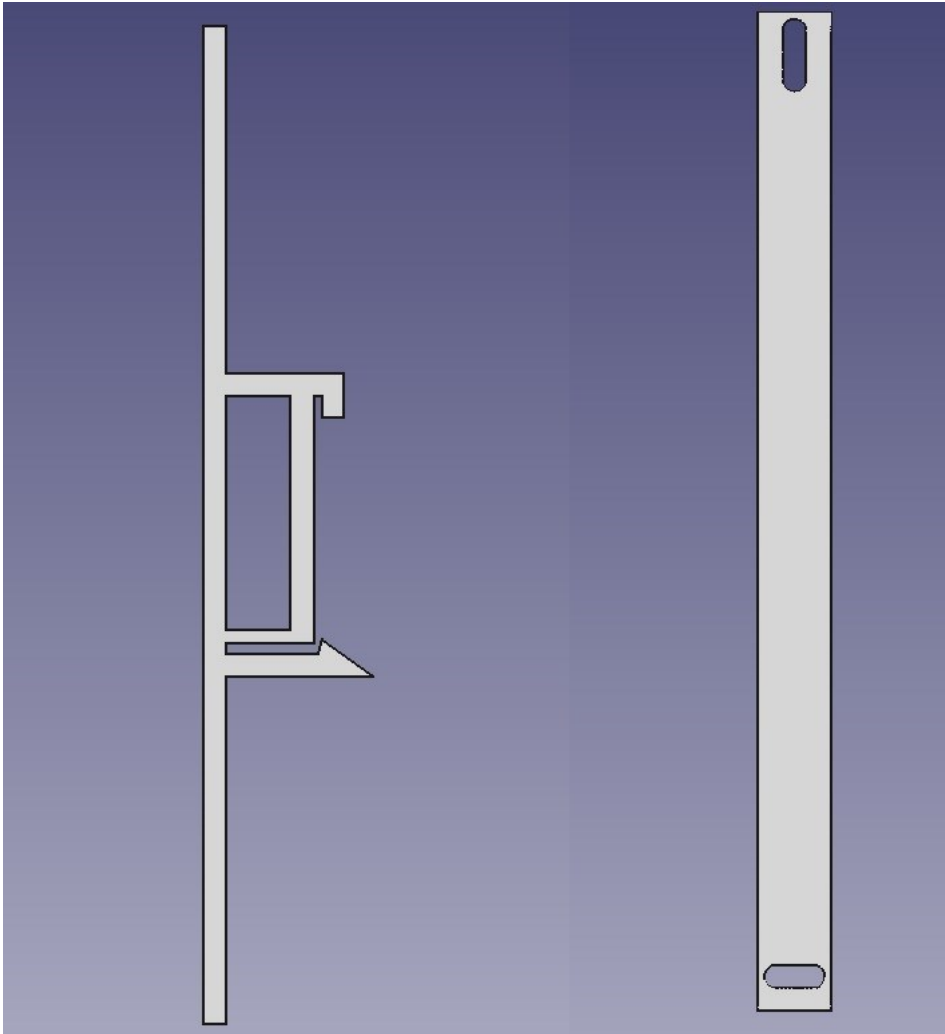
#### 4.4.9 3D-tulostus

Piirilevyn kiinnittämiseksi moduulikotelon DIN-kiskoon suunniteltiin sopivan kokoinen kiinnike. Tätä varten etsittiin tieto yleisesti keskuksissa käytetyn DIN-kiskon mitoista, jonka jälkeen sopivanlainen kiinnike voitiin suunnitella Freecad-suunnitteluohjelmalla.

Suunnittelun jälkeen kiinnike tulostettiin käyttäen 3D-tulostinta. Materiaalina käytettiin PLA-muovia.

Piirilevy kiinnitetään kiinnikkeeseen tätä tarkoitusta varten suunnitelluista M3-kokoisista rei'istä. Kiinnikettä suunniteltaessa haasteena oli luotettavan kiinnityksen aikaan saaminen DIN-kiskoon. Käyttäen hyväksi muovin taipuisuutta saatiin DIN-kiskoon reunaan kiinni napsahdava uloke puristamaan kiskoa riittävän tukevasti. Suunniteltu kiinnike on nähtävissä Freecad-ohjelmasta siepatussa kuvassa 22.

Kuva 22. Kuva kiinnikkeestä sivulta ja edestä.



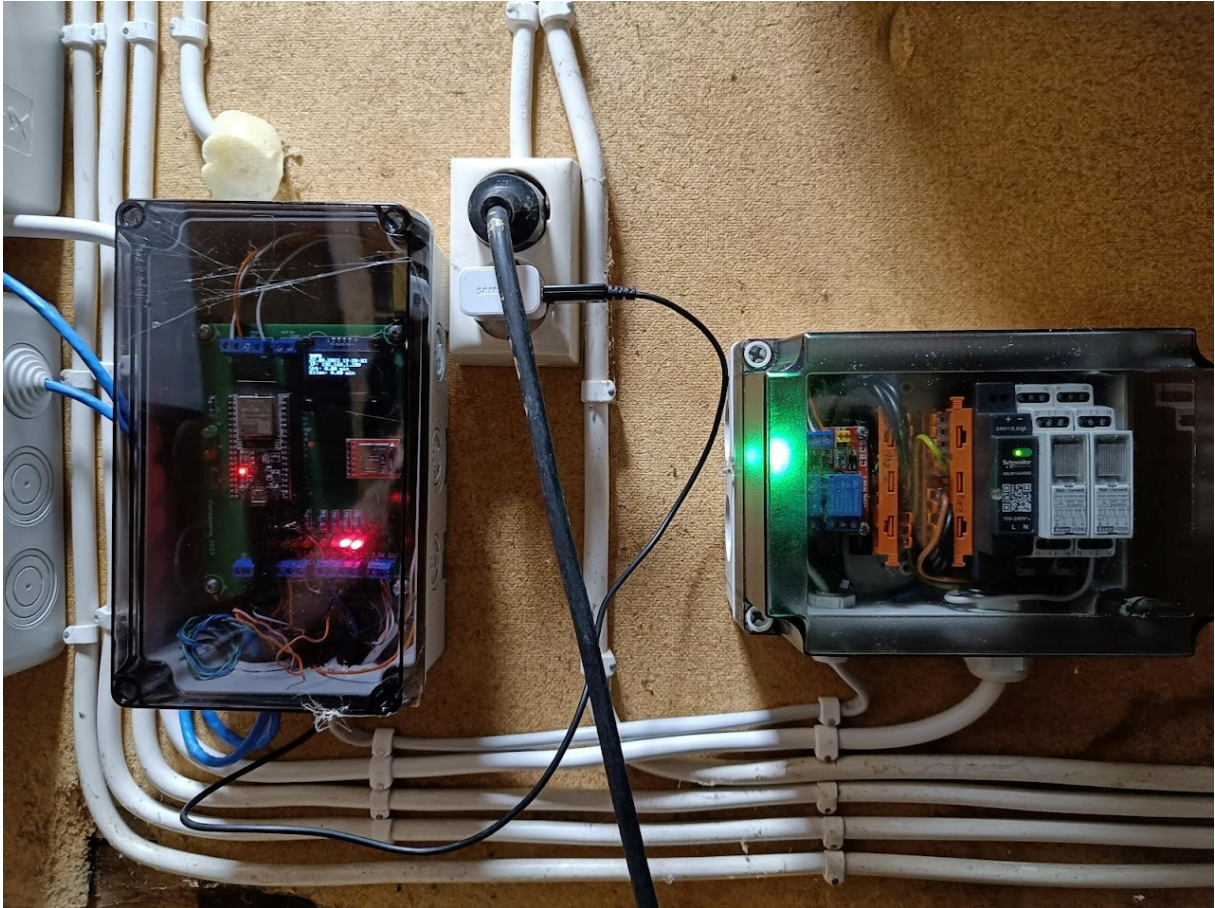
## 5 Tulokset ja johtopäätökset

Työn kehityksen valmistuttua kokonaisuus käytiin asentamassa työn tilaajan pumppaamokeskuksen yhteyteen. Heikkovirtajohdotukset oli asennettu jo valmiiksi ja ne kytkettiin mikropiiriin sisääntuloihin käyttäen hyväksi heikkovirtajohdotusten asennusten yhteydessä tehtyjä muistiinpanoja. Pienjännitekytkennät toteutti ja tarkasti pätevyudet omaava sähköasentaja. Kytkentöjen jälkeen mikropiiriin kytkettiin virta ja se yhdistettiin työn tilaajan Wi-Fi-verkkoon onnistuneesti. Tämän jälkeen kokeiltiin viestinnän toimivuutta Telegram-viestintäpalvelun kautta molempiin suuntiin. Releiden toiminnan ohjaaminen Telegram-komennoilla toimi myös vaatimusten mukaisesti. Kuva asennetusta



kokonaisuudesta on nähtävillä kuvassa 23. Itse mikropiirille syötettiin sen tarvitsema virta käyttäen tavallista, matkapuhelimen lataamiseen käytettävää 5V laturia.

Kuva 23. Pumppaamokeskukseen asennettu kokonaisuus.



Työssä pyrittiin luomaan edullinen ratkaisu jätevesipumppaamon etävalvontaa ja -ohjausta varten ja tässä onnistuttiin työn teettäjän asettamien vaatimusten mukaisesti. Lämpöreleen tilaa havainnoivan sisääntulon logiikka jouduttiin kääntämään ohjelmallisesti toisinpäin, sillä - toisin kuin muissa tarkkailtavissa sisääntuloissa - hälytyksen tuli aiheutua, jos sisääntulo ei ole aktiivinen. Tämä korjattiin laitteiston asennuksen yhteydessä.

Eräänä yllätyksenä tulleen haasteena oli se, että toista relettä varten varattu GPIO-lähtö 25 ei tuntemattomasta syystä toiminut halutusti. Asiaa tutkittiin erillisellä hyvin yksinkertaisella ohjelmalla, joka asetti GPIO-lähdön 25 ja releen onnistuneesti päälle. Tämän jälkeen ohjelmaan lisättiin yksi kerrallaan varsinaisen piirilevyn erilaisia ominaisuuksia. Vikatilanne saatiin toistettua, kun ohjelmaan lisättiin näytön ohjelmakoodi. Tällöin kyseistä ulostuloa ei

enää saatu toimimaan relettä ohjaavana lähtönä. Tietoa tästä toiminnallisuudesta ei löytynyt pitkällisenkään etsimisen jälkeen, joten kyseinen GPIO-lähtö päätettiin hylätä ja ottaa toista relettä varten käyttöön sisääntuloksi tarkoitettu GPIO-liitin 26. Ainakaan teoriassa I2C-väylän ei pitäisi varata GPIO-lähtöä 25, sillä se toimii oletuksena liittimien 21 ja 22 kautta. Näyttöä ohjaavan kirjaston lähdekoodia tutkittiin, mutta vastausta lähdön 25 odottamattomaan toimintaan ei sieltäkään löytynyt.

## 6 Pohdinta ja kehittämissuhteet

Laitteistoa kehittäessä syntyi useita kehityssuhteita, joihin ei ensimmäistä versiota tehdessä ollut aikaa paneutua tarkemmin. Yhtenä huolena oli, että pumppaamon ohjauskeskuksen kautta kiertävät, 3,3VDC jännitettä kuljettavat johtimet saattaisivat altistua ohjauskeskuksen pienjännitteen ja releiden sekä kontaktorien aiheuttamille häiriöille. Tämä uhkakuva ei toteutunut tässä yksittäisessä tapauksessa, mutta jatkossa olisi hyvä harkita mikropiirin sisääntuloihin käytettävän jännitteen erottamista erilliseksi piirikseen optoerotinten avulla. Tällöin pumppaamon ohjauskeskuksen kautta voisi kiertää esimerkiksi 24V apujännite, joka ei ole suoraan yhteydessä mikropiiriin ja siten mahdolliset jännitepiikit eivät aiheuttaisi ongelmia mikropiirin toiminnalle.

Tämän opinnäytetyön tapauksessa oli järkevää käyttää verkkoyhteytenä Wi-Fi-yhteyttä, sillä sellainen oli valmiiksi saatavilla ja rakennetun laitteiston sai suoraan verkkojännitteeseen. Tästä syystä valitun verkkotekniikan virrankäytöstä ei tarvinnut välittää. Jatkossa tulisi harkita erilaisten verkkotekniikoiden käyttämistä etäyhteyden mahdollistamiseksi ja sen myötä voisi harkita myös mikropiirin käyttöä akun avulla, vaikka pumppaamokeskusten yhteydessä yleensä on pakon sanelemana sähkönsyöttö.

Erilaisten pumppaamon toimintaan liittyviä tilastointeja olisi helposti mahdollista lisätä siten, että muistikortille tallennettaisiin nykyisen mallin mukaisesti useampia tietotyyppisiä päivän ajalta ":" -merkillä erotettuina. Tällä tavoin voitaisiin kerätä lokia esimerkiksi hälytysvipan tai muiden tarkkailtavien kohteiden aktiivisuudesta. Tällä hetkellä muistikortille tallennetaan ainoastaan tieto pumpun käyntiajasta päivittäin. Lisäksi tämän tyyppisiä tilastoja voisi paikallisen tallentamisen sijaan myös lähettää johonkin palveluun, joka osaa yksittäisistä,



mikropiirin aikaa myöten lähettämistä datapisteistä luoda kuvaajan ajan suhteen. Kyseisen kaltaisista palveluista täytyy kuitenkin usein maksaa jonkinlainen maksu.

Piirilevyn suunnittelu toteutettiin tämän opinnäytetyön yhteydessä käyttäen tavanomaisia, piirilevyssä oleviin reikiin liitettäviä komponentteja, sillä näiden käyttö oli opinnäytetyön tekijälle ennestään tuttua. Piirilevyn kokoa voisi kuitenkin merkittävästi pienentää käyttämällä komponentteja, jotka kiinnitetään suoraan piirilevyn pintaan. Itse mikropiirin voisi myös suunnitella osaksi piirilevyä siten, ettei olisi tarvetta käyttää tässäkin opinnäytetyössä käytettyä kehittäjille tarkoitettua versiota, joka on kooltaan pelkkää mikropiiriä suurempi. Sama pätee myös niihin kahteen releeseen, jotka olivat nyt erillisellä piirilevyllä. Tällä tavoin kokonaisuudesta saataisiin vähemmän palapeliä muistuttava.

Jatkossa toisen releen ohjausta varten tarkoitettu GPIO-ulostulo 25 tulisi ottaa kokonaan pois käytöstä ja korvata se jollakin muulla ulostulolla, esimerkiksi numerolla 26. Tämä selkeyttäisi piirilevyn ymmärtämistä, kun sisääntulot olisivat yhdellä sivulla ja relelähdöt toisella.

## Lähteet

Android developers. (n.d.-a). *Create a Notification*.

<https://developer.android.com/develop/ui/views/notifications/build-notification>

Android Developers. (n.d.-b). *Create a Notification* [kuva].

<https://developer.android.com/develop/ui/views/notifications/build-notification>

Anttila, J. (13.3.2019). LoRa, mikä ihme se on? *Petari*. [https://www.petari.fi/blogi/lora-mika-](https://www.petari.fi/blogi/lora-mika-ihme-se-on/)

[ihme-se-on/](https://www.petari.fi/blogi/lora-mika-ihme-se-on/)

Arduino. (n.d.-a). *Arduino Hardware*. <https://www.arduino.cc/en/hardware>

Arduino. (n.d.-b). *Arduino UNO WiFi Rev2* [kuva]. [https://store.arduino.cc/products/arduino-](https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-wifi-rev2)

[uno-wifi-rev2](https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-wifi-rev2)

Arduino. (n.d.-c). *4 Relays Shield*. <https://docs.arduino.cc/hardware/4-relays-shield>

Arduino. (n.d.-d). *Motor Shield Rev3*. <https://docs.arduino.cc/hardware/motor-shield-rev3>

Arduino. (2023). *What is Arduino?* [https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-](https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino)

[arduino](https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino)

Armenta, A. (8.9.2022). Introduction to Arduino: History, hardware, and Software. *Control*

*automation*. [https://control.com/technical-articles/introduction-to-arduino-history-](https://control.com/technical-articles/introduction-to-arduino-history-hardware-and-software/)

[hardware-and-software/](https://control.com/technical-articles/introduction-to-arduino-history-hardware-and-software/)

Brooks, R. (n.d.). What are mobile networks? *University of York*.

<https://online.york.ac.uk/what-are-mobile-networks/>

CallMeBot.com. (2021a). *Free API to Send Whatsapp Messages*.

<https://www.callmebot.com/blog/free-api-whatsapp-messages/>

CallMeBot.com. (2021b). *Free API to Send Whatsapp Messages* [kuva].

<https://www.callmebot.com/blog/free-api-whatsapp-messages/>

Cloudflare. (n.d.) *What is email? | Email definition.*

<https://www.cloudflare.com/learning/email-security/what-is-email/>

Connectivity standards alliance. (n.d.). *Zigbee FAQ.* <https://csa-iot.org/all->

[solutions/zigbee/zigbee-faq/](https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/zigbee-faq/)

Digi. (n.d.). *Zigbee Wireless Mesh Networking.* <https://www.digi.com/solutions/by->

[technology/zigbee-wireless-standard](https://www.digi.com/solutions/by-technology/zigbee-wireless-standard)

Digita. (n.d.). *LoRaWAN-teknologia.* <https://www.digita.fi/etusivu/palvelut->

[yrityksille/digitan-iot-palvelut/lorawan-teknologia/](https://www.digita.fi/etusivu/palvelut-yrityksille/digitan-iot-palvelut/lorawan-teknologia/)

DNA. (n.d.). *IoT-teknologiat.* <https://www.dna.fi/yrityksille/iot/iot-teknologiat>

E-SPIN Group. (2023a). *Exploring Zigbee Network Topology: Unveiling the Three Types for*

*Robust Communication.* <https://www.e-spincorp.com/zigbee-network-topology/>

E-SPIN Group. (2023b). *Exploring Zigbee Network Topology: Unveiling the Three Types for*

*Robust Communication* [kuva]. <https://www.e-spincorp.com/zigbee-network->

[topology/](https://www.e-spincorp.com/zigbee-network-topology/)

ESP32 I/O. (n.d.). *ESP32 – IFTTT.* <https://esp32io.com/tutorials/esp32-ifttt>

Espressif. (n.d.-a). *About Espressif.* <https://www.espressif.com/en/company/about-us/who->

[we-are](https://www.espressif.com/en/company/about-us/who-we-are)

Espressif. (n.d.-b). *Milestones.* <https://www.espressif.com/en/company/about->

[us/milestones](https://www.espressif.com/en/company/about-us/milestones)

Espressif. (n.d.-c). *ESP32-DevKitC V4 Getting Started Guide* [kuva].

<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw->

[reference/esp32/get-started-devkitc.html](https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html)

ETHW. (n.d.). *Wireless LAN 802.11 Wi-Fi.* [https://ethw.org/Wireless\\_LAN\\_802.11\\_Wi-Fi](https://ethw.org/Wireless_LAN_802.11_Wi-Fi)

Gibbs, S. (7.3.2016). How did email grow from messages between academics to a global epidemic? *The Guardian*.

<https://www.theguardian.com/technology/2016/mar/07/email-ray-tomlinson-history>

Grundfos. (n.d.-a). *Grundfos Polar 8, 9 ja 10 käyttö- ja asennusohjeet* [kuva].

<https://suptek.fi/wp-content/uploads/2021/04/Grundfos-pumppaamot-k%C3%A4ytt%C3%B6-ja-asennusohje-polar-9-polar-8-polar-10-Suptek-Oy.pdf>

Grundfos. (n.d.-b). *LC 231 1x 1-12 DOL PI*. [https://product-](https://product-selection.grundfos.com/fi/products/lc/lc-231/lc-231-99369644?tab=variant-specifications)

[selection.grundfos.com/fi/products/lc/lc-231/lc-231-99369644?tab=variant-specifications](https://product-selection.grundfos.com/fi/products/lc/lc-231/lc-231-99369644?tab=variant-specifications)

Hardware Fun. (2013). *Calculating correct resistor value to protect Arduino pin*.

<https://hardwarefun.com/tutorials/calculating-correct-resistor-value-to-protect-arduino-pin>

Huawei. (n.d.). *What is WLAN?* [https://info.support.huawei.com/info-](https://info.support.huawei.com/info-finder/encyclopedia/en/WLAN.html)

[finder/encyclopedia/en/WLAN.html](https://info.support.huawei.com/info-finder/encyclopedia/en/WLAN.html)

Hübschmann, I. (10.8.2020a). *ESP8266 for IoT: A Complete Guide*. *Nabto*.

<https://www.nabto.com/esp8266-for-iot-complete-guide/>

Hübschmann, I. (28.8.2020b). *ESP32 for IoT: A Complete Guide*. *Nabto*.

<https://www.nabto.com/guide-to-iot-esp-32/>

IBM. (n.d.). *What is a push notification?* <https://www.ibm.com/topics/push-notifications>

IFTTT. (n.d.). *What is IFTTT?* <https://help.ifttt.com/hc/en-us/articles/115010325748-What-is-IFTTT->

- Kamal, R. (28.7.2021). Widely Used Wireless Technologies for IoT Applications. *Techzone360*.  
<https://www.techzone360.com/topics/techzone/articles/2021/07/28/449583-widely-used-wireless-technologies-iot-applications.htm>
- Kari. (n.d.). *KARI-pintakytkin 3H | 3L | 3Y | 3A | 3HE | 3LE | 3YE | 3AE* [kuva].  
<https://kari.fi/fi/tuotteet/kari-pintakytkin-3h-3l-3y-3a-3he-3le-3ye-3ae/>
- Keenan, M. (29.4.2020). The evolution of cellular networks. *AVNET*.  
<https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/resources/article/the-evolution-of-cellular-networks/>
- Liperin Itäinen Vesiosuuskunta. (2015). *Ohje – kuinka toimia jätevesipumppaamon häiriötilanteissa*. <http://livok.fi/vikaohje.pdf>
- Liperin Itäinen Vesiosuuskunta. (2015). *Ohje – kuinka toimia jätevesipumppaamon häiriötilanteissa* [kuva]. <http://livok.fi/vikaohje.pdf>
- Lough, B. (2020). *Universal Telegram Bot Library*.  
<https://github.com/witnessmenow/Universal-Arduino-Telegram-Bot>
- LoRa Alliance. (n.d.). *What Is LoRaWAN Specification*. <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>
- Markkinointimaestro. (2023). *Sosiaalisen median tilastot 2023*.  
<https://www.markkinointimaestro.fi/sosiaalisen-median-tilastot>
- Mishra, A. (2004). *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation : 2G/2.5G/3G.. Evolution To 4G*. John Wiley & Sons, Incorporated
- Muinos, F. (2020). *Simple Signal Bot*. <https://medium.com/digital-forensics-deep-learning-and-dev/simple-signal-bot-6ce841c7982e>
- Nordic Semiconductors. (n.d.). *Low power cellular IoT*.  
<https://www.nordicsemi.com/Products/Low-power-cellular-IoT/What-is-cellular-IoT>

Notenboom, L. (15.10.2021). Why Does Email Take So Long to Arrive Sometimes? *Ask Leo!*

<https://askleo.com/email-take-so-long/>

Opensource.com. (n.d.). *What is a Raspberry Pi?*

<https://opensource.com/resources/raspberry-pi>

Picaro, E. (30.4.2023). What is Whatsapp? The chat, voice and video-calling app explained.

*Pocket-lint.* <https://www.pocket-lint.com/what-is-whatsapp-chat-voice-and-video-calling-app-explained/>

Random Nerd Tutorials. (n.d.). *ESP32 Pinout Reference: Which GPIO pins should you use?*

<https://randomnerdtutorials.com/esp32-pinout-reference-gpios/>

Raspberry pi. (2021). *Raspberry Pi 4 Computer* [kuva].

<https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-product-brief.pdf>

Raspberry pi. (n.d.). *Raspberry Pi hardware. GPIO and the 40-pin header.*

<https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html>

Ravikiran, A. (12.12.2022). What Is Raspberry Pi? Here's The Best Guide To Get Started.

*Simplilearn.* <https://www.simplilearn.com/tutorials/programming-tutorial/what-is-raspberry-pi>

Semasinghe, L. (2022). *Microcontrollers for IoT.* [https://medium.com/ms-club-of-](https://medium.com/ms-club-of-sliit/microcontrollers-for-iot-d566fe7bf349)

[sliit/microcontrollers-for-iot-d566fe7bf349](https://medium.com/ms-club-of-sliit/microcontrollers-for-iot-d566fe7bf349)

Signal. (n.d.). *Miksi Signal?* <https://signal.org/fi/>

Silicon Labs. (2023). *What is the difference between an end device, a router, and a*

*coordinator?* <https://community.silabs.com/s/article/what-is-the-difference-between-an-end-device-a-router-and-a-coordinator-do-i>

Simmons, A. (5.10.2022). *Cell Tower Range: How Far Do They Reach?* *Dgtl Infra.*

<https://dgtlinfra.com/cell-tower-range-how-far-reach/>

Talotekniikkainfo. (n.d.) *27 Jätevesien pumppaamo*. <https://talotekniikkainfo.fi/vesi-ja-viemarilaitteistot-opas/27-jatevesien-pumppaamo>

Telegram. (n.d.-a). *Telegram FAQ*. <https://telegram.org/faq>

Telegram. (n.d.-b). *Telegram for Android* [kuva]. <https://telegram.org/android>

Traficom. (2023). *Matkaviestinverkkojen taajuudet ja luvanhaltijat*.

<https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/matkaviestinverkkojen-taajuudet-ja-luvanhaltijat>

u-blox. (n.d.). *Narrowband IoT (NB-IoT)*. <https://www.u-blox.com/en/narrowband-iot-nb-iot>

Xylem. (n.d.) *Pumppaamojen suunnittelu*. <https://www.xylem.com/fi-fi/brands/flygt/flygt-engineering--expertise/pump-station-design/>

Zhou, X. (2021). *IP Network eBook Series. Wi-Fi 6*.

<https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1100201276>

## Liite 1. Kari-pumppaamon ohjauspiirikaavio

