



Roope Korhonen

Viemärirobotin ohjaus ja etähallinta viemäriputkistoissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan insinööri

Insinöörityö

27.11.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Roope Korhonen
Otsikko: Viemärirobotin ohjaus ja etähallinta viemäriputkistoissa
Sivumäärä: 42 sivua
Aika: 27.11.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka
Ammatillinen pääaine: Koneautomaatio
Ohjaajat: Projekti-insinööri Daniel Korhonen
Lehtori Maria Sjöholm

Opinnäytetyössä on tavoitteena kehittää ohjausjärjestelmä viemärirobotille, joka mahdollistaa robotin etäohjauksen viemäriputkistoissa. Projekti on TECHBOOST-hanke ja kuuluu Metropolia Ammattikorkeakoulun ja Underground City Oy:n yhteistyöhön, jonka päämääränä on tukea robotiikan hyödyntämistä viemäriputkiston kunnossapitotyössä.

Työssä pyritään luomaan etäohjattava robotti, joka kykenee sekä kuvaamaan että paikkaamaan vuotokohtia vaativissa viemäriolosuhteissa. Teoriaosuus kattaa elektronisen laitteiston ja ohjausyksikön valintaprosessin, jossa vertaillaan erityisesti Arduino- ja Raspberry Pi -järjestelmiä. Projektin edetessä on kokeiltu ja testattu eri komponentteja ja ohjelmistoratkaisuja. Näiden kokeilujen perusteella langallinen Ethernet-yhteys on havaittu luotettavammaksi kuin langaton 2.4 GHz vaihtoehto. Työn tuloksena syntynyt ohjausjärjestelmäkonsepti vastaa osittain hankkeen asettamia tavoitteita, ja projektia on suunniteltu jatkettavan tämän työn pohjalta eteenpäin.

Avainsanat: viemärirobotti, ohjausjärjestelmä, etäohjaus, Arduino, Raspberry Pi

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Roope Korhonen
Title: Control and remote management of a sewer robot in sewer pipelines
Number of Pages: 42 pages
Date: 27 November 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine Automation
Supervisors: Daniel Korhonen, Project Engineer
Maria Sjöholm, Lecturer

The objective of this thesis was to develop a control system for a sewer robot that enables remote control in sewer pipelines. The project is part of the TECHBOOST initiative and falls under the collaboration between Metropolia University of Applied Sciences and Underground City Oy, which aims to support the use of robotics in sewer maintenance.

The work aims to create a remotely controlled robot capable of both inspecting and repairing leaks in challenging sewer environments. The theoretical section covers the selection process for the electronic equipment and control units, with a particular comparison between Arduino and Raspberry Pi systems.

As the project has progressed, various components and software solutions have been tested. Based on these tests, a wired Ethernet connection was found to be more reliable than the wireless 2.4 GHz alternative. The resulting control system concept partially meets the goals set for the project, and further work is planned to continue building on this foundation.

Keywords: Sewer Robot, control System, remote control, Arduino, Raspberry Pi

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Projektin tausta	1
1.2	Tavoitteet	2
1.3	Tutkimukset	2
2	Underground City Oy ja Metropolia TECHBOOST	3
2.1	Underground City Oy	3
2.2	Metropolia TECHBOOST	4
3	Elektronisen laitteiston valinta	4
3.1	Viemärirobotin ohjausyksikön valinta	5
3.1.1	Arduino-ratkaisun kannattavuusanalyysi	6
3.1.2	Raspberry Pi 5:n kannattavuusanalyysi	7
3.2	Viemärirobotin GoPro HERO 12-kameran valinta	9
4	Langaton verrattuna langalliseen ratkaisuun	11
5	Käyttöliittymän ja ohjelmiston kehittäminen	13
5.1	Raspberry Pi 5 -käyttöjärjestelmä	13
5.1.1	Käyttöjärjestelmän asentaminen	14
5.2	GoPro MAX-360 -kameran yhdistäminen Raspberry Pi 5:een	15
5.2.1	"Camera Tools for GoPro Heros" -sovelluksen yhteyden havainnot	15
5.2.2	"Camera Tools for GoPro Heros" -sovelluksen kuvanlaadun havainnot	17
5.2.3	"Camera Tools for GoPro Heros" -sovelluksen vakauden havainnot	17
5.3	Luodut testiohjelmat viemärirobotin käyttöliittymää varten	18
5.3.1	"Camerafeed" Python 3 -sovellus	18
5.3.2	"Motor test" Python 3 -sovellus	22
5.4	RealVNC etähallinta -sovellus	25
6	Projektin tavoitteet	26

6.1	Tavoite 1. Moottorien ja kameran ohjaus Raspberry Pi 5 -järjestelmällä	27
6.2	Tavoite 2. Etäyhteyden luonti kannettavan tietokoneen ja viemärirobotin Raspberry Pi 5:n välille	28
6.3	Tavoite 3. Käyttöliittymän kehittäminen	29
6.4	Tavoite 4. Raspberry Pi 5 -pohjaisen etäohjaimen kotelo ja käyttöliittymä	30
6.5	Tavoite 5. Langattoman yhteyden kehittäminen	31
7	Yhteenveto	32
7.1	Saavutetut tulokset	32
7.2	Tulevaisuuden jatkokehityskohteet	33
8	Lähteet	1

Lyhenteet

- PoC: *Proof of Concept*. Konseptin todistus tai näyte, jolla osoitetaan, että tietty idea tai teknologia toimii käytännössä. Se on usein pienimuotoinen kokeilu tai prototyyppi, joka luodaan testatakseen idean toimivuutta ennen sen täysimittaista kehittämistä tai käyttöönottoa.
- PIXEL: *Pi Improved Xwindows Environment, Lightweight*. Raspberry Pi OS mukautettu ja paranneltu versio LXDE-työpöytäympäristöstä, joka tarjoaa visuaalisesti miellyttävämmän ja käyttäjäystävällisemmän käyttöliittymän, säilyttäen samalla kevyen resurssikäytön ja suorituskyvyn.
- DIY: *Do It Yourself*. Suomeksi "tee se itse." Se viittaa projekteihin, joissa yksilö tekee asioita itse ilman ammattilaisten apua. DIY-projektit voivat liittyä esimerkiksi kodin korjauksiin, elektroniikkaan, käsitöihin tai muihin luoviin töihin. DIY-kulttuuri kannustaa itsenäiseen tekemiseen ja uuden oppimiseen.
- GPIO: *General Purpose Input/Output*. GPIO viittaa liitännöihin, joita voidaan käyttää monenlaisiin tehtäviin, kuten signaalien lukemiseen tai lähettämiseen. GPIO-pinnit ovat yleisesti käytössä elektroniikkaprojekteissa, joissa Raspberry PI tai muu mikrokontrolleri ohjaa ulkoisia laitteita, kuten moottoreita, LED-valoja tai antureita. GPIO-pinnit ovat keskeinen osa laitteiden hallintaa ja niiden monipuolisuus mahdollistaa erilaisten projektien toteuttamisen, mikä rohkaisee harrastajia kehittämään omia ratkaisuja.
- PMW: *Pulse Width Modulation*. PMW viittaa tekniikkaan, jolla signaalin keskimääräistä jännitettä säädetään muuttamalla pulssin "päällä" ja "pois" -aikojen suhdetta. PWM:tä käytetään yleisesti esimerkiksi moottorien nopeuden säätämiseen, LED-valojen kirkkauden muuttamiseen tai servomoottorien ohjaamiseen. PWM on tehokas tapa

hallita elektronisten komponenttien toimintaa tarkasti ja säästää samalla energiaa, mikä tekee siitä suosittua menetelmää elektroniikka-projekteissa.

ETSI: *European Telecommunications Standards Institute*. Itsenäinen, voittoa tavoittelematon järjestö, joka kehittää maailmanlaajuisesti hyväksytyjä standardeja tietoliikenteelle, mukaan lukien matkaviestintä, tietoverkot ja langattomat viestintäteknologiat, kuten Wi-Fi. ETSI vastaa Euroopassa teknisten standardien luomisesta ja ylläpitämisestä, erityisesti taajuuksien ja viestintäteknologioiden tehokkaiseen käyttöön liittyen.

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä jatketaan TECHBOOST-hankkeessa aloitettua viemärirobotin tuotekehitystä, jota Aarni Ravean opinnäytetyössä edistettiin. Ravean opinnäytetyössä käytiin läpi viemärirobotin tavoitteet, suunnittelu, toiminta, tekniset ominaisuudet ja tuotekehitys konseptia. Kyseessä on viemäristöihin tarkoitettu etäohjattu mobiililaitte, joka kykenee kuvaamaan ja korjaamaan putkistossa löytyneitä vuotokohtia. Viemärirobotin tulee olla täysin etäohjauksella toimiva ilman erillistä avustusta sen viemäriin asettamisen jälkeen. [1.]

1.1 Projektin tausta

Viemäriverkostojen kunnossapitoa pidetään tärkeänä osana yhteiskunnan toimintaa, koska se ylläpitää kansan terveyttä ehkäisemällä jäteveden joutumisen ympäristöön ja juomaveteen. Ympäristönsuojelua jätevedeltä pidetään tärkeänä, sillä jätevesi voi tuhota ekosysteemejä ja luonnonvaroja. Viemäriverkostojen kunnan on havaittu vaikuttavan toimintaan ja vähentävän tulvimisen vaikutuksia infrastruktuuriin. Säännöllisellä kunnossapidolla säästetään kustannuksissa pitkässä juoksussa, koska täysin tuhoutuneita putkistoja on vaikea korjata, ja ne maksavat suuria summia kaupungille. Joissain tapauksissa koko putkisto pitää uusia.

Viemärirobotiikka helpottaa säännöllistä viemärihuoltoa, koska viemäreissä ryökiminen ei ole optimaalinen tapa korjata vuotoja. Se aiheuttaa epämukavat olosuhteet työntekijälle ja on terveysriski. Joissain tapauksissa on myös mahdollonta saada työntekijä mahtumaan tunneleihin, jolloin viemärirobotti on ainoa ratkaisu, joka ei vaadi koko putkiston ylös nostamista. Viemärirobotit myös helpottavat rutiinitarkastuksia, vaikka korjauksia ei välttämättä tarvita.

1.2 Tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella viemärirobotille ohjausjärjestelmä, jonka avulla sitä voidaan etäohjata viemäreissä. Suunnittelutyössä pyritään tehdä viemärirobotista helppokäyttöinen ja mahdollisimman langaton. Korjaustyökalun toimintaan tarvitaan kuitenkin paineilmaa ja virtaa johdon avulla. Tämä poistaa mahdollisuuden kokonaan langattomasta viemärirobotista. Tämän etuna on, että robotin vikatilanteessa se voidaan vetää takaisin viemärin suuaukolle. Täysin Langaton ratkaisu ei ole vedettävissä takaisin, vaan se olisi noudettava manuaalisesti. Viemärirobotin pitää olla IP67-luokitettu eli täysin pölysuojattu ja sen pitää kestää upotus veteen yhden metrin syvyydestä. IP67-luokitus on tärkeä muistaa suunnittelussa, koska sisäinen laitteisto voi hajota, jos siihen osuu vettä.

Suunnitelmista luodaan yksi laboratoriotason PoC-prototyyppi, jolla eri lähestymistapoja voidaan kokeilla ja päätellä paras etenemisen polku. Kokeillaan eri ohjelmistopuolen ratkaisuja, joihin sisältyy käyttöliittymä ja sen taustakoodit. Lisäksi suunnitellaan paras mahdollinen fyysinen laitteisto kuten kamera- ja moottorihjausjärjestelmä. Viimeisenä tutkitaan etäohjaimen vaihtoehtoja. Etäohjaus voidaan suorittaa erillisellä ohjaimella tai kannettavalla tietokoneella käyttäen näppäimistöä tai Xbox-ohjainta. Erillinen ohjain on suunnitteluvaiheessa ja tässä työssä keskitytään kannettavan tietokoneen kautta ohjaamiseen.

1.3 Tutkimukset

Työssä tutkitaan langattoman yhteyden toimivuutta putkistoissa sekä maan alla ja verrataan sitä langalliseen ratkaisuun. Tutkitaan myös kameranäkyvyyttä pimeissä olosuhteissa. Lisäksi selvitetään, mikä on paras tapa suorittaa moottorien ohjaus sekä videon lähetys etäohjauslaitteeseen. Viemärirobottiin valitaan parhaiten sopiva ohjausyksikkö, joka pystyy suorittamaan aiemmat edellytykset. Tärkeimmät kriteerit ohjausyksikölle ovat:

- hinta

- luotettavuus
- lisälaitesopivuus
- moottorinohjauskyky
- etäyhteystoiminnot
- ohjelmoitavuus.

Tutkimuksien suorittamisen jälkeen todetaan paras mahdollinen laitteiston suoritus tapa viemärirobotin etäohjaukselle ja luodaan pohja projektille, josta on helppo jatkaa eteenpäin.

2 Underground City Oy ja Metropolia TECHBOOST

2.1 Underground City Oy

Opinnäytetyö käsittelee Underground City Oy:n kehitysprojektia, joka on osana TECHBOOST-hanketta.

Underground City Oy käsittelee vedenkuljetusjärjestelmien kunnossapitoon liittyviä ongelmia putkistoissa käyttäen automaatiota ja robotiikkaa apuna. Underground City Oy ratkaisee viemärien kunnossapitoon liittyviä haasteita hyödyntämällä automaatiota ja robotiikkaa.

Underground City Oy haluaa tehostaa ja nopeuttaa kunnossapitoprosesseja parantamalla nykyistä laitteistoa. Työn tarkoitus on parantaa putkistonpaikkausrobotin toimivuutta tehden siitä tehokkaampi, kompaktimpi ja edullisempi. Underground City putkistonpaikkausrobotin uudistuksessa erotaan erillisestä vetäjärobotista ja sen ominaisuudet integroidaan suoraan putkistonpaikkausrobottiin.

Underground City Oy kehittää aktiivisesti uusia tapoja tarkastella viemäriputkistojen kuntoa, kuten luomalla visuaalisia kuvia putkistosta ja tehden niillä

automaattista kuntoanalyysiä. Seulontatarkastus auttaa havaitsemaan viemäriputkien vuotokohdat ja tukokset, mikä mahdollistaa korjausten tarkemman kohdentamisen verkoston ongelma-alueisiin. Tarkastuksen tiedot tallennetaan Underground City Oy:n tarjoamaan UC Application -sovellukseen, joka on pilvipohjainen työkalu vesihuoltoverkoston valvontaan ja hallintaan. Sovellus on suunniteltu käyttäjäystävälliseksi ja visualisoi tarkastustiedot selkeästi, mikä tekee tuloksista helposti ymmärrettäviä asiakkaalle. [2.]

2.2 Metropolia TECHBOOST

TECHBOOST on Metropolia Ammattikorkeakoulun johtama hanke, joka tukee Pieniä ja keskisuuria yrityksiä robotiikan ja tekoälyn hyödyntämisessä. Hankkeen tavoitteena on auttaa yrityksiä ottamaan käyttöön moderneja teknologiaratkaisuja, mikä parantaa niiden kilpailukykyä ja innovointimahdollisuuksia. TECHBOOST toteutetaan yhteistyössä kuuden korkeakoulun kanssa, ja mukana on myös Aalto-yliopisto.

Hankkeessa toteutetaan yhteensä 30 yritysprojektia eri puolilla Suomea, mikä tarjoaa yrityksille konkreettisia ratkaisuja ja opiskelijoille käytännön kokemusta. Yritykset voivat hankkeen avulla parantaa teknologiaosaamistaan ja löytää sopivia rahoitusmalleja.

TECHBOOST ei ainoastaan edistä pienten ja keskisuurien yritysten teknologista kehitystä, vaan se tukee myös oppilaitosyhteistyötä ja opiskelijoiden työelämävalmiuksia. Näin hanke rakentaa yhteyksiä koulutuksen ja yritysmaailman välille, edistäen pitkän aikavälin innovaatioita. [3.]

3 Elektronisen laitteiston valinta

Tässä kappaleessa käydään läpi taustatutkimus, jonka perusteella valitut elektroniset komponentit valittiin. Komponenttien oikean valinnan avulla varmistetaan viemärirobotin toimivuus ja laajennettavuus tulevaisuudessa.

3.1 Viemärirobotin ohjausyksikön valinta

Viemärirobotin toiminnan kannalta tärkein komponentti on ohjausyksikkö eli mikroprosessorilevy, joka kokoaa kaikki ohjaukseen tarvittavat toiminnot yhteen pakettiin. Ohjausyksikkö toimii viemärirobotin aivoina ja prosessoi kaiken koodin ja tiedonlähetyksen. Ohjausyksikön on tarkoitus sisältää tietokonemainen käyttöliittymä, jota voidaan ohjata näppäimistöllä ja hiirellä. Tässä kappaleessa vertaillaan Arduinon ja Raspberry Pi:n ominaisuuksia ohjausyksikkönä ja tarkastellaan, täyttävätkö ne viemärirobotin ohjausyksikölle asetetut kriteerit. Alla esitetään tärkeimmät kriteerit, joita käytettiin parhaan ohjausyksikön valintaan.

Ohjausyksikön kriteerit:

- **Koko:** Piirilevyn fyysinen koko on ratkaiseva erityisesti tässä projektissa, koska tila jaetaan erittäin tiukasti muiden laitteiden ja komponenttien kanssa.
- **Laajennettavuus/modulaarisuus:** Laajennusmahdollisuudet mahdollistavat mikroprosessorin toiminnallisuuden kasvattamisen lisälaitteilla, mikä tekee alustasta monikäyttöisemmän ja mukautuvamman tulevaisuuden tarpeisiin.
- **Yhteensopivuus moottoriohjainkortin kanssa:** Moottoriohjainkortin yhteensopivuus on ehdoton vaatimus toiminnan kannalta. Moottoriohjainkortti on Faulhaber Series SC 2804 S.
- **Käyttöliittymä ja ohjelmoitavuus:** Helppokäyttöinen käyttöliittymä ja laaja ohjelmointituki helpottavat ohjausyksikön kehittämistä. Hyväksytyihin käyttöjärjestelmiin kuuluvat esimerkiksi Windows ja Linux.
- **Helppokäyttöisyys:** Mikroprosessorilevyn on oltava käyttäjäystävällinen, jotta sekä aloittelijat että kokeneet käyttäjät voivat hyödyntää sitä vaivattomasti.

- **Ohjelmistotuki:** Tulevat päivitykset ja ongelmatilanteiden tuki ovat välttämättömiä ohjausyksikön kehittämisessä.
- **Tietoturva:** Vahva tietoturva on tarpeen, jotta ulkopuoliset eivät voi häiritä tai estää viemärirobotin ohjausta.
- **Hinta:** Projektissa pyritään minimoimaan kustannuksia, ja tämä koskee myös ohjausyksikköä.
- **Langaton yhteys:** 2.4GHz langaton yhteys kannettavan tietokoneen ja mikroprosessorilevyn välillä on suunniteltu etäohjaukseen. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää Ethernet-liitintä.
- **Prosessointiteho:** Videokuvan lähettäminen 2.4GHz-taajuuden yli vaatii tehokasta kompressoitua ja riittävää prosessointitehoa.

Näiden kriteerien perusteella tehtiin taustatutkimus ja kannattavuusanalyysi ohjausyksikkövaihtoehdoista.

3.1.1 Arduino-ratkaisun kannattavuusanalyysi

Arduino Uno, mitoiltaan 69 x 53 mm, on kompakti vaihtoehto, mutta tilarajoitteissa pienempi Arduino Nano (43 x 18 mm) on teknisesti parempi. Nano tarjoaa samankaltaisia toimintoja kuin Uno, ja sen pienempi koko on eduksi rajoitetussa tilassa.

Arduinon vahvuuksia ovat laajennettavuus ja modulaarisuus, sillä se tukee laajaa valikoimaa "shield"-lisäkortteja, jotka mahdollistavat erilaisten lisäominaisuuksien, kuten langattoman yhteyden ja moottorihjainten, integroimisen. Arduino on suunniteltu erityisesti laitteiden, kuten moottorien ja antureiden, ohjaamiseen, ja se tukee useita moottorihjainkortteja, kuten L298N, DRV8825 ja Faulhaberin ratkaisuja, mikä tekee siitä joustavan vaihtoehdon tulevaisuuden päivityksiä ajatellen.

Arduino IDE on helppokäyttöinen ohjelmointiympäristö, joka tukee C- ja C++-kieliä. Tämä nopeuttaa koodin kirjoittamista ja testaamista, mikä on etu kehitysprosessissa. Arduinon käyttöliittymä on selkeä ja intuitiivinen, mikä vähentää oppimiskäyrää, ja tämä nopeuttaa kehitystyötä.

Ohjelmistotuki on vahva, mutta rajoitetumpi kuin tehokkaammilla mikroprosessoreilla. Arduinon yhteisö on laaja, ja valmiit kirjastot nopeuttavat kehitystä, mutta sen laskentateho ei välttämättä riitä vaativiin tehtäviin, kuten videokuvan käsittelyyn. Tietoturva on myös haaste, sillä Arduino ei tarjoa yhtä kehittyneitä tietoturvaominaisuuksia kuin Raspberry Pi, mutta tietoturvaa voidaan parantaa ohjelmallisesti.

Hinta on Arduinon merkittävä etu, sillä Arduino Uno maksaa vain noin 20–30 euroa, mikä tekee siitä kustannustehokkaan vaihtoehdon. Langattoman yhteyden toteuttaminen vaatii kuitenkin lisämoduuleja, kuten Arduino Wi-Fi Shieldiä tai ESP8266-moduulia, mikä lisää kustannuksia.

Prosessointitehon osalta Arduino Uno ei välttämättä pysty käsittelemään vaativia videokuvan siirtoja, mikä rajoittaa toimintoja ja kuvan laatua. Heikko videoyhteys voi vaikuttaa käyttäjäkokemukseen ja robottijärjestelmän toimintaan.

Yhteenvetona Arduino on edullinen ja laajennettavissa oleva mikroprosessori-vaihtoehto, mutta sen rajoitukset prosessointitehossa, tietoturvassa ja langattomassa yhteydessä tekevät siitä vähemmän soveltuvan viemärirobotin vaatimukseen. Tämän vuoksi Arduinon käyttö voi olla haasteellista tässä projektissa.

3.1.2 Raspberry Pi 5:n kannattavuusanalyysi

Raspberry Pi 5 on monipuolinen ja tehokas mikroprosessorialusta, jonka mitat ovat 86 x 49 mm. Tämä koko tekee siitä suuremman kuin esimerkiksi Arduino Nano, mutta silti tarpeeksi kompaktin, jotta se voidaan sijoittaa viemärirobotin koteloon. Laajennettavuus ja modulaarisuus nähdään merkittävinä vahvuuksina, sillä tuetaan laajaa valikoimaa lisäosia, kuten kameroita, antureita ja HAT-

moduuleja. Joustavuuden ansiosta voidaan lisätä erilaisia ominaisuuksia, mikä on erityisen hyödyllistä viemärobotin tulevaisuuden päivitystarpeissa.

Raspberry Pi 5:n yhteensopivuutta moottoriohjainkorttien kanssa pidetään hyvänä, ja sen GPIO-pinnien tarjoamat liitännät mahdollistavat Faulhaberin moottoriohjainkortin käyttämisen. Näin varmistetaan, että robottia voidaan hallita tehokkaasti, mikä on kriittistä toiminnallisuuden kannalta. Käyttöliittymä ja ohjelmitavuus tarjoavat myös etuja, sillä Raspberry Pi 5 tukee useita käyttöjärjestelmiä, kuten Raspberry Pi OS:ää, joka perustuu Linuxiin. Tämä mahdollistaa monimutkaisten sovellusten ajamisen ja tarjoaa monipuoliset ohjelmointimahdollisuudet, kuten Pythonin ja C-kielet, sekä laajan valikoiman työkaluja ohjelmistokehityksen tueksi. Lisäksi Raspberry Pi 5 sisältää integroidun Python-ympäristön, mikä helpottaa ohjelmoinnin ja laitteen konfiguroinnin aloittamista.

Raspberry Pi 5:n ohjelmistotukea pidetään erittäin vahvana, ja sen avulla voidaan toteuttaa monimutkaisia toimintoja, kuten kuvankäsittelyä ja verkkoviestintää. Laaja kirjasto- ja ohjelmistotuki nopeuttaa kehitystä ja tarjoaa valmiita ratkaisuja projektin etenemisen helpottamiseksi. Tietoturva on myös tärkeä osa Raspberry Pi 5:tä, sillä kehittyneitä tietoturvaprotokollia, kuten WPA3-salausta langattomissa verkoissa tuetaan. Tämä parantaa yhteyksien turvallisuutta, ja salausten menetelmät, kuten SSL ja TLS, suojaavat tiedonsiirtoa ulkopuolisilta hyökkäyksiltä.

Raspberry Pi 5:n hinta, joka on noin 70–80 euroa kirjoittamishetkellä, katsotaan kohtuulliseksi sen tarjoamaan suorituskykyyn nähden. Se nähdään edullisena vaihtoehtona verrattuna moniin muihin mikroprosessorialustoihin, eikä erillisiä moduuleja tarvita, mikä helpottaa sen käyttöä erilaisissa projekteissa. Langallinen ja langaton yhteys sisäänrakennetun Wi-Fi 6 ja Gigabit Ethernet -portin avulla tarjoavat luotettavat yhteydet.

Neliytiminen ARM Cortex-A76-prosessori mahdollistaa vaativien laskentatehtävien, kuten videokuvan reaaliaikaisen prosessoinnin ja lähettämisen. Tämä tekee Raspberry Pi 5:stä erinomaisen valinnan viemärobotin

ohjausjärjestelmään, sillä monimutkaisempien tehtävien käsittely ja tarvittavan prosessointitehon tarjoaminen onnistuvat.



Kuva 1. Raspberry Pi 5 mikroprosessorilevy.

3.2 Viemärobotin GoPro HERO 12-kameran valinta

Työssä päätettiin käyttää GoPro HERO -kameraa, koska niiden katsotaan sopivan hyvin viemäriolosuhteisiin monipuolisten ominaisuuksien ja luotettavuuden ansiosta. Kompakti muotoilu mahdollistaa helpon asennuksen rajoitettuihin tiloihin, kuten viemäriputkiin, ja kestävyys tekee niistä luotettavan haastaviin ympäristöihin. GoPro HERO -kameroissa on myös erinomaiset kuvankäsittelyominaisuudet, kuten parannettu pimeänäkökyky ja vedenkestävyys, mikä mahdollistaa korkealaatuisten videokuvausten tekemisen haastavissa olosuhteissa.

Vertailussa kilpailijoihin, kuten muihin action-kameroihin tai tavallisiin videokameroihin, GoPro HERO -kamerat erottuvat monilla alueilla. Niiden korkea resoluutio ja laaja kuvakulma takaavat, että tärkeät yksityiskohdat tallentuvat selkeästi. Lisäksi GoPro HERO -kameroissa on useita edistyksellisiä ominaisuuksia, kuten elektroninen kuvanvakautus, joka parantaa videon laatua liikkeessä ja epätasaisissa olosuhteissa.

Toisin kuin jotkut kilpailijat, GoPro HERO -kamerat tarjoavat laajemman valikoiman lisävarusteita ja tarvikkeita, kuten stabilointivarren, jolla voidaan eliminoida epätasaisesta maastosta johtuva värinä lähes kokonaan.

GoPro HERO 12 -kamera on erityisen hyvä valinta viemärirobotiprojektiin useista syistä, jotka tekevät siitä paremman kuin aiemmat GoPro HERO -mallit tai sen kilpailijat. Ensinnäkin parannettu pimeänäkökyky nähdään merkittävänä etuna, kun otetaan huomioon, että viemäriputkistot ovat usein hämärässä ja haastavissa valaistusolosuhteissa. Kameran uuden sukupolven kuvankäsittelyalgoritmit varmistavat, että jopa heikossa valossa kuva pysyy kirkkaana ja yksityiskohtaisena, mikä on ratkaisevan tärkeää, kun robottia ohjataan ahtaissa ja pimeissä tiloissa.

Toiseksi kameralla on erinomainen vedenkestävyys, mikä tekee siitä erityisen sopivan kosteisiin ja märkiin tiloihin. Kamera ei ainoastaan kestä upotusta vedessä, vaan se suojaa laitetta myös mahdollisilta vesivaurioilta, jotka voisivat haitata kuvaamista tai robottijärjestelmän toimintaa. Kilpailijoihin verrattuna, kuten DJI Osmo Action 3 -kameraan, GoPro HERO 12 tarjoaa korkealuokkaisemman kuvankäsittelytehon ja pimeänäön, samalla kun raakakuvanlaatu, vedenkestävyys ja iskunkestävyys ovat samaa tasoa tai parempia.

Kameran monipuoliset liitettävyysohjeet, kuten Wi-Fi ja Bluetooth, mahdollistavat sujuvan integraation viemärirobotin ohjausjärjestelmään. Tämä on tärkeää, koska langaton yhteys helpottaa videon lähettämistä reaaliajassa, mikä parantaa ohjauskokemusta ja antaa käyttäjälle mahdollisuuden reagoida nopeasti muuttuviin olosuhteisiin.

Kun GoPro HERO 12:sta verrataan aiempiin malleihin, se erottuu erityisesti kehittyneillä videotoiminnoillaan, kuten HyperSmooth-vakaajalla, joka parantaa kameras kuvanlaatua liikkuvan ympäristön heittelevissä tilanteissa. Tämä on erityisen tärkeää viemärirobotin ohjauksessa, jossa tärinät ja liikkeet voivat vaikuttaa videon laatuun ja tarkkuuteen, koska ne vaikeuttavat putkihalkeamien löytämistä.

Näistä syistä päätettiin valita GoPro HERO 12 -kamera viemärirobotin videokuvauslaitteeksi.

4 Langaton verrattuna langalliseen ratkaisuun

Tässä kappaleessa tutkitaan, onko mahdollista toteuttaa langaton ratkaisu 2.4GHz-radiosignaalin avulla Wi-Fi-protokollan kautta viemäriolosuhteissa. 2.4GHz-taajuus, joka on yleisesti käytetty langattomissa yhteyksissä, toimii hyvin lyhyen kantaman ja esteettömien reittien kautta. Maan alla, erityisesti viemäriputkissa, signaalin on havaittu heikkenevän merkittävästi, koska se kohtaa fyysisiä esteitä, kuten maaperää, betonia ja metallirakenteita, jotka estävät signaalin leviämistä. Mitä tiheämpi este, sitä heikommin 2.4GHz-taajuus kykenee läpäisemään sen.

Yhteyden toimiminen seinän läpi 2.4GHz-taajuudella riippuu seinän materiaalista ja paksuudesta. Signaalin aallonpituus on noin 12,5 cm, mikä tarkoittaa, että se voi läpäistä ohuita esteitä, kuten puuseinät ja kevyet esteet. Kuitenkin paksut ja tiheet materiaalit, kuten betoni tai tiili, vaimentavat signaalia huomattavasti. Kun ollaan maan alla, esimerkiksi viemäriputkistossa, maaperä ja muut fyysiset rakenteet vaimentavat signaalia entisestään. Tällaiset esteet aiheuttavat signaalin heikkenemisen tai sen täydellisen häviämisen, tehden 2.4GHz-yhteyden käytön erittäin epäluotettavaksi viemäriolosuhteissa, ilman erityisiä toimenpiteitä, kuten signaalin vahvistamista tai toistimien käyttöä.

Taulukko 1. Sähkömagneettisen säteilyn vaimennus eri rakennusmateriaaleissa. (Stone 1997, 65–175.) [4.]

Rakennus Materiaali	Taajuus/Vaimennus desibeleissä [dB]							
	1 GHz	2 GHz	3 GHz	4 GHz	5 GHz	6 GHz	7 GHz	8 GHz
Tiili								
178 mm	-5	-8	-16	-24	-32	-28	-26	-14
267 mm	-7	-10,5	-27	-29	-32	-40	-42	-28
Kevytsojaraharkko								
203 mm	-11	-11	-15	-15	-15	-15	-16	-18
406 mm	-17	-18	-24	-24	-27	-33	-35	-30
Lasi 13 mm	-2	-3	-0,5	0	0	-0,5	-1	-2
Kuiva puu								
114 mm	-4	-7	-13	-13	-13	-14	-15	-16
52 mm	-6	-8,5	-19	-19	-20	-22	-24	-26
Märkä puu								
114 mm	-5	-8	-20	-20	-20	-22	-23	-25
152 mm	-7	-11	-26	-26	-27	-29	-32	-34
Rauditusverkko								
70 mm	-14	-10	-6	-4	-3	-2	-2	-2
140 mm	-3	0	-3	-2	-1	-0,5	-0,5	-1
Betoni 203 mm	-28	-35	-50	-52	-55	-59	-66	-73
Betoni 203 mm (Raudan osuus 1%)	-27	-31	-50	-52	-53	-57	-63	-69
Betoni 203 mm (Raudan osuus 2%)	-30	-37	-53	-54	-57	-62	-68	-71

Wi-Fi-signaalin tehoa ja vahvistamista on rajoitettu tiukasti ETSI-instituutin (European Telecommunications Standards Institute) määrittelemien standardien mukaisesti. Euroopassa 2.4GHz-signaalin maksimiteho on 100 mW (20 dBm), kun taas Yhdysvalloissa FCC sallii jopa 1 W (30 dBm). Tämä tehorajoitus on asetettu, jotta vältetään häiriöitä muilla taajuuksilla toimiville laitteille, kuten satelliittipalveluille ja kuljetusjärjestelmille. Euroopassa signaalinvahvistimien käyttöä säännellään tiukasti, ja laitteen tehon nostaminen yli asetettujen rajojen vaatii erityisiä lupia ja saattaa olla laittomaksi katsottua [5;6;7.]

Näin ollen signaalinvahvistimien käyttö viemärobotin yhteyden parantamiseksi ei ole mahdollista tai vahvistaminen ei riitä huomattavaan signaalin muutokseen. Eurooppalainen lainsäädäntö kieltää useissa tapauksissa

signaalinvahvistimien käytön ilman asianmukaisia lupia, koska niiden käyttö voi johtaa merkittäviin häiriöihin muille taajuuden käyttäjille.

Pienemmän taajuuden signaalit läpäisevät paremmin maastoa ja esteitä, mutta niiden kaistaleveys ei riitä selvän videokuvan lähettämistä ilman suurta kompressointia, joka ei tässä työssä onnistu, koska se vaatii liikaa tehoa Raspberry Pi 5:lta. Raspberyllle Pi 5:lle ei myöskään löydy erillistä videokompressointivaihtoehtoa NVIDIA:lta, mutta siihen voidaan yhdistää ulkoinen grafiikkakortti, jolla videoprosessointi voidaan tehdä. Tämä vaihtoehto kuitenkin vie suuren määrän tehoa ja liiallisen määrän tilaa tehden siitä epäkäytännöllisen ratkaisun. [8.]

Langallinen ratkaisu, tässä tapauksessa Ethernet-yhteys, tarjoaa useita etuja verrattuna langattomiin vaihtoehtoihin. Langallinen yhteys on vakaampi ja luotettavampi. Signaalin vaimeneminen ja häiriöt ovat olemattomia, mikä varmistaa jatkuvan ja keskeytyksettömän tiedonsiirron. Lisäksi viemärobotista tulee jo kaksi kaapelia, Paineilma ja virransyöttö, joten kolmas kaapeli ei muuta viemärobotin toimintaa negatiivisesti. Täten päädyttiin käyttämään langallista ratkaisua, koska se ei tuo merkittäviä haittapuolia ja se ratkaisee lähes kaikki epävarmuudet.

5 Käyttöliittymän ja ohjelmiston kehittäminen

Tässä kappaleessa käydään läpi ohjelmallinen kehitys ja prototyypisovellukset, joilla testattiin langallisen ja langattoman yhteyden toimivuutta viemärobotin ohjauksessa.

5.1 Raspberry Pi 5 -käyttöjärjestelmä

Ohjelmointi aloitettiin valitsemalla sopiva käyttöjärjestelmä Raspberry Pi 5:lle. Sopiva käyttöjärjestelmä valittiin uusimmasta Debian-versiosta, joka on 12 Bookworm. Uusin käyttöjärjestelmä valittiin, koska ARM Cortex-A76-prosessorin hyödyntäminen, 64-bittinen datan prosessointi ja parannettu muistinhallinta mahdollistetaan sen avulla. Lisäksi Bookworm-versio sisältää päivitettyt paketit

ja kirjastot, kuten uusimmat Python- ja C++-versiot, jotka tukevat Raspberry Pi 5:n monipuolisia kehitysympäristöjä. Bookworm-versio tarjoaa myös vakauden ja turvallisuuden, jotka ovat erityisen tärkeitä sulautetuissa järjestelmissä ja pitkäaikaisissa projekteissa.

5.1.1 Käyttöjärjestelmän asentaminen

Ennen käyttöjärjestelmän asennusta Raspberry Pi 5:n fyysiset liitännät valmistellaan. Lisäksi käytetään sille tarkoitettua virtalähdettä, tai laite voi vaurioitua. Seuraavaksi SD-muistikortti asennetaan Raspberry Pi 5:n pohjaan, ja näppäimistö, hiiri ja virtajohto kiinnitetään. Viimeisenä kiinnitetään Micro HDMI – HDMI-kaapeli näytön ja Raspberry Pi 5:n välille. Liitännöiden jälkeen Raspberry Pi 5 käynnistetään ja käyttöjärjestelmä asennetaan. Käyttöjärjestelmä voidaan ladata etukäteen SD-muistikortille käyttämällä Raspberry Pi Imager-työkalua. Vaihtoehtoisesti Raspberry Pi 5:n bootloader eli käynnistyslatain osaa etsiä netistä uusimman käyttöjärjestelmän ja asentaa sen SD-muistikortille. Näiden askelten jälkeen käyttöjärjestelmä bootaa automaattisesti graafiseen PIXEL-työpöytäympäristöön.



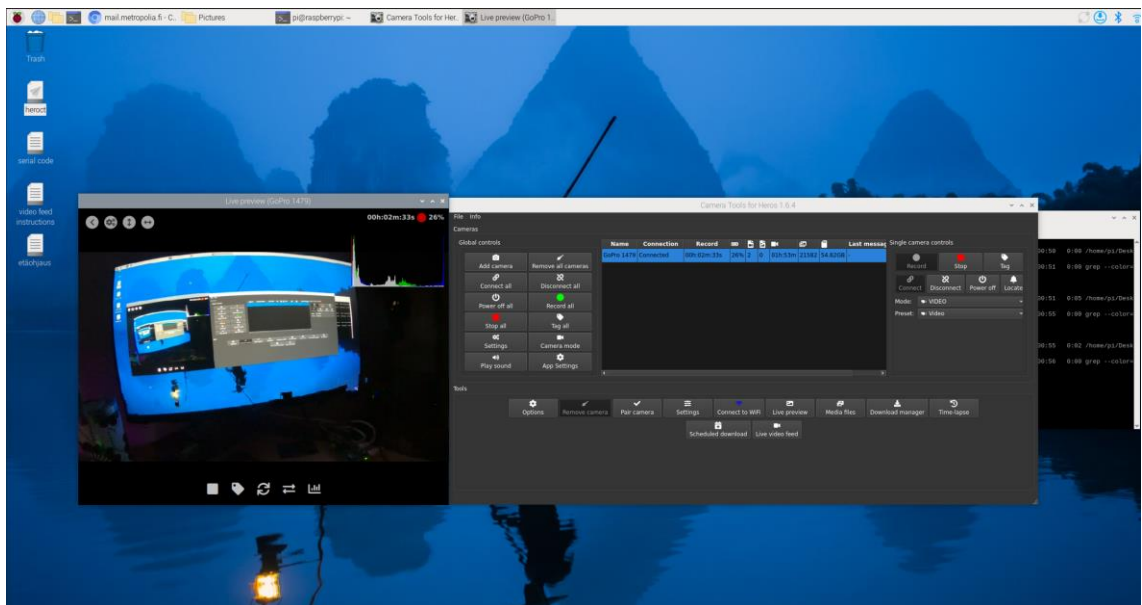
Kuva 2. Raspberry Pi 5:n PIXEL-työpöytäympäristö [9].

Käyttöjärjestelmän asennuksen jälkeen siirryttiin GoPro MAX-360 kameran yhdistämiseen Raspberry Pi 5:een.

5.2 GoPro MAX-360 -kameran yhdistäminen Raspberry Pi 5:een

GoPro Hero -kameran yhdistämiseen käytetään "Camera Tools for GoPro Heros" -sovellusta, joka löytyy sivulta: "<https://www.toolsforgopro.com/camera-tools>". Tämä ohjelmisto käyttää GoPro Hero -kameroille natiivia paritusmenetelmää. [10.]

Tarkemmat ohjeet löytyvät projektin dokumentaatiosta, jossa käsitellään kameran yhdistäminen käyttämällä "Camera Tools for GoPro Heros" -sovellusta [6].



Kuva 3. Videokuvan suoratoisto "Camera Tools for GoPro Heros" -sovelluksella.

5.2.1 "Camera Tools for GoPro Heros" -sovelluksen yhteyden havainnot

"<https://www.toolsforgopro.com/cameratools>" -sivulla mainitaan, että GoPro MAX-360 kameran yhteys toimii Bluetoothin kautta, mutta tarkastelun jälkeen huomataan, että yhteys toimii Wi-Fi verkon kautta. Tämä fakta vaikuttaa hieman Raspberry Pi 5:n toiminnallisuuteen, koska vain yksi Wi-Fi-verkko voi olla

yhdistettynä samanaikaisesti. Eli jos kamera on yhdistetty, ei voida käyttää toista Wi-Fi-verkkoa internettiin yhdistämisessä ja Ethernet-kaapeli pitää yhdistää Raspberry Pi 5:een internetyhteyden palauttamiseksi.

Wi-Fi verkkoon yhdistäminen voidaan todistaa Camera Tools for GoPro Heros -sovelluksen bugin kautta. Kun kamera yhdistetään "Connect"-nappulalla, GoPro MAX-360 kamera luo Wi-Fi-verkon, johon Raspberry Pi 5:llä pitää yhdistää. Kamera luo Wi-Fi verkon satunnaiseen Wi-Fi kanavaan ja joissain tapauksissa Wi-Fi kanava on Raspberry Pi 5:n kantaman ulkopuolella, eikä se voi yhdistää siihen. Tämä aiheuttaa yhdistämisen epäonnistumisen. Hypoteesin todistamiseksi etsitään kameran avaama Wi-Fi kanava käyttämällä ulkoista modeemia tai toista laitetta, joka tukee laajempaa kanavamäärää. Esimerkiksi projektin tekemiseen käytetty pöytätietokone löytää kameran luoman Wi-Fi verkon, vaikka Raspberry Pi 5 ei löytäisi sitä. Täten voidaan todeta, että kamera toimii Wi-Fi verkon kautta, eikä Bluetoothilla.

Sivulla "<https://www.toolsforgopro.com/cameratools>" mainitaan, että GoPro MAX-360 -kameran yhteys toimii Bluetoothin kautta, mutta tarkastelun jälkeen huomataan, että yhteys toimii Wi-Fi-verkon kautta. Tämä vaikuttaa Raspberry Pi 5:n toiminnallisuuteen, koska vain yksi Wi-Fi-verkko voi olla yhdistettynä samanaikaisesti. Jos kamera on yhdistetty, ei voida käyttää toista Wi-Fi-verkkoa internettiin yhdistämisessä, ja Ethernet-kaapeli pitää yhdistää Raspberry Pi 5:n internet-yhteyden palauttamiseksi. Wi-Fi-verkkoon yhdistäminen todistetaan "Camera Tools for GoPro Heros" -sovelluksen bugin kautta. Kun kamera yhdistetään "Connect"-painikkeella, GoPro MAX-360 -kamera luo Wi-Fi-verkon, johon Raspberry Pi 5:llä pitää yhdistää. Kamera luo Wi-Fi-verkon satunnaiseen Wi-Fi-kanavaan, ja joissain tapauksissa kanava on Raspberry Pi 5:n kantaman ulkopuolella, mikä estää yhdistämisen onnistumisen. Hypoteesi todistetaan etsimällä kameran avaama Wi-Fi-kanava ulkoisen modeemin tai muun laajemman kanavamäärän tukevan laitteen avulla. Esimerkiksi projektin tekemiseen käytetty pöytätietokone löytää kameran luoman Wi-Fi-verkon, vaikka Raspberry Pi 5 ei sitä löydä. Tämän perusteella voidaan todeta, että kamera toimii Wi-Fi-verkon kautta, ei Bluetoothilla.

5.2.2 "Camera Tools for GoPro Heros" -sovelluksen kuvanlaadun havainnot

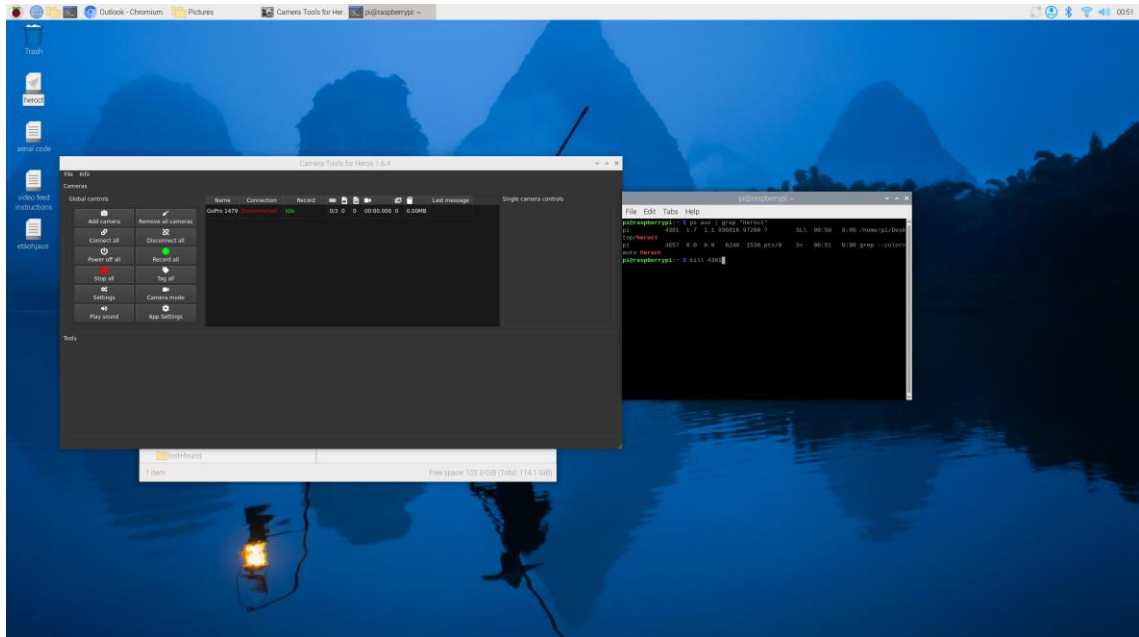
Kamerayhteydessä havaitaan artefakteja, jotka vaikuttavat kuvanlaatuun negatiivisesti. Artefaktit näkyvät pimeässä tilassa paremmin kuin valoisassa, joten voidaan päätellä, että artefaktit voivat johtua pimeään tilan kompensoinnista. Artefaktien varmaa syytä ei tiedetä, ja lisää testaamista tarvitaan muilla GoPro-malleilla, koska syy voi olla GoPro Hero MAX-360 -kamerassa tai sen käyttämissä yhteysalgoritmissa.

5.2.3 "Camera Tools for GoPro Heros" -sovelluksen vakauden havainnot

Sovellusta käytettäessä huomataan useita kaatumisia, joiden syistä ei voida olla varmoja. Sovelluksen kaatuessa se jäätyy täysin, eikä videon suoratoisto toimi. Sovellusta ei voida myöskään käynnistää uudelleen sen sammuttamisnäppäimen kaatuessa sovelluksen mukana. Sovellus voidaan sammuttaa joko käynnistämällä Raspberry Pi 5 uudelleen tai käyttämällä prosessin tappokomentoa "ps aux | grep "heroct" ja sen jälkeen "kill xxxx", jossa xxxx on prosessille luotu ID-numero.

Sovelluksen kaatuminen johtuu yleisimmin, kun:

- Yritetään yhdistää videokuvan suoratoisto.
- Raspberry Pi 5:n ja GoPro Hero MAX-360 -kameran välinen yhteys katkeaa hetkeksi.
- UDP-portin kautta yhdistetty Python-sovellus "camerafeed" yrittää käyttää suoratoistovideokuvaa.



Kuva 4. Kaatuneen ohjelman sammuttaminen komentoikkunalla [11].

5.3 Luodut testiohjelmat viemärobotin käyttöliittymää varten

Viemärobotin käyttöliittymän testiohjelmat luodaan Python 3 -ohjelmointikielellä. Python 3 valitaan ohjelmointikieleksi, koska Raspberry Pi 5:n käyttöjärjestelmään on sisäänrakennettuja kirjastoja sekä kaksi sovellusta, "Thonny" ja "Geany", joilla koodia voidaan kirjoittaa. Lisäksi Python 3 on monipuolinen ohjelmointikieli, joka on erittäin suosittu robotiikassa ja DIY-projekteissa.

5.3.1 "Camerafeed" Python 3 -sovellus

Projektin käyttöliittymän tekeminen vaatii suoratoistovideokuvan erottamisen "Camera Tools for GoPro Heros" -sovelluksesta ja siirtämisen ulkoiselle sovellukselle, joka tehdään Python 3:lla. Erottaminen saavutetaan hyödyntämällä "Camera Tools for GoPro Heros" -sovelluksen luomaa videoulostulo-UDP-porttia.

Aluksi Python-sovelluksessa tuodaan tarvittavat kirjastot:

- CV2 eli OpenCV, avoimen lähdekoodin kirjasto tietokonenäköön liittyviin sovelluksiin.
- Tkinter, jota käytetään graafisten käyttöliittymien (GUI) kehittämiseen.
- Threading, joka mahdollistaa ohjelman ajamisen useassa säikeessä ja suorituskyvyn optimoinnin.

Seuraavaksi ohjelmassa määritellään "VideoApp"-luokka, joka toimii pääsovelluksena videon suoratoistolle. Luokan konstruktori "_init_" ottaa vastaan "Tkinter"-ikkunan ja asettaa sille otsikon "Video Stream". Tärkeimmät muuttujat alustetaan myös täällä: "self.cap" -videon kaappaamiseen, "self.running" -ohjelman tilan seurantaan ja "self.thread" -säikeen hallintaan.

"start_stream"-metodi käynnistää videon suoratoiston. Jos video on jo auki, se suljetaan ensin. Sen jälkeen luodaan uusi VideoCapture-instanssi videon kaappaamiseen UDP-osoitteesta. Jos videota ei voida avata, virheilmoitus tulostuu konsoliin, ja metodi lopettaa suorittamisen. Jos suoratoisto on jo käynnissä, se pysäytetään ja aikaisempi säie yhdistetään. Lopuksi luodaan uusi säie, joka kutsuu update_frame-metodia.

"update_frame"-metodi lukee jatkuvasti uusia frameja eli kuvia videosta, kunnes "self.running" on tosi. Jokaisella silmukan toistolla se lukee uuden kuvan, ja jos lukeminen epäonnistuu, virheilmoitus tulostuu ja silmukka katkeaa. Luetut kuvat muunnetaan RGB-muotoon, koska OpenCV:n kuvaformaatti on BGR. Muunnellut kuvat konvertoidaan sitten ImageTk-muotoon, jotta ne voidaan näyttää Tkinterin käyttöliittymässä.

Kun kuva on valmiina, se päivitetään Tkinterin kankaalla käyttäen "create_image"-metodia, joka asettaa kuvan kankaan vasempaan yläkulmaan. Kuva tallennetaan myös "self.canvas.image"-muuttujaan, jotta se pysyy muistissa.

"Quit"-metodi lopettaa sovelluksen. Se asettaa "self.running"-arvon epätodeksi, vapauttaa mahdolliset kameran resurssit ja sulkee Tkinter-ikkunan, mikä varmistaa resurssien asianmukaisen vapauttamisen ohjelman sulkemisen yhteydessä.

Lopuksi koodi tarkistaa, onko se pääohjelma, ja jos näin on, se luo uuden Tkinter-ikkunan, instansoi "VideoApp"-luokan ja käynnistää pääsilmuksen (mainloop), jolloin sovellus alkaa toimia. Tämä koodi tarjoaa tehokkaan ja yksinkertaisen tavan näyttää videota graafisessa käyttöliittymässä.

```

import cv2
import tkinter as tk
from tkinter
import ttk
from PIL import Image, ImageTk
import threading
class VideoApp:
    def __init__(self, root):
        self.root = root
        self.root.title("Video Stream")
        # Initialize video capture and threading
        self.cap = None
        self.running = False
        self.thread = None
    def start_stream(self):
        if self.cap is not None:
            self.cap.release()
        self.cap = cv2.VideoCapture('udp://127.0.0.1:8554')
        if not self.cap.isOpened():
            print("Error: Could not open video stream.")
            return
        if self.running:
            self.running = False
            self.thread.join()
        self.running = True
        self.thread = threading.Thread(target=self.update_frame)
        self.thread.start()
    def update_frame(self):
        while self.running:
            ret, frame = self.cap.read()
            if not ret:
                print("Error: Could not read frame.")
                break
            # Convert the frame to RGB
            frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
            # Convert the frame to an ImageTk format
            image = Image.fromarray(frame)
            photo = ImageTk.PhotoImage(image=image)
            # Update the canvas with the new frame
            self.canvas.create_image(0, 0, image=photo, anchor=tk.NW)
            self.canvas.image = photo
    def quit(self):
        self.running = False
        if self.cap is not None:
            self.cap.release()
        self.root.destroy()
if __name__ == "__main__":
    root = tk.Tk()
    app = VideoApp(root)
    root.mainloop()

```

Koodi 1. "Camerafeed" Python-ohjelman koodi.

5.3.2 "Motor test" Python 3 -sovellus

"Motor test" -Python-ohjelma on suunniteltu ohjaamaan moottoria Raspberry Pi 5:n GPIO-pinnien kautta käyttämällä PWM (Pulssinleveysmodulaatio) -tekniikkaa moottorin nopeuden säätämiseksi. Aluksi tarvittavat kirjastot otetaan käyttöön. "RPi.GPIO" mahdollistaa Raspberry Pi 5:n GPIO-pinnien hallinnan, ja time-kirjastoa käytetään moottorin toimintojen ajoittamiseen.

Ensimmäisessä vaiheessa määritellään GPIO-pinnit, jotka on kytketty moottoriohjaimeen. Näitä pinnejä käytetään moottorin pyörimissuunnan ja nopeuden ohjaamiseen. Käytettävät pinnit ovat "motor_in1", "motor_in2" ja "enable_pin", jotka ohjaavat moottorin toimintaa. Tämän jälkeen GPIO-tila asetetaan BCM, mikä tarkoittaa, että pinneihin viitataan niiden Broadcom-numeroinnin avulla. Seuraavaksi GPIO-pinnit asetetaan lähtötilaan, koska näistä pinneistä lähetetään signaaleja moottorin ohjaamista varten.

PWM otetaan käyttöön enable-pinille, mikä mahdollistaa moottorin nopeuden säätämisen duty cyclen eli päälläoloajan avulla. Duty cycle määrittelee, kuinka suuren osan ajasta moottori saa täyden tehon. PWM-taajuudeksi asetetaan 1 kHz, mikä tarkoittaa, että PWM-signaali toistuu 1000 kertaa sekunnissa. Aluksi PWM käynnistetään duty cyclellä 0 %, jolloin moottori ei pyöri.

Varsinainen moottorin testaus suoritetaan "test_motor" -funktiossa, jossa moottorin pyörimissuuntaa ja nopeutta säädetään. Ensiksi moottoria pyöritetään eteenpäin asettamalla yksi suuntapinne korkealle ja toinen matalalle, mikä saa moottorin pyörimään eteenpäin. Samalla PWM-duty cycle asetetaan 50 %, mikä vastaa keskinopeutta. Moottori pyörii 50 % nopeudella kaksi sekuntia, minkä jälkeen pyörimissuunta käännetään vaihtamalla suuntapinnien arvot päinvastaisiksi, jolloin moottori pyörii taaksepäin samalla nopeudella kahden sekunnin ajan. Lopuksi moottori pysäytetään asettamalla duty cycle nolleen, mikä katkaisee virran moottorista. Moottorin pysäyttäminen tehdään myös asettamalla molemmat suuntapinnit mataliksi, jolloin moottori ei pyöri kumpaankaan suuntaan.

Koodissa on myös huomioitu resurssien vapauttaminen ja GPIO-asetusten sijoaminen käytön jälkeen. Moottoritestin lopuksi PWM pysäytetään, ja GPIO-asetukset palautetaan alkuperäiseen tilaan kutsumalla "GPIO.cleanup()". Tämä estää mahdolliset ongelmat, kuten jumittuneet pinnit, jos samaa koodia ajetaan uudelleen.

```

import RPi.GPIO as GPIO
import time

# Define GPIO pins connected to the motor controller
motor_in1 = 17 # GPIO pin for IN1
motor_in2 = 18 # GPIO pin for IN2
enable_pin = 27 # GPIO pin for ENA (Enable Pin)

# Setup GPIO mode
GPIO.setmode(GPIO.BCM) # Use BCM pin numbering

# Setup GPIO pins as output
GPIO.setup(motor_in1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(motor_in2, GPIO.OUT)
GPIO.setup(enable_pin, GPIO.OUT)

# Setup PWM on the enable pin to control motor speed
pwm = GPIO.PWM(enable_pin, 1000) # PWM frequency at 1kHz
pwm.start(0) # Start PWM with 0% duty cycle (motor off)

def test_motor():
    try:
        print("Testing motor forward direction...")
        # Move motor forward
        GPIO.output(motor_in1, GPIO.HIGH)
        GPIO.output(motor_in2, GPIO.LOW)
        pwm.ChangeDutyCycle(50) # 50% duty cycle for medium speed
        time.sleep(2) # Run for 2 seconds

        print("Testing motor reverse direction...")
        # Move motor reverse
        GPIO.output(motor_in1, GPIO.LOW)
        GPIO.output(motor_in2, GPIO.HIGH)
        pwm.ChangeDutyCycle(50) # 50% duty cycle for medium speed
        time.sleep(2) # Run for 2 seconds

        print("Stopping motor...")
        # Stop the motor
        pwm.ChangeDutyCycle(0) # 0% duty cycle to stop the motor
        GPIO.output(motor_in1, GPIO.LOW)
        GPIO.output(motor_in2, GPIO.LOW)
        time.sleep(1)

    finally:
        # Cleanup GPIO settings
        pwm.stop()
        GPIO.cleanup()

# Run the motor test
test_motor()

```

Koodi 2. "Motor test" Python -ohjelma.

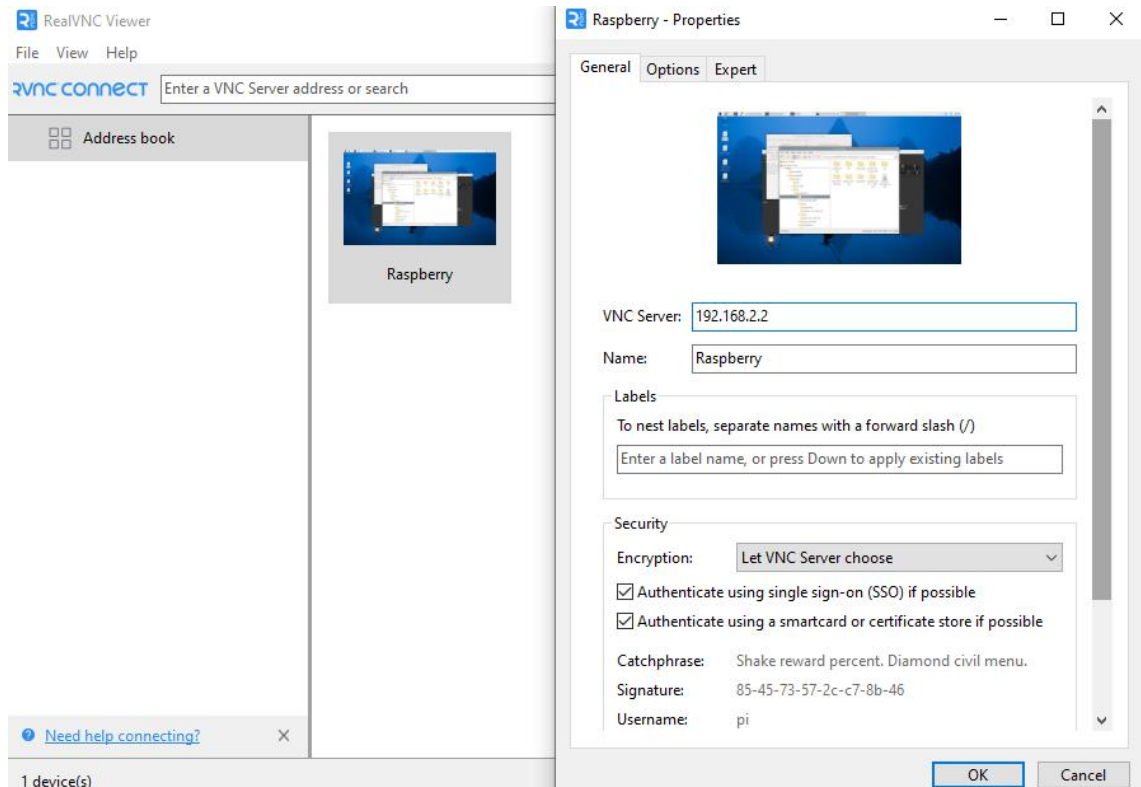
5.4 RealVNC etähallinta -sovellus

RealVNC on etätyöpöytäsovellus, joka mahdollistaa Raspberry Pi 5:n etäohjauksen verkon yli. Tässä projektissa etähallinta on toteutettu paikallisesti Ethernet-kaapelin avulla, joka takaa nopean ja vakaan yhteyden kannettavan tietokoneen ja viemärirobottiin liitetyn Raspberry Pi 5:n välillä.

RealVNC:n palvelinpuoli asennetaan Raspberry Pi 5:lle vastaanottamaan etäyhteyksiä. Tämä palvelin konfiguroidaan ja käynnistetään Raspberry Pi 5:n mukana, jolloin se alkaa kuunnella saapuvia yhteyksiä heti käynnistyksen yhteydessä. Kannettavassa tietokoneessa käytetään RealVNC:n asiakasohjelmaa, joka voidaan yhdistää Raspberry Pi 5:n palvelimeen syöttämällä IP-osoite.

Yhteyden muodostamisen jälkeen käyttäjä voi tarkastella viemärirobottiin liitettyä kameraa ja sen työpöytää kannettavassa tietokoneessaan. Näytön jakamisen lisäksi RealVNC mahdollistaa syötteiden, kuten näppäimistön ja hiiren, käytön, mikä tekee ohjaamisesta intuitiivista ja käyttäjäystävällistä.

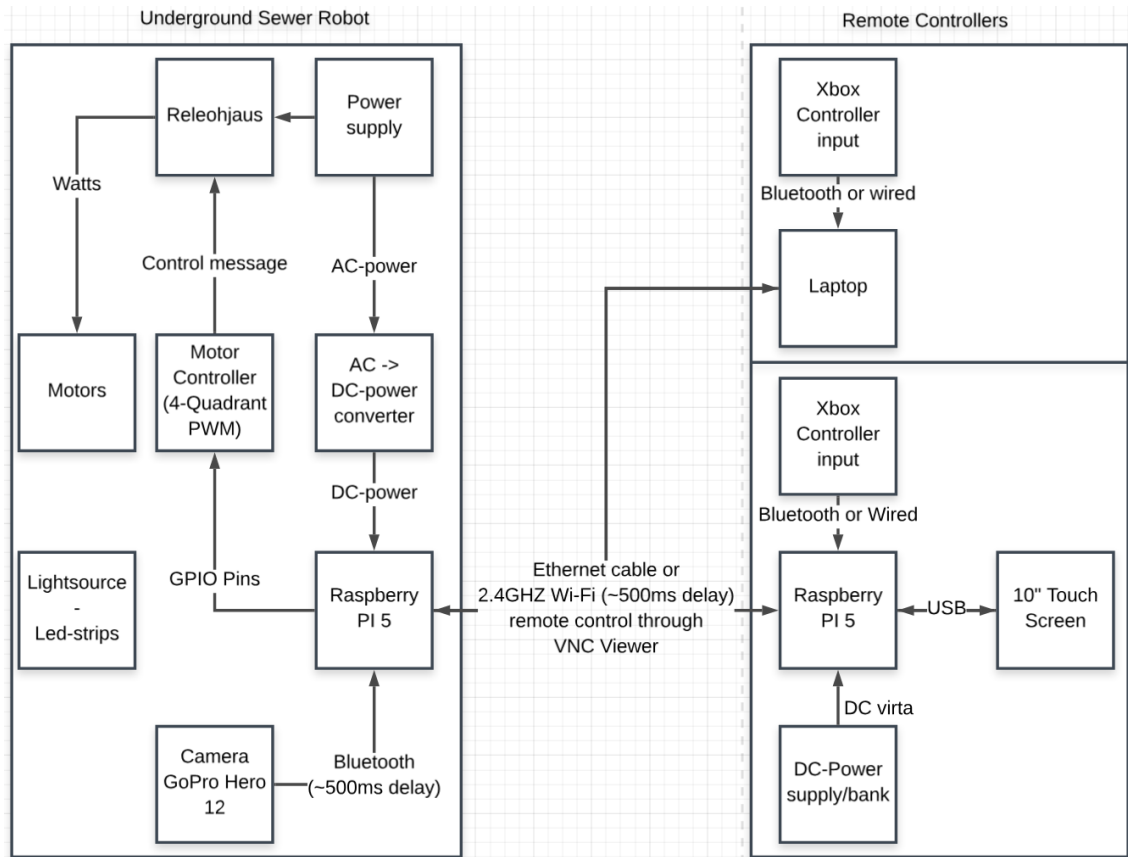
Ethernet-yhteyden kautta RealVNC tarjoaa erittäin matalan viiveen ja korkean kaistanleveyden, mikä on erityisen tärkeää robottien ohjauksessa, jossa reaaliaikaisuus on kriittistä. Sovellus voidaan myös asentaa Raspberry Pi 5 pohjaiseen etäohjaimeseen sen valmistuttua.



Kuva 5. RealVNC Viewer kannettavalla tietokoneella.

6 Projektin tavoitteet

Alla olevat tavoitteet on asetettu tärkeysjärjestykseen, jossa ensimmäinen on korkeimmalla prioriteetilla ja viimeinen matalimmalla. Tavoitteena oli saavuttaa mahdollisimman monta tavoitetta ja luoda hyvä pohja työn jatkamiselle. Suunnitelman perusteella tehtiin arkkitehtuurikuva, jossa esitetään yleiset liitännät ja laitteet viemärirobotin ohjausjärjestelmässä.



Kuva 6. Viemärobotin ohjausjärjestelmän suunniteltu arkkitehtuurisuus.

6.1 Tavoite 1. Moottorien ja kameran ohjaus Raspberry Pi 5 -järjestelmällä

Työ edistyi monilta osin hyvin, mutta osassa tavoitteita oli selviä puutteita. Ensimmäinen tavoite, Raspberry Pi 5:n ohjausjärjestelmän ja sen keskeisten komponenttien, kuten kameran, asentaminen saavutettiin osittain. Kamera saatiin onnistuneesti asennettua, mutta moottorit ja moottoriohjainkortti jäivät asentamatta, mikä estää robotin liikkumisen ja täyden testauksen.

Vaikka moottorit ja moottoriohjainkortti jäivät asentamatta, kehitettiin helposti integroitava ratkaisu. Moottoriohjainkortti ja moottorit on tilattu ja ne toimitetaan työn jatkajalle ajoissa. Moottoreiden testaamiseen kehitettiin ohjelma, mutta sitä ei voitu käyttää käytännössä moottoreiden puutteen vuoksi. Tämä tarkoittaa, että yksi projektin keskeisistä tavoitteista, "Moottorien toiminnan testaaminen", jäi saavuttamatta, vaikka ohjelmalliset valmiudet olivat olemassa.

Kameran yhteys testattiin onnistuneesti GoPro Hero MAX-360 -kameralla, mutta kompressointialgoritmia ei valittu tai testattu, mikä oli osa alkuperäisiä tavoitteita. Vaikka videoyhteys saatiin luotua, kuvanlaadun optimointi ja tehokas datankäsittely jäivät puutteellisiksi. Projekti eteni kuitenkin niin, että GoPro Hero 12 -kamera on tilattu, ja se toimitetaan jatkajalle, joka voi testata sen käytettävyyttä.

GoPro-kameran ja Raspberry Pi 5:n välinen yhteys toteutettiin "Camera Tools for GoPro for Heros" -sovelluksella. Tavoite langattoman kamerayhteyden luomisesta täyttyi osittain, mutta fyysistä yhteyttä ei testattu, mikä olisi voinut vähentää viivettä. Jatkaja voi harkita fyysistä yhteyttä, jos Bluetoothin viive osoittautuu liian suureksi.

Virransyötössä ratkaistiin moottorien ja Raspberry Pi 5:n tarpeet AC–DC-muuntajalla, mikä vakauttaa järjestelmää ilman akkua. Fyysistä asennusta tai testiä ei kuitenkaan ole tehty, mutta teorian mukaan ratkaisu täyttää osittain alkuperäisen tavoitteen, jossa ehdotettiin DC-akun käyttöä vaihtoehtona.

6.2 Tavoite 2. Etäyhteyden luonti kannettavan tietokoneen ja viemärobotin Raspberry Pi 5:n välille

Projektissa saavutettiin tärkeimmät tavoitteet liittyen viemärobotin Raspberry Pi 5:n ja kannettavan tietokoneen välisen kommunikointikanavan luomiseen. Yksi keskeisimmistä tavoitteista oli etäyhteyden toteutus, joka onnistui RealVNC Viewerillä ja Ethernet-protokollalla. Ratkaisu mahdollistaa vakaan ja luotettavan etäyhteyden robottiin, mikä on oleellista järjestelmän toiminnan seuraamisessa ja ohjaamisessa etänä. Ethernet-protokollan käyttö takaa yhteyden vakauden ja riittävän tiedonsiirtonopeuden ilman merkittäviä viiveitä tai yhteysskatkoksia.

Langallisen yhteyden valinta tukee tavoitetta varmistaa luotettavuus pitkällä kantamalla. Ethernet-yhteys on vakaampi ja luotettavampi kuin langattomat vaihtoehdot, etenkin haastavissa ympäristöissä, kuten viemäriputkistossa. Yhteys pysyy toimintakykyisenä, kunhan Ethernet-kaapeli on ehjä ja vesitiivis,

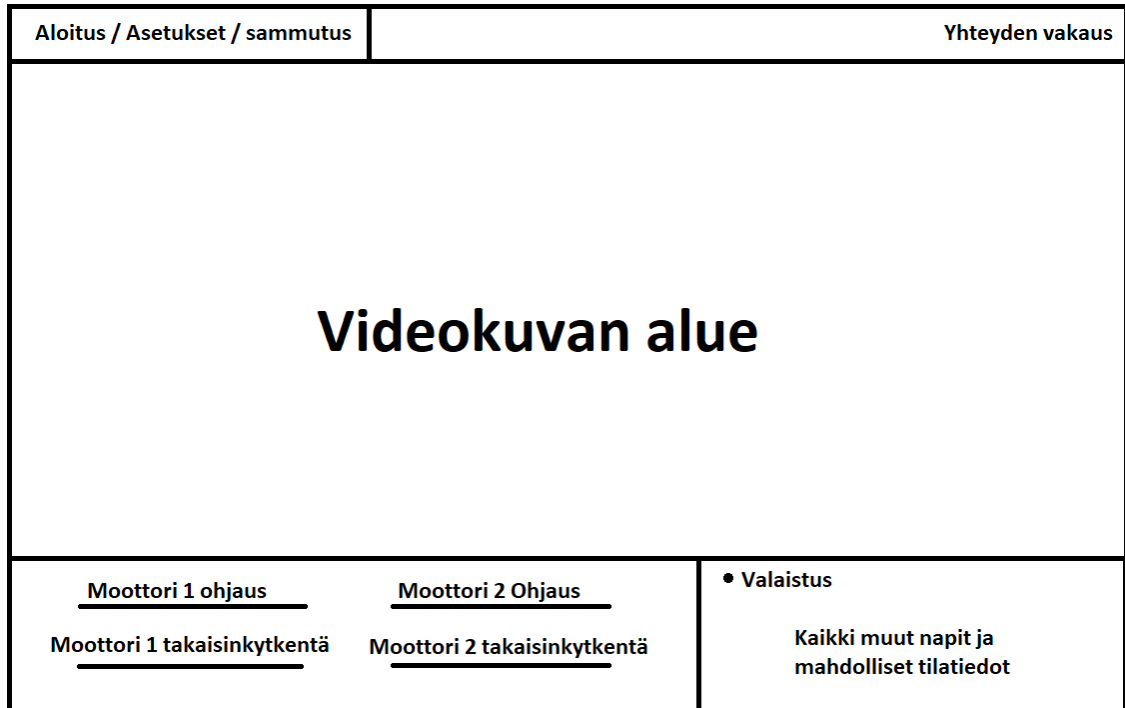
mikä on tuleva tärkeä tekninen haaste. Langallisen yhteyden vaikeampi häirittevyys tuo myös etua turvallisuuden ja yhteyden jatkuvuuden kannalta.

Yhteyden kestävyys ja vedenpitävyyden varmistamiseksi suunniteltiin vesitiiviin Ethernet-liittimen käyttö, jonka arvioidaan kestävän viemäriolosuhteet. Fyysisiä vedenpitäviä liittimiä ei vielä toteutettu eikä tilattu, mutta niiden käyttö on todettu teoriassa mahdolliseksi ja sisältyy jatkosuunnitelmiin. Tämä suunnitelma tukee tavoitetta, jonka mukaan robotti toimii luotettavasti kosteissa ja haastavissa olosuhteissa, missä kaapeleiden suojaus on kriittistä järjestelmän käytölle.

6.3 Tavoite 3. Käyttöliittymän kehittäminen

Tavoitteessa kolme saavutettiin osittaisia edistysaskelleita kamerayhteyden integroinnissa käyttöliittymään, mikä oli yksi projektin keskeisistä tavoitteista. Kamerayhteys saatiin toimimaan, mutta vakaus osoittautui ongelmalliseksi. Epävakauden aiheutti käytetty "Camera Tools for GoPro for Heroes" -sovellus, joka heikensi järjestelmän sujuvuutta ja teki kameran toiminnasta epäluotettavaa. Vaikka integraatio onnistui teknisesti, sovelluksen ongelmat estivät kameran täysipainoisen hyödyntämisen, ja tämän parantamiseksi tarvitaan jatkotyötä. Käyttöliittymän suunniteltu ulkonäkö on määritelty suuntaa antavasti jatkokehitystä varten.

Raspberryn käyttöliittymä



Kuva 7. Suunniteltu käyttöliittymän ulkonäkö.

Xbox-ohjaimen käyttöä ei voitu testata, koska moottoreita ei ollut vielä asennettu, mikä teki ohjaustestauksesta mahdotonta. Projektissa kuitenkin kehitettiin suunnitelma, jonka mukaan ohjaus toteutetaan emuloimalla näppäinpainalluksia Xbox-ohjaimen reWASD-sovelluksella. Tämä sovellus muuttaa Xbox-ohjaimen inputit näppäimistön painalluksiksi, joita voidaan käyttää moottorien ohjaamiseen. Tämä lähestymistapa mahdollistaa ohjaimen käytön ilman natiivia tukea, mutta sen toimivuus jää testattavaksi moottorien asentamisen jälkeen.

6.4 Tavoite 4. Raspberry Pi 5 -pohjaisen etäohjaimen kotelo ja käyttöliittymä

Raspberry Pi 5 -pohjaisen viemärobotin etäohjaimen kehitys jäi alkuperäisen suunnitelman tasolle, eikä sitä syvennetty tämän projektivaiheen aikana. Tavoitteena oli rakentaa fyysinen etäohjain, joka voisi korvata tai toimia vaihtoehtoisena tapana robotin ohjaamiseen. Etäohjaimen oli suunniteltu sisältävän näytön ja joystickit eli ohjaussauvat, jäljitellen Xbox-ohjaimen tuntumaa. Vaikka

fyysisen ohjaimen rakentaminen oli tavoitteena, sen kehittämiseen ei käytännössä ryhdytty, koska robottijärjestelmän muut osat, kuten tietokonepohjainen ohjaus, eivät vielä olleet täysin valmiita.

Etäohjaimen idea ja suunnittelu pysyvät edelleen voimassa ja harkinnassa jatkokehitystä varten. Kun robotin tietokoneen kautta tapahtuva ohjaus saadaan valmiiksi ja täysin toimivaksi, fyysinen ohjain voidaan rakentaa täydentämään ja parantamaan ohjauskokemusta.

6.5 Tavoite 5. Langattoman yhteyden kehittäminen

Työn langaton ratkaisu etäohjaimen ja viemärirobotin väliseen yhteyteen korvattiin langallisella Ethernet-kaapeliin perustuvalla ratkaisulla. Alkuperäisenä tavoitteena oli luoda langaton linkki 2.4GHz radiotaajuutta käyttäen, mutta käytännön syistä langallinen yhteys osoittautui vakaammaksi ja luotettavammaksi vaihtoehdoksi. Ethernet-kaapelin avulla saatiin aikaan yhteys ilman signaalin heikkenemistä, joka olisi ollut ongelma langattomassa ratkaisussa erityisesti viemäriputkiston kaltaisessa haastavassa ympäristössä, jossa yhteyden katkeaminen voisi aiheuttaa viemärirobotin jumiutumisen putkistoon.

Langallisen ratkaisun ansiosta viemärirobotin koteloon ei tarvinnut tehdä erillistä reikää signaalin parantamiseksi, kuten alun perin suunniteltiin. Tämä ratkaisu paransi robotin rakenteellista kestävyyttä, sillä kotelon eheys ja vesitiiviys (IP67-luokitus) säilyvät, mikä on tärkeää viemäriolosuhteissa. Vaikka 2.4GHz taajuuden käyttö oli teoriassa mahdollista, projektissa päädyttiin käyttämään langallista yhteyttä. Signaalin vahvistamiseen liittyi myös laillisia esteitä, ja pienemmillä GHz-taajuuksilla ei saavuteta riittävää kaistaleveyttä videon lähettämiseen ilman suurta kompressoitua, joka taas olisi lisännyt järjestelmän monimutkaisuutta.

Signaalin parantamiseen olisi voitu käyttää myös toistimia, mutta niiden käyttö olisi lisännyt merkittävästi viivettä ja aiheuttanut suuria haasteita, kuten toistimien fyysinen sijoittaminen viemärirobotista tuleviin johtoihin. Näin ollen

toistimet hylättiin projektin nykyisessä vaiheessa johtuen teknisistä ja logistisista haasteista. Suunnattujen antennien käytön ongelma olisi ollut heikko signaali tai signaalin katoaminen putkiston käänöksissä, jolloin langallinen ratkaisu oli käytännöllisin ja luotettavin vaihtoehto.

7 Yhteenveto

7.1 Saavutetut tulokset

Projektissa saavutettiin merkittäviä edistysaskeleita, vaikka osa tavoitteista jäi osittain toteutumatta. Kommunikointikanavan luominen Raspberry Pi 5:n ja kannettavan tietokoneen välille onnistui, ja Ethernet-kaapelin käyttö mahdollisti vakaan ja luotettavan yhteyden viemäriputkiston haastavissa olosuhteissa. Tämä ratkaisu korvasi alkuperäisen suunnitelman langattomasta 2.4GHz-yhteydestä, joka oli teoriassa mahdollinen, mutta käytännössä vähemmän luotettava ja vaati lisäjärjestelyjä, kuten signaalinvahvistimia ja erityisiä antenneja. Langallisen ratkaisun ansiosta signaalin katkeamisen ja viiveen riskit minimoitiin, mikä on robotijärjestelmän toimivuuden kannalta ratkaisevaa.

Testiohjelmalla kamerayhteyden integrointi PoC-käyttöliittymään toteutettiin onnistuneesti, mutta sen vakaus jäi ongelmalliseksi käytetyn "Camera Tools for GoPro for Heroes" -sovelluksen vuoksi. Tämä teki järjestelmän toiminnasta epävakaa, ja kameran täysimittainen hyödyntäminen jäi puutteelliseksi. Kamera- ja ohjausyhteyden kehitys on kuitenkin edennyt, ja jatkossa tavoitteena on parantaa näiden järjestelmien vakautta ja suorituskykyä. Virransyöttö saatiin ratkaistua käyttämällä AC-DC-muuntajaa akun sijaan, mutta käytännön testit ovat vielä suorittamatta.

Langattoman yhteyden sijaan käytetty langallinen ratkaisu paransi robotin kotelon vesitiivyyttä, sillä alkuperäinen suunnitelma tehdä reikä koteloon signaalin parantamiseksi ei ollut enää tarpeen. Tämä oli merkittävä parannus robotin rakenteelliseen kestävyYTEEN viemäriolosuhteissa. Kokonaisuudessaan projekti

eteni tavoitteiden mukaisesti, mutta jatkokehitys on tarpeen järjestelmän vakauttamiseksi ja fyysisen ohjauksen viimeistelemiseksi.

7.2 Tulevaisuuden jatkokehityskohteet

Tässä projektissa saavutettiin merkittäviä edistysaskeleita, mutta kehittämismahdollisuuksia on yhä runsaasti. Projektisuunnitelman tavoitteista osa saavutettiin, kun taas loput jäävät työn jatkajalle. [12.]

Projektin jatkokehityksessä on useita parannuskohteita, joilla pyritään tehostamaan viemärirobotin toimintaa ja luotettavuutta haastavissa olosuhteissa. Ensimmäisessä moottorit ja moottoriohjainkortti tullaan asentamaan, ja niiden toimivuus testataan huolellisesti.

Yhteyden luotettavuuden parantamiseksi suunnitellaan vesitiiviin Ethernet-liittimen käyttöä, mikä takaa luotettavan tiedonsiirron viemäriolosuhteissa. Käyttöliittymän vakauden lisäämiseksi kamera- ja ohjaussovelluksen toimintaa kehitetään edelleen. Kameran yhdistäminen Raspberry Pi 5:een pitää suunnitella ja toteuttaa uudestaan eri tavalla, koska tässä työssä tutkittu tapa todettiin epävaakaaksi.

Xbox-ohjainta tullaan käyttämään viemärirobotin ohjaukseen ja sitä varten käytetään sovellusta, jolla kartoitetaan Xbox-ohjaimen painallukset ja ohjaussauvojen näppäinpainalluksiksi. Tulevaisuudessa suunnitellaan myös fyysisen etäohjaimen rakentamista, jossa on näyttö ja ohjaussauvat. Tämä vaihtoehto täydentäisi tai mahdollisesti korvaisi tietokonepohjaisen ohjauksen ja parantaisi käyttäjäkokenemusta.

Näillä jatkokehityskohteilla pyritään parantamaan viemärirobotin luotettavuutta, käyttömukavuutta ja ohjausominaisuuksia pitkällä aikavälillä.

8 Lähteet

1. Ravea, Aarni. 2024. Viemärirobotin tuotekehitys. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
2. Viemäriverkosto haltuun. 2024. Verkkoaineisto. Underground City Oy. <https://www.undergroundcity.fi/>. Luettu 11.9.2024.
3. TECHBOOST. 2024. Verkkoaineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://www.metropolia.fi/fi/tutkimus-kehitys-ja-innovaatiot/hankkeet/tech-boost>. Luettu 11.9.2024.
4. Kinnunen, Lauri. 2023. Sähkömagneettisen säteilyn läpäisy eri rakennusmateriaaleissa. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
5. Connectivity Q&A: What's Next for Wi-Fi 6 & 6E in the European Union. 2022. Verkkoaineisto. Qorvo. <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/connectivity-q-and-a-whats-next-wi-fi-6-6e-in-european-union>. Luettu 4.10.2024.
6. Trond, Sollie. Mandated European Standard: ETSI EN 300 328 for 2.4 GHz Wireless Products. Verkkoaineisto. Nemko. <https://www.nemko.com/blog/new-edition-mandated-european-standard-for-2.4-ghz-wireless-products-gl>. Luettu 4.10.2024.
7. Transmission Power levels and Channels Allowed by Countries. 2021. Verkkoaineisto. Silicon Labs. https://community.silabs.com/s/article/transmission-power-levels-and-channels-allowed-by-countries?language=en_US. Luettu 4.10.2024.
8. Hill, Ash. Raspberry Pi 5 successfully uses external graphics card. 2023. Verkkoaineisto. Tom's Hardware.

<https://www.tomshardware.com/news/raspberry-pi-5-successfully-uses-external-graphics-card>. Luettu 2.10.2024.

9. Sebastian, Anthony. Raspberry Pi PIXEL PC: lataustiedosto. 2016. Verkoaineisto. Ars Technica. <https://arstechnica.com/information-technology/2016/12/raspberry-pi-pixel-pc-download-details/>. Luettu 12.9.2024.
10. Camera Tools for GoPro Heros -sovellus GoPro-kameroille. 2024. Verkoaineisto. Tools for GoPro. <https://www.toolsforgopro.com/cameratools>. Luettu 3.9.2024.
11. Korhonen, Roope. 2024. Projektin dokumentaatio. Dokumentti.
12. Korhonen, Roope. 2024. Projektisuunnitelma. Dokumentti.