



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Kuressaare kolledž

**ISELAEVA AUTONOOMSE MODULAARSE
NAVIGATSIOONI JA JUHTSEADME ARENDAMINE**
**AUTONOMOUS VESSEL PERCEPTION AND NAVIGATION
MODULAR HARDWARE SYSTEM DEVELOPMENT**

MERETEHNIKA JA VÄIKELAEVAEHITUSE ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Egert Lass

Üliõpilaskood 193234SDSR

Juhendajad: Dhanushka Chamara Liyanage,
Mehhatroonikainsener

Mihkel Kõrgesaar, Abiprofessor
tenuuris

Kuressaare 2023

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“18” Mai 2023.

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle esitatud nõuetele

“.....” 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Egert Lass

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose, Iselaeva autonoomse modulaarse navigatsiooni ja juhtseadme arendamine, mille juhendajad on Dhanushka Chamara Liyanage ja Mihkel Kõrgesaar.

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

18.05.2023

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

SISUKORD

| | |
|---|----|
| EESSÕNA..... | 5 |
| Lühendite ja tähiste loetelu..... | 6 |
| 1. SISSEJUHATUS..... | 7 |
| 2. SÜSTEEMI ARENDUS | 9 |
| 2.1 Autonoomse süsteemi komponendid..... | 10 |
| 2.2 Arvuti ja vesijahutuse komponendid | 16 |
| 2.3 Süsteemi skeem ja võimsus | 23 |
| 2.4 Korpuse disain | 25 |
| 2.5 Süsteemi koostamine | 31 |
| 3. TESTIMINE | 34 |
| KOKKUVÕTE..... | 36 |
| SUMMARY..... | 37 |
| KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU | 38 |
| LISAD..... | 41 |

EESSÕNA

Käesolev lõputöö „Iselaeva autonoomse modulaarse navigatsiooni ja juhtseadme arendamine“ on valminud koostöös Väikelaevaehituse kompetentsikeskusega. Lõputöö praktiline osa viidi läbi Kuressaares.

Autor avaldab tänu juhendajatele Dhanushka Chamara Liyanagele ja Mihkel Kõrgesaarele.

Autonoomne, iselaev, navigatsioon, juhtseade, rakenduskõrgharidus.

Lühendite ja tähiste loetelu

3D – kolmemõõtmeline

4G – Neljanda põlvkonna mobiilsidevõrgu standard

AIS (Automatic Identification System) – Automaatne identifitseerimissüsteem

CNC (Computer numerical control) - Arvprogrammjuhtimine

DDR (Double Data Rate) – Mälutüüp

FHD (Full High Definition) – Täielik kõrglahutus

GB (Gigabyte) – Gigabitt

GHz (Gigahertz) – Sageduse mõõtühik

GND (Ground) – Maandus

GNSS (Global Navigation Satellite System) – Ülemaailmne satelliitnavigatsioonisüsteem

GPS (Global Positioning System) – Globaalne asukoha määramise satelliitnavigatsiooni süsteem

HDD (Hard Disk Drive) – Kõvaketas ehk andmetalletusseade

IMU (Inertial Measurement Unit) – Inertsiaalandur

M.2 – Pooljuhtketta vormi nimetus

MB (Megabyte) – Infoühik

MHZ (Megahertz) – Sageduse mõõtühik

NMEA (National Marine Electronics Association) – Kommunikatsioonistandard

PCIe (Peripheral Component Interconnect Express) – Kiire jadasiin

PoE (Power over Ethernet) – Ethernet kaabel mis edastab elektritoidet

SSD (Solid State Drive) – Pooljuhtketas ehk andmetalletusseade

VHF (Very High Frequency) – Raadiosagedusala vahemikus 30 MHz kuni 300 MHz

VTS (Vessel Traffic Service) – Laevaliiklusteenindus

1. SISSEJUHATUS

Autonoomne modulaarne navigatsiooni ja juhtseade on süsteem, mis muudab aluse sõltuvalt selle tehnilistest omadustest, otstarbest või soovist täielikult või osaliselt autonoomseks, mis tähendab, et laev suudab navigeerida ja liigelda ilma inimese sekkumiseta. Süsteem koosneb erinevatest seadmetest, mis annavad vahetut teavet laeva ümbritseva keskkonna ja positsiooni kohta. Seda infot kasutades suudab süsteem tulenevalt talle eelnevalt sisestatud ülesande iseloomu arvestades anda laevale liiklemiseks vajalikke käsklusi. Ülesande sooritamiseks vajalikud sisendid edastatakse süsteemi arvuti või nutiseadme abil.

Süsteem on alusele lihtsasti paigaldatav ning koostatud modulaarsena, mis tähendab, et selles sisalduvate seadmete vahetamisega või andurite juurde lisamisega on süsteemi ülesehitus ning sooritusvõime kergesti muudetav. Näiteks on spetsiifiliste seadmete lisamisega süsteem suuteline vastavalt keskkonnale väga täpselt optimeerima aluse kiirust, mis aitaks vähendada aluse kütusekulu. [1]

Tegemist on universaalse lahendusega, mis tähendab, et seda saab paigaldada erinevatele alustele.

Autonoomsetel alustel on võrreldes mehitatud alustega olulisi eeliseid:

1. Autonoomne navigatsiooni ja juhtseade aitab välistada inimlikke eksimusi aluse juhtimisel, mis võivad tuleneda halbadest ilmaoludest, kogenematuses, väsimusest vms ning mis võivad põhjustada kokkupõrkeohtu teiste laevade või muude merel asuvate objektidega.
2. Autonoomsus võimaldab vähendada laeva meeskonna suurust ning see aitab vähendada tööjõule tehtavaid kulutusi.
3. Autonoomne alus on võimeline töötama ilma puhkepausideta.
4. Meeskonna puudumisel on võimalik alusel olevaid olmeruume kasutada teisel otstarbel, näiteks kauba ladustamiseks.

Loetletud eelistest lähtuvalt usub autor, et süsteem, mis võimaldab vähendada aluse opereerimise kulusid ning lisada mitmeid keskkonnale ning ohutusele tuginevaid lisaväärtuseid, võiks olla paljudele merendusega seotud ettevõtetele kasulik lahendus.

Kuigi turul on juba mõned ettevõtted, kes arendavad analoogseid süsteeme, nagu näiteks kohaliku ettevõtte Mindchip OÜ poolt arendatav „Artificial Captain“ [2] ja

Ameerika ettevõtte Sea Machines „SM300“ [3], siis autonoomsete aluste kasvavat trendi [4], järjest uusi keskkonnanõudeid ning merel opereerivate mehitatud aluste kogust arvestades [5], võib järeldada, et turg on piisavalt suur erinevate lahenduste jaoks.

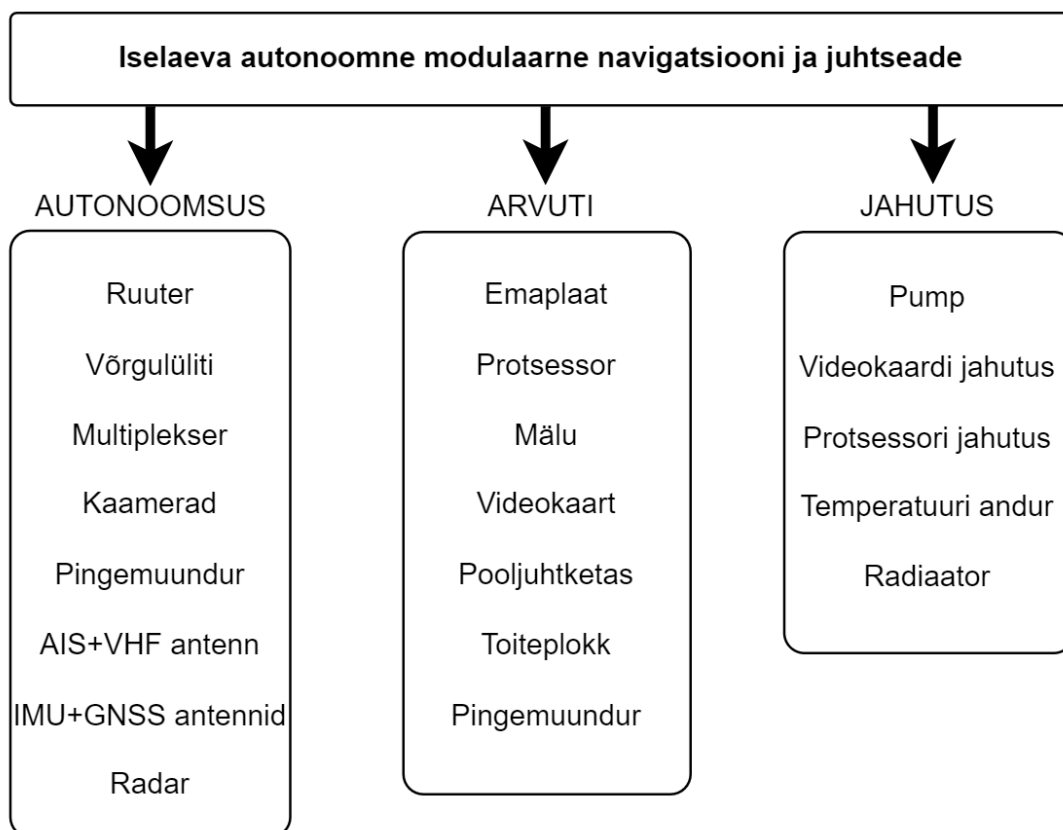
Kuna modulaarse autonoomse navigatsiooni ja juhtseadme projekteerimine on kompleksne protsess, ei hõlma käesolev lõputöö tervet autonoomse süsteemi arendust mille sihiks on toimiva lõpptoote valmimine. Autori eesmärgiks on leida autonoomse modulaarse navigatsiooni ning juhtseadme koostamiseks sobiv riistvara ning ühendada valitud seadmed omavahel ühtseks süsteemiks, luues sellega võimaluse alustada lõpptoote valmimiseks vajalike järgnevate etappidega, milleks on erinevad tarkvaralised arendused, lugematu hulk katsetusi jne.

Lisaks pakub autor välja esmased tehnilised lahendused, dimensionaalsed väärtused ning visuaalid riistvara paigutamiseks vajaliku korpuse projekteerimiseks.

2. SÜSTEEMI ARENDUS

Universaalne modulaarne navigatsiooni ja juhtseade koosneb erinevate väiksemate seadmete kombinatsioonist, mis tulenevalt nende otstarbest saab piltlikult öeldes jaotada 3 erinevasse gruppi (Joonis 2.1), autonoomse süsteemi seadmed, arvutiseadmed ning jahutusseadmed. Mahult kõige suuremasse gruppi kuuluvad autonoomse süsteemi seadmed, mis koosnevad erinevatest anduritest, vastuvõtjatest ja teistest seadmetest mille abil kogutakse reaalse andmeid aluse positsiooni ja selle ümbritseva keskkonna kohta ning mis edastavad kogutud info edasi arvutisse.

Arvutiseadmete abil toimub eelnevalt mainitud seadmete poolt kogutud teabe analüüs ning töötlus, mille tulemusena suudab arvuti edastada alusele autonoomseks navigatsiooniks ning liikumiseks vajalikke käsklusi. Jahutusseadmed hoiavad arvutiseadmete temperatuuri kontrolli all.



Joonis 2.1 Seadmed

2.1 Autonoomse süsteemi komponendid

Tagamaks süsteemi tõrgeteta töö ning võimalikult ladusa arendusprotsessi, pidi seadmete valimisel kindel olema, et kõik seadmed ühilduksid omavahel nii füüsiliselt, kui ka tarkvaraliselt. Selle tagamiseks pidi läbi töötama väga suure koguse potentsiaalselt sobivaid seadmeid, sest sarnaselt funktsioneerivaid tooteid on väga palju, kuid tihti on nende tehnilised omadused kardinaalselt erinevad ning sellest tulenevalt ei pruugi ühilduda käesoleva süsteemi spetsiifilise ülesehitusega. Näiteks ei oma paljud seadmed vajalikke sisendeid või väljundeid, mis laseks neid ühendada teiste süsteemi kuuluvate seadmetega, ei taga piisavalt täpseid ning sobivaid andmeid või ei toeta arendatavas süsteemis kasutatavat tarkvara.

Ruuter on võrguseade, mis edastab sinna ühendatud seadmetele internetiühendust.[6] Käesoleva süsteemi sobival ruuteril peab olema 4G tugi, mis tagab süsteemile kiire interneti ühenduse, võimaldades sellega süsteemile käsklusi edastada ning alust juhtida ka distantsilt. Kindlama ühenduse loomiseks ruuteri ning teiste seadmete vahel oli soov juhtmevaba ühenduse asemel kasutada Ethernet ühendust ning selle jaoks oli vajalik, et seadmel oleks vähemal 1 Ethernet väljund. Töökindluse tagamiseks oli oluline, et tegemist oleks tööstusliku suunitlusega seadmega. Nimetatud omadusi silmas pidades sai esialgu välja valitud Tabel 2.1.1 loetletud 3 potentsiaalselt sobilikku toodet.

Tabel 2.1.1 Ruuterite valik

| JRK nr | Seadme nimetus | 4G tugi | Ethernet väljund | Hind |
|--------|--------------------|---------|------------------|---------|
| 1 | InRouter915 | jah | 2 | 439 USD |
| 2 | Teltronika RUT 955 | jah | 4 | 240 USD |
| 3 | OnCell 5104-HSPA | jah | 4 | 714 USD |

Kuigi kõikidel Tabel 2.1.1 loetletud seadmetel olid soovitud tehnilised nõuded täidetud, sai soodsaima hinna tõttu välja valitud Teltronika RUT 955.

Võrgulüliti abil on võimalik erinevate seadmete vahel kohtvõrk luua, mille tulemusena saavad kõik võrku ühendatud seadmed omavahel suhelda ning vajalikku infot vahetada.[7] Kuna projekteeritavas autonoomses süsteemis on vajalik luua kohtvõrk 8 Ethernet ühendusega seadme vahel, tuli leida võrgulüliti, millel on vähemalt 8 Ethernet sisendit. Peale selle oli tulenevalt PoE kaamerate kasutusele oluline võrgulüliti PoE tugi. Välja said valitud Tabel 2.1.2 loetletud 3 tööstusliku iseloomuga potentsiaalselt sobivat seadet ning kuna kõikide loetletud seadmete tehnilised omadused vastasid eelnevalt

mainitud nõudmistele, tundus ratsionaalseks valida hinna poolest kõige soodsam Trendnet TI-PG80B.

Tabel 2.1.2 Võrgulülite valik

| JRK nr | Seadme nimetus | Portide arv | PoE tugi | Hind |
|--------|----------------------------|-------------|----------|------------|
| 1 | PLANET IGS-6325-8UP2S2X L3 | 8 | jah | 546 EUR |
| 2 | Trendnet TI-PG80B | 8 | jah | 391.75 EUR |
| 3 | IDS-108FPP-XT | 8 | Jah | 502 USD |

Multiplekseri tööõhimitteks on koondada kokku NMEA kommunikatsioonistandardiga mereseadmete poolt edastatav informatsioon, mille tulemusena on suurem kogus andmeid lihtsamini käsiteldav.[8] Selleks, et multipleksersisse koondatud teavet oleks võimalik kasutada autonoomsuse toimimiseks, on vaja kõik see informatsioon arvutisse edastada, mis tähendab, et üheks oluliseks kriteeriumiks seadme valikult oli Ethernet väljundi olemasolu. Tuli ka arvestada asjaoluga, et kuigi süsteemi arenduse algetapis on multipleksersisse ühendatud ainult AIS, siis võimalike tuleviku süsteemi arendusi silmas pidades peab seadmesse olema võimalik ühendada erinevaid NMEA kommunikatsioonistandardeid, st nii NMEA0183, kui ka NMEA2000. Mainitud nõudmisi silmas pidades osutus sobivaks seadmeks Tabel 2.1.3 välja toodud Shipmodul MiniPlex-3E-N2K.

Tabel 2.1.3 Multipleksrite valik

| JRK nr | Seadme nimetus | Ethernet ühendus | NMEA2000 tugi | Hind |
|--------|---------------------------|------------------|---------------|------------|
| 1 | Noland Engineering AM43 | Ei | Ei | 245 USD |
| 2 | Actisense NDC-5 NMEA 0183 | jah | Ei | 519.95 USD |
| 3 | Shipmodul MiniPlex-3E-N2K | jah | jah | 399 USD |

Selleks, et süsteemil oleks vahetu informatsioon laeva ümbritsevatest oludest, mille abil teha efektiivseks opereerimiseks vajalikke otsuseid, tuleb süsteemi ühendada 3 kaamerat. 2 kaamerat hakkavad asetsema suunatuna aluse külgedele ning 1 on suunatud aluse ette. Juhul, kui modulaarne juhtseade hakkaks asetsema alusel, mille

põhiliseks tööpiirkonnaks on avamerest kitsamad olud, nagu näiteks sadamad, on võimalik täiendava informatsiooni saamiseks lisada süsteemi veel üks kaamera, suunatuna aluse ahtrisse.

Kuna kaamerad hakkavad asetsema autonoomsest juhtseadmest eemal, on sobivaim kasutada PoE kaameraid. PoE kaamerad kasutavad toite ning signaali jaoks ainult ühte Ethernet kaablit ning sellepärast on nende üles seadmine lihtsam, kui tavaliste kaamerate puhul, mis kasutavad selle jaoks 2 erinevat ühendust. [9]

Korraliku pildikvaliteedi ning laia vaatevälja tagamiseks oli oluline, et kaameratel oleks vähemalt FHD resolutsioon. Kuigi Tabel 2.1.4 loetletud valikutest on kõrgeima resolutsiooniga TV-IP1318PI, ei oma see antud projektis, tulenevalt erinevatest riistvaralistest piiragutest, lisaväärtust ning sellepärast osutus sobivaimaks hinna poolest kõige soodsam TV-IP1313PI.

Tabel 2.1.4 Kaamerate valik

| JRK nr | Seadme nimetus | Resolutsioon | PoE tugi | Veekindlus | Hind |
|--------|----------------|--------------|----------|------------|------------|
| 1 | TV-IP1313PI | 2944 x 1656 | Jah | IP67 | 210.6 EUR |
| 2 | TV-IP1318PI | 3840 x 2160 | jah | IP67 | 251.63 EUR |
| 3 | DCS-4714E | 2592 x 1520 | jah | IP66 | 247.92 EUR |

PoE kaamerad kasutavad toiteks 48V, kuid kuna autonoomse juhtseadme põhiliseks vooluallikaks on 12V, tuleb süsteemile lisada 12V-48V pingemuundur. Muunduri valikul tuli arvestada sellega, et kaamerad on Ethernet kaabli abil ühendatud võrgulülitsisse, mille elektri tarbimine on 48 volti juures kuni 200 vatti, mis tähendab, et tuli leida muundur, mille väljundvõimsus on 48 volti juures vähemalt 200 vatti. Tabel 2.1.5 nähtavast kolmest sobivast muundurist sai tulenevalt võimsuse ja hinna optimaalseimast suhtest välja valitud seade nr 1.

Tabel 2.1.5 Pingemuundurite valik

| JRK nr | Seadme nimetus | Sisendpinge | Väljundpinge | Võimsus | Hind |
|--------|------------------|-------------|--------------|---------|------------|
| 1 | AZO-PU-250-12-48 | 12V | 48V | 250W | 74.93 EUR |
| 2 | ATO-DCDC-1248 | 12V | 48V | 240W | 110.58 USD |
| 3 | DY 400-DD48-12 | 12V | 48V | 400W | 315.81 EUR |

AIS on VHF antenniga varustatud vastuvõtjast, saatjast ning GPSist koosnev seadeldis, mille ülesanne on anda veesõidukile, teistele ümbruses olevatele laevadele ja VTSile ülevaade merel liiklevatest alustest. AIS side toimib nii aluste ja kaldajaamade vahel, kui ka aluselt alusele, mistõttu see levib ka kohtadesse, kuhu mobiilside ei ulatu. AIS ei asenda radarit, sest ta näitab vaid neid aluseid, millel on olemas vastav AIS saatja ehk transponder ning seda juhul, kui seade on sisse lülitatud. Kaldajoone ning teiste liikumatute objektide kohta AIS infot ei edasta. [10]

Kuna sobivale AIS seadmele spetsiifilisi tehnilisi nõudmisi peale NMEA2000 toe ei olnud, sai välja valitud transponder, mis oli Tabel 2.1.6 nimetatud seadmetest kõige soodsam.

Tabel 2.1.6 Aiside valik

| JRK nr | Seadme nimetus | NMEA2000 tugi | Hind |
|--------|--------------------------|---------------|-------------|
| 1 | Vesper Cortex M1 | jah | 1299,99 USD |
| 2 | Em-trak B921 | jah | 599 EUR |
| 3 | Garmin AIS™ 800 Blackbox | jah | 1049 EUR |

IMU ehk inertsiaalandur on seade, mis mõõdab kiirendusmõõturite, güroskoopide ja magnetomeetrite kombinatsiooni abil keha joonkiirust ja asendit. Kiirendusmõõturi ja güroskoobi mõõtmiste kombinatsioon annab kindla ja täpse orientatsiooniteabe isegi olukordades, kus GPS-signaalid on nõrgad või kättesaamatud. [11] Käesolevas projektis mõõdab seade modulaarse autonoomse navigatsioonisüsteemi poolt juhitava aluse lineaarset kiirendust ja nurkkiirust ning edastab selle teabe juhtseadmes asuvasse arvutisse. IMU on väga oluline roll navigatsioonilahenduse täpsuse ja töökindluse tagamisel. Pakkudes pidevat ning täpset teavet aluse orientatsiooni ja liikumise kohta, aitab IMU kindlustada, et alus suudab erinevates tingimustes säilitada soovitud asendit ning suunda.

Sobiva IMU leidmisel oli oluline, et seadmel oleks kahekordne GNSS vastuvõtja. Selline seade saab positsioneerimisandmeid rohkematelt satelliitidelt, mille tulemusena suureneb aluse positsioneerimistäpsus. Samuti tuli arvestada piirangutega eelarves, millest lähtuvalt oli oluline, et seadme maksumus jääks alla 1000 euro.

Kontakteerudes mitmete IMUde tootjate ning edasimüüjatega, selgus, et eelmainitud kriteeriumitele vastab ainult Tabel 2.1.7 loetletud seade nr 4.

Tabel 2.1.7 IMUde valik

| JRK nr | Seadme nimetus | ROS tugi | Kahekordne GNSS | Hind |
|--------|----------------|----------|-----------------|----------|
| 1 | MTi-680G RTK | jah | ei | 1600 EUR |
| 2 | VN-310 | Jah | jah | 5000 EUR |
| 3 | Ellipse-D | Jah | jah | 5300 EUR |
| 4 | Cube Orange | jah | jah | 600 EUR |

Valitud seadmele tuli eraldi juurde osta veel 2 GNSS H-RTK F9P Helical antenni.

Radari eesmärgiks on tuvastada autonoomse modulaarse süsteemi poolt juhitava laeva ümbruses olevaid objekte. Selleks võivad olla laevad või siis teised objektid nagu näiteks poid, kivid jne, mille asukohainfo on aluse edukaks ning ohutuks navigeerimiseks olulise tähtsusega. Radar aitab navigeerida piiratud nähtavusega oludes ning olukordades kus GPS-signaalid võivad olla kättesaamatud.

Pakkudes reaalaja teavet aluse töökeskkonna kohta, lisab radar juhtsüsteemile olukorrateadlikust ning aitab sellega kindlustada autonoomsuse parema efektiivsuse.

Mõned olulisemad tegurid sobiva radari valimisel

1. Vahemaa – Näitab ulatust mis kauguselt suudab radar tuvastada teisi laevu ja muid objekte.
2. Sagedus – Määrab kindlaks objektide suuruse ning nende detailsuse mida radar suudab tuvastada. Tuleb arvestada ka faktoriga, et mida kõrgem on radari sagedus, seda parem on radari eraldusvõime, kuid seda väiksem on vahemik milles radar objekte suudab tuvastada. Kõrgemad sagedused sobivad paremini väikeste objektide tuvastamiseks, madalamad aga suurte objektide tuvastamiseks. [12]
3. Eraldusvõime – Radari eraldusvõime näitab radari võimet eristada erinevaid objekte üksteisest. Kui radari ulatusse jäävad objektid on üksteisele väga lähedal ning radar ei ole piisavalt võimekas, võivad need erinevad takistused tunduda radarile ühe objektina. [13]
4. Linux tugi – Kuna autonoomne juhtsüsteem hakkab opereerima Linuxi tarkvaral, siis on oluline, et radar toetaks vastavat operatsioonisüsteemi.

5. Hind – Eelarvest tulenevatest piirangutest oli ka radari maksumus oluline faktor.

Nagu näeme Tabel 2.1.8 potentsiaalselt sobilike seadmete loetelust, siis tulenevalt teistest radaritest kõrgema sageduse ning parema eraldusvõime poolest oleks tehniliselt kõige sobivam Wärtsilä RS24 radar. Paraku tuli võrreldes teiste seadmetega märkimisväärselt kõrgemast hinnast sellest valikust loobuda ning valituks osutus Furuno DRS4D NXT. Võrreldes Raymarine ja Simrad seadmetega oli Furuno radar lisaks soodsaimale hinnale ainukene mille Linuxi toes sai tootjate poolt edastatud infost lähtudes kindel olla. [14]

Suurema eelarve puhul tasuks aga tõsiselt kaaluda K-Band radarite kasutamist, sest lisaks parimaks autonoomsuse saavutamiseks vajalikele tehnilistele omadustele on nimetatud radarid võimelised lugema ka lainete kõrgust ja intensiivsust ning seda infot oleks omakorda võimalik kasutada aluse ökonoomsemaks käitamiseks. [15]

Tabel 2.1.8 Radarite valik

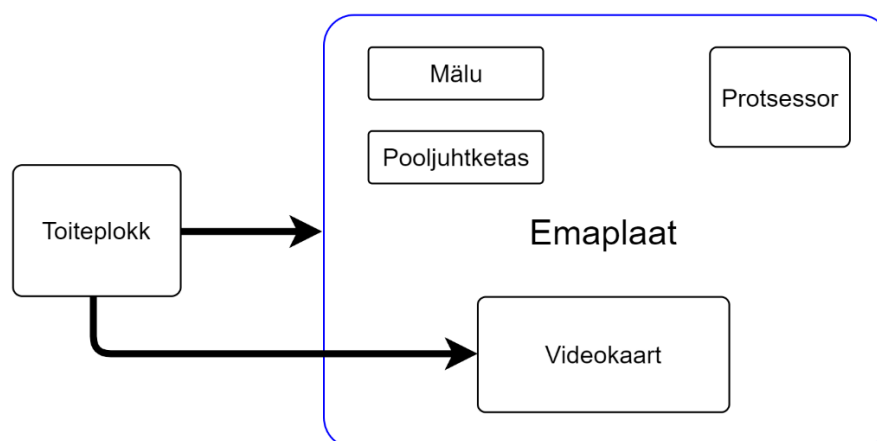
| JRK nr | Seadme nimetus | Vahemaa | Sagedus | Eraldusvõime | Linux tugi | Hind |
|--------|---------------------|-----------|----------------------------|--------------|------------|-----------|
| 1 | Wärtsilä RS24 | 1-1500m | K-Band radar (24 GHz) | 0,75m | jah | 45000 EUR |
| 2 | Furuno DRS4D NXT | 20-66672m | X-Band radar (9.3-9.4 GHz) | 20m | jah | 2695 USD |
| 3 | Raymarine Quantum 2 | 24NM | X-Band radar (9.3-9.4 Ghz) | ? | jah | 2800 EUR |
| 4 | Simrad Halo20+ | 36NM | X-Band radar (9.4-9.5 Ghz) | ? | ? | 3200 EUR |

2.2 Arvuti ja vesijahutuse komponendid

Autonoomse süsteemi juhtimiseks vajalik arvuti sisaldab sarnaseid komponente nagu on võimalik leida igast tavalisest kodukasutuses olevast arvutist. Nendeks on emaplaat, protsessor, mälu, pooljuhtketas, videokaart ja toiteplok. Täpsema ülevaate arvuti riistvaralisest ülesehitusest annab Joonis 2.2.1, kus on jälgitav, et mälu, pooljuhtketas, protsessor ja videokaart on ühendatud emaplaadi külge ning eraldiseisev toiteplok annab voolu videokaardile ning emaplaadile.

Arvutit hakkab toitma toiteplok, mis tarbib 230V, kuid kuna osadel väiksematel alustel ei pruugi olla 230V voolu edastamise võimalust, on süsteemile vajalik lisada ka 12V – 230V pingemuundur.

Kuigi saadaval on ka erinevaid valmis arvutite komplekte, ei olnud ükski selline lahendus oma tehniliste omaduste ja mõõtmete poolest sobiv ning sellest tulenevalt pidi kõik arvutisse kuuluvad seadmed eraldi välja valima ning koostama täiesti uue komplekti.



Joonis 2.2.1 Arvuti riistvara blokkdiagramm

Kuna kõik arvuti komponendid hakkavad asuma suletud veekindlas korpuses, mis takistab korpuse sisese ning väliskeskkonnas asetseva õhu vaheldumist, võib erinevate elektrooniliste seadmete töö tulemusena tõusta temperatuur sellises keskkonnas üpris kõrgeks. [16] See aga tähendab seda, et suuremat jahutust vajavate komponentide, nagu protsessori ja videokaardi tavalised ventilaatoritel põhinevad jahutuslahendused võivad muutuda ebaefektiivseks ning õhkjahutus tuleb asendada vesijahutusega. Tulenevalt sellest, et jahutusvedelikel on kõrgem soojusmahtuvus ning parem soojusjuhtivus, kui õhul, aitab vesijahutus välistada käesoleva süsteemi suuremal koormusel tekkivat võimalikku ülekuumenemisohtu. [17]

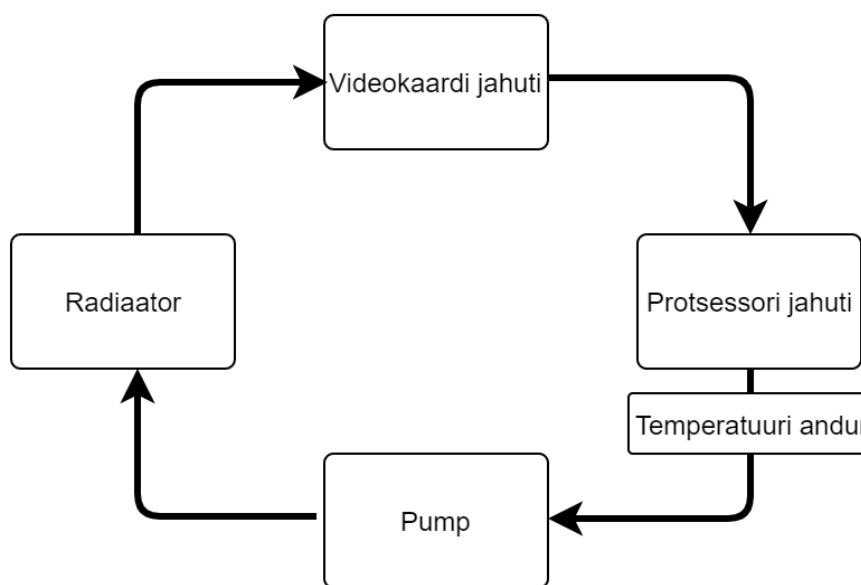
Vesijahutuse komponentideks on veepump, radiaator, protsessori jahutusplok ja videokaardi jahutusplok ning, et oleks ülevaate jahutusvedeliku temperatuurist, tuleks

lisada ka temperatuuri andur koos digitaalse näidikuga. Visuaalse ülevaate jahutusüsteemi ülesehitusest annab Joonis 2.2.2.

Pump liigutab jahutusvedelikku läbi radiaatori, mille järel jahutatud vedelik suunatakse voolikute abil videokaardi külge ühendatud jahutusplokki ning peale seda protsessori külge ühendatud jahutusplokki.

Jahutusplakk on element, mis puutub kokku jahutust vajava mooduliga, võimaldades juhtida mooduli poolt eraldatud soojuse jahutussüsteemi. [18]

Peale seda, kui jahutusvedelik läbib temperatuuri andurit, algab kogu kirjeldatud protsess uuesti.



Joonis 2.2.2 Jahutussüsteemi blokkdiagramm

Arvutiseadmete ning jahutusseadmete komponentidena ei ole välja toodud kõikide väiksemate, kuid siiski süsteemi toimimiseks vajalike detailide kirjeldusi, nagu erinevad kinnitused, jahutusvedelik, kaablid, voolikud, liitmikud jne. Autori poolt on tutvustatud ainult olulisemate tehniliste sõlmede komponente ning nende valikute põhjendusi.

Kuigi osade arvuti komponentide tehnilised nõuded olid süsteemi iseloomu ning seal kasutatava tarkvara kasutamise tõttu autorile teada, siis tulenevalt turul tegutsevatest mitmetest erinevatest riistvara tootjatest, tuli teha rohkesti eeltööd, leidmaks töös olevale süsteemile ette antud eelarvest ning tehnilistest nõuetest lähtuvalt võimalikult optimaalsed lahendused.

Korpuses oleva ruumi kokkuhoiu soovist lähtudes oli emaplaadi valikul oluline leida võimalikult väikeste mõõtmetega lahendus, millel oleks PCIe sisend mis võimaldab arvutile lisada eraldiseisvat videokaarti. Samuti oli oluline, et plaat toetaks arvuti suurema jõudluse tagamiseks uuema tüübi protsessoreid ja lubaks kasutada vähemalt

16GB mälu ning kiiret SSD pooljuhtketast. Kõiki mainitud nõudmisi arvesse võttes osutus Tabel 2.2.3 nähtavast loetelust kõige sobivamaks seade nr 1.

Tabel 2.2.3 Emaplaatide valik

| JRK nr | Emaplaat | Emaplaadi tüüp | PCI sisend | Maksimaalne kasutatav mälumaht | SSD tugi | Mõõtmed | Hind |
|--------|-------------------------|----------------|------------|--------------------------------|----------|--------------|---------|
| 1 | ASRock B660M | Mini-ATX | jah | 64GB | jah | 170 x 170 mm | 180 EUR |
| 2 | ASRock H670M PRO RS | Micro-ATX | jah | 128GB | jah | 244 x 244 mm | 170 EUR |
| 3 | Gigabyte Z690 Aorus Pro | Standard-ATX | jah | 128GB | jah | 305 x 244 mm | 390 EUR |

Tulenevalt sellest, et sobiva protsessori täpse jõudluse välja selgitamine oli süsteemi arenduse algetapis väga keeruline, puudusid seadme valiku hetkel konkreetsed tehnilised kriteeriumid, kuid kuna eelnevalt valituks osutunud emaplaat toetab Inteli protsessoreid, sai Tabel 2.2.4 nähtavate võimaluste seast välja valitud Intel Core i5. Valiku hetkel oli see üks mõistlikuma hinna ning jõudluse suhtega protsessoreid ning kuna tegemist on uue 12 generatsiooni seadmega, võib kindel olla, et enda tehniliste omaduste poolest on see käesoleva projekti jaoks sobiv lahendus.

Tabel 2.2.4 Protsessorite valik

| JRK nr | Protsessor | Taktsagedus* | Vahemälu* | Tuumade arv* | Lõimede arv* | Hind |
|--------|----------------------|--------------|-----------|--------------|--------------|-----------|
| 1 | Intel Core i3 12100F | 3,3 - 4,3GHz | 12MB | 4 | 8 | 114,9 EUR |
| 2 | Intel Core i5 12400 | 2,5 - 4,4GHz | 16MB | 6 | 12 | 203,9 EUR |
| 3 | Intel Core i7 13700K | 2,5 - 5,4GHz | 24MB | 16 | 24 | 455,6 EUR |

*Taktsagedus ehk töösagedus näitab protsessori töötamise kiirust. [19]

*Protsessori vahemälu tööpõhimõte on sarnane arvuti teiste mälutüüpidega, millest tuleb juttu järgmistes peatükkides. Vahemälu salvestab protsessori efektiivsemaks töötamiseks vajalikku ajutist informatsiooni. Mida mahukam on vahemälu, seda rohkem andmeid suudab konkreetne seade kiiremini üles leida ja töödelda.[20] See on oluline

just multitegumtööks, mis on aktuaalne ka autonoomse süsteemi juhtimisel, kuna arvuti peab hakkama saama erinevatest sensoritest saadava informatsiooni protsessimisega.

*Suurem tuumade arv lisab protsessorile jõudlust opereerimaks efektiivsemalt erinevate operatsiooniprotsessidega. See tuleneb sellest, et iga tuum saab keskenduda konkreetsetele määratud ülesannetesse. [21]

*Lõimedeks nimetatakse ülesannete arvu mida iga tuum suudab korraga täita. [22]

Põhiliseks mälu valiku kriteeriumiks oli asjaolu, et autonoomse süsteemi ühe tarkvaraprogrammi Anaconda optimaalseks töötamiseks vajaliku mälu mahu suuruseks on arendaja poolt ette nähtud DDR3 16GB 1600MHz mälu. Tulenevalt aga sellest, et komplekteeritava arvuti emaplaat ASRock-B660M toetab ainult uuema tüübi DDR4 tüüpi mälusid, olid teised variandid välistatud. Oma tehniliste omaduste poolest on DDR4 mälu tunduvalt kiirem, kui DDR3 mälu, mis omakorda kindlustab, et süsteemil hakkab olema piisav jõudlusressurss, et opereerida ka teiste süsteemis kasutatavate tarkvaraliste lahendustega. [23]

Tabel 2.2.5 Erinevate mälu ning nende kiiruste võrdlus

| JRK nr | Mälu tüüp | Mälumaht | Mälu kiirus |
|--------|-----------|----------|-------------|
| 1 | DDR3 | 16GB | 1600MHz |
| 2 | DDR4 | 16GB | 4000MHz |

Õige videokaardi leidmisel oli üheks väga oluliseks aspektiks leida kaart mis ühildub vesijahutussüsteemi toimimiseks vajaliku vesijahutusplokiga. See kriteerium kitsendas valikuvõimalusi märkimisväärselt, sest selgus, et süsteemi koostamise hetkel oli vesijahutusplokk saadaval ainult mõningatele viimase 2 aasta jooksul turule tulnud videokaartidele, mis tähendas, et kaartide valikus olid ainult turu kõige jõudlikumad lahendused. Pikema uuringu tulemusel jäid sõelale Tabel 2.2.6 loetletud 3 võimalust. Kuigi 3080 ning 3090 mudelid on sellest loetelust tehniliselt kõige võimekamad, siis 3070 tarbib tunduvalt vähem energiat ning sellest tulenevalt eraldab nendest kaartidest ka kõige vähem soojust. Kuna mõlemad aspektid on antud projektis väga olulised, sai valitud MSI Geforce 3070 videokaart.

Tabel 2.2.6 Videokaartide valik

| JRK nr | Videokaart | Energia tarbimine | Mälumaht | Hind |
|--------|------------------|-------------------|----------|----------|
| 1 | MSI Geforce 3070 | 220W | 8GB | 659 EUR |
| 2 | MSI Geforce 3080 | 340W | 10GB | 890 EUR |
| 3 | MSI Geforce 3090 | 370W | 24GB | 2000 EUR |

Arvuti andmetalletusseadmeks sai valitud emaplaadiga ühilduv M.2 SSD ehk pooljuhtketas. SSD ketaste andmete kirjutamise ning lugemise kiirused on tunduvalt suuremad kui HDD lahendustel, samuti on SSD kettad, võrreldes HDD tüüpi kõvaketastega, vastupidavamad, kuna neil puuduvad HDD ketastele omased liikuvad osad. [24]

Sobiva jõudlusega toiteploki leidmiseks kasutas autor spetsiaalselt selleks otstarbeks loodud vabavaralist kalkulaatorit. Kalkulaator arvestab kokku kõik arvuti riistvaralised tarbijad ning pakub välja sobiva toiteploki võimsuse arvuti käitamiseks.

Motherboard: **Desktop**
 Socket: **Socket LGA 1700**
 CPU: **1 x Intel Core i5-12400**
 CPU Speed: **4400 MHz**
 CPU Vcore: **1.2 V**

Memory: **2 x 16GB DDR4 Module**

Video Card Set 1: **1 x NVIDIA GeForce RTX 3070**
 Core Clock: **1725 MHz**
 Memory Clock: **1750 MHz**

Storage: **1 x M.2 SATA SSD**

Liquid Cooling Pump: **1 x Alphacool VPP755**

Computer Utilization: **Always On (24/7)**

Gaming / Heavy 3D Application Time: **Game On! (24/7)**

Load Wattage: **448 W**
 Recommended UPS rating: **850 VA**
 Recommended PSU Wattage: **498 W**

| | | |
|--------------|--------------|---------------|
| +3.3V | +5V | +12V |
| 9.7 A | 9.1 A | 35.0 A |
| 78 W | | 421 W |

Pilt 2.2.1 Väljavõte kalkulatsioonist.

Kuigi kalkulaator pakub välja, et arvuti võimsus on 448W ning sellise väärtuse juures peaks kasutama 498W toiteplokki, mainitakse ära, et Pilt 2.2.1 nähtav „Load Wattage“ ehk koormuse võimsus ei pruugi olla maksimaalne tarbimine ning teatud juhtudel võib tarbimine olla isegi kõrgem. „Recommended PSU Wattage“ ehk soovitatava toiteploki võimsuse juures tuuakse välja, et tegemist on minimaalse soovitusliku toiteploki võimsusega. [25]

Võttes arvesse ka seda, et tihti võib olla toiteplokkide efektiivne võimsus lubatust madalam, soovitatakse arvuti tõrgeteta töö garanteerimiseks valida 50-60% nominaalsest tarbimisest võimsam toiteplokk. [26] Kõike eelnevat arvesse võttes usub autor, et sobiva toiteploki võimsus võiks olla 750W.

Pingemuunduri puhul oli kõige olulisemaks valikukriteeriumiks arvuti toiteploki jõudlus. Kuna toiteploki võimsus on 750W, sai valitud 1000W nominaalvõimsusega pingemuundur. Sellise valiku puhul jääb muundurile väikene tagavararessurss, juhuks, kui süsteemis on tarvis teha mingeid muudatusi mille tulemusel on vajalik kasutada koos arvuti toiteploki veel teisi 220V tarbijaid. Tegemist on puhas siinus pingemuunduriga, mille signaal võrreldes modifitseeritud siinus muunduritega, on puhtam ning mis on mõeldud tundlikumate elektroonikaseadmete toitmiseks. [27]

Vesijahutuse kõikideks komponentideks otsustas autor valida arvuti jahutusseadmete tootja Alphacool tooted. Otsus tulenes sellest, et nimetatud tootjal oli koheselt pakkuda MSI Geforce 3070 videokaardiga ning Intel Core i5 protsessoriga ühilduvaid vesijahutusplokkide. Välistamiseks erinevate komponentide seadistamisel tekkivaid võimalikke ühilduvusprobleeme, sai ka teised vesijahutusega seotud seadmed valitud samalt tootjalt.

Vesijahutuse pumbaks osutus Alphacool Eisbecher VPP755. Pumpa valides oli kõige olulisemaks valikukriteeriumiks see, et seade suudaks tagada projekteeritavas jahutussärgis volava jahutusvedeliku tõhusa ringluse. Kuna seadmete valiku hetkel ei olnud veel täpselt teada missuguseks kujuneb süsteemi riistvaraline asetus, otsustas autor, et pump tuleks valida võimalikult tootlik, kindlustamaks sellega, et seadmel on piisav jõudluse reserv erinevate lahenduste jaoks. Tootja andmetel on pumba surve jõudlus 4,25m, mis tähendab, et valitud pump on võimeline vedelikku pumpama maksimaalselt 4,25m kõrgusele. Pumba voolukiiruseks lubatakse maksimaalselt 340l/h, mis näitab, kui kiiresti on pump suuteline jahutusvedelikku liigutama. Kuigi, nagu mainitud, ei olnud pumba valimise hetkel teada kõikide süsteemi toimimiseks vajalike seadmete asetus, oli autori veendunud, et käesoleva süsteemi komponendid ei hakka asetsema 4,25m kõrguse erinevustega ning sellest tulenevalt sai olla kindel, et valitud pump sobib loodavasse süsteemi.

Videokaardi jahutusploki sai valitud Alphacool Eisblock Aurora Acryl GPX-N RTX 3070 Ventus mis oli ainukene saadaval olev MSI Geforce 3070 videokaardiga ühilduv jahutusplakk.

Protsessori jahutuseks osutus Alphacool Eisblock XPX jahutusplakk ning, et omada ülevaadet jahutussüsteemi töötemperatuuris, sai valitud ka Alphacool Core temperatuuriandur koos näidikuga.

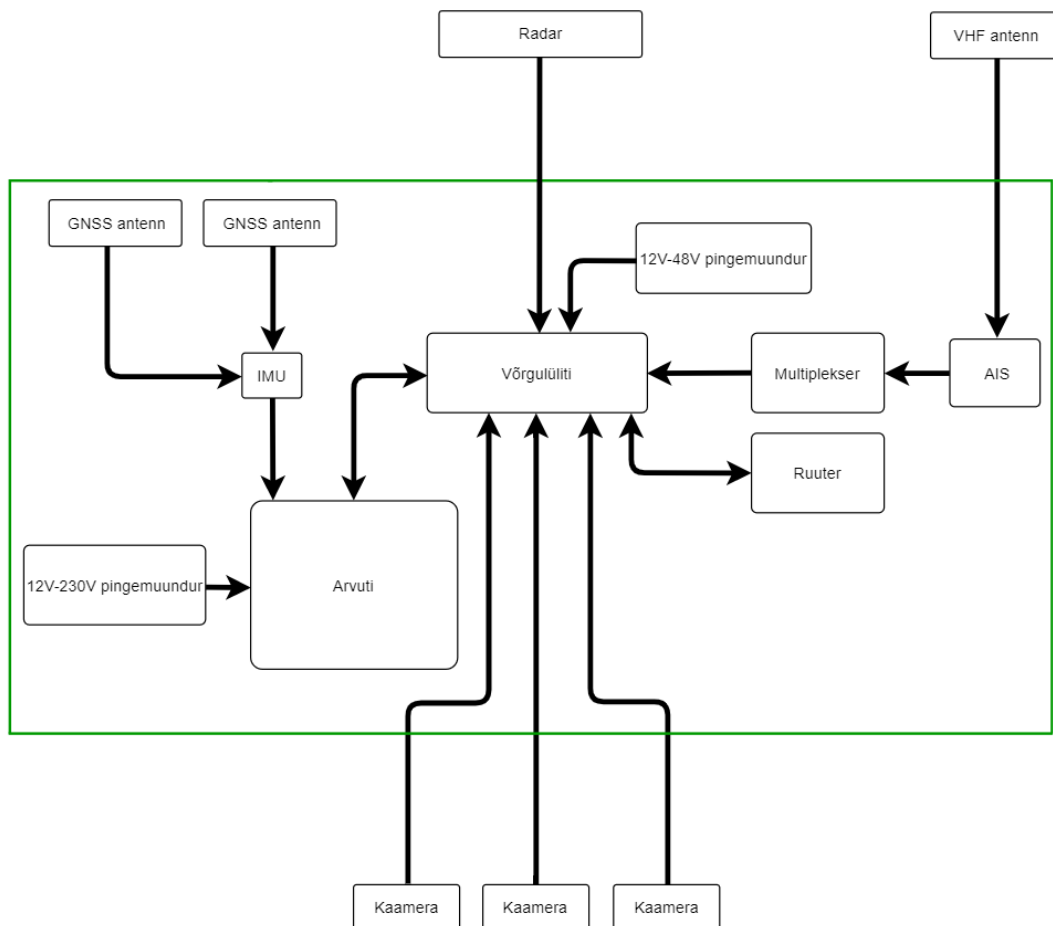
Viimase olulise jahutuskomponendi, radiaatori valiku osas sai ühendust võetud ettevõtte Alphacool esindajatega, et saada infot eelnevalt tutvustatud komponentidest komplekteeritud arvuti riistvara efektiivseks jahutamiseks vajaliku radiaatori suuruse kohta. Kuigi Alphacool esindajad soovitasid käesolevas süsteemis kasutada radiaatorit mõõtmetega 396mm x 120mm x 30mm, tähendas see seda, et radiaatorile tuleks lisada ka arvuti siseruumis kasutatavaid aspekte arvesse võttes 3 ventilaatorit, mis aitavad radiaatoris olevat jahutusvedeliku temperatuuri efektiivsemalt alandada. Paraku käesolevas projektis komplekteeritav jahutusradiaator ei hakka asetsema sisetingimustes ning sellest tulenevalt oli soov vältida ventilaatorite kasutust. Kuigi saadaval on mõned veekindlamad sobiva suurusega ventilaatorid, ei ole paraku arvutite tavakasutajatele mõeldud jahutussüsteemide tarbeks loodud ventilaatorid tööstusliku iseloomuga ning sellest tulenevalt ei saa kindel olla nende töökindluse kvaliteedis rakendades neile koormust niiskes väliskeskkonnas. Nimetatud aspekte arvesse võttes otsustas autor valida soovituslikult tunduvalt suurem jahutusradiaator, lootes, et kui sellele tagada piisav õhu ligipääs, suudab see välistes tingimustes, vaatamata ventilaatorite puudusele, jahutusvedelikku piisavalt madalal temperatuuril hoida. Tasub ka mainida, et arvutikomponentide töötemperatuurid ei ole tegelikult väga kõrged, näiteks kasutatava RTX 3070 videokaardi normaalne töötemperatuur on umbes 40-50 kraadi ning suurematel koormustel umbes 80 kraadi.[28] Protsessori töö tekitab videokaardiga sarnaseid temperatuure. [29]

Lõppkokkuvõttes sai valitud Alphacooli tootekataloogis olevatest radiaatorites üks suurim, Alphacool NexXxoS UT60, mille mõõtmeteks on 606 x 144 x 60mm.

Tabel 2.2.7 Radiaatorite mõõtmed

| JRK nr | Soovituslik radiaatori suurus | Valitud radiaatori suurus |
|--------|-------------------------------|---------------------------|
| 1 | 396mm x 120mm x 30mm | 606Mm x 144mm x 60mm |

2.3 Süsteemi skeem ja võimsus



Joonis 2.3.1 Autonoomse modulaarse navigatsiooni ja juhtseadme skeem. Nooled tähistavad informatsiooni liikumise suunda. Korpuses asetsevad seadmed on ümbritsetud roheliste joontega.

Joonis 2.3.1 on nähtav kõikide eelmises peatükis tutvustatud seadmete abil koostatava süsteemi ülesehituse skeem, mis annab ülevaate seadmete ühilduvusest ning informatsiooni liikumisest. Detailsemate elektriskeemidega on võimalik tutvuda Lisade peatükis.

Kaamerate, radari, ruuteri, VHF antenni ja AISi poolt kogutud informatsioon suunatakse arvutisse läbi võrgulüliti, kuid GNSS antennide ning IMU andmed liiguvad, tulenevalt teistest seadmetest erinevast ühilduvusest, arvutisse ilma võrgulüliti vahendusega. Pingemuundurid varustavad vastavaid seadmeid voluga.

Tasub veel märkida, et arvuti, võrgulüliti ning ruuteri vahel käib mitmesuunaline suhtlus, st arvuti saadab vajadusel infot läbi võrgulüliti ja ruuteri poolt loodud internetiühenduse ka süsteemist välja.

Peatükis 2.2 kirjeldatud arvuti- ning jahutusseadmed on Joonisel 2.3.1 kuvatud kõik ühtse tervikuna, arvutina.

Enamus seadmetest hakkavad asetsema ühises keskkonnas ehk korpuses, mis võimaldab süsteemi lihtsasti transportida ning paigaldada.

Kuigi korpuse asukohale ei ole otseselt mingeid piiranguid ette nähtud, siis osadel seadmetel on nende tööiseloomu tõttu asukohapiirangud ning sellest tulenevalt peab nad asetama korpusest eemale. Sellisteks seadmeteks on VHF antenn, radar ning kaamerad.

Et oleks teada autonoomse süsteemi energiakoormus laeva elektrisüsteemile, sai kokku arvatatud erinevate seadmete võimsused.

| JRK nr | Tarbija | Võimsus (W) |
|---------------|----------------------------------|--------------------|
| 1 | Ruuter | 7 |
| 2 | Võrgulüliti koos 3 PoE kaameraga | 42,8 |
| 3 | Multiplekser | 1,8 |
| 4 | AIS | 1,6 |
| 5 | IMU | 14 |
| 6 | Radar | 30 |
| 7 | Arvuti | 448 |
| | Tarbimine kokku | 545,2 |

Joonis 2.3.2 Süsteemi võimsus

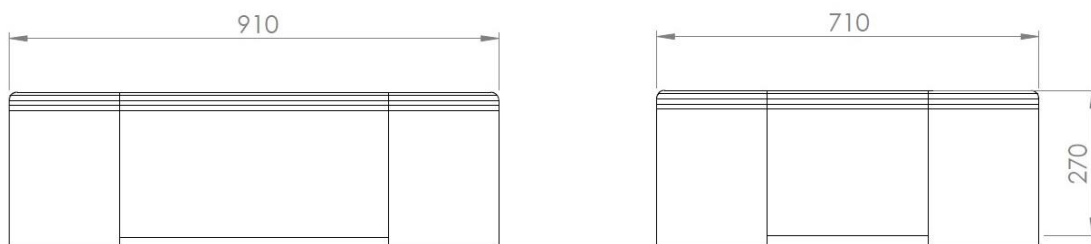
Tuleb arvestada, et Joonis 2.3.2 nähtav koguvõimsus on mingil määral varieeruv ning sõltub süsteemi koormusest. Arvuti puhul sai arvesse võetud kalkulaatori poolt välja pakutud võimsus riistvara normaalsel koormusel. Ekstreemsematel koormustel võib see küll mingis osas kõrgem olla, kuid suurema osa ajast ei ole plaanis ekstreemseid koormuseid arvutile rakendada.

2.4 Korpuse disain

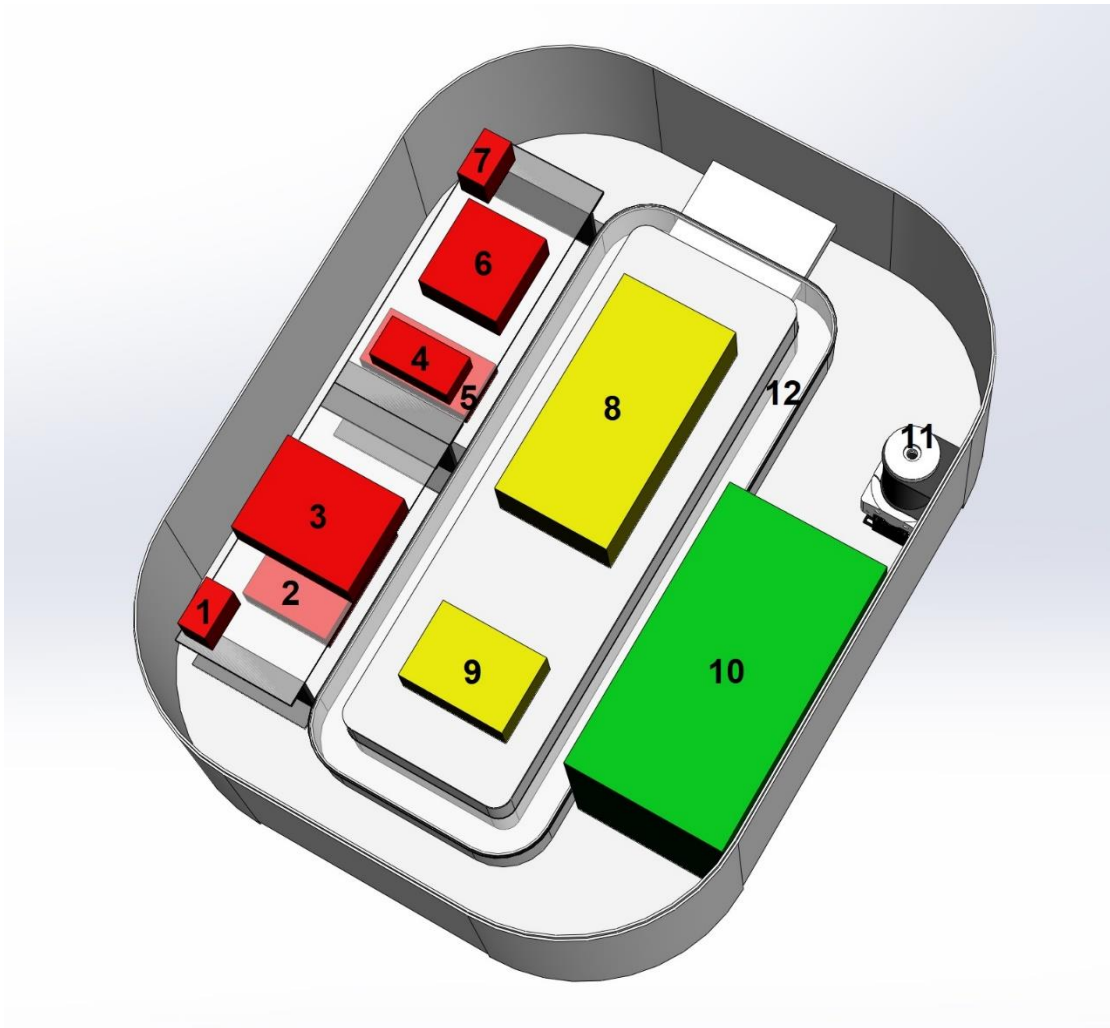
Tulenevalt sellest, et valitud seadmetest peab lõpuks moodustuma kompleksne tervik mida oleks võimalik transportida ning erinevatele alustele paigaldada, tuli välja mõelda sobiv korpus kuhu kõik eelmistes peatükkides kirjeldatud komponendid paigutada.

Kuna korpuse lõpliku tootedisainiga hakkavad tulevikus tegelema enda ala spetsialistid, siis autori ülesandeks oli leida disaineritele vajalikud algsed sisendväärtused, nagu näiteks korpuse mõõtmed, kuju, erinevad tehnilised lahendused ning materjalid millest korpus valmistatakse. Sobivate korpuse kinnituste, transpordiks vajalike kandurite, kaablite läbiviikudega jms detailidega autor siinkohal ei tegele, sest nende iseloom ning asukohad võivad suuresti sõltuda lõppdisainist ning nendele küsimustele lahenduse leidmisega saab tegeleda disainiprotsessi käigus. Korpuse baasvärvuseks jääb esialgu valge. Oma neutraalse tooni tõttu sobib see paljudele alustele ning sobib kokku ka teiste alustel kasutatavate seadmetega, mis üldiselt on samuti valget värvi, nagu näiteks radarid, antennid jne.

Kuna loodava süsteemi näol ei hakka tegemist olema ainueksplaariga, tuli arvestada asjaoluga, et korpust oleks lihtne ning soodne korduvalt valmistada ning kuna süsteemi võib olla vajalik konkreetse aluse töö eripärasid arvestades aegajalt eemaldada ning uuesti ühendada, oli oluline ka korpuse võimalikult minimaalne kaal. Nendest kriteeriumitest lähtudes sai paika, et kõige sobivamaks on valida materjaliks klaasplast. Sobivate dimensioonide leidmiseks tuli seadmete juhenditest välja otsida kõikide korpusesse paigaldatavate seadmete mõõtmed, mille tulemusena oli võimalik Solidworksis nendele väärtustele vastavad kehad luua. Järgmiseks paigutas autor kõik need kehad eeldatavat kaabeldusmahtu, erinevaid ühendusi, voolujaotureid ning seadmete iseloomu arvestades väikese ruumi varuga kokku, mille tulemusena selgus, et seadmed mahuksid korpusesse, mille mõõtmeteks on 910 x 710 x 270 mm (Joonis 2.4.1). Nagu Joonis 2.4.2 on näha, ei ole korpuse prototüübis kõik seadmed maksimaalselt kokku surutud, millest tulenevalt saaks korpuse ilmselt ka natukene väiksema teha, kuid selle juures peab arvestama asjaoluga, et IMU antennide omavahelisele kaugusele on tootja ette näinud 80 cm, mis koos radiatori suurusega seavad korpuse mõõtmetele olulised piirangud.



Joonis 2.4.1 Korpuse mõõtmed



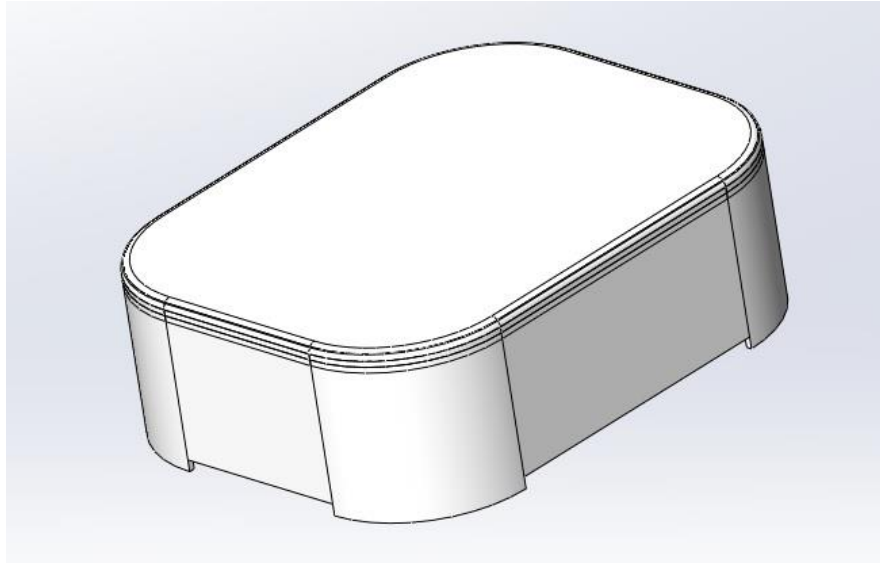
Joonis 2.4.2 Korpuse sisevaade

1 – GNSS antenn, 2 – Võrgulüli, 3 – AIS, 4 – IMU, 5 – Multiplexer, 6 – Ruuter, 7 – GNSS antenn, 8 – 12V-230V pingemuundur, 9 – 12V-48V pingemuundur, 10 – Arvuti, 11 – Veepump, 12 –Kaablirenn.

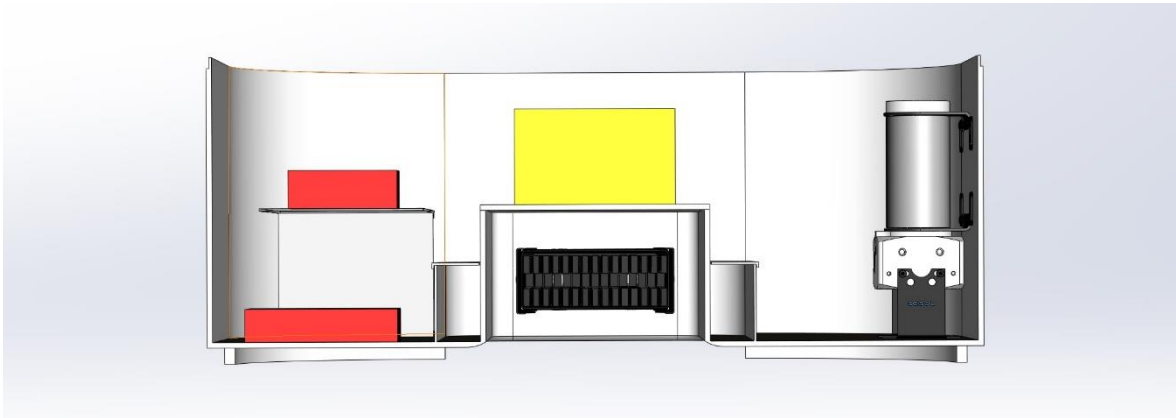
Joonisel ei ole märgitud vesijahutuse voolikuid, erinevaid kaableid ning kaabliterminale.

Kasutusmugavusest ning juhtmete optimaalsemast kasutamisest tulenevalt pakub autor välja, et seadmed võiksid olla paigutatud vastavalt nende tööiseloomele 3 erinevasse sektorisse. Joonisel 2.4.2 jäävad paremale arvuti koos veepumbaga. Temperatuuriandurit koos näidikuga ei ole joonisel märgitud kuna need on mõõtmetelt väga väikesed seadmed ning antud hetkel ei sõltu nende paigutusest midagi. Keskel asuvad vooluseadmed ning vasakul kõik ülejäänud eelmistes peatükkides tutvustatud seadmed.

Ruumi kokkuhoiu mõttes sai osad seadmed asetatud erinevatele tasanditele. See on võimalik saavutada kasutades näiteks 3D printitavaid kandureid ning klaasplastist plaate. Plaadid on joonisel 2.4.2 seadmete paigutuse paremaks loetavuseks tehtud läbipaistvaks.

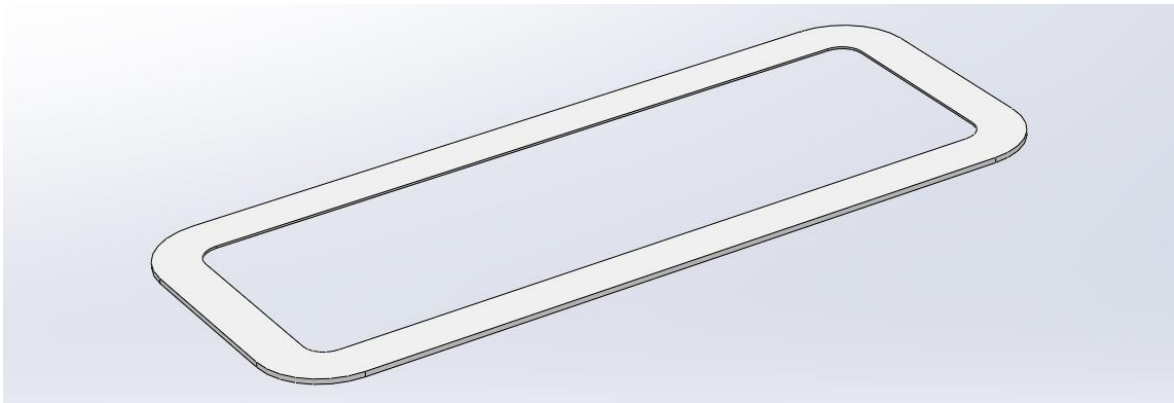


Joonis 2.4.3 Korpuse välimine visuaal

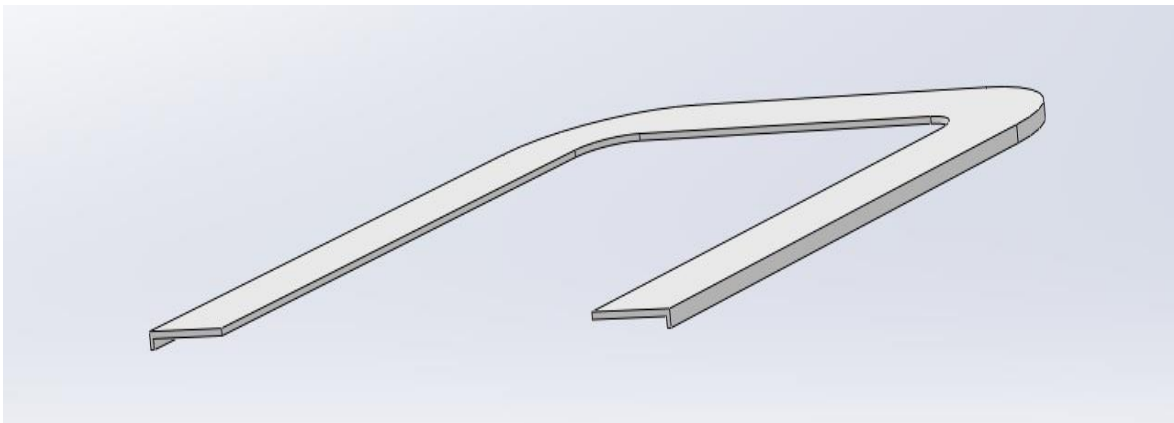


Joonis 2.4.4 Korpuse läbilõige

Autor pakub välja ka kaablirenni (Joonisel 2.4.2 nr. 12) lahenduse erinevate juhtmete tarvis. Joonisel nähtava lahenduse puhul oleks võimalik seadmete juures kaablirenni puurida juhtmete iseloomu arvestades sobiva suurusega augud, läbi mille saab kõik vajalikud juhtmed kaablirenni suunata ning vajalikus kohas puurimismeetodit kasutades uuesti välja tuua. Kaablirenni katte (Joonis 2.4.5 ja 2.4.6) valmistamiseks sobiks sarnaselt eelnevalt mainitud kandurite valmistamisele 3D printimine.



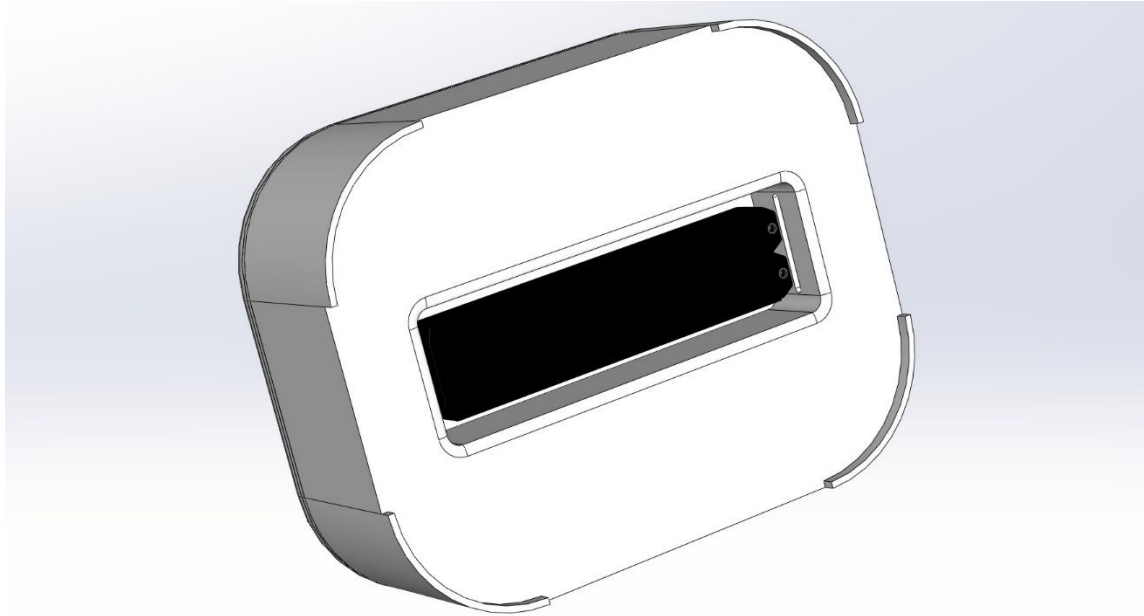
Joonis 2.4.5 Kaablirenni kate



Joonis 2.4.6 Kaablirenni katte läbilõige

Tagamaks elektroonikaseadmete pikaajalise toimimise, peab korpus olema niiskuskindel, mis tähendab seda, et keskkond peab olema hermeetiline. Kuna aga süsteemis on arvuti komponentide jahutuseks vajalik radiaator, tuli välja mõelda võimalus kuidas tagada radiaatorile, keskkonna niiskuskindluse aspekti arvestades, õhu juurdepääs. Selle tagamiseks otsustas autor, et kõige mõistlikum oleks antud olukorras paigutada radiaator üldse korpusest välja ning jahutusvedeliku liikumiseks seadmesse ning tagasi radiaatorisse võiks teha korpusesse voolikute tarvis 2 avavust mis peale voolikute paigaldust õnnestub tihendusmaterjalidega niiskuskindlaks muuta.

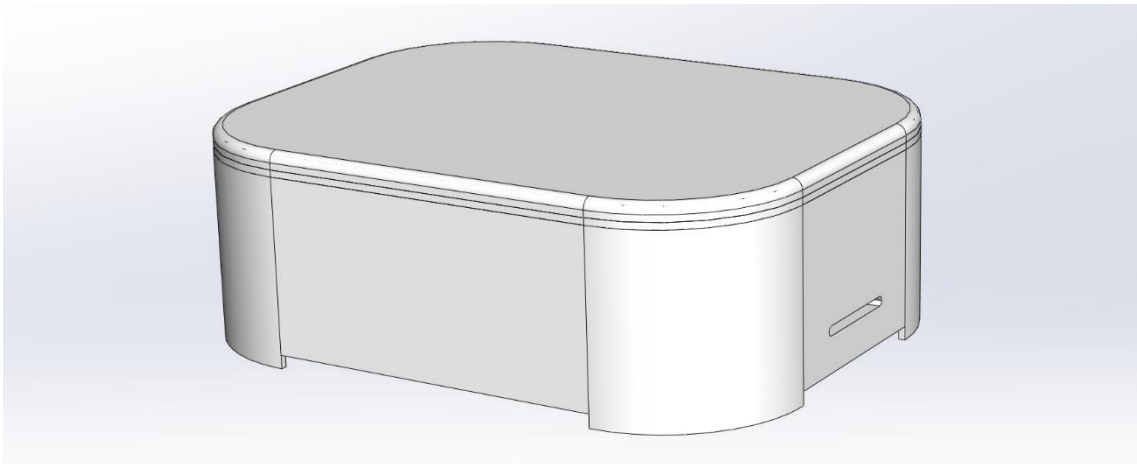
Radiaatori paigutamisel tuli arvestada ka sellega, et arvuti komponentide jahutuseks mõeldud radiaatorid ei ole tööstuslikud seadmed ning on üldiselt mõeldud kasutamiseks sisetingimustes, mis tähendas, et tagamaks radiaatorile pikem tööiga, oleks mõistlik seda kuidagi otsese päikese, vihma ning merevee eest kaitsta. Kõiki eelnevalt mainitud faktoreid silmas pidades leidis autor, et üheks variandiks oleks radiaator paigutada korpuse põhja. Täpsemalt Joonis 2.4.7 nähtavasse korpuse põhja tekitatud süvendisse. Käesolev korpus hakkaks asetsema umbes 2 – 3 cm kõrgustel tugeudel ning see tagaks eeldatavalt piisava jahedama õhu juurdepääsu radiaatorile. Lisaks eelnevalt mainitud ilmastikuolude kaitsele säilib sellise lahenduse puhul ka korpuse üleüldine puhas ning sümmeetriline välimus.



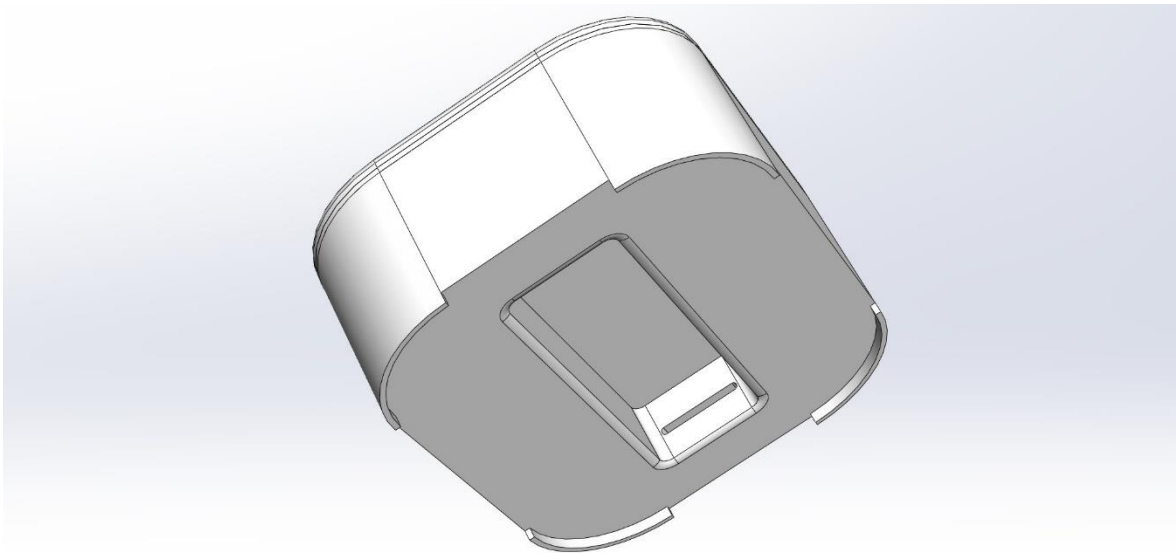
Joonis 2.4.7 Radiaatori asetus korpuses

Süvend peaks olema selliste mõõtmetega, et õhk pääseks vabalt radiaatori ümber liikuma ning oleks ka ruumi radiaatori fikseerimiseks vajalike kinnituste lisamiseks. Kuna radiaatori mõõtmed on 606 x 144 x 60mm, siis pakub autor välja, et süvendi mõõtmed võiksid olla umbes 650 x 200 x 120mm.

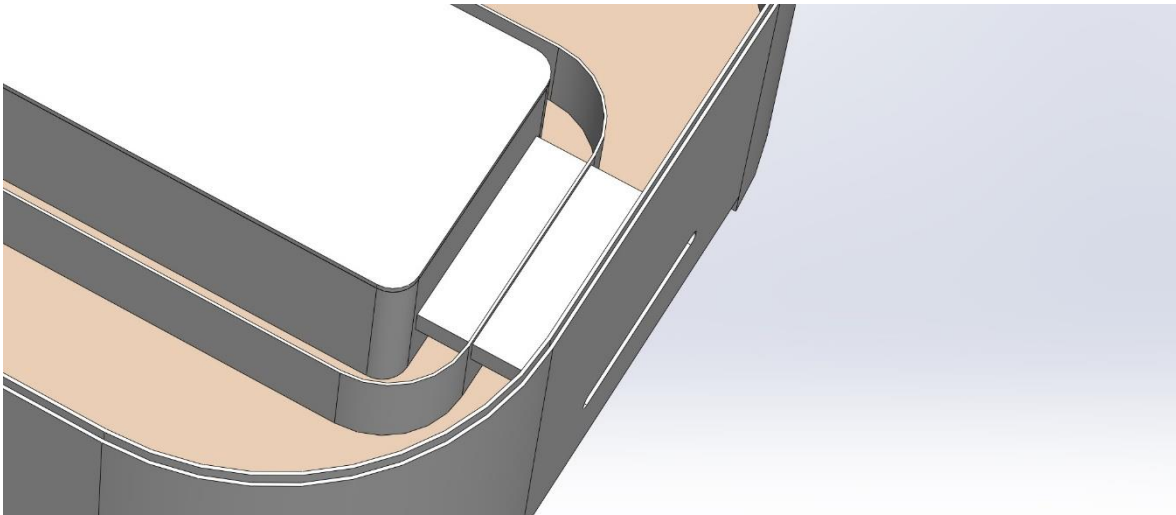
Radiaatori ümbruse õhu vahetumise efektiivsuse suurendamiseks võib korpuse esiküljele projekteerida väikene õhukanali, millest aluse liikumisel suundub jahedam õhk intensiivsemalt radiaatori peale (Joonis 2.4.8, Joonis 2.4.9, Joonis 2.4.10).



Joonis 2.4.8 Õhukanali ava korpuse esiküljel



Joonis 2.4.9 Õhukanali avaus radiaatori poolt vaadatuna



Joonis 2.4.10 Õhukanali korpuse sisene vaade

Lõpetuseks peab mainima, et autori poolt välja pakutud lahendus radiaatori paigutuse osas ning selle asukoha sobivus radiaatori efektiivseks töökeskkonnaks on siinkohal esitatud hüpoteetilises võtmes ning mingeid termodünaamikaalaseid mõõtmiskatseid ei ole praeguses etapis läbi viidud, kuid nagu vesijahutust tutvustavas peatükis sai juba mainitud, ei eralda arvutiseadmed tohutult kõrget soojust ning sellest tulenevalt võib visandamise etapis eeldada, et valitud asukoht tagab piisava jahutuse.

2.5 Süsteemi koostamine

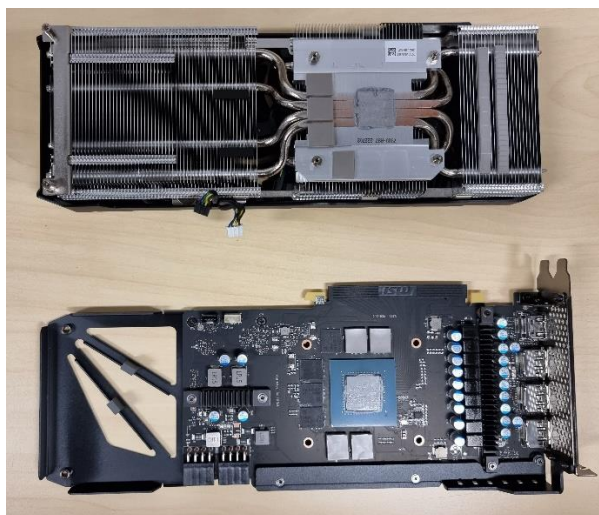
Käesolevas peatükis saab ülevaate autonoomse modulaarse navigatsiooni ja juhtseadme koostamise protsessist. Selle praktilise töö eesmärgiks on ühendada kõik varasemalt välja valitud seadmed ühtseks tervikuks, mille tulemusena on võimalik saada esmast tagasisidet seadmete omavahelisest ühilduvusest ning süsteemi tööst. Koostamise peatükis saab visuaalse ülevaate ka erinevatest süsteemi toimimiseks vajalikest pisitarvikutest, nagu näiteks juhtmed, pistikud, voolikud jne, millest varasemates peatükkides juttu ei tulnud. Kuigi antud töö käigus ei ole veel võimalik saada tagasisidet autonoomsuse toimimisest, on antud tegevus siiski oluline samm lõpptoote valmimiseks, sest komplekteerimise eduka tulemusena on võimalik alustada tarkvara paigalduste ning programmeerimistega, mis võimaldab lõpptoote toimimise efektiivsusest juba täpsemat ülevaadet saada.

Tulenevalt asjaolust, et koostamise hetkel veel lõpptoote sarnast füüsilist korpust, kuhu seadmeid paigutada, valminud ei olnud, oli alustuseks vaja luua ajutine keskkond, mis aitaks süsteemi testimise eesmärgil mugavamalt transportida ning annaks ka praktilisemat infot korpuse dimensioonide ning seadmete paigutuse osas.

Algse korpuse valmistamiseks otsustas autor kasutada 12 mm vineeriplaati. Vineer on võrdlemisi soodne ja seda on lihtne töödelda ning kuigi vineerist valmistatud korpuse mass tuleb suurem, kui mõne plastikust alternatiivi puhul, ei ole kaal hetkel väga oluline ning prioriteediks on pigem korpuse stabiilsus ning konstruktsiooni lihtsus ja tugevus. Kuna disaini peatükis tutvustatud info kohaselt oli teada kõikide seadmete mahutamiseks vajalikud korpuse mõõtmed, sai seda infot kasutades lõigata CNC masina abil sobivate mõõtmetega tükid. Siinkohal küll väikese dimensioonide erinevusega, sest testkasti konstruktsiooni lihtsust silmas pidades ei hakanud autor radiaatori jaoks eraldi süvendit tekitama, hõlpsam on radiaator paigutada testkorpuse küljele (Joonis 2.5.3). Sellest ajendatult sai korpuse teha umbes 20 cm võrra kitsama.

Korpuse valmimise järel sai alustada arvuti komplekteerimisega.

Alustuseks tuli ühendada vesijahutusseadmed videokaardi ning protsessoriga. Selleks tuli eemaldada mainitud riistvara ventilaatorite põhine jahutus (Pilt 2.5.1), puhastada kuumakehade pealt vana termopasta, lisada uus termopasta ning ühendada vesijahutusplokid.



Pilt 2.5.1 Videokaart (alumine) koos eemaldatud jahutuselemendiga.

Kui videokaart ja protsessor valmis, tuli need ühendada emaplaadi külge, lisada veel SSD ketas ning mälu ning asetada kõik koos toiteploki arvutikorpusesse. Arvutikorpust sai valmistatud kasutades 3D printerit ning kasutuseta seisnud vana arvutikorpust, mida sai vastavalt vajadusele väiksemaks lõigatud (Pilt 2.5.2).

Kuigi veepump pidi algsest hakkama asuma riistvarast eraldi, selgus arvuti koostamise käigus, et ka see mahub teiste arvutiseadmetega koos arvutikorpusesse.

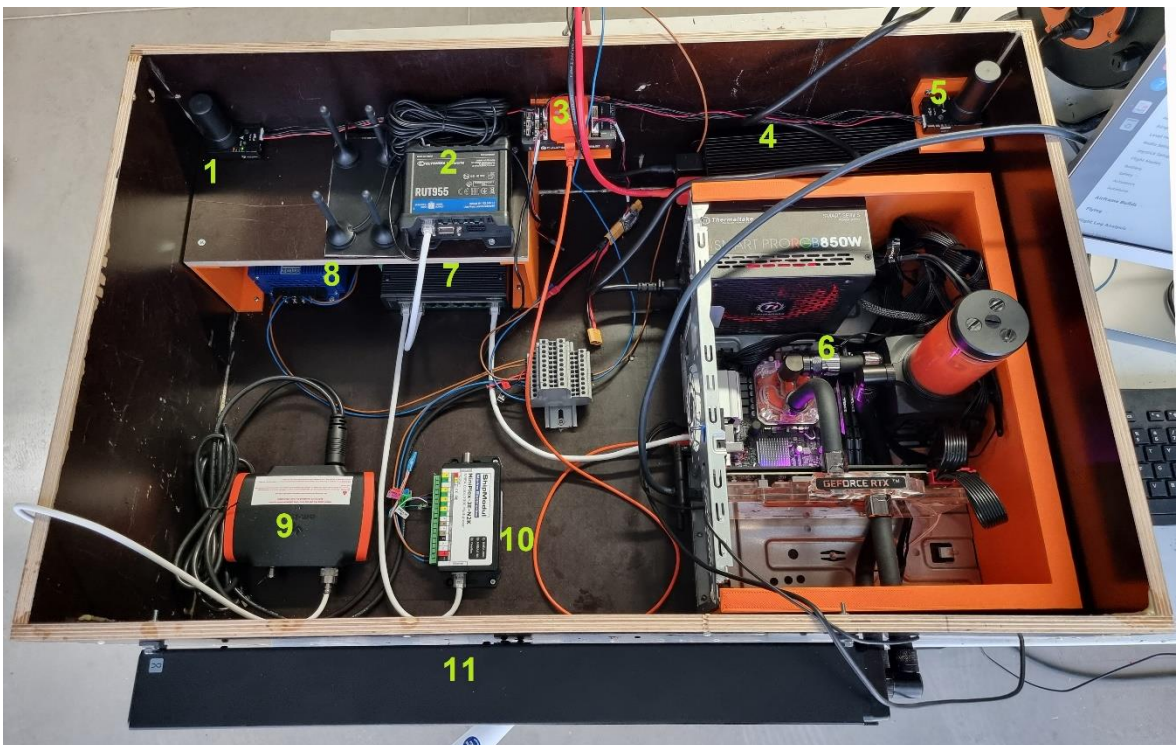


Pilt 2.5.2 Komplekteeritud arvuti koos vesijahutuselementidega



Pilt 2.5.3 Radiaatori paigutus korpuse küljel.

Teised seadmed, peale IMU, said paigutatud selliselt, et neile oleks juhtmeid ühendades mugav ligi pääseda. IMU juures tuli arvestada antennide vahelist kaugust, milleks on ette nähtud 80cm (Pilt 2.5.4).



Pilt 2.5.4 Koostatud süsteem

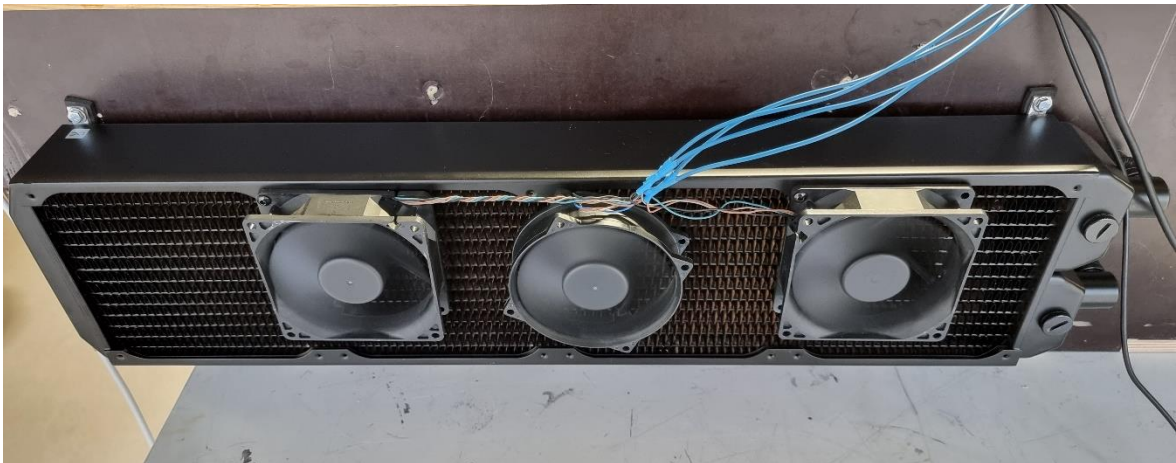
1 - GNSS antenn, 2 - Ruuter, 3 - IMU, 4 - 12V-230V pingemuundur, 5 - GNSS antenn, 6 - Arvuti, 7 - Võrgulüliti, 8 - 12V-48V pingemuundur, 9 - AIS, 10 - Multiplexer, 11 - Radiaator

3. TESTIMINE

Kuigi koostamise käigus sai süsteem juba ühendatud akutoitele ning selle käigus veendutud, et kõik seadmed füüsiliselt toimivad, sai läbi viidud ka mõned lisatestid, saamaks spetsiifilisemat tagasisidet süsteemi olulisemate sõlmede tööst.

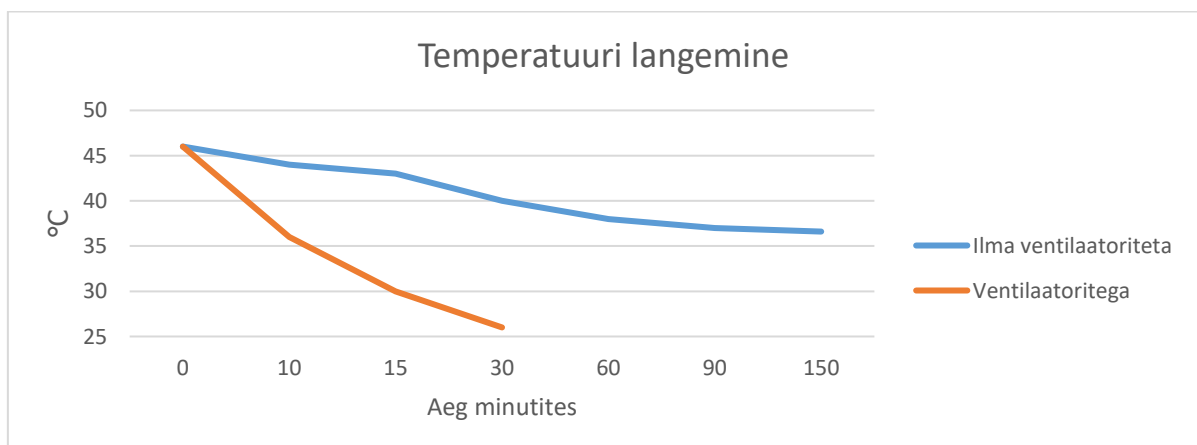
Esmalt sai avaldatud protsessorile ning videokaardile suunatud tarkvaralist koormust, mis annab tagasisidet jahutussüsteemi toimimisest ning selle efektiivsusest.

Nagu varasemalt tutvustatud, siis ei olnud koostatud jahutussüsteemi radiaatorile lisatavaid ventilaatoreid ette nähtud, kuid, et saaks ülevaate erinevate lahenduste toimimisest ning tekiks võrdlusmoment, otsustas autor ühe koormuskatse läbiviimisel kasutada ka käepäraseid ventilaatoreid (Pilt 3.1).



Pilt 3.1 Radiaatorile lisatud ventilaatorid.

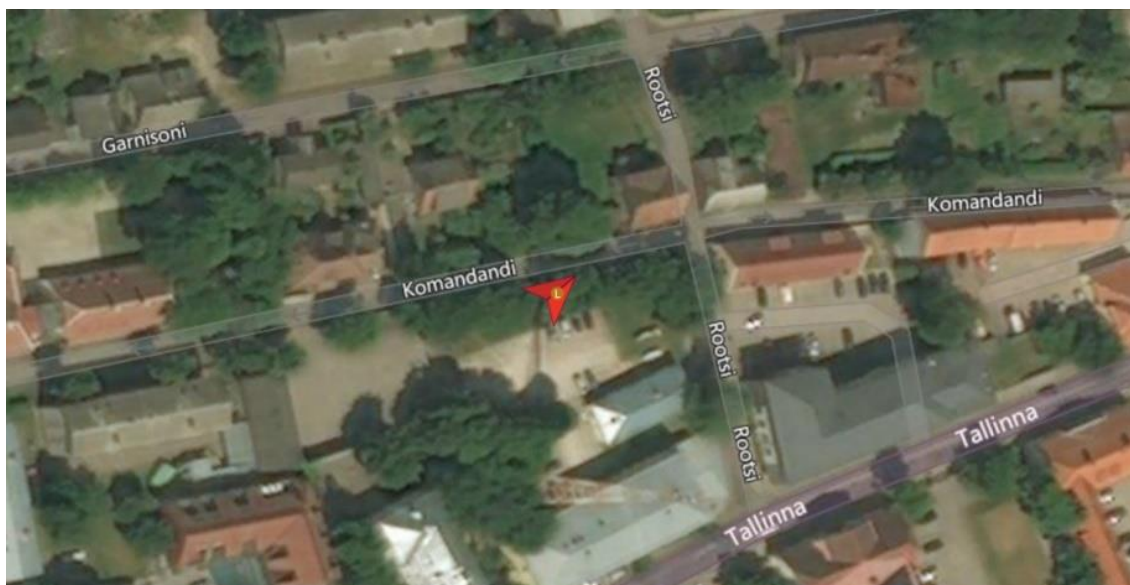
Testi käigus tekitati jahutussüsteemis 46°C temperatuur ning mõõdeti, kui kiiresti koormuse katkestades temperatuur langema hakkab. Ruumi temperatuur oli katse käigus 20°C.



Joonis 3.1 Temperatuuri langemine.

Nagu Joonis 3.1 on näha, siis ventilaatoritega varustatud jahutussüsteem on mainimisväärselt efektiivsem. Ilma ventilaatoriteta lahendusel võttis koormuse katkestades aega tervelt 150 minutit, et 20°C ruumitemperatuuri juures langeks jahutusvedeliku temperatuur 36°C ni. Ventilaatoritega test saavutas samasuguse tulemuse kõigest 10 minutiga ning peale 30 minutit oli kogu jahutussüsteemi temperatuur langenud 26°C ni. Siinkohal tuleks arvestada ka aspektiga, et testi läbiviimisel sai kasutatud Pilt 3.1 tutvustatud käepäraseid väikeseid ventilaatoreid. Tegelikuses käivad seal mõõtmetel tunduvalt suuremad lahendused, mis lubab järeltada, et õiges mõõdus ventilaatoritega on jahutusefektiivsus veelgi suurem.

Järgmiseks sai kontrollitud GPS signaali olemasolu (Pilt 3.2).



Pilt 3.2 Korpuse asukoht.

Punane nool tähistab korpuse asukohta, milleks on Kuessaares Meretehnoloogia kompetentsikeskus. Kasutatud programmis olev kaart oli testimise ajal uuendamata ning sellest tulenevalt MARTE maja näha ei ole.

Viimasena kontrollis autor IMU tööd. IMU signaali tagasiside jaoks sai muudetud korpuse positsiooni, samal ajal jälgides, kas IMU on võimeline neid muutuseid fikseerima (Pilt 3.3).



Pilt 3.3 IMU kontroll.

IMU indikaatorid piltide nurkades kinnitavad korpuse asendi muutusi.

KOKKUVÕTE

Eesmärkideks oli leida iselaeva autonoomse modulaarse navigatsiooni ja juhtseadme arenduse jaoks sobivad seadmed, koostada valitud seadmetest töötav süsteem ning leida lahendused seadmete paigutamiseks vajaliku korpuse projekteerimiseks. Käesoleva töö lõppetapis läbi viidud esmased süsteemi katsetused andsid kinnitust, et kõik püstitatud ülesanded said edukalt lahendatud ning sellest tulenevalt on võimalik jätkata tootearenduse järgmiste etappidega.

Tulenevalt sellest, et arvuti koostamise etapis ei olnud veel autonoomsuse toimimiseks vajalikku spetsiifilist tarkvara valmis arendatud, ei õnnestunud testimise käigus saada täpset tagasisidet arvuti jõudlikkusest õiges töörežiimis. Kuna aga välja sai valitud suure jõudlusega riistvaralised lahendused ning arvutile sai erinevate koormustestidega rakendatud väga suurt koormust, millega arvuti ka edukalt hakkama sai, võib eeldada, et koostatud arvuti jõudlus on piisav autonoomses süsteemis kasutatava tarkvara töötlemiseks.

Kuigi vesijahutuse tarvis sai ventilaatorite vältimiseks välja valitud soovituslikult tunduvalt suurem radiaatori, näitasid sellega seotud katsetused, et kuigi suur radiaator on võimeline arvutile koormust rakendades süsteemi hoidma piisavalt jahedana, on ventilaatoritega lahendus siiski mainimisväärselt efektiivsem. Kuna aga jahutussüsteemile ei õnnestunud rakendada õige tarkvaraga koormust, ei oska hetkel saadud tulemustest järeldada, kas süsteemile siiski peaks ventilaatorid lisama või mitte. Lõplikult sobiva lahenduse väljaselgitamine nõuab edasisi katsetusi. Kindlasti tuleb arvestada aspektiga, et katse viidi läbi sisetingimustes ning merel liikuval alusel on radiaatorit ümbritseva õhu vahetus tunduvalt efektiivsem, eriti, kui kasutada autori poolt välja pakutavat korpuses asetsevat õhukanalit.

SUMMARY

The objective was to find suitable equipment for the development of autonomous modular navigation and control systems for a vessels, to assemble a working system from the selected equipment and to find solutions for the design of the casing for the equipment. The initial system tests conducted at the end of this work confirmed that all the set tasks were successfully solved and, therefore, it is possible to continue with the next stages of product development.

As the specific software necessary for autonomy was not yet developed during the computer assembly stage, precise feedback on the computer's performance in the correct operating mode could not be obtained during testing. However, since high-performance hardware were selected and the computer was subjected to various load tests with which it coped successfully, it can be assumed that the computer's performance is sufficient for processing the software used in the autonomous system.

Although a significantly larger radiator was selected for water cooling to avoid the use of fans, the associated tests showed that although a large radiator can keep the system cool enough when applying load to the computer, a solution with fans is still significantly more effective. However, since the cooling system could not be tested with the correct software load, it is not currently possible to conclude from the results whether or not fans should be added to the system. Finding a final suitable solution requires further testing. It is important to consider the aspect that the test was carried out under indoor conditions, and on a moving vessel in the sea, the exchange of air around the radiator is much more effective, especially if the air duct proposed by the author in the casing is used.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

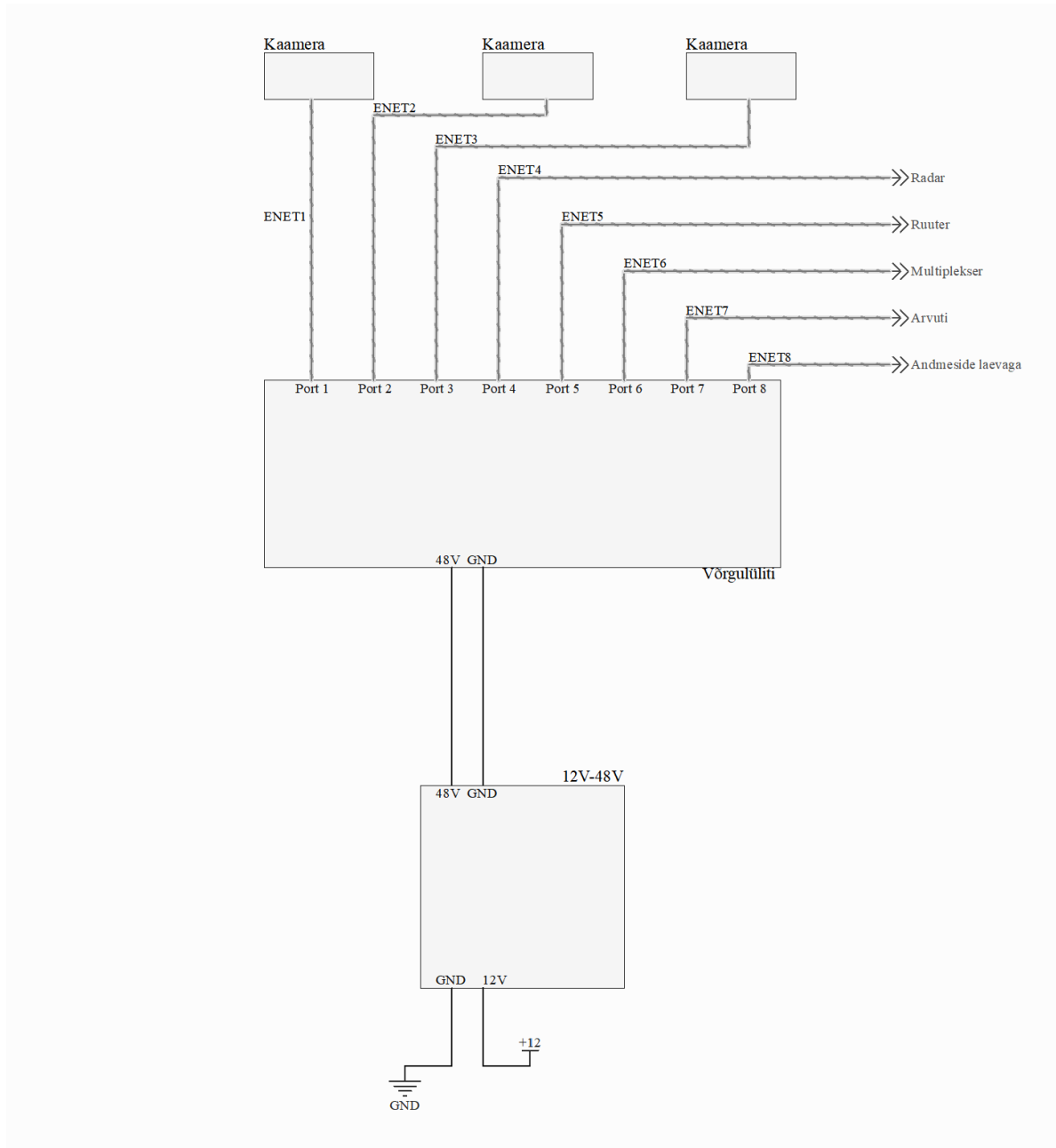
1. Lawrence Mak, Michael Sullivan, Andrew Kuczora, James Millan, Ship performance monitoring and analysis to improve fuel efficiency, 2014.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7003300>. Kasutatud 02.02.2023
2. Artificial Captain. <https://mindchip.ee/artificial-captain/>. Kasutatud 02.02.2023.
3. SM300. <https://sea-machines.com/sm300/>. Kasutatud 02.02.2023.
4. J. Akshay J, M. Sonia, Autonomous Ships Market, 2020.
<https://www.alliedmarketresearch.com/autonomous-ships-market>. Kasutatud 03.02.2023
5. How Many Cargo Ships Are There In The World?
<https://casualnavigation.com/how-many-cargo-ships-are-there-in-the-world/>.
Kasutatud 06.02.2023.
6. What is a router?
<https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/router>. Kasutatud 06.02.2023.
7. What is Network switch and how does it work?
<https://www.networkworld.com/article/3584876/what-is-a-network-switch-and-how-does-it-work.html>. Kasutatud 10.02.2023.
8. NMEA 0183 and ShipModul Multiplexers.
<https://navstore.com/nmea-0183-and-shipmodul-multiplexers.html>. Kasutatud 10.02.2023.
9. WiFi or PoE Camera System Which One to Choose?
<https://www.versitron.com/blog/wifi-or-poe-camera-system-which-one-to-choose-and-why>. Kasutatud 12.02.2023.
10. AIS. <https://www.merevarustus.ee/ais-nuud-joukohane-ka-vaikelaevnikule/>.
Kasutatud 12.02.2023.

11. What is IMU? <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/imu-principles-and-applications>. Kasutatud 12.02.2023.
12. Short-Range Marine Radar FAQ. <https://elva-1.com/blog/e-band-short-range-marine-radar-faq>. Kasutatud 12.02.2023.
13. Detecting objects in separate dimensions. <https://radar-blog.innosent.de/en/radar-resolution/>. Kasutatud 12.02.2023.
14. DRS Ethernet Radars.
https://www.furunousa.com/en/sdk/drs_ethernet_radars. Kasutatud 16.02.2023.
15. Ralf Bachmayer, Brad Deyoung, Weimin Huang, Jian Cui, Ocean Wave Measurement Using Short-Range K-Band Narrow Beam Continuous Wave Radar, 2018.
<https://doi.org/10.3390/rs10081242>.
16. Winarto, A., Agvaral, A., Joshua, C. ja teised, "RobotX 2022 Technical Design Paper," National University of Singapore, 2022.
https://bumblebee.sg/pdf/Bumblebee_RobotX_Paper_2022.pdf. Kasutatud 18.02.2023.
17. Jessica Gullbrand, Mark J. Luckerth, Mark E. Sprenger, Casey Winkel Liquid Cooling of Compute System, 2019.
<https://doi.org/10.1115/1.4042802>. Kasutatud 20.02.2023
18. Sukhvinder Kang, David Miller, John Cennamo, Closed Loop Liquid Cooling for High Performance Computer Systems, 2010.
<https://doi.org/10.1115/IPACK2007-33870>. Kasutatud 23.02.2023
19. What is clock speed?
<https://www.intel.com/content/www/us/en/gaming/resources/cpu-clock-speed.html>. Kasutatud 14.02.2023.

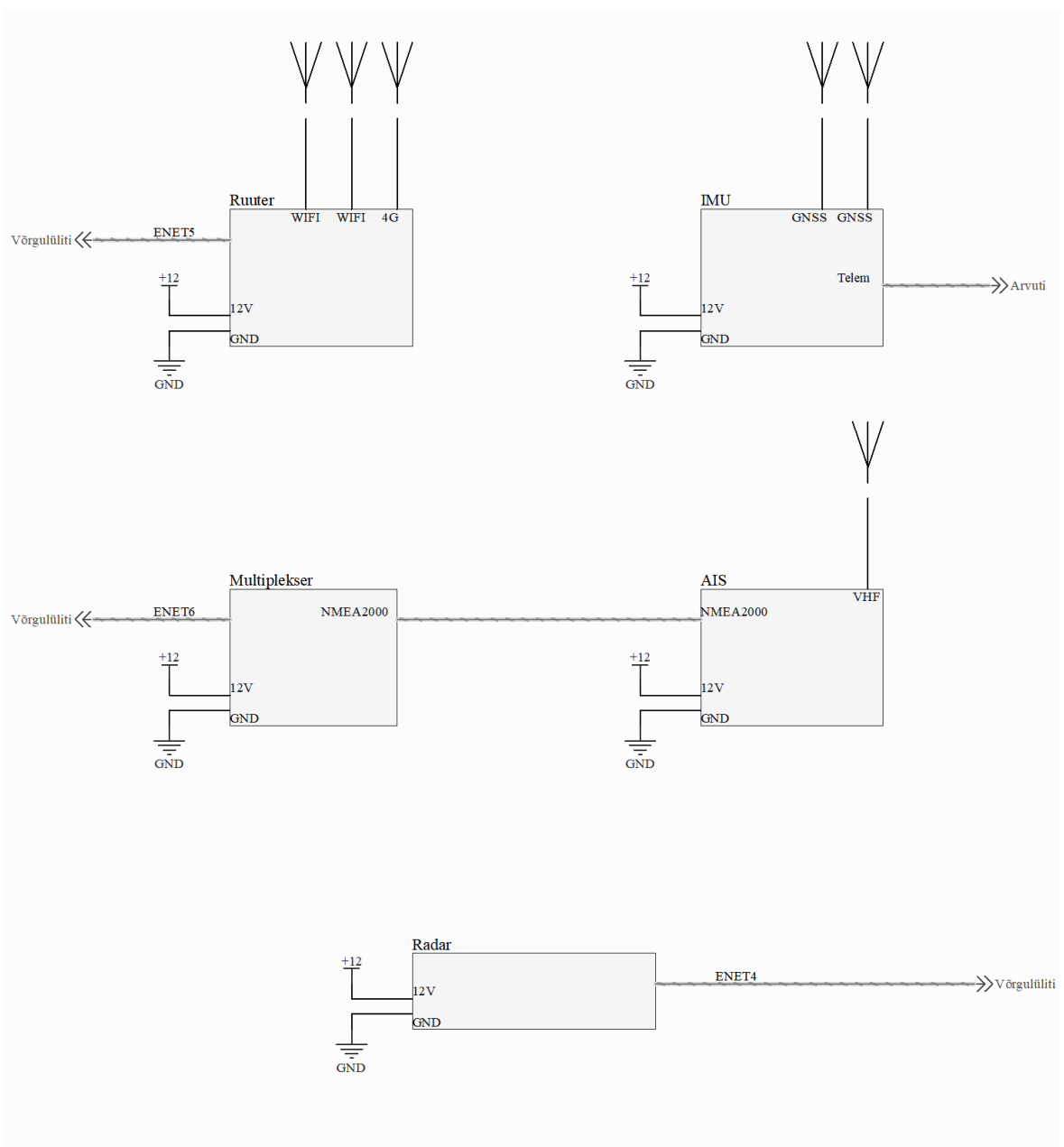
20. What is CPU cache?
<https://www.techtarget.com/searchstorage/definition/cache-memory>.
Kasutatud 14.02.2023.
21. What Is a CPU Core? <https://www.tomshardware.com/news/cpu-core-definition,37658.html>. Kasutatud 16.02.2023.
22. What Are Processor Threads? <https://www.techspot.com/article/2547-what-are-threads/>. Kasutatud 15.02.2023.
23. Md. Ashraful Islam, Md. Yeasin Arafath, Md. Jahid Hasan, Design of DDR4 SDRAM Controller, 2014.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7026950>. Kasutatud 26.02.2023
24. Anagha Kadveo, Trade Of Between SSD and HDD, 2016.
https://www.researchgate.net/publication/309159564_Trade_Of_Between_SS_D_and_HDD. Kasutatud 10.03.2023
25. Power Supply Calculator <https://outervision.com/power-supply-calculator>.
Kasutatud 12.03.2023.
26. How to choose the best PC power supply.
<https://www.pcworld.com/article/456490/how-to-pick-the-best-pc-power-supply.html>. Kasutatud 12.03.2023.
27. Akinwale, O. O., Adewale, A. S., Femi-Jemilohun, O. J, Right Selection of Inverter Systems and Harmonics Reduction, 2019.
<https://doi.org/10.31142/ijtsrd23550>. Kasutatud 14.03.2023
28. GPU overheating signs. <https://levvvel.com/gpu-overheating-signs-safe-temperature-range/>. Kasutatud 12.03.2023.
29. Optimal CPU & GPU Temperature. <https://www.techcenturion.com/optimal-temperature-of-cpu-and-gpu>. Kasutatud 12.03.2023.

LISAD

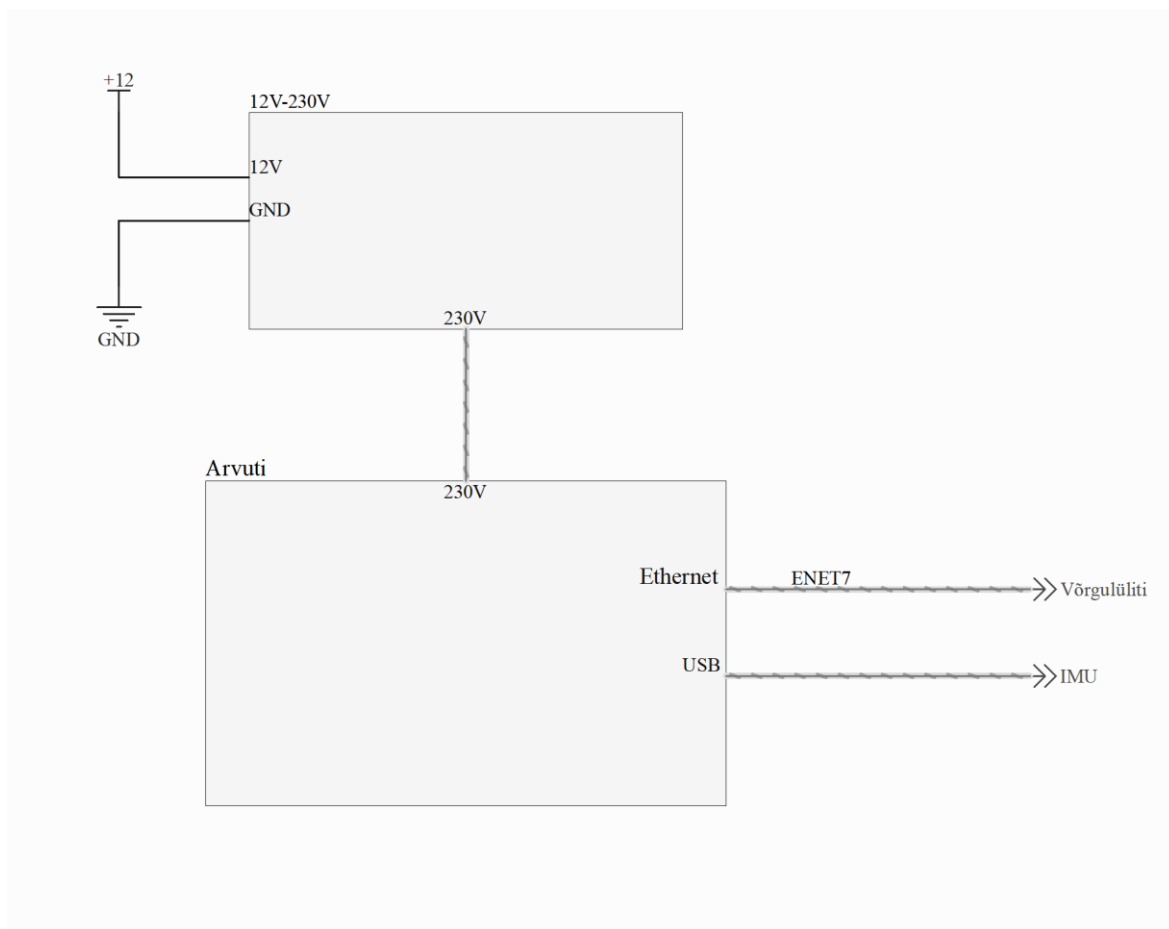
Lisa 1: 48V skeem



Lisa 2: 12V skeem



Lisa 3: 230V skeem



Lisa 4: Arvuti skeem

