

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond
Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut

Jüri Pino

Kaevu veetaseme mõõtmisseade

Bakalaureusetöö
IEE40LT

Juhendaja: Argo Kasemaa

Tallinn 2015

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus ning kinnitan, et esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud. Kinnitan, et antud töö koostamisel on kõikide teiste autorite seisukohtadele, probleemipüstitustele, kogutud arvametele jmt viidatud.

Kuupäev:

Autor: Jüri Pino

.....

/allkiri/

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:

Kaevu veetaseme mõõtmine elektrooniliste seadmetega.

Teema päritolu: Autori isiklikest vajadustest lähtuv

Lõputöö eesmärgid:

Koostada patareitoitel riistvara kaevu veetaseme mõõtmiseks ja saadud informatsiooni kuvamiseks kasutajale kasutades raadiosidet.

Oodatavad tulemused:

Luuakse riistvaraplatvorm kaevu veetaseme mõõtmiseks ja näidu lugemiseks kaugelt koos tarkvara algoritmide ja esmase implementatsiooniga.

Lahendatavad küsimused:

Väikseima voolutarbega küllalt täpne meetod kaevu veetaseme leidmiseks, andmete kuvamine vedelkristallekraanil, algoritmid numbrilise info sisestamiseks kümnendsüsteemis kolme nupu abil.

Kuupäev:

Üliõpilane:
/allkiri/

Juhendaja:
/allkiri/

Kinnitaja:
/allkiri/

Jüri Pino

Seade kaevu veetaseme mõõtmiseks

Bakalaureusetöö

Annotatsioon

Käesolev bakalaureusetöö käsitleb kaevu veetaseme mõõtmist elektrooniliste vahenditega 10 cm täpsusega, informatsiooni edastamist üle raadioside vastuvõtjale ning saadud informatsiooni kuvamist kasutajale. Saatja on koostatud modulaarsena, võimaldades valikut ultrahelisensori ja pingejaguril põhineva mõõteahela vahel. Esitatud on saatja ja vastuvõtja elektriskeemid, trükkplaatide joonised ja algoritmide graafikud.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 35 leheküljel, 11 peatükki, 28 joonist ja 2 tabelit.

Jüri Pino

Device for electrically measuring water level of well

Bachelor thesis

Abstract

This work describes the method and apparatus of measuring the water level in a well with 10 cm precision, transmitting the information to a receiver over a radio link whereupon it is displayed to the user in an aesthetically pleasing and easily-readable way. The measurement device is constructed modularly, allowing the use of either a ultrasonic distance sensor or a voltage-divider based sensor. The electrical schematics of both the measurement device and receiver are presented in the work, as well as PCB drawings and flowcharts.

The thesis is in Estonian and contains 35 pages of text, 11 chapters, 28 figures and 2 tables.

Lühendite ja mõistete sõnastik

PCB	<i>Printed Circuit Board</i> , trükkplaat
IR	<i>InfraRed</i> , infrapuna
LED	<i>Light Emitting Diode</i> , valgusdiod
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> , vedelkristallekraan
CMOS	<i>Complementary Metal Oxide Semiconductor</i> , komplementaarne metalloksiid pooljuht
RoHS	<i>Restriction of Hazardous Substances</i> , teatud ohtlike ainete kasutamise piiramine elektri- ja elektroonikaseadmetes
VCO	<i>Voltage-Controlled Oscillator</i> , pingega tüüritav ostsillaator
RF	<i>Radio Frequency</i> , raadiosagedus

Jooniste ja tabelite nimekiri

Joonis 2.1. Ultrahelimõõtmine [1].....	12
Joonis 2.2. IR mõõtmine peegeldusega.....	13
Joonis 2.3. Ujuk-vastukaal koos enkoodriga [20].....	14
Joonis 2.4. Magnetujuk [10].....	15
Joonis 2.5. Mahtvuslik mõõtmine sagedusväljundiga [12].....	15
Joonis 3.1. Kuiva (vasakul) ja märja (paremal) sensori skeem.....	18
Joonis 3.2. Sensori väljundpinge sõltuvus kaevu veetasemest.....	19
Joonis 3.3. Simulatsiooni skeem.....	19
Joonis 3.4. Simulatsiooni tulemus.....	20
Joonis 4.1. Illustreeriv joonis keti ühest lülist.....	22
Joonis 4.2. Illustreeriv joonis ketist ja raskusest.....	23
Joonis 5.1. Väljundkondensaatori ESR väärtuse sõltuvus koormusest [24].....	27
Joonis 6.1. Toiteregulaatori skeem.....	29
Joonis 6.2. LCD ekraani skeem.....	30
Joonis 6.3. Nupustik.....	31
Joonis 6.4. Vastuvõtja trükkplaadi alumine (a) ja ülemine (b) kiht.....	31
Joonis 7.1. Raadiovastuvõtja elektriskeem.....	32
Joonis 7.2. RF osaga vastuvõtja trükkplaadi alumine (a) ja ülemine (b) kiht.....	33
Joonis 8.1. Saatja trükkplaat, alumine (a) ja ülemine (b) kiht.....	34
Joonis 8.2. ADC mooduli skeem.....	35
Joonis 8.3: Analoog-digitaalmuunduri trükkplaadi alumine (a) ja ülemine (b) kiht.....	35
Joonis 9.1. Katkestusteta mõõtealgoritm ultrahelimõõtmisele ja märjale sensorile.....	37
Joonis 9.2. Katkestustega mõõtealgoritm kuivale sensorile.....	38
Joonis 9.3. Moodulivaliku algoritm.....	39
Joonis 9.4. OK-nupu oleku kontrollimine.....	40
Joonis 9.5. Muudetava numbri valik.....	41
Joonis 9.6. Numbri väärtuse valiku algoritm.....	42
Joonis 9.7. Vastuvõtja algoritm uue andmepaketi tulekul.....	43

Tabel 5.1: Väljavõte Eesti raadiosagedusplaanist.....	27
Tabel 9.1: Paketi formaat.....	36

Sisukord

1.Sissejuhatus.....	10
2.Mõõtemetodid.....	11
2.1 Ultrahelimõõtmine.....	11
2.2 Infrapunakiirgusmõõtmine.....	12
2.3 Ujuk-vastukaal.....	13
2.4 Rõhusensor.....	14
2.5 Juhtivusel põhinev mõõtmine.....	14
2.6 Magnetujuk.....	14
2.7 Mahtuvuslik meetod.....	15
2.8 Takistuskett.....	16
2.9 Üleslükkejõu mõõtmine.....	16
3.Skeemi valiku selgitus.....	17
3.1 Kontaktmõõtmismeetod.....	17
3.2 Kontaktivaba mõõtmine.....	20
4.Mehaanika.....	22
4.1 Märja sensori konstruktsioon.....	22
4.2 Kuiva sensori konstruktsioon.....	23
4.3 Saatja korpus.....	23
4.4 Vastuvõtja korpus.....	24
5.Skeemi osade kirjeldus.....	25
5.1 Mikrokontroller.....	25
5.2 Vooluregulaator TC1014-3.3.....	26
5.3 Raadiolink.....	27
6.Vastuvõtja välise RF mooduliga.....	29
6.1 Toide.....	29
6.2 Ekraan.....	29
6.3 Nupud.....	30
7.Vastuvõtja RF mooduliga plaadil.....	32
8.Saatja.....	34
8.1 Analoog-digitaalmuunduri plaat.....	34
9.Tarkvara.....	36
9.1 Saatja tarkvara algoritmid.....	37
9.2 Vastuvõtja tarkvara algoritmid.....	40
10.Kokkuvõte.....	44
11.Kasutatud kirjandus.....	45
Lisa 1.....	47
Lisa 2.....	48
Lisa 3.....	49
Lisa 4.....	50
Lisa 5.....	50

1. Sissejuhatus

Paljudes Eesti suvilates on joogi- ja tarbevee allikaks tavaline salvkaev. Suur hulk neist on varustatud mingit liiki pumbaga veevõtu lihtsustamiseks. See tähendab aga suurendatud veetarbimist kasutusmugavuse suurenemise tõttu – ämbriga veevedamise korral on veetasemest alati hea ülevaade, kuid kaugelt käitav pump abstraherib kasutaja eest kaevu veetaseme ja veetarbimise hulga. Kui kaev on kaugel või raskesti ligipääsetavas kohas, võib palavatel suvekuudel juhtuda olukord, kus hooletu pumbaga ümberkäimise tõttu lõppeb kaevust vesi otsa. Sellise olukorra vältimine on käesoleva bakalaureusetöö eesmärk, lihtsustades kaevu veetaseme jälgimist elektroonika- ja telekommunikatsioonivahendite abil. Selleks on välja töötatud kaevu fikseeritav seade veetaseme mõõtmiseks (edaspidi saatja) ja kaasaskantav vastuvõtja, et veetaset oleks mugav jälgida, viies läbi suurt veehulka nõudvaid tegevusi, nt kastmist. Sellest lähtub vastuvõtja patareitoide ja väikesed mõõdud koos veekindlusega. Saatja poolelt on eesmärk ka kaevus oleva anduri lihtne paigaldus ja töökindlus – kaevud ei ole väga standardiseeritud ehitusega, ning neis on väga ebamugav töötada.

Saatja on samuti patareitoitel, kuid välise toite võimalusega – kaev on oma olemuselt niiske ruum, mis seab kõrgendatud nõudmised seal paiknevale elektrisüsteemile. Lisaks on paljude kaevude elektrisüsteem ehitatud aastate eest, ainult lihtsate pumpade toiteks, ning selle modifitseerimine lisaseadme jaoks võib endaga kaasa tuua üllatava hulga mitmesuguseid probleeme ja ohtusid.

2. Mõõtemetodid

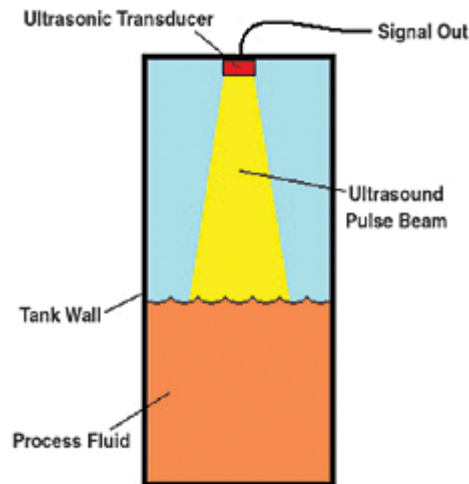
Seadme konstrueerimise esimeseks etapiks on sobiva mõõtemetodi valik. Lähtuvalt seadme eksploatatsioonitingimustest peaks mõõtemetod olema töökindel, lihtsasti paigaldatav ja vastupidav. Vedelikutaseme mõõtemetodid võib üldiselt jagada kaheks: kontaktmõõtmised ja kontaktivabad mõõtmised. Kontaktmõõtmiste korral on mõõtesensoril otsene kontakt mõõdetava vedelikuga. Kontaktivabade mõõtmiste korral on sensor eraldatud veest nii elektriliselt kui füüsiliselt. Sellise lähenemise eeliseks on sensori suurem vastupidavus – vesi on väga korrodeeriv keskkond, ning otsese voolukontakti korral toimub elektrolüüs, mis hakkab elektroode veel kiiremini hävitama.

2.1 Ultrahelimõõtmine

Ultrahelimõõtmisel mõõdab kaevu keskpunkti asetatud ultrahelisensor kaevu veetaset kajameetodil (Joonis 2.1) – mõõtes aega ultraheli eritamist kaja tagasipeegeldumiseni, saab teada veepinna kauguse andurist, ning teades kaevu sügavust ja anduri paigalduskõrgust, saab arvutada kaevu veetaseme. [26]

Samadel põhimõtetel töötavad ka laser- ja radarmõõtmine.

Meetod on iseenesest väga lihtne, ja sobiks vedelikutaseme mõõtmiseks enamikes olukordades. Probleemid tekivad seoses kaevu ehituslike ja kasutuslike eripäradega. Kaev on enamasti kitsas ning sügav. Ultraheliandurid kiirgavad aga üpris laia nurga all (8 kuni 30 kraadi keskristirgest), mis kaevus võib hakata tekitama valekajasid kaevu seintelt (1 m läbimõõduga kaevu 8 kraadise nurgaga keskele paigaldatud anduri korral levib laine enne seinaga põrkamist 3,56 meetrit). Kui sensor paigaldada keskpunktist eemale, liiguvad seinapõrkekohad ülespoole. Lisaprobleeme tekitavad ka ebahõltsed seintega kividest laotud kaevud, kus sein ebatasasuselt võib samuti tekkida valepeegeldus. Kui kaevus on ka midagi muud peale anduri, näiteks veetoru või pumbakinnitus, võib ka sealt tekkida peegeldus. Niiskusele vastupidavad ultraheliandurid on tavalistest ka märgatavalt kallimad. Sensori hinda tõstab ka kaevu sügavus – keskmise salvkaevu sügavus on 5 – 10 meetrit. [15] Tavaline ultraheliandur HC-SR04, mida kasutatakse ohtralt robotikas ja mujal aga mõõdab kuni 4 meetri kaugusele. [27]



Joonis 2.1. Ultrahelimõõtmine [1]

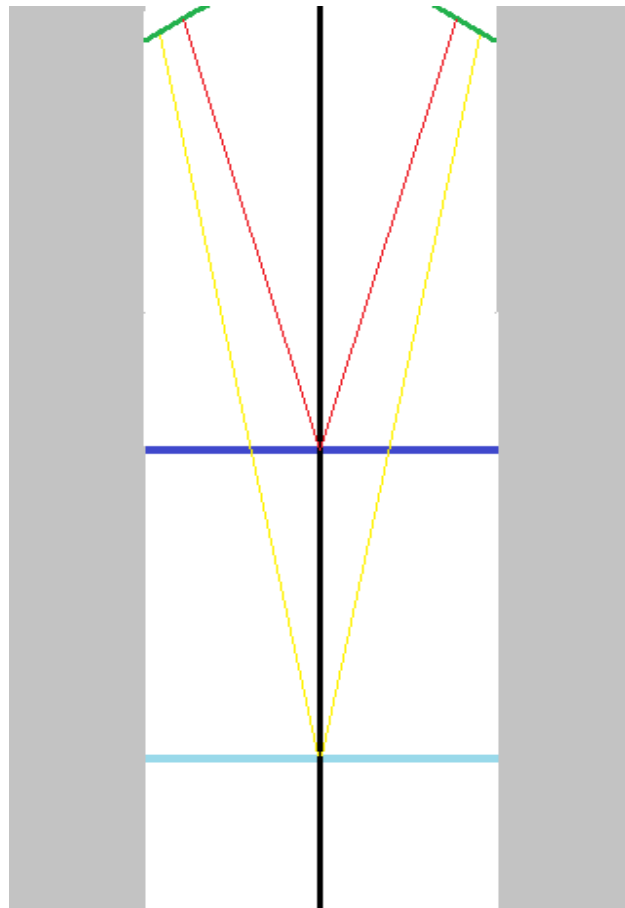
2.2 Infrapunakiirgusmõõtmine

Infrapunakiirgusega mõõtmiseks kasutatakse veepinnaga risti olevat IR-valgusdiodi ja samale lainepikkusele tundlikku fototransistori või -diodi. Sarnaselt ultraheliandurile mõõdetakse aega veepinnalt või ujukilt tagasipeegeldumiseni. IR anduri miinuseks on väga suur opereerimiskiirus – valgus liigub kiirusega $3 \cdot 10^8$ m/s, mis teeb aja peegelduse kohalejõudmiseni väga lühikeseks ning raskendab selle mõõtmist tunduvalt. IR kiirgus võib ebatasase veepinna puhul ka tagasipeegeldumise asemel lihtsalt neelduda või peegelduda tagasi kaevu põhjast. [19]

Teine lahendus oleks kasutada kahte plaati, millest ühel on rida IR-valgusdiodide ja teisel IR-sensoreid. [9]

LED-id kiirgavad järjest, veepinnalt peegelduv kiirgus langeb vastuvõtjatele, selle järgi saab määrata võrdkülgse kolmnurga küljed ja lihtsa matemaatika abil ka veetaseme. (Joonis 2.2)

Miinusteks võib lugeda sarnaselt esimesele neeldumise või põhjapeegelduse võimalikkuse, lisaks paigaldusraskused – plaadid tuleks paigaldada sama nurga alla. Suurema täpsuse huvides peab rohkem LED-e ja vastuvõtjaid kasutama, mis kasvatab seadme suurust ja voolutarvet. LED-ide arvu suurendamise asemel võib pikemad LED-ide ja vastuvõtjate read asendada üksikute muudetava nurgaga elementidega, mis kasvatab jälle voolutarvet ja mehaanilist keerukust.



Joonis 2.2. IR mõõtmine peegeldusega

2.3 Ujuk-vastukaal

Kaevus on ujuk, mis on ühendatud trossiga vastukaalu külge. Tross liigub plokil, mille võll on ühendatud enkoodri või muu positsioonisensoriga (Joonis 2.3). Veetaseme saab teada, jälgides positsioonisensorit või lugedes enkoodri pulsse. [22] Plussideks on lihtne paigaldus ja sensori väljundi transleerimine veetasemeks. Miinusteks on vette ujuki ja vastukaalu asetamine (vastukaal langeb vette ainult kõrgetel veetasemetel). Selle idee modifikatsioon oleks asendada vastukaal tagasisidega mootoriga, ning ujuki külge ühendada kaks elektroodi, mille kaudu saaks teada kas ujuk on vees või kuival. Sellise meetodi ja lisaraskusega saaks mõõta ka tundmatu kaevu sügavust, lastes raskusega ujuki põhja ja kerides tagasisidestatud mootoriga seda ülespoole, kuni ujuk on veest väljas. Edaspidine mõõtmine seisneks olenevalt ujuki olekust tema üles või alla kerimises (üles kui ujuk on vees, alla kui kuival) kuni ujuki olek muutub. Voolu säästmise eesmärgil võib seda teha perioodiliselt.

Selle meetodi miinusteks on mehaaniline keerukus – mootor peab vastu pidama niiskusele, tross tuleb asendada või täiendada kahesoonealise kaabliga, mida tuleb täpselt rullile kerida. Paigaldamine on seevastu ülimalt lihtne – mootor võib olla praktiliselt ükskõik millises kohas, eeldusel, et mootor asendis kerida jõuab ja trossi jätkub.



Joonis 2.3. Ujuk-vastukaal koos enkoodriga [20]

2.4 Rõhusensor

Asetades kaevu põhja rõhusensori, võib mõõta talle avaldatava rõhu, selle järgi arvutada veesamba kõrguse sensori peal ja saada kaevu veetaseme. Valemid on esitatud allpool. Meetodi miinuseks on vajadus saada kaevu põhja veekindla ümbrisega sensor koos toitega ja andmeedastusvahenditega ning kindlustada sensori vastupidavus ja orientatsioon suunaga üles. [11]

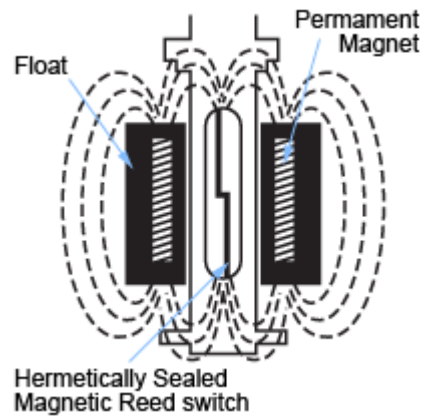
2.5 Juhtivusel põhinev mõõtmine

Klassikaline meetod, ilmselt esimene vastus otsides veetaseme mõõtjaid. Vette paigaldatakse ühine elektrod põhja ligidale või läbi anuma ja teatud vahemike järel tasemeelektroodid. Need ühendatakse komparaatoritega, mille väljunditesse on ühendatud valgusdiodid või kõlar. [30]Lihtne ja töötav lahendus väiksemate veetasemete korral, kuid 10 meetrise kaevu korral mõõtetäpsusega 10 cm kuluks 100 komparaatorit. Üks selle skeemi modifikatsioon kasutab komparaatorite asemel prioriteetkoodrit [18], teine CMOS invertereid [4]

2.6 Magnetujuk

Toru sisse on paigutatud hulk herkonlülitid, ja ujukis olev magnet tekitab kontakti veepinnal oleva või sellele lähima lülitiga. [16] Edaspidi võib kasutada prioriteetkoodreid või muid lahendusi leidmaks milline lüliti alla vajutati. Meetod on väga töökindel – samasugused lülitid on kasutusel näiteks jalgrataste spidomeetrites, kus lülituste arv ulatub kümneisse tuhandetesse. (umbes 481

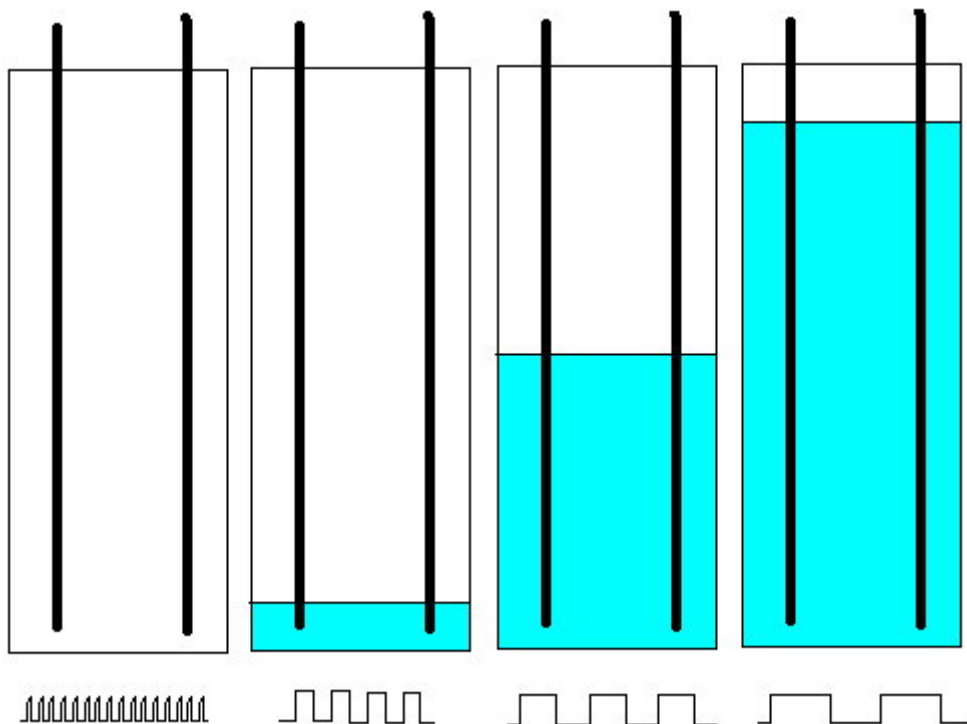
lülitust kilomeetrile 26 tollise ratta puhul) Miinuseks on lülitite hind – mida väiksem lüliti, seda rohkem ta maksab. [10]



Joonis 2.4. Magnetujuk [10]

2.7 Mahtvuslik meetod

Vette on lastud kaks üksteisest ja veest isoleeritud juhtivast materjalist plaati. Veetaseme kõigudes muutub mahtvus plaatide vahel, mida saab mõõta otse RC-ahela ajakonstandi järgi, või kasutades seda mahtuvust multivibraatori juhtimiseks ja mõõtes sagedust. (Joonis 2.5) [12]



Joonis 2.5. Mahtvuslik mõõtmine sagedusväljundiga [12]

2.8 Takistuskett

Vette on paigutatud teatud vahede järele paigutatud takistite kett, millele ülevalt antakse pinget. Keti alumine, vees olev osa on elektriliselt maandatud. See on ujukita versioon potentsiomeeterlahendusest. [31] Ülevalt teise takisti pealt saab mõõta pinget, mis näitab veetaset. Lahenduse positiivseks küljeks on elektroonilise ja mehhaanilise osa lihtsus, miinuseks on voolu läbikäik veest – takistite kontaktelektroodid hakkavad elektrolüüsi käigus hävinema.

2.9 Üleslükkejõu mõõtmine

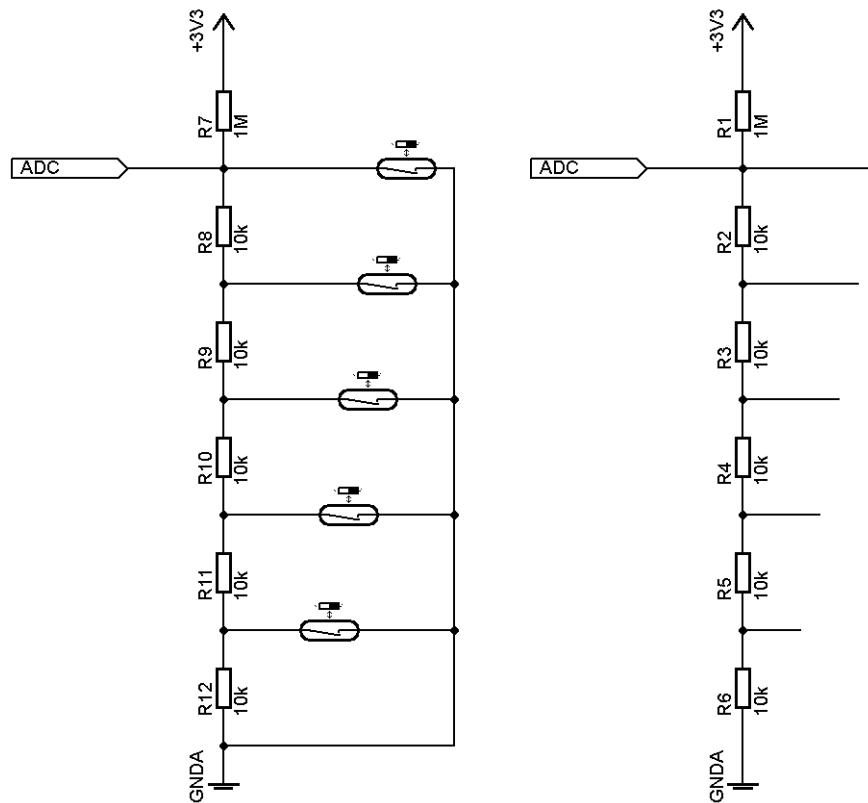
Vette ripub tahke paindumatu varras, mis on riputatud pingesensori külge. Kui veetase tõuseb, suureneb vardale mõjuv üleslükkejõud, mis vähendab pinget sensoril. Selle järgi saab arvutada veetaseme. [1] Meetod on lihtne ja töökindel, sest vees olev varras võib olla klaasplastist või muust mittekorrodeeruvast materjalist, ning peab seetõttu hästi vastu. Probleemid tekivad paigaldamisel – ühest tükist koosnev varras on ebapraktiline ning riputuskonstruktsioon peab taluma varda raskust, hoides seda samal ajal eemal kaevu seintest.

3. Skeemi valiku selgitus

Mõõteülesande lahendamiseks valiti digitaalne skeem mikrokontrolleriga – kuigi ülesannet on võimalik lahendada ka olekumasinaga, lihtsustab mikrokontrolleri kasutamine ülesannet – FPGA-d ja muud programmeeritavad loogikaseadmed nõuaksid liiga palju plaadiruumi ning arendusaega, diskreetsetest lahendustest rääkimata. Analooglahendusena kaaluti 27 MHz CW raadiosaatjat, mida lülitaks sisse-välja VCO. [23] Vastuvõtjaks oleks sellel juhul kasutatud samal sagedusel töötavat vastuvõtjat, mis oleks ühendatud sagedusloenduri ja digitaallülitusega sageduse veetaseme näiduks tõlkimiseks ekraanile. See lähenemine ei töötanud väga hästi – takistiketi mittelineaarse väljundi lineaarseks teisendamise ei oleks olnud suur probleem. Põhiliseks takistuseks sai kõigi katsetatud VCO-de madal stabiilsus simulatsioonis kombineerituna suure voolutarbega pidevalt sisselülitatud ostsillaatorite ja raadiomooduli tõttu. See oleks samuti nõudnud ajamõõtmislahendust voolu säästmise nimel, mida on lihtsaim teha mikrokontrolleriga. Mikrokontrolleri lisamisel võib sellele anda ka teisi ülesandeid, ja seega polnud mõistlik enam seda arenduskäiku jätkata.

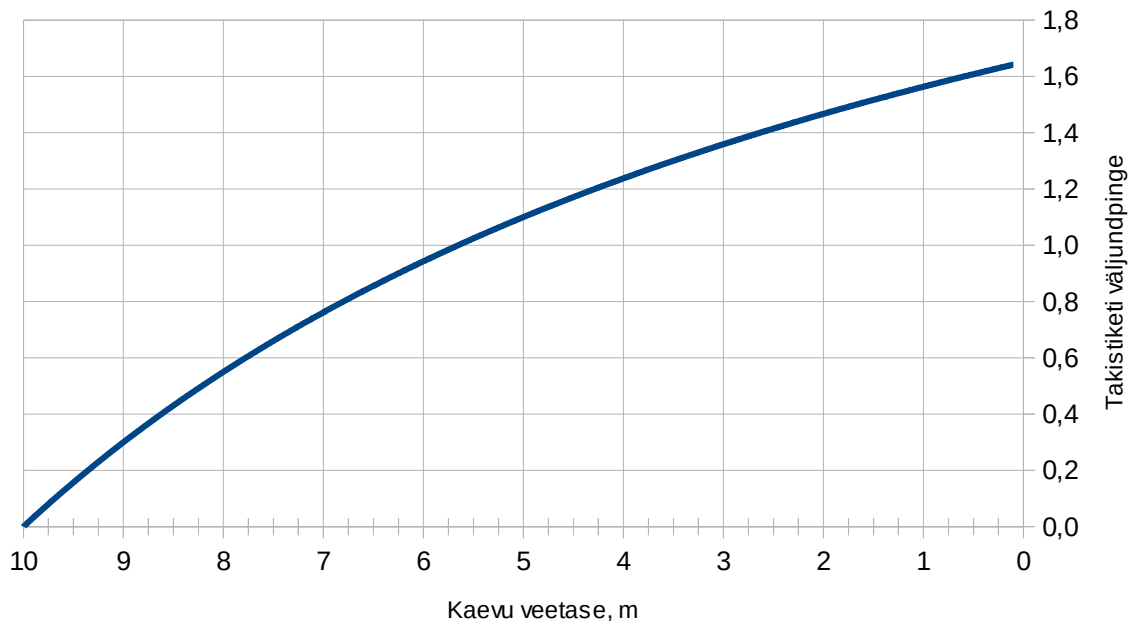
3.1 Kontaktmõõtmismeetod

Peale erinevate mõõtmisvõimaluste kaalumist, valiti kontaktiga mõõtelahenduseks takistikett ja tema modifikatsioon. Modifikatsioon seisneb takistijärgse veega kontakti moodustava elektroodi asendamises herkonlülitiga. (Joonis 3.1) Pingelang herkonlülitil on kaduvväike, nii et sellega ei pea arvestama. Lülititega variandi eeliseks on elektrilise osa eraldatus veest, mis väldib probleeme korrosiooniga. Edaspidi nimetatakse veega kontakti moodustavat elektrodidega varianti märjaks sensoriks ja herkonlülititega varianti kuivaks sensoriks. Mõlemad on sarnase ehitusega – iga 10 cm järel on juhtme külge joodetud 10kΩ takisti, mille teisest otsast algab uus 10 cm-ne juhtmelõik järgmise takistini. Märjal sensoril on takisti külge joodetud ka elektrood, et vältida takisti väikese kontaktpinna liiga kiiret korrodeerumist, ning anda võimalus sensori parandamiseks – pikemalt püsivate veetasemete korral korrodeerub lähim vees olev elektrood rohkem kui teised.



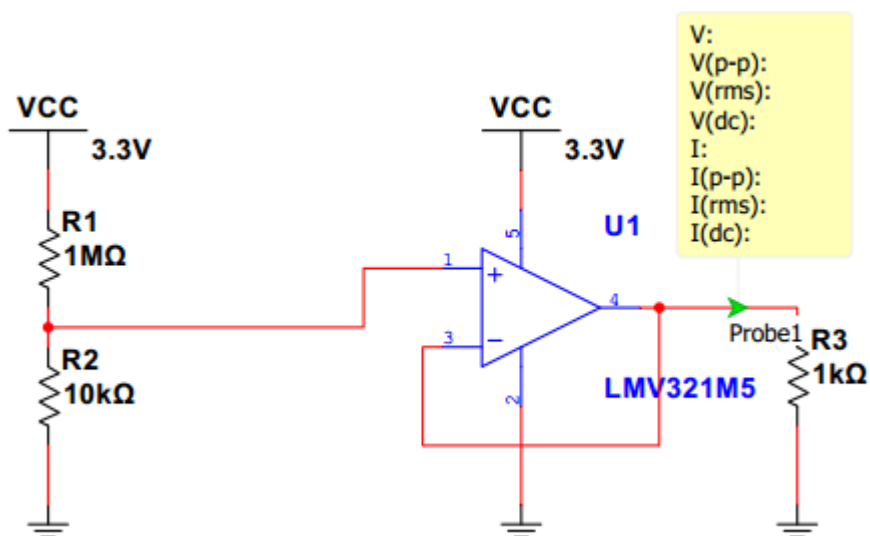
Joonis 3.1. Kuiva (vasakul) ja märja (paremal) sensori skeem

Takistiketi väljundpinge arvutamiseks erinevate veetasemete korral kirjutati lühike C programm, mis väljastas erinevate lülide arvu korral tekkiva pingejaguri väljundpinge. Selle programmi väljund teisendati sõltuvuseks veetasemest ning imporditi Exceli tabelisse, mille järgi koostati graafik (Joonis 3.2). Jooniselt on selguse huvides ära jäetud olukord, kus kogu takistikett on veest väljas. Sel juhul jääb väljundpingeks toitepinge 3,3 V, mis küllastab ADC sisendi.

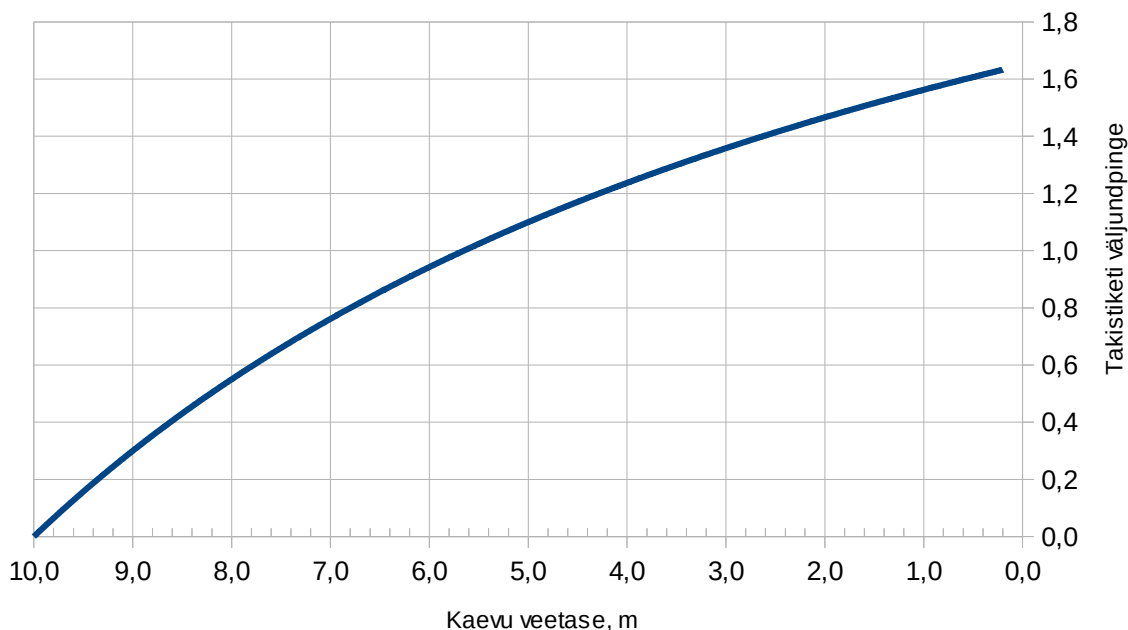


Joonis 3.2. Sensori väljundpinge sõltuvus kaevu veetasemest

Takistiketi väljundpinge koos operatsioonvõimendist puhvriga simuleeriti läbi tarkvaraga Multisim 13.0. Simulatsioon viidi läbi, varieerides $10\text{k}\Omega$ sammudega R2 väärtust (Joonis 3.3). Operatsioonivõimendi on puhvriks ja stabiilsuskontrolliks – ostsilleerimist mingi takistusväärtuse korral oleks näha olnud. R3 on koormustakisti, valitud umbkaudselt halvimate analoog-digitaalmuundurite sisendtakistuse järgi. Simulatsioonitulemused (Joonis 3.4) kinnitavad arvutuslike tulemuste õigsust. Väikesed erinevused tulemustes on seotud arvutusmeetodiga – arvutuslike väljundpingete saamiseks koostati lühikene C programm, kus tekkis viga andmetüübi float kasutamise tõttu.



Joonis 3.3. Simulatsiooni skeem



Joonis 3.4. Simulatsiooni tulemus

3.2 Kontaktivaba mõõtmine

Kontaktivabaks mõõtemetodiks valiti ultrahelimõõtmine oma madala hinna ja implementeerimislihtsuse tõttu – muude sarnastel põhimõtetel töötavate sensorite (infrapuna ja raadiolaine) kiirgavate lainete levimiskiirus õhus on väga suur, mis nõuaks kauguse mõõtmiseks suurema täpsusega ajamõõtmisahelaid. Sellepärast, et ultrahelimumoduli kasutamine on praegu eksperimentaalne lahendus, ei ole välja arendatud erilist ultrahelisensorit, vaid kasutatakse laialtlevinud ultrahelisensorit HC-SR04, mille korpust on modifitseeritud.

Heli levib 20 kraadi juures õhus kiirusega 343 m/s, mis on küllalt aeglane, et mõõta kaugust väiksema täpsusega loenduritega.

Fresneli, ehk lähitsoonis, ei ole vaja arvestada helilainete levimisega laiuses – väikestel kaugustel on lainekuju peaaegu sama kujuga kui heliallikas. Fraunhoferi ehk kaugtsoonis tuleb arvestada lainete levimisega ristsuunas. Käesolevas rakenduses toimub enamik mõõtmisi kaugtsoonis, mistõttu on vaja helilaineid suunata.

Helilainete intensiivsus õhus väheneb kaugusega allikast ja kaugusega allika keskristirgest. Vähenemine koos kaugusega on seletatav õhu sumbuusega. (1.318 dB/m 20C juures, 50% õhuniiskust) Sumbuvust mõjutab ka õhuniiskus – õhuniiskuse kasvades sumbuvus suureneb. Intensiivsus väheneb koos kaugusega keskristirgest lainekuju tõttu – laine front läheb koos kaugusega laiemaks, vähendades pindalaühikule langevat energiat.

Tavaline ultraheliandur on kettakujuline piesokristall resonantssagedusega 20 ja 200 kHz vahel. Kristalli resoneerima ajamiseks tuleb tema peale anda resonantssagedusega vahelduvpinget.

Vahelduvpinge kuju ei ole seejuures eriti tähtis – ruutlaine kasutamisel tekib lihtsalt rohkem kiiratavaid ülemtoone. [28] Vastuvõtjana kasutatakse teist andurit, mis töötab vastupidisel põhimõttel – helilaine paneb kristalli võnkuma, mis teisendatakse mikrokontrolleri ja operatsioonvõimendite abil digitaalsignaalsiks.

Külgsuunas levivad lained võivad peegelduda külgedelt tagasi ning jõuda kohale enne otsesuunas levivat lainet, põhjustades vale tulemise. Selle vältimiseks on mitu meetodit. Füüsilistest meetoditest võib kasutada külgsuunas levivate lainete summutamist, ümbritsedes anduri ebatasase sisepinnaga toruga, külglainete suunamist ristlaineteks, ühendades anduri lainejuhiga, kasutades suuremat andurit, mille korral lähitsoon pikeneb, või kasutades mitut andurit.

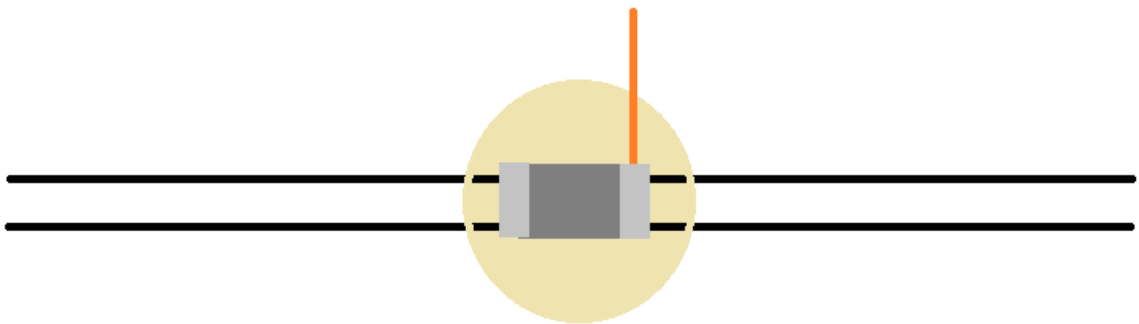
Tarkvaralistes lahendustes võib kasutada signaalitöötlusmeetodeid – ignoreerides liiga kiireid peegeldusi, saab kätte veetaseme, mitte kaevuseinte asukohad. Lihtsam lahendus on mõõta peegelduse tugevust – kuna enamik helirõhust on suunatud ettepoole, on tugevaim peegeldus see, mis on peegeldunud veepinnalt, mitte mujalt. Tarkvaralisi lahendusi käesolevas süsteemis ei kasutata – esimene nõuaks arvestatavalt suuremat signaalitöötlust, ning seetõttu ka suurema jõudlusega mikrokontrollerit. Teine lahendus nõuaks teistsuguse konstruktsiooniga ultraheliandurit, mis laiendaks projekti ulatust liialt.

4. Mehaanika

Katmata ja kaitsetud trükkplaadid sobivad lahenduste testimiseks laborilaual, kuid reaalse seade vajab kaitset. Veekindlate korpuste ehitamine ja disain on teema omaette, mistõttu kasutab lahendus kaubandusvõrgust saadaolevaid komponente.

4.1 Märja sensori konstruktsioon

Märja sensori ehitamiseks soovitaks kasutada PTFE-isolatsiooniga juhet samal põhjusel miks sellest materjalist teipi kasutatakse torustiku keermete tihendamiseks - suur keemiline inaktiivsus ja vastupidavus. Jooted on vajalik tervislikest põhjustest lähtuvalt teha pliivaba joodisega. Eelistatav oleks hõbedal baseeruv joodis, mida samuti kasutatakse veevarustuses. Takistid tuleks ohutuse mõttes isoleerida veega kokkupuutest – hoolimata RoHS direktiividest, võib elektroonikakomponendis siiski kasutada väikeseid koguseid raskemetalle, mille joogivette sattumist tasuks vältida. Seda on lihtne teha kasutades silikooni, kui võimalik, siis plaatinal baseeruvat. Tavalisest silikoonist eraldub isegi kuivana pikka aega äädikhapet, mis on tervisele ohutu, kuid võib lühendada elektroodide eluiga. Juhtmekiud ei tohiks samuti veega kokku puutuda - kiudude endi ja kiudude ning isolatsiooni vahel võib tekkida kapillaarsus, mis võib põhjustada vale lugemi.



Joonis 4.1. Illustreeriv joonis keti ühest lülist

Joonisel on silikoon kujutatud kollakalt, juhtmeisolatsioon musta piirjoonega, takisti tumehallilt, elektrood oranžilt ja jooted helehallilt.

Teise vees oleva elektroodina võib kasutada tavalist terastrossi – tross ja takistikett on omavahel ühendatud iga meetri tagant puksidega, mis hoiavad neid lahus fikseeritud kaugustel, andes mõõteahelale redelisarnase kuju. See kõrvaldab ka suure osa vee takistuslikust mõjust – fikseeritud kauguse puhul on takistus alati enam-vähem sama, olenedes siiski vees lahustunud sooladest ja muudest laengukandjatest. Sellel on samuti positiivne efekt mehaanilisest küljest – trossi külge

saab kinnitada raskuse, mis hoiab mõõteketti paigal, koormamata juhtmeid ja jootekohti. (Joonis 4.2)



Joonis 4.2. Illustreeriv joonis ketist ja raskusest

4.2 Kuiva sensori konstruktsioon

Pea kõike eelmainitud võib ignoreerida kuiva sensori puhul, eeldusel et sensorikorpuse on valmistatud võimalikult vettpidavalt Väljapakutud korpuse disain on kujutatud joonisel {number}. Korpuse on ehitatav ehituspoest saadaolevatest materjalidest, mis on loodud pikemaajaliseks kokkupuuteks joogiveega ja on modulaarne toetamaks vähem sügavamaid kaevu. Tasub tähele panna, et suletud ja õhuga täidetud toru on hea ujuvusega, mistõttu tuleks toru põhja lisada kas raskus, kinnitada alumise otsa külge ankur või kinnitada toru nurkrauga kaevuseina külge. Lihtsaim lahendus oleks toru liivaga täitmine, kuid toru purunemise korral satub kaevu märgatavalt palju liiva, mis on ilmselgelt ebasoovitav.

4.3 Saatja korpuse

Saatjakorpuse peab olema veekindel sobib suurepärast tavaline veekindel harukarp. IP65 kaitseklass ja kinnitusaugud karbi seinale fikseerimiseks säästab aega mehaanilise disaini pealt. Saatja trükkplaat on kinnitatud karbi põhja külge 3 mm puksidega. Puksid on kinnitatud karbi põhja külge 3 mm kruvidega.

4.4 Vastuvõtja korpus

Vastuvõtja korpus annab palju vabamad käed. Selleks on soovitatav kasutada tavalist projektikarpi, kuhu plaat ja patarei sisse mahuvad. Plaadi saab korpuse külge kinnitada samamoodi kui saatjal – plaadi suurus ei vasta levinud projektikarpide mõõtmetele. LCD ekraani jaoks on vaja karbi sisse lõigata auk, mis tuleb ekraani õrnade klaasosade kaitseks katta veel pleksiklaasi või muu läbipaistva vastupidava materjaliga.

5. Skeemi osade kirjeldus

5.1 Mikrokontroller

Mikrokontroller valiti järgmiste kriteeriumide järgi, tähtsuse järjekorras:

- 3,3 V toitepinge
- analoog-digitaalmuunduri olemasolu
- väike voolutarve
- vähene pindalatarve (vähene üleliigseid sisendeid-väljundeid)
- sisemise ostsillaatori olemasolu
- madal hind

Esialgselt oli plaanitud kasutada mikrokontrollerit PIC16F527, kuid see osutus kõlbmatuks toitepingega fikseeritud ADC referentspinge tõttu. [21] Sensori väljundpinge jääb küll toitepingest allapoole, kuid 8-bitise ADC samm jäi sellise referentspinge korral liiga väikeseks, et sooritada mõõtmisi üle meetrises kaevus. Lisaks oleks väliste komponentide kaitsmine PIC-i programmeerimiseks kasutatava 12V pinge vastu oleks samuti nõudnud lisakomponente. Eeltoodud tingimuste alusel valiti mikrokontrolleriks ATtiny841. 841 valiti 441 asemel, sest tal on 8 kB programmimälu, mis on prototüüpimiseks kasulik.

Mikrokontroller ATtiny841 on 8-bitine mikrokontroller paljude integreeritud komponentidega. Käesolevas rakenduses on huvipakkuvad USART, ADC, integreeritud RC ostsillaator ja katkestused.

USART ei ole väga vajalik – saaks kasutada ka ilma selleta mikrokontrollerit, realiseerides järjestikliidese tarkvaras. See aga nõuaks ohtralt protsessoriaega ning raskendaks koodikirjutamist. USART laseb järjestikliidese lükata riistvara õlule, vabastades protsessoriaega muudeks tegevusteks, või lubades mikrokontrolleri lülitada unerežiimi voolu säästmise eesmärgil. See annab ka muid eeliseid – järjestikliidese levinud standarditele vastavaks tegemine on lihtsustatud, muutudes protsessoriaja kasutamisega seotud ajastamisprobleemist paari registriväärtuse arvutamiseks. Lisaväärtusena saab vastuvõtja soovi korral asendada suvalise muu seadmega, eeldusel et seade on varustatud järjestikliidese ja seda on võimalik programmeerida aru saama andmevahetusprotokollist.

Katkestused on vajalikud kuiva sensoriga mõõtmiseks – kui märja sensori puhul saab ADC mõõtmisi kontrollida vajaduse korral, sest veega kontakti olemasolul annab veepinnale lähim kuival olev takisti pingejaguri väljundpingele väärtuse. Kuiva sensori puhul ei ole võimalik

veetaseme väljundsignaali pidev olemasolu – kui ujuk on näiteks kahe takisti vahelise juhtmelõigu keskel, puudub pingejaguri väljundsignaal ning ADC sisendisse ilmub toitepinge. Selle probleemi saab lihtsalt lahendada katkestuste abil – komparaator võrdleb operatsioonvõimendi väljundit referentspingega. Kui takistiketi väljund langeb alla referentsi, muutub komparaatori väljund. Mikrokontroller reageerib katkestusele ja alustab mõõtmisprotsessi.

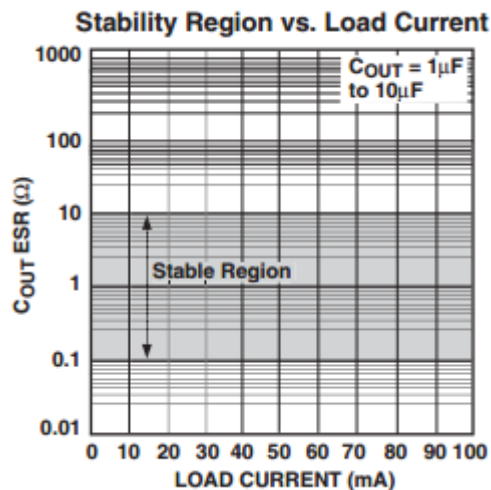
10-bitine analoog-digitaalmuundur on vajalik näidu saamiseks. Kasutusel on sisemine referentspinge 2.2V [2], mis teeb diskreetimissammuks 2,15 mV, mis ületab takistitevahelise pinge sammu miinimumi pea neljakordselt, jättes küllaldaselt laiad tolerantsipiirid variatsioonideks komponentide väärtustes, juhtmetakistuses, temperatuuris ja muudes tegurites.

Integreeritud 8 MHz RC ostsillaator võimaldab kasutada väiksemat mikrokontrollerit, kasutades kõik saadaolevad väljundid skeemis, jätmata paari ostsillaatori jaoks. Lisaks ei pea plaadile mahutama kristalli ja kondensaatoreid. 1% täpsus on selliseks rakenduseks küllalt hea.

5.2 Vooluregulaator TC1014-3.3

Vooluregulaator valiti suure efektiivsuse ja vähese pindala järgi. DC-DC impulssregulaatorid jäeti kõrvale sobimatuse tõttu – väikeste voolude korral tuleb suurendada induktori väärtust, mis kasvatab vooluregulaatorile kuluvat pindala. Impulssregulaatori väljundpinge suurem ebastabiilsus, mis oleks võinud mõjutada mõõtetulemust, ja madal efektiivsus väikeste koormuste puhul ei lubanud kasutada seda saatjamoodulis.

Vooluregulaator valiti selliselt, et tema omadused ei ületaks liigselt kasutusolukorda. Regulaatori maksimaalne sisendpinge on 6,5 volti, mis ületab kasutatava 3 AA patarei väljundpinget terve voldiga. Väljundpinge langeb aga alla 3,3 voldi alles sisendpinge 3,25 V juures. Regulaatoril on ka väljalülitusvõimalus, mida siin rakenduses ei kasutata. Väljundkondensaatori ESR peab stabiilseks operatsiooniks jääma alla 10 Ω -i. (Joonis 5.1) Valitud kondensaatoritel on see 3 Ω , garanteerides stabiilse töö. [25] 470nF lisakondensaator silub väljundpinget veelgi, parandades sisemise referentspinge täpsust, andes kõrgesageduslikule mürale väiksema takistusega tee maani. [24]



Joonis 5.1. Väljundkondensaatori ESR väärtuse sõltuvus koormusest [24]

5.3 Raadiolink

Raadiolink on ühesuunaline – kaevus olevale plaadile ei ole antud võimet midagi juhtida, mistõttu võib säästa voolu ja plaadipindala, andes talle vaid saatmisvõimaluse. Raadiolink toimub sagedusel 433,92 MHz, mis on kirjutamise hetkel Eestis eraldatud mittespetsiifilistele lähitoimeseadmetele.[7] Kaalumisel oli ka 27 MHz sagedusala, mis on samuti ette nähtud lubadeta kasutamiseks, kuid selle antennide integreerimine seadmesse oleks osutunud suuremate mõõtmete tõttu ebmõistlikuks. Seade võib kiirata 100% suhtelise lülituskestuse juures 1mW võimsusega. Kuna mõõtmisi ei tehta pidevalt, vaid perioodiliselt ning andmete saatmine ei toimu pidevalt, saab kasutada suuremat saatmisvõimsust, kuni 10 mW, kui on tagatud et suhteline lülituskestus jääb alla 10%. [8]

Tabel 5.1: Väljavõte Eesti raadiosagedusplaanist

Raadiosagedusala kasutusrežiim ja -otstarve Eestis	Raadiosagedusala kasutusviis Eestis	Lisaandmed
Lähitoimeseadmed	433,05-434,79 MHz Mittespetsiifilised lähitoimeseadmed	2013/752/EL 5.277 Nõuded vastavalt ESS § 20 lg 1 5.282 EN 300 220

Raadiolingi realiseerimiseks on kasutusel kas 433 MHz saatja- ja vastuvõtjamoodulid või 433 MHz saatjamoodul ja vastuvõtja plaadil olev mikroskeem koos lisakomponentidega.

Mooduleid kasutada on mugavam – raadioside mikroskeemid 433 MHz peal on halvasti käsitsi joodetavad või liiga keerulised soovitatava eesmärgi jaoks, sisaldades kas väiksemaid mikrokontrollereid või ootavad nad rohkemaid andmeliine ja konfigureerimist. Väikese tootmismahu korral ei tasu ka eraldi realiseeritud raadiomoodul end ära.

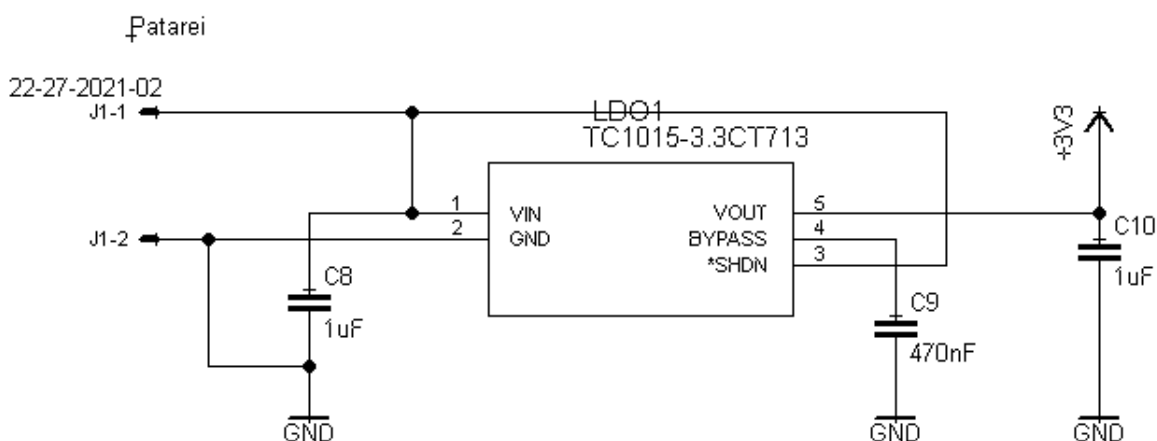
Välise antennidena võib kasutada 17,3 cm pikkused juhtmejuppe, mis vastavad ligikaudu veerandlaineantenni pikkusele 433,92 MHz juures.

6. Vastuvõtja välise RF mooduliga

Vastuvõtja koosneb samast mikrokontrollerist kui saatja, LCD ekraanist andmete kuvamiseks ja samale sagedusele häälestatud vastuvõtjamoodulist. Vastuvõtja toide on organiseeritud kolme AA patarei pealt. LCD ekraanile vajaliku ruutlaine genereerimiseks kasutatakse mikrokontrolleri välist generaatorit.

6.1 Toide

Vastuvõtja toide on organiseeritud 3 AA patarei pealt, andes nominaalpingeks 4,5 volti. Selle pingega oleks võimalik kõiki komponente ka otse juhtida, kuid LCD heleduse konstantsena hoidmiseks on toitepinget vähendatud 3,3 voldini lineaarregulaatoriga TC1015-3.3. Lineaarregulaator on valitud vähese pindalatarbe pärast – impulssregulaatori välised komponendid lähevad väikeste voolude korral suuremaks, ning efektiivsus väheneb. Lineaarregulaatori efektiivsus väikeste voolude korral on lähedane impulssregulaatori omale, mispärast ei ole impulssregulaatori kasutamine enam eriti efektiivne valik.

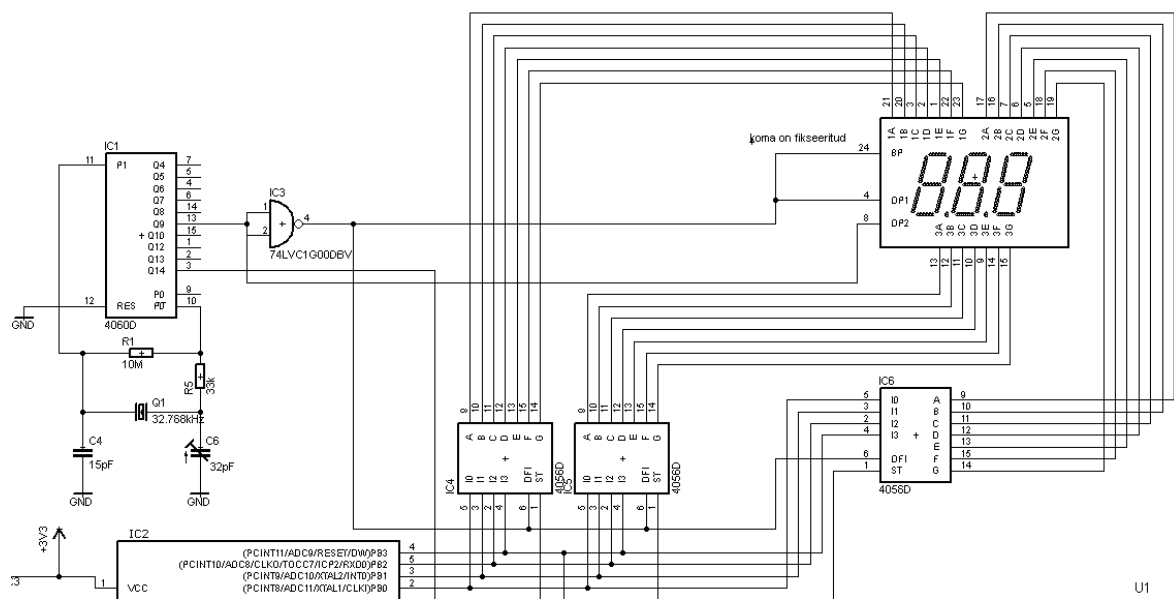


Joonis 6.1. Toiteregulaatori skeem

6.2 Ekraan

Kasutatud on tavapärasest lahendust – kolmekohaline 7-segmendiline staatilise juhtimisega LCD-ekraan, mida juhivad 4056D mikroskeemid. LCD on valitud 3 voldise toitepingega töötamise jaoks. [6] Võiks kasutada ka 5V pinget kasutavat LCD-d, aga see lisaks süsteemile keerulisust pingekordisti näol. LCD ekraani juhtimiseks vajalik ruutlaine on genereeritud 32,768k kHz kristalli ja loendur-mikroskeemi 4060B abil. Tavaline lahendus sellise signaali genereerimiseks oleks 555 taimer seatuna astabiilseks multivibraatoriks. Madala toitepinge tõttu ei saa kasutada tavalist odavat 555-t, kuna selle toitepinge miinimum on olenevalt tootjast 4,5 või 5 volti. [32] CD4060

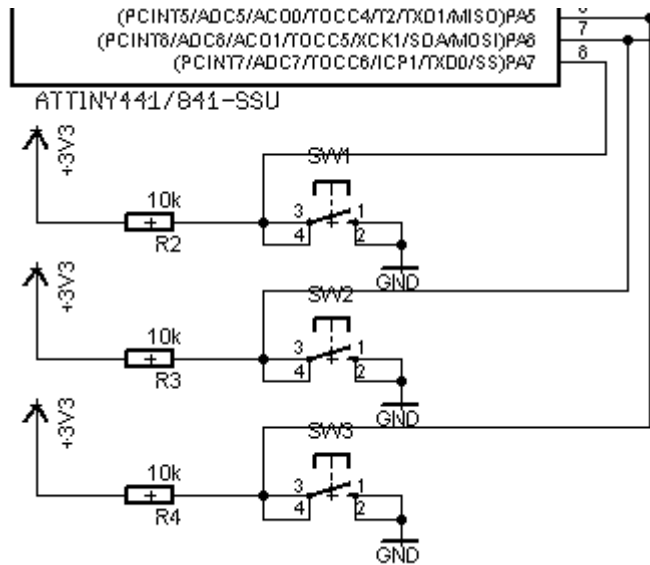
miinimum toitepinge on aga 3 volti või alla selle. [3] Samuti saavutatakse niimoodi võit voolutarbes. Lisaks saab järgmises versioonis kasutada madalaima sagedusega väljundit mikrokontrolleris kas aja mõõtmiseks või kontrolleri unerežiimi lülitamiseks. Kuigi LCD juhtimiseks sobivad sagedused 30 ja 200 Hz vahel, on väljund võetud 64 Hz pealt voolutarbe vähendamiseks. Kõrgemate sagedustega juhtimisel ei juhtuks peale voolutarbe suurenemise midagi, aga madalamatel võivad LCD ekraani segmendid mitte saavutada täit kontrasti, jäädes hallikaks. 4056D on BCD-st 7-segmeni dekooder, mis on ette nähtud mitmesuguste indikaatorite juhtimiseks. Eelmainitud mikroskeemi saab kasutada ka LED-ekraanide ja madalapingeliste VFD indikaatorite juhtimiseks, kuid praeguses rakenduses on olulisim LCD ekraani juhtimiseks vajaliku sisendi olemasolu. Sisend DF-i peale on antud generaatorist tulnud ruutsagedus. Mikroskeem nihutab seda sagedust 180 kraadi, mis annab vajalikud lainekujud LCD-ekraani juhtimiseks. Kõik mikroskeemid kasutavad ühist andmesiini, iga numbri väärtus ekraanil hoiustatakse kiibi lukkregistris, mis võimaldab juhtida kolme numbrikohta vaid seitsme väljundiga. Selle jaoks on iga skeemi lukustussisend eraldi väljundisse ühendatud. Iga numbrikohta väärtus BCD-kodeeringus antakse ühisele andmesiinile, misjärel tõstetakse vastav lukustussisend kõrgele pingeniivoole, mis edastab andmed lukkregistri väljundeile ja sealt dekooderloogikaskeemile.



Joonis 6.2. LCD ekraani skeem

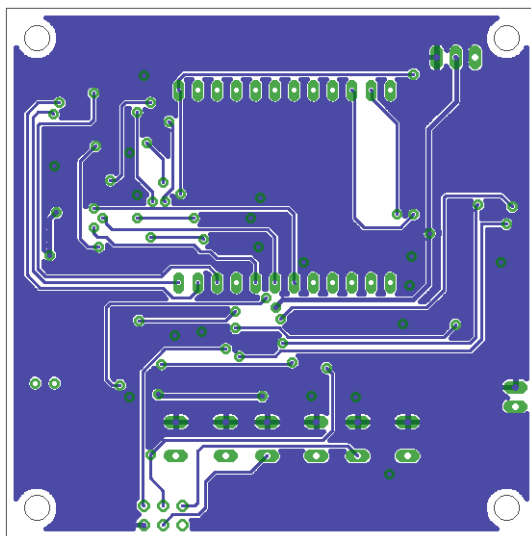
6.3 Nupud

Vastuvõtja on varustatud 3 nupuga. Nupud on ühendatud 10k takistitega. Nupud on vajalikud kaevu sügavuse sisestamiseks ultrahelianduri kasutamise korral – takistikett näitab veetaset keti alumise otsa suhtes, ultraheliandur aga kaugusena anduri ja veepinna vahel. Seepärast on vaja sisestusvõimalust – koodis määratud kaevusügavus ei ole väga hea lahendus.

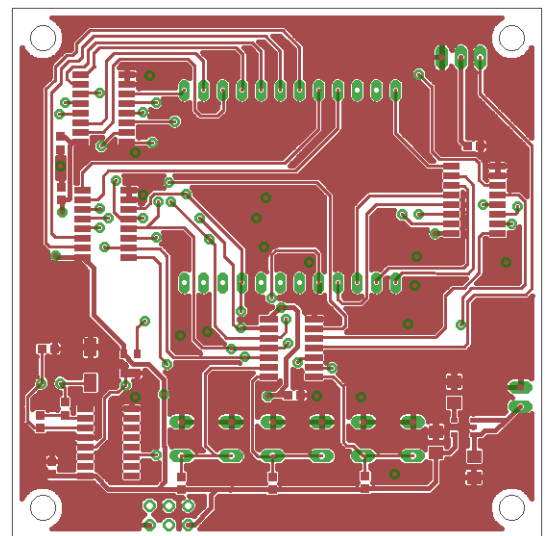


Joonis 6.3. Nupustik

Vastuvõtjale on koostatud kahepoolne trükkplaat, millel on kõik skeemil kujutatud komponendid. Rajad on 0,35 mm laiusega, et võimaldada käsitsi söövitamist. Toiterajad on 0,6 mm laiad. Kõik komponendid on paigutatud ülemisele poolele. (Joonis 6.4 a) Plaadi nurkades on augud M3 kruvide jaoks. Alumisele poolele võib paigaldada pistikud raadiomooduli ja toite jaoks, kui nii juhtub olema mugavam. (Joonis 6.4 b)



a

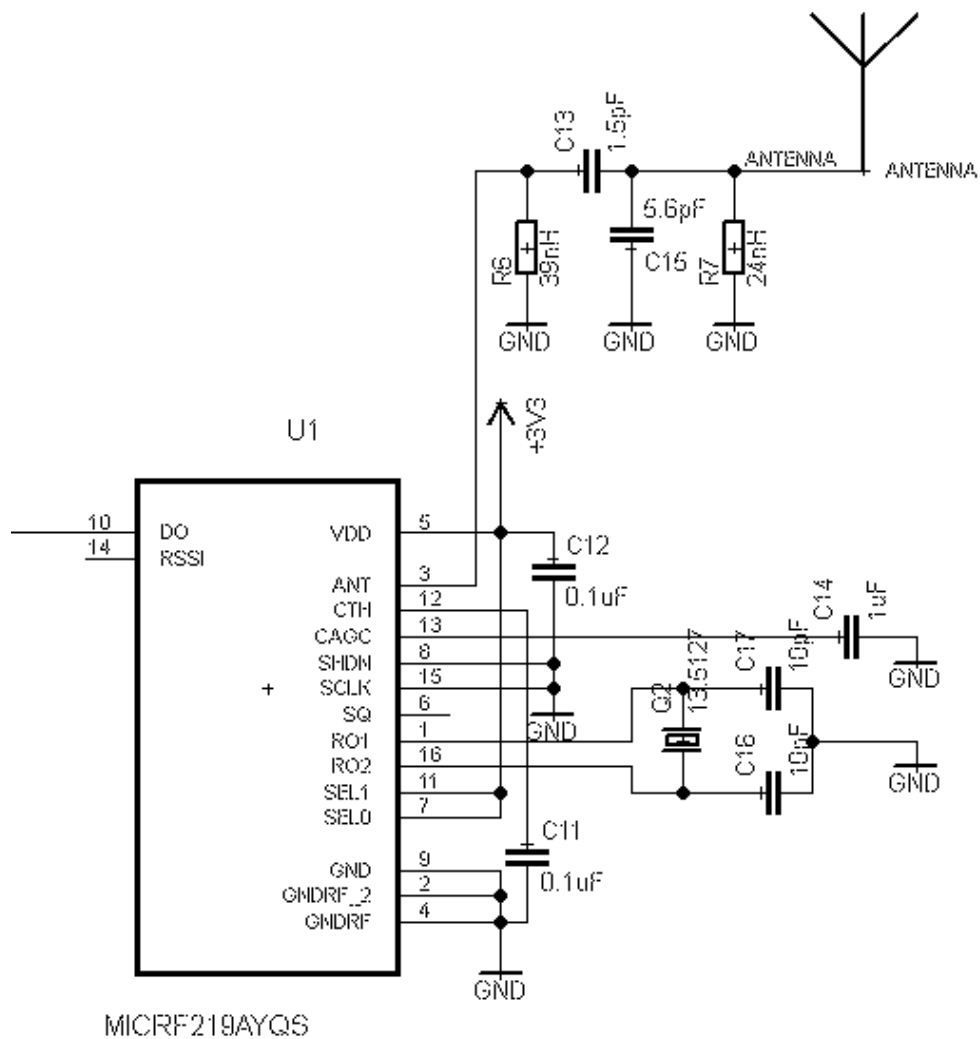


b

Joonis 6.4. Vastuvõtja trükkplaadi alumine (a) ja ülemine (b) kiht

7. Vastuvõtja RF mooduliga plaadil

Vastuvõtjast on koostatud ka versioon integreeritud raadiovastuvõtjaga. Enamik komponente on jagatud välis mooduliga vastuvõtjaga. Raadiovastuvõtja koosneb mikroskeemist Micrel MICRF219, passiivkomponentidest ja antennist. (Joonis 7.1) Mikroskeem valiti hinna ja korpuse tõttu – enamik RF vastuvõtjate mikroskeeme on raskesti käsitsi joodetavates pakendites. Miinusena võib välja tuua ebatavalist kristalli – 433,92 MHz vastuvõtusageduse jaoks on vaja kasutada 13,52127 MHz kristalli, mis ei ole levinud väärtus.



Joonis 7.1. Raadiovastuvõtja elektriskeem

Vastuvõtusageduse saab arvutada andmelehes toodud valemi [17]

$$F_{RF} = F_{osc} * \left(32 + \frac{1,1}{12}\right),$$

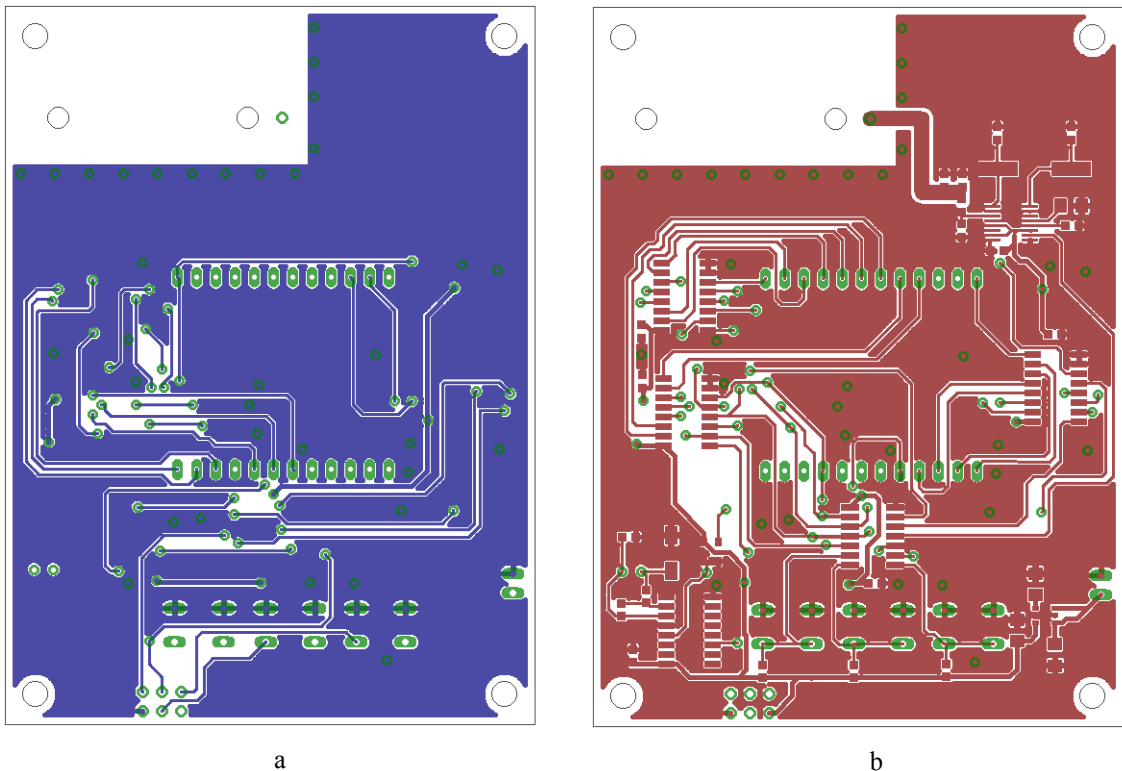
abil. F_{RF} on vastuvõtusagedus, F_{osc} on ostsillaatori (kristalli) sagedus. Asendades lähima väärtusega levinud kristalli, 13,5 MHz saab arvutada vastuvõtusageduse

$$F_{RF} = 13,5 * (32 + \frac{1,1}{12}),$$

saades arvuliseks väärtuseks $F_{RF} = 433,2375$ MHz. See on liiga kaugel saatjasagedusest, mistõttu asendus ei ole võimalik saatjat konstrueerimata. Mikroskeemil on palju lisavõimalusi, nagu ribalaiuse sättimine ja väljalülitusvõimalus, kuid praegusel kujul neid seadmes ei kasutata. Väljalülitusvõimalus oleks kasulik, kui saatja ja vastuvõtja kellad oleks sünkroniseeritud, nii et nii saatja kui vastuvõtja lülitaksid oma raadiomoodulid sisse samal ajal. Patareide eluiga kasvaks märgatavalt, eriti vastuvõtja poolelt, kuid kellade sünkroonis hoidmine tekitaks hulga probleeme ning nõuaks kristalli kasutamist saatjamoodulis – vastuvõtjas olevast kristallstabiliseeritud loendurist saab suure täpsusega ajasignaali juba kätte.

Vastuvõtja impedants sagedusel 433,92 MHz on andmelehes antud komplekstkakistusena 19-j174 Ω . [17] Absoluutimpedantsina on see võrdne 175 Ω iga. Antenni takistus on samal sagedusel 51,8 Ω [29]. Sobituslülitus on samuti vastuvõtja andmelehes antud. Voolurada sobitusahelast antennini on arvatud kalkulaatoriga wcalc, andes vooluraja laiuks 2,0 mm 0,5 mm eraldusega maandusalast. [5] Rada sobitusahelast mikroskeemini on sobitamata, sest sobiva impedantsiga rada oleks väga peenike. Rada on selle asemel võimalikult lühike.

Antennina kasutatakse sellele sagedusele mõeldud heeliksantenni. Heeliksantenn on küllalt hea sümmeetrilisusega kaasaskantava vastuvõtja jaoks. [29] Antenni alla jääv ala on ilma vaseta. (Joonis 7.2 a ja b)

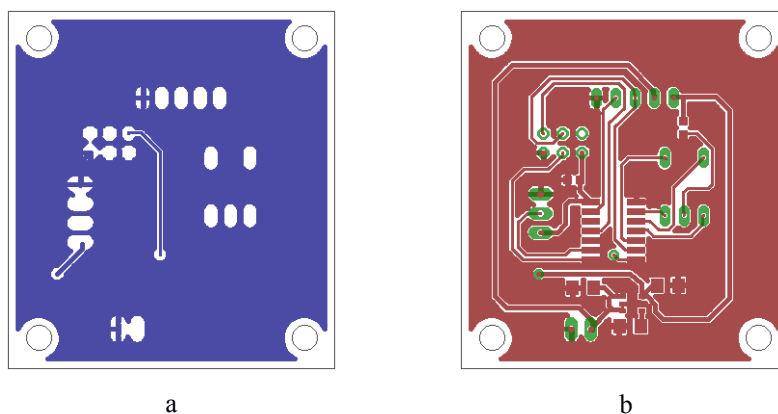


Joonis 7.2. RF osaga vastuvõtja trükkplaadi alumine (a) ja ülemine (b) kiht

8. Saatja

Saatja koosneb mikrokontrollerist ATtiny841, vooluregulaatorist TC1015-3.3 ja raadiosaatjamoodulist.

Saatja on loodud töötama kahe erineva lisamooduliga: kas ultrahelisensoriga HC-SR04 või ADC puhvriga takistusketi jaoks. Raadiosaatjamooduli võib asendada mingi muu mooduliga, näiteks RS232 või RS485 saatjaga. Ultrahelimumooduli toitepinge jääb 4,5 ja 5,5 voldi vahele, mistõttu mõõtemooduli pistikusse on lisatud ka otse patareidest tuleva pinget võimalus. See suurendab lisaks ka erinevate võimalike lisamoodulite valikut, kui otse patareidest tulevat pinget saab muundada misiganes vajalikuks pingeks. RF osa ei ole plaadile pandud ruumi säästmise ja levi huvides – plaat on mõeldud paigaldamiseks kaevu, millel on betoonseinad, mis vähendavad raadiolevi. Antenn tuleks paigaldada 50- Ω ise ülekandeliini abil väljaspoole kaevu. Kahepoolne trükkplaat on koostatud sama laiusega kui ultrahelimumoodul, et seadme korpusesse mahutamise oleks lihtsam. (Joonis 8.1 a ja b)



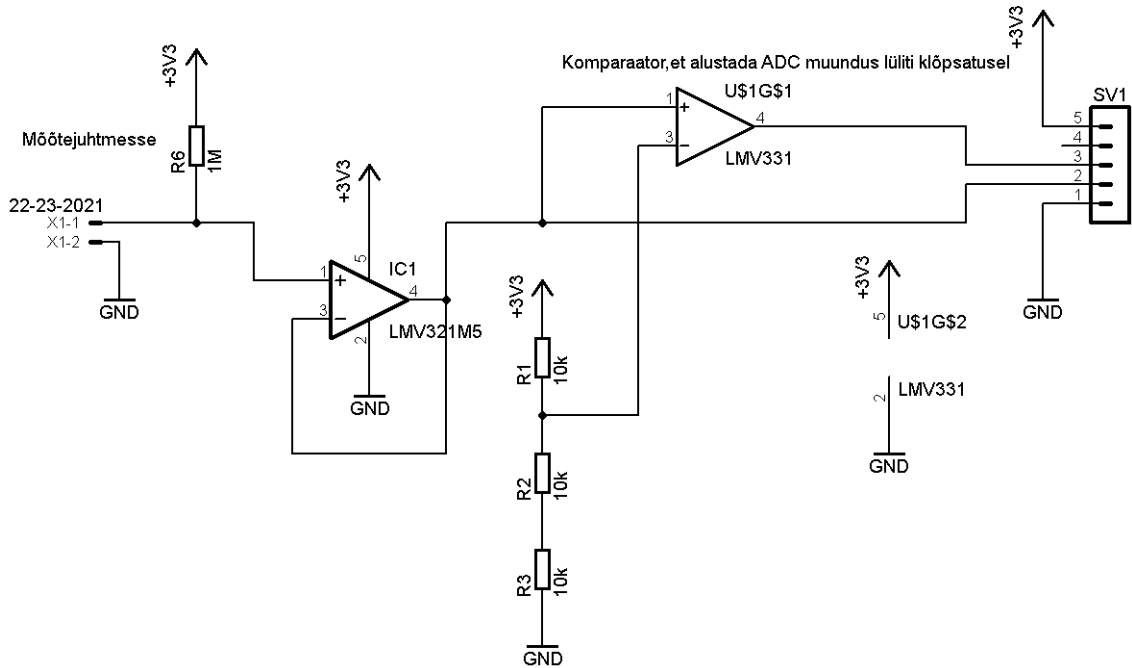
Joonis 8.1. Saatja trükkplaat, alumine (a) ja ülemine (b) kiht

8.1 Analoo-digitaalmuunduri plaat

ADC vajab madala sisendtakistuse tõttu puhvrit, et sisendtakistus paralleelis mõõtetakistitega ei mõjutaks pinget. Selleks on plaadil operatsioonvõimendi tagasisidestatud pingejärguriks. Operatsioonvõimendi on valitud töötamiseks ühepoolase toitega ja rail-to-rail väljundi järgi. Kuna skeem kasutab vaid üht operatsioonvõimendit, on valitud SOT-23 pakendis operatsioonvõimendi LM321. [14] Operatsioonvõimendi väljund on ühendatud mikrokontrolleri ADC sisendiga ja komparaatori positiivsesse sisendisse. Komparaator on kuiva sensori kasutamiseks – veetaseme kõikudes võib tekkida olukord, kus ükski lüliti ei ole suletud, ning seetõttu ei ole võimalik mõõtmist õigel ajal teha. Komparaator on samuti valitud ühepoolase toitepinge järgi. [13] Komparaator, mis on ühendatud mikrokontrolleri katkestusega digitaalsisendisse väldib sellise olukorra teket, andes teada, millal mõni lüliti on suletud ning mõõtetulemus väljendab tegelikku veetaset. Katkestus on seatud toimuma langeval frondil – kui lülidid on avatud, on

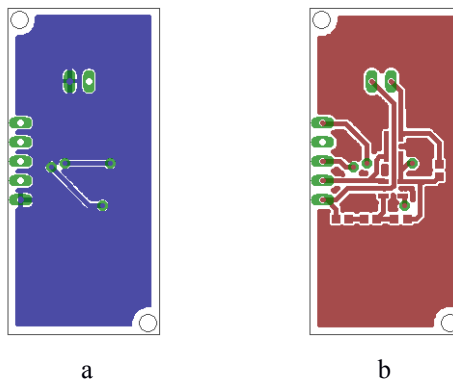
operatsioonivõimendi sisendil (ja seega ka väljundil) pinge 3,3 volti, mis on suurem kui takistite R1-3 seatud referentspinge 2,2 V. (Joonis 8.2) Referentspinge pingejagur on realiseeritud 3 takistiga erinevate nominaalide vähendamiseks.

Puhver, et ADC madal sisendtakistus mõjutama ei hakkaks



Joonis 8.2. ADC mooduli skeem

Trükkplaat on tehtud kahepoolne. Plaadi alumine kiht (Joonis 8.3 a) sisaldab ainult kahte juhet, mistõttu on võimalik vähese vaevaga ehitada ühepoolne trükkplaat, asendades rajad juhtmetega. Komponentid joodetakse ülemisele poolele. (Joonis 8.3 b) Trükkplaat on tehtud samade mõõtmetega kui ultrahelimumul HC-SR04, et lihtsustada korpusedisaini. Samal põhjusel on plaadil kinnitusaugud ainult kahes nurgas. Mõõtejuhtmete ühendamiseks on kasutatud klemmliistu. Kuna mõõdetakse alalispinget, ei ole erilist tähelepanu pööratud plaadi disainile. Kõik rajad on 0,6 mm laiused, et lihtsustada plaadi käsitsi valmistamist.



Joonis 8.3: Analoog-digitaalmuunduri trükkplaadi alumine (a) ja ülemine (b) kiht

9. Tarkvara

Tarkvara on kirjutatud C-s. Kirjutamise hetkel pole tarkvara prototüübi faasist välja jõudnud, mistõttu pole koodi ka tööle lisatud. Koostatud on üldised algoritmid saatjale ja vastuvõtjale, esitatud graafikutena. Tarkvara kasutab ajastamiseks mikrokontrolleri sisseehitatud taimerit, mis saab taktsignaali sisemiselt 8 MHz ostsillaatorilt, jagatuna sisemise loenduri abil [2] 1024-ga ligikaudu 1,28 ms perioodi saavutamiseks aja ja nupuvajutuste kestuse lugemiseks.

Raadioside kaudu eraldatakse kindla formaadiga andmepaketti, mis sisaldab BCD lülitiga valitud saatja aadressi, saatja külge ühendatud mooduli tüüpi, mõõtetulemust ja päist ja jalust. Paketi formaat on toodud tabelis

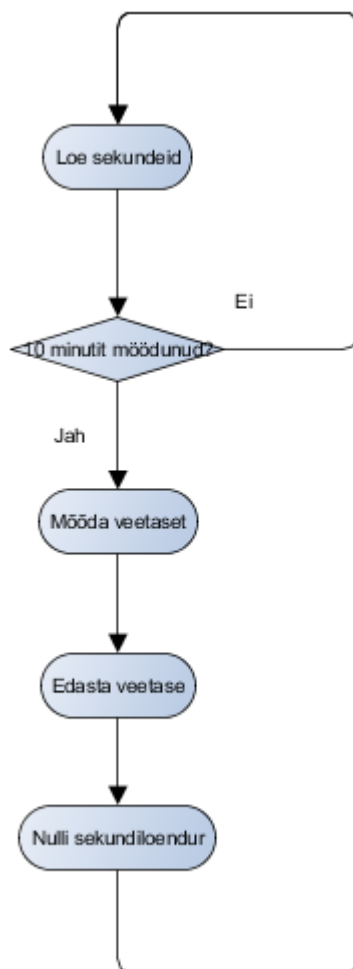
Tabel 9.1: Paketi formaat

Päis		Mooduli liik	Mõõtetulemus, <i>m</i>	Mõõtetulemus, <i>cm</i>	Jalus	
0xCC	0x33				0xF0	0x0F

0xCC ja 0x33 on päiseks valitud, sest nad moodustavad peegelpildi bitijadast. Mooduli liik on valitud lihtsalt – 0x00 on takistikett, 0xFF on ultrahelimoodul. Mõõtetulemuse meetrikohad on edastatud kui 8-bitine märgita täisarv. Mõõtetulemus on edastatud kui 8-bitine täisarv, kus nii kõrgesse nelja bitti ja madalasse nelja bitti on kirjutatud sama väärtus BCD-enkodeeringus, jättes legitiimseteks väärtusteks bitid 0x00, 0x11, 0x22 ... 0x99. Suuremad väärtused tähistavad viga mõõtmisel.

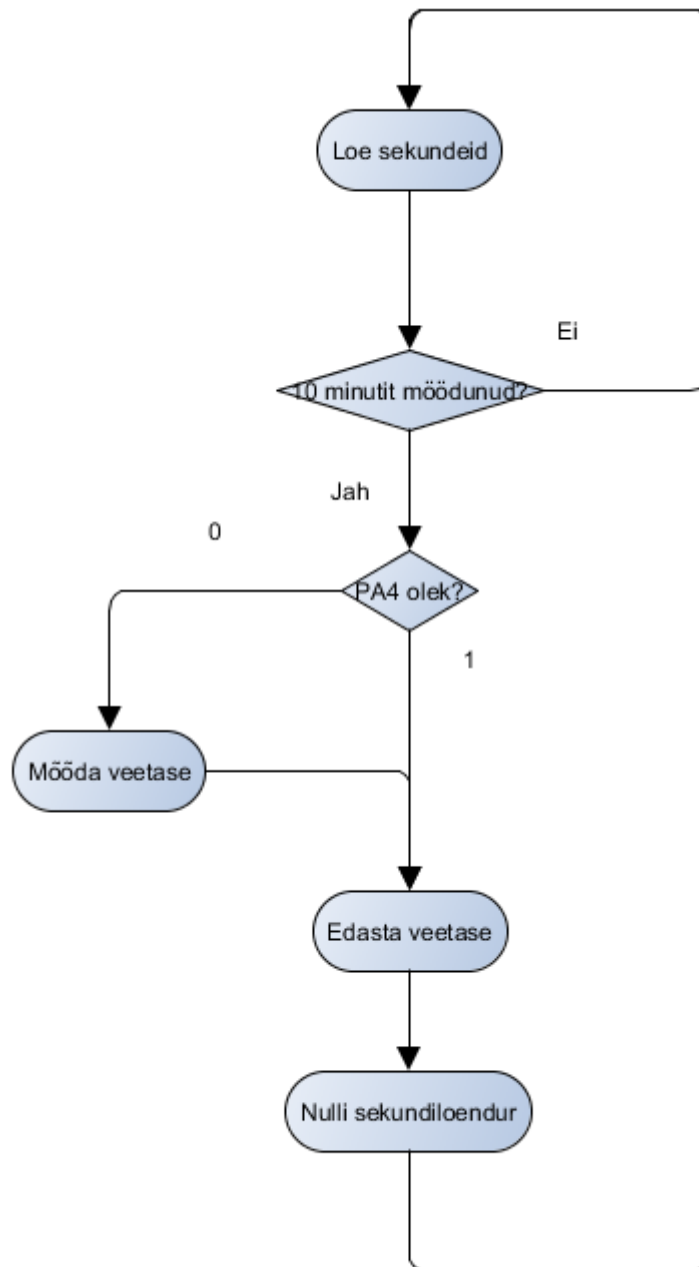
9.1 Saatja tarkvara algoritmid

10% täiteteguri nõude täitmiseks ja voolu säästmiseks edastab saatja andmeid iga 10 minuti tagant. Märja- ja ultrahelisensori korral saab mõõdu võtta suvalisel ajal, mistõttu katkestusi ei toimu – ultrahelisensoril pole katkestuse andmiseks vahendeid ja märjal sensoril on ADC plaadil oleva komparaatori väljund pideva väärtusega, mis katkestust ei anna. (Joonis 9.1)



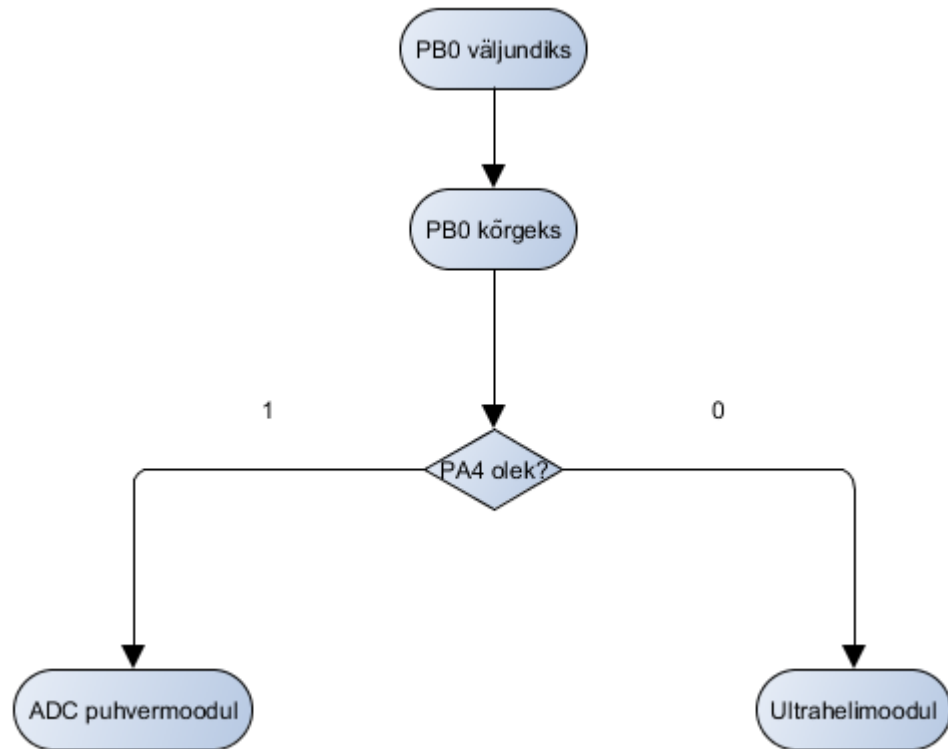
Joonis 9.1. Katkestusteta mõõtealgoritm ultrahelimõõtmisele ja märjale sensorile

Kuiva sensori korral mõõdetakse iga 10 minuti järel ainult siis, kui mõni lüliti on suletud. Andmete edastamine siiski toimub - lahtise lüliti korral edastatakse viimase katkestuse järel saadud tulemus kui kõige lähedasem tegelikule veetasemele. (Joonis 9.2)



Joonis 9.2. Katkestustega mõõtealgoritm kuivale sensorile

Käivitades valitakse ühendatud mooduli järgi sobiv algoritm takistiketi või ultraheliga mõõtmiseks ning saatja aadress BCD lüüti pealt. Ultrahelimumodul on kontrolli hetkel valesti kasutusel – ultrahelimumoduli väljundi peale antakse 3,3 volti, aga kontroll toimub lühidalt, mistõttu ei teki sellest probleemi. Peale moodulivalikut kirjutatakse moodulitüüp mällu ning siirdatakse põhiprogrammi. (Joonis 9.3)

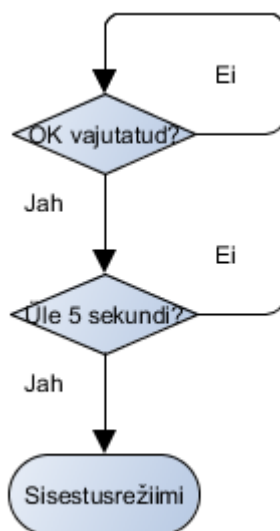


Joonis 9.3. Moodulivaliku algoritm

9.2 Vastuvõtja tarkvara algoritmid

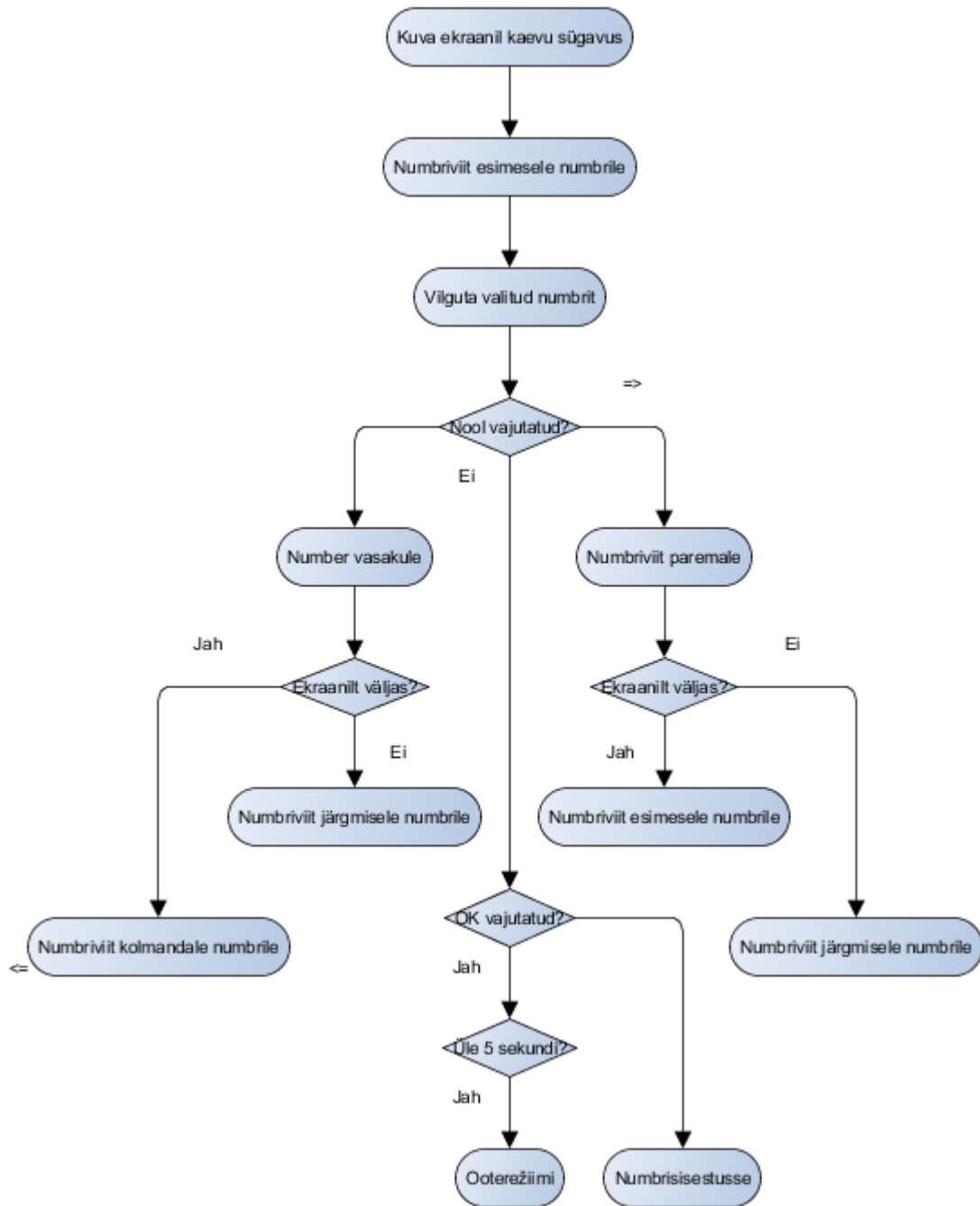
Vastuvõtja tarkvara on enamiku ajast ooterežiimil – LCD mikroskeemid on mäluga ja ei vaja pidevat juhtimist, sagedus on genereeritud väljaspool. Vajutus OK-nupule äratatakse mikrokontrolleri üles, viies tarkvara kaevu sügavuse sisestusrežiimi ultrahelianduri jaoks.

Ultraheliandur mõõdab kaugust veepinnast ülaltpoolt, kuid takistikett mõõdab veetaseme kaugust keti alumisest otsast. Et saada loogiline, põhja suhtes loetav, veetase, tuleb kaevu sügavusest lahutada ultrahelianduri mõõtetulemus. See vajab aga sisestusmeetodit – täismõõdus 10-nupulise klaviatuuri lisamine on ebapraktiline ja mikrokontrolleri sisendeid napib samuti, mistõttu on lisatud kohmakam sisestusviis kolme nupuga. (Joonis 9.4)



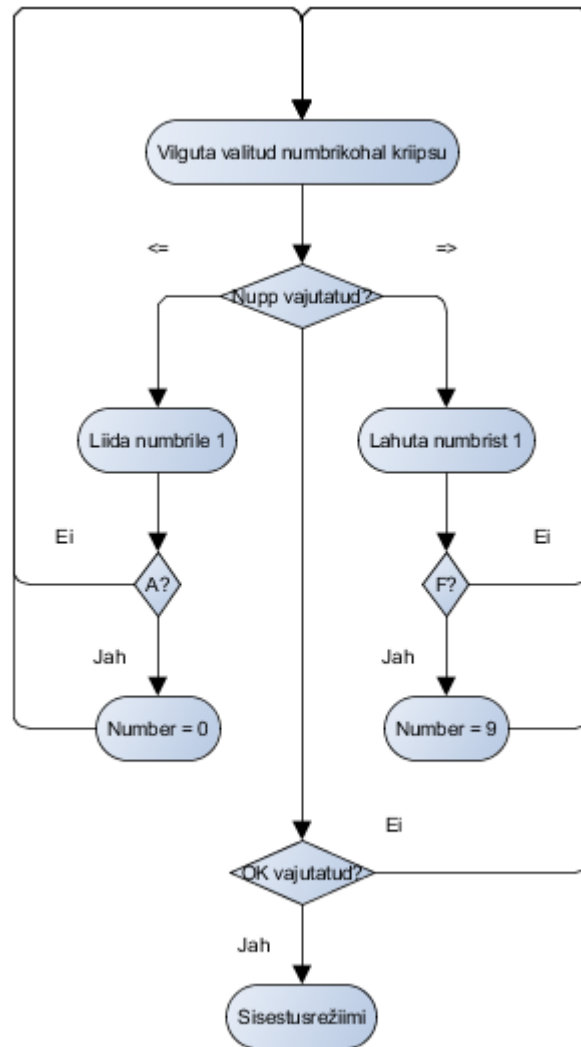
Joonis 9.4. OK-nupu oleku kontrollimine

Kaevu veetaseme leidmiseks jääb meetrisest sisestustäpsusest väheseks, mistõttu on loodud algoritm sügavuse sisestamiseks kolme numbrikohta. See annab maksimaalseks sügavuseks 99,9 meetrit, mis on liigne – andurid on loodud töötama 10 meetrini.. Vasakpoolseim numbrikoht ei ole siiski piiratud vahemikku näiteks 0-2ni, et saaks rakendada üldist algoritmi. Valitud numbrikohta näidatakse kasutajale vilkumise abil. (Joonis 9.5)



Joonis 9.5. Muudetava numbril valik

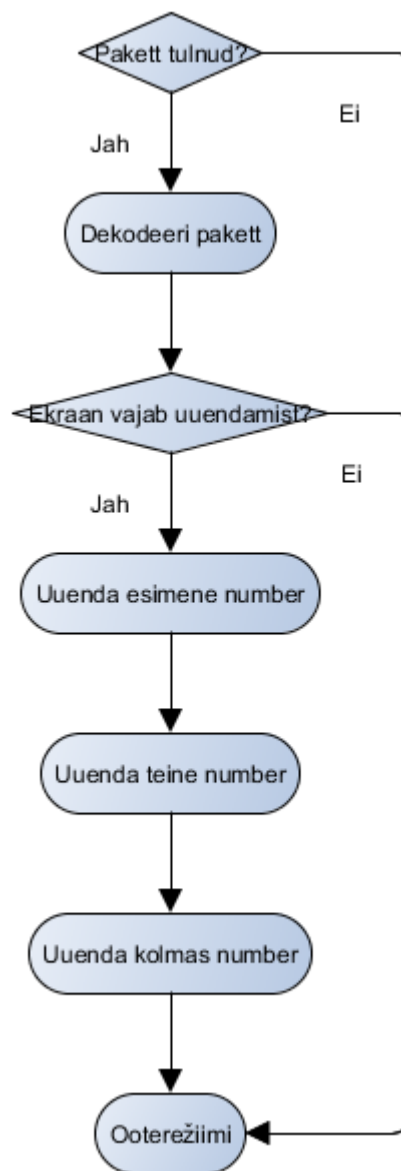
Kui sobiv numbrikoht on valitud, on vaja muuta selle väärtust piirides 0-st 9-ni. Selleks kasutatakse samuti nooleklahve. Kahte sisestusrežiimi eristab ekraani erinev käitumine: numbrikohta valikul vilgub erkaanil valitud number, numbri sisestamisel vilgub valitud kohal kriips. BCD enkodeering lubab väärtusi 0-st 16-ni, mistõttu on vaja lisakontrolle. (Joonis 9.6)



Joonis 9.6. Numbri väärtuse valiku algoritm

Kaevu sügavusena sisestatud arvu kasutatakse ainult juhul, kui saatjaga on ühendatud ultrahelimumoodul. Takistiketi puhul näidatakse otse saatja poolt edastatud numbrit.

Andmepakett loetakse tulekul baidikaupa puhvrisesse, kus ta dekodeeritakse. Paketi dekodeerimisloogika on enkodeerimisloogikast lihtsalt tuletatav, nii et seda ei esitata. Paketi dekodeerimise järel võrreldakse saadud veetaset eelmise mälusoleva veetasemega. Kui veetasemed langevad kokku, ei ole ekraani mõtet uuendada. Kui uus väärtus erineb vanast, tükeldatakse veetase numbrikohtade väärtusteks ja edastatakse ühekaupa ekraanile. (Joonis 9.7)



Joonis 9.7. Vastuvõtja algoritm uue andmepaketi tulekul

10. Kokkuvõte

Töö käigus on koostatud esimene iteratsioon kaevu veetaseme mõõtja riist- ja tarkvarast. Eksploaatatsiooni käigus ilmneb ilmtingimata mitmesuguseid probleeme nii riist- kui tarkvara osas.

Katseliselt on vaja välja selgitada märja sensori vastupidavus korrosioonile – kuigi vool läbi sensori on maksimaalselt 3,3 mikroamprit, on vee ja elektri koosmõjul tekkivate probleemidega tegeletud juba aastaid ilma head lahendust leidmata. Katsetamise käigus tuleks samuti selgitada akude vastupidavus ja voolutarve – andmelehtedes on antud voolutarve ainult teatud taktsageduste puhul ning simulaatorites ei ole uuemate mikrokontrollerite voolutarvet modelleeritud.

Järgmine versioon kasutab ilmselt valmishitatud LCD moodulit – LCD radade uuesti joonistamine LCD muutuse korral või muul põhjusel läheb väga kiiresti kulukaks nii aja kui plaadiressursside suhtes.

RF disaini raskused plaadiressursside juures tulid samuti ilmseks – 433 MHz juures 50- Ω ise takistusega rada tuli üllatavalt paks soovimatuse tõttu varieerida vasepaksust plaadi hinna madalamana hoidmiseks.

Saatja modulaarne disain lubab arendada vajaduse korral mingi muu sensori ning uuendada tarkvara, kui peaks juhtuma, et seade ei pea välitingimustele vastu või mõõtetäpsus pole küllalt hea.

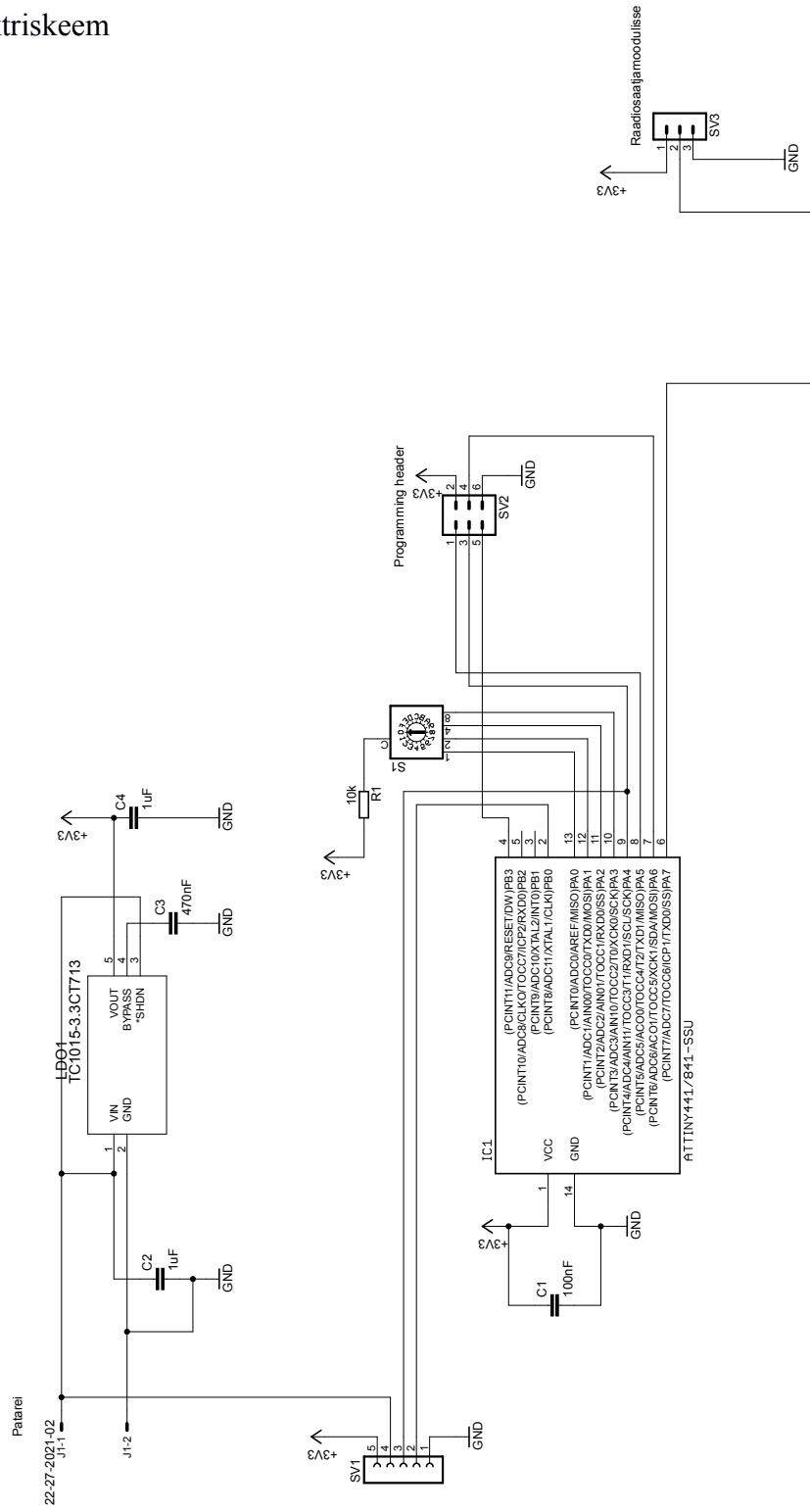
11. Kasutatud kirjandus

1. A Dozen Ways to Measure Fluid Level and How They Work | Sensors [WWW]
<http://www.sensormag.com/sensors/leak-level/a-dozen-ways-measure-fluid-level-and-how-they-work-1067> (13.05.2015)
2. ATtiny441/ATtiny841 8-bit AVR Microcontroller with 4/8K Bytes In-System Programmable Flash [WWW] http://www.atmel.com/Images/Atmel-8495-8-bit-AVR-Microcontrollers-ATtiny441-ATtiny841_Datasheet.pdf (13.05.2015)
3. CD4060BC, 14-Stage Ripple Carry Binary Counters [WWW]
<https://www.fairchildsemi.com/datasheets/CD/CD4060BC.pdf> (13.05.2015)
4. Berlin, H. M., Lancaster, D., CMOS Cookbook:Carmel, 1995
5. Coplanar Waveguide Analysis/Synthesis [WWW] <http://wcalc.sourceforge.net/cgi-bin/coplanar.cgi> (13.05.2015)
6. DE 123-Series Data Sheet [WWW] <http://www.display-elektronik.de/filter/DE123.pdf> (13.05.2015)
7. Eesti raadiosagedusplaan, Lisa 1 [WWW]
https://www.riigiteataja.ee/aktiivisa/1060/5201/5008/MKM_m38_lisa1.pdf (13.05.2015)
8. Final draft ETSI EN 300 220-1 V2.4.1 (2012-01) [WWW]
http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300200_300299/30022001/02.04.01_40/en_30022001v020401o.pdf (13.05.2015)
9. How to Build a Robot Tutorials - Society of Robots [WWW]
http://www.societyofrobots.com/sensors_sharpirrange.shtml (13.05.2015)
10. Level of Measurement [WWW] <http://www.omega.ca/prodinfo/LevelMeasurement.html> (13.05.2015)
11. Liquid level monitoring using a pressure sensor [WWW] www.ti.com/litv/pdf/snaa127 (13.05.2015)
12. Liquid Level Sensing is Key Technology for Today's Systems – Part 1 | DigiKey [WWW]
<http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2011/sep/liquid-level-sensing-is-key-technology-for-todays-systems---part-1> (13.05.2015)
13. LMV331 Single, LMV393 Dual, LMV339 Quad General-purpose Low-voltage Comparators [WWW]
www.ti.com/lit/ds/symlink/lmv331.pdf (13.05.2015)
14. LMV3xx-N/-Q1 Single, Dual, and Quad General Purpose, Low-Voltage, Rail-to-Rail Output Operational Amplifiers [WWW] www.ti.com/lit/ds/symlink/lmv321-n.pdf (13.05.2015)
15. Loodushoid, keskkonnakasutus, õpe [WWW] <http://www.keskkonnaamet.ee/keskkonnakaitse/vesi-5/salvkaevud/> (13.05.2015)
16. LS05 Series Liquid Level Sensors [WWW]
http://www.meder.com/fileadmin/meder/pdf/en/For_Showroom/PS201001_LS05_Series.pdf (13.05.2015)

17. MICRF219 datasheet [WWW] www.micrel.com/_PDF/micrf219.pdf (13.05.2015)
18. Numeric Water-Level Indicator | EEWeb Community [WWW]
http://www.eeweb.com/blog/extreme_circuits/numeric-water-level-indicator (13.05.2015)
19. On-line Magazine 'Sensors and Transducers' (S&T e-Digest): Product News [WWW]
http://www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/august_05/Level_sensors.htm (13.05.2015)
20. OTT SE 200 - OTT Hydromet USA [WWW] <http://www.ott.com/en-us/products/water-level/ott-se-200/>
(13.05.2015)
21. PIC16F527 Data Sheet [WWW] ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41652A.pdf
(13.05.2015)
22. SDI-12 Encoders [WWW] www.esands.com/pdf/Environmental/Stevens/Encoders%20SDI-12.pdf
(13.05.2015)
23. Simple Pyro RF Transmitter (27 MHz) - Schematic | PyroElectro - News, Projects & Tutorials [WWW]
http://www.pyroelectro.com/projects/pyro_rf_transmitter_27mhz/schematic.html (13.05.2015)
24. TC1014/TC1015/TC1185 50 mA, 100 mA and 150 mA CMOS LDOs with Shutdown and Reference Bypass [WWW] ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21335e.pdf (13.05.2015)
25. TRJ Series Professional Tantalum Chip Capacitor [WWW]
<http://www.farnell.com/datasheets/86282.pdf> (13.05.2015)
26. Ultrasonic distance measurement with the MSP430 [WWW] www.ti.com/lit/an/slaa136a/slaa136a.pdf
(13.05.2015)
27. Ultrasonic Ranging Module HC - SR04 - Micropik [WWW] www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf
(13.05.2015)
28. Using Piezo Sensors [WWW] <http://www.senscomp.com/pdfs/using-piezo-sensors.pdf> (13.05.2015)
29. W3127 datasheet [WWW] <http://www.pulseelectronics.com/download/3319/w3127pdf/pdf>
(13.05.2015)
30. Water Level Sensor Circuit [WWW] <http://www.electroschematics.com/4563/water-level-sensor/>
(13.05.2015)
31. Waterlevel pomp switch | PA4TIM's opvangtehuis voor buizenbakken [WWW] <http://www.pa4tim.nl/?p=4763> (13.05.2015)
32. xx555 datasheet [WWW] www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf (13.05.2015)

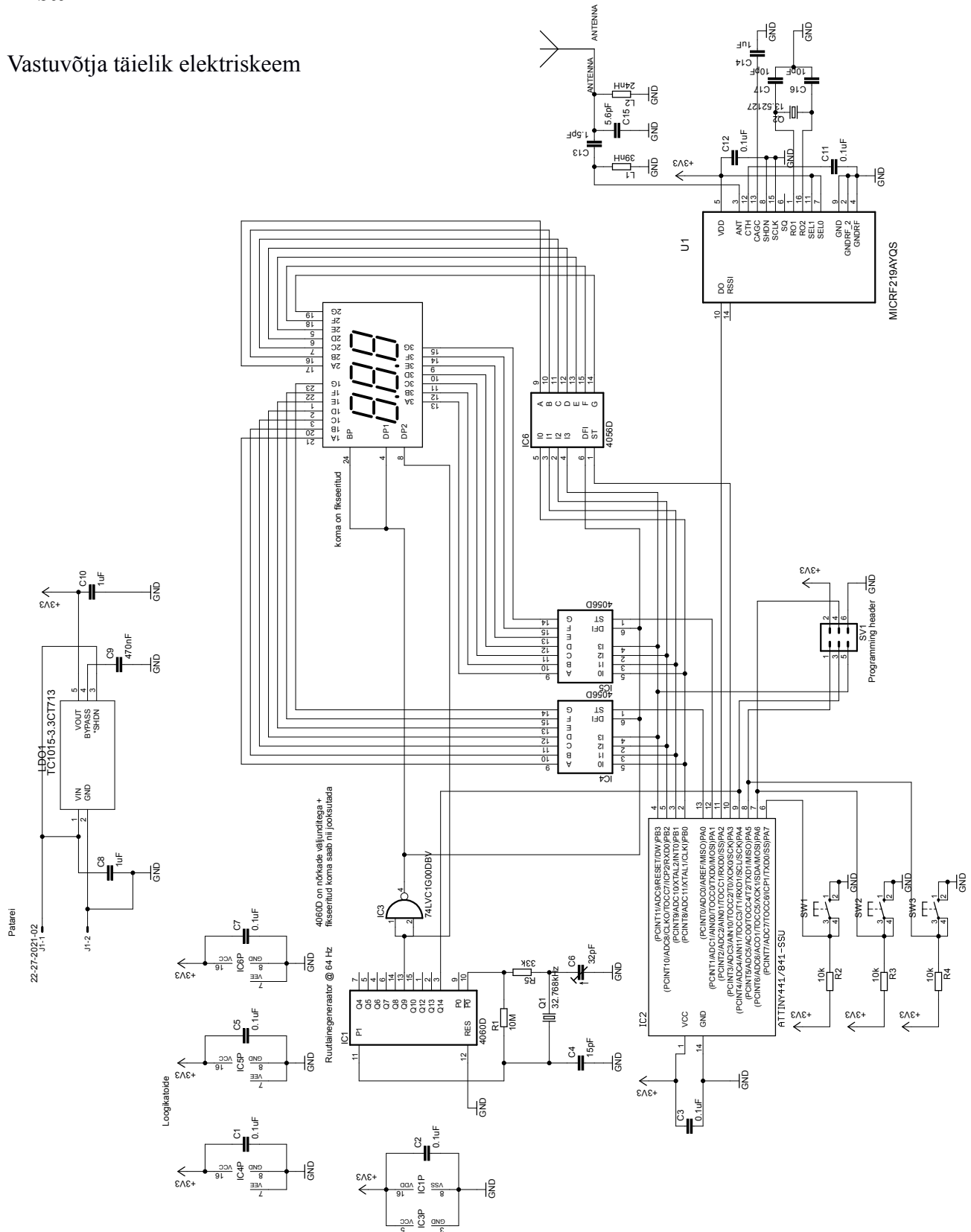
Lisa 1

Saatja täielik elektriskeem



Lisa 2

Vastuvõtja täielik elektriskeem



Lisa 3

Vastuvõtja komponentide nimekiri

Kogus	Tähistus	Väärtus	Kirjeldus	Tootekood	Tarnija	Hind
1	ANT1		Helikaalantenn trükkplaadile	1900066	Farnell	1,38 €
7	C1-C3,C5,C7,C11,C12	0.1uF	kondensaator,keramiin	2407319	Farnell	0,44 €
1	C4	15pF	kondensaator,keramiin	2134014	Farnell	0,30 €
1	C6	32pF	trimmerkondensaator	2456139	Farnell	1,99 €
3	C8,C10,C14	1uF	kondensaator,tantaal	1672442	Farnell	0,28 €
1	C9	470nF	kondensaator,tantaal	1658497	Farnell	0,20 €
1	C13	1.5pF	kondensaator,keramiin	2134018	Farnell	0,54 €
1	C15	5.6pF	kondensaator,keramiin	2134038	Farnell	0,65 €
2	C16,C17	10pF	kondensaator,keramiin	2219412	Farnell	0,22 €
1	IC1	4060D	14-astmeline loendur	1201252	Farnell	0,40 €
1	IC2	ATTINY841	mikrokontroler	2396716	Farnell	0,98 €
1	IC3	74LVC1G00DBV	JA-EI loogikavärav	2464474	Farnell	0,48 €
3	IC4-6	4056D	BCD -> 7-segmendiline dekooder	1753426	Farnell	0,38 €
1	J1		Riviklemm trükkplaadile	3041359	Farnell	0,64 €
1	LCD1	DE123-RS20/6.35	LCD ekraan	75-514-33	ELFA	1,48 €
1	LDO1	TC1015-3.3CT713	toiteregulaator	1331505	Farnell	0,35 €
1	Q1	32.768kHz	kristall	2467704	Farnell	0,18 €
1	Q2	13.51217 MHz	kristall	815-ABLS-13.52127	Mouser	0,94 €
1	R1	10M	takisti	2459255	Farnell	0,00 €
1	R2-R4	10k	takisti	2333522	Farnell	0,02 €
1	R5	33k	takisti	2333578	Farnell	0,03 €
1	L1	39nH	induktor	2286158	Farnell	1,07 €
1	L2	24nH	induktor	2285941	Farnell	1,00 €
1	SV1		2x3 pükriba, moodustatud 1x3	2356154	Farnell	0,20 €
3	SW1-3		6x6 mm lüliti, momentaarne	177807	Farnell	0,52 €
1	U1	MICRF219AYQS	vastuvõtja	1864795	Farnell	1,01 €
Kokku						20,899
Koos KM-ga						25,0788

Lisa 4

Saatja komponentide nimekiri

Kogus	Tähistus	Väärtus	Kirjeldus	Tootekood	Tarnija	Hind
1	C1	0.1uF	kondensaator,keraamiline	2407319	Farnell	0,44 €
2	C2,C4	1uF	kondensaator,tantaal	1672442	Farnell	0,28 €
1	C3	470nF	kondensaator,tantaal	1658497	Farnell	0,20 €
1	IC1	ATTINY841	mikrokontroller	2396716	Farnell	0,98 €
1	J1		Riviklemm trükkplaadile	3041359	Farnell	0,64 €
1	LDO1	TC1015-3.3CT713	toiteregulaator	1331505	Farnell	0,35 €
1	R1	10k	takisti	2333522	Farnell	0,02 €
1	S1		BCD lüiti	1522032	Farnell	1,19 €
1	SV1		3x1 piikriba pesa plaadile	1098033	Farnell	0,45 €
1	SV2		2x3 piikriba, moodustatud 1	2356154	Farnell	0,20 €
1	SV3		5x1 piikriba pesa plaadile	2308804	Farnell	0,55 €
Kokku						5,577
Koos KM-ga						6,6924

Lisa 5

ADC plaadi komponentide nimekiri

Kogus	Tähistus	Väärtus	Kirjeldus	Tootekood	Tarnija	Hind
1	SV1		1x5 Piikriba trükkplaadile	2356157	Farnell	0,32 €
3	R1, R2, R3	10k	takisti	2333522	Farnell	0,21 €
1	R6	1M	takisti	2321755	Farnell	0,04 €
1	X1	22-23-2021	Riviklemm trükkplaadile	3041359	Farnell	0,64 €
1	IC1	LMV321M5	operatsioonvõimendi	1564743	Farnell	0,55 €
1	U\$1	LMV331	komparaator	2323405	Farnell	0,53 €
Kokku						2,707
Koos KM-ga						3,2484