

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKA TEADUSKOND

Arvutiteaduse Instituut

Infotehnoloogia eriala

Siim Jalakas

**LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga
ühilduv soolsuse andur**

Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendaja: lektor Anne Villems

Kaasjuhendaja: spetsialist Taavi Duvin

Autor: “.....” mai 2012

Juhendaja: “.....” mai 2012

Juhendaja: “.....” mai 2012

Lubada kaitsmisele

Professor: “.....” mai 2012

TARTU 2012

Sisukord

Sissejuhatus	3
1. Soolsus	5
1.1. Soolsuse mõiste	5
1.2. Soolsuse mõõtmise vahendid	7
1.3. Soolsust mõjutavad tegurid	10
2. Firma Vernier soolsuse andur	12
2.1. Soolsuse anduri spetsifikatsioon ja ehitus	12
2.2. Soolsuse anduri tööpõhimõte	14
2.3. Anduriga soolsuse mõõtmine	16
2.4. Soolsuse anduri ühendamine LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga.....	16
2.5. Soolsuse anduri programmeerimine NXT-G abil	17
3. Ülesanded	21
3.1. Ülesanne 1	21
3.2. Ülesanne 2	22
3.3. Ülesanne 3	24
3.4. Ülesanne 4	26
Kokkuvõte	31
LEGO MINDSTORMS NXT: Salinity Sensor	33
Kasutatud kirjandus	34
Lisa	37
Lisa 1. CD-plaadil olevad failid	37

Sissejuhatus

Tänapäeva hariduselus on probleemiks, et liiga vähe noori valib edasiõppimiseks loodus- ja täppisteaduste valdkonna või tehnoloogilised erialad. Põhjuseks on asjaolu, et õpilased peavad matemaatikat, füüsikat, keemiat rasketeks ja sageli ka ebahuvitavateks aineteks, sest koolis õpetatu on enamjaolt teoreetiline. Õpilastele jääb tihti selgusetuks, kus ja miks neil omandatud vaja läheb. Seega võib noortel, eriti poistel, kaduda huvi antud õppeainete vastu. Viimastel aastatel on püütud koolinoortele näidata, milliseid põnevaid võimalusi pakub reaal- ja loodusainete valdkond. Seda eesmärki on teeninud Teadusbuss, Kooliroboti projekt ja võistlussari „Rakett 69”, mis kuulutati sel aastal Euroopa parimaks haridussaateks.

Kooliroboti projekt, mis sai Eestis alguse 2007. aastal, on seadnud eesmärgiks reaalainete ja inseneriteaduse populariseerimise [1]. Projekt tegeleb LEGO NXT robotite tutvustamise ja õppematerjalide loomisega. LEGO NXT roboteid võib kasutada õpilaste informaatika- ja arvutialaste oskuste arendamiseks, aga nende abil on võimalik ka teadmiste omandamine reaal- ja loodusainete tundides muuta mitmekesisemaks, huvitavamaks ja praktilisemaks. LEGO NXT roboteid on võimalik ise kokku panna, programmeerida – erinevaid lahendusi on lõpmatult. Kooliroboti projekti raames kasutavad LEGO MINDSTORMS NXT roboteid paljud Eesti koolid, projektiga on liitunud üle saja kooli. Enamjaolt kasutatakse neid robotikaringides, kuid mõnes koolis on õppekavas ka vastav valikaine. Gümnaasiumi uus õppekava pakub valikkursusi „Mehhatroonika ja robotika” ning „Rakenduste loomise ja programmeerimise alused”. Lisaks toimub üle-eestiline robotite võistlus RoboMiku, mis pakub väljundit koolirobootikaga tegelevatele koolidele ja õpilastele. Võistluse eesmärk on tekitada lastes võimalikult varakult huvi inseneriteaduse ja reaalainete vastu ning arendada nende meeskonnas töötamise oskust ning pakkuda avaliku esinemise kogemust.

LEGO MINDSTORMS NXT robotite komplekt koosneb programmeeritavast juhtploki, kauguse andurist, kahest puuteandurist, valguse- ja heliandurist, mootoritest, lampidest, sensorite ja mootorite juhtploki külge ühendamiseks mõeldud kaablitest ning roboti ehitamiseks vajalikest klotsidest. Välimuselt võib antud seade näida küll mänguasjana, kuid tegelikult on tegemist õppevahendiga, mis arendab laste loogilist mõtlemist ning inseneri- ja programmeerimisoskusi. Kui standardkomplektis olevatest anduritest jääb

väheks, siis on võimalik neid ka kolmandatelt osapooltelt juurde hankida. LEGO MINDSTORMS NXT-ga ühilduvaid andureid toodavad mitmed firmad - Vernier, Mindsensors ja HiTechnic. Valikusse kuuluvad näiteks andurid temperatuuri, soolsuse, vedeliku hägususe ning isegi vererõhu mõõtmiseks. Sageli on kolmandate osapoolte valmistatud toodetel vaid võõrkeelne dokumentatsioon ning seegi mitte kuigi põhjalik. Seega on nende kasutamine kooliõpetajate ja -õpilaste jaoks raskendatud.

Antud bakalaureusetöö eesmärgiks on tutvuda firma Vernier poolt loodud soolsuse anduriga, uurida selle tööpõhimõtet ja kasutamisevõimalusi koos LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga ning luua õpetajatele ja õpilastele põhjalik eestikeelne ülevaade. Lisaks loob töö autor antud anduriga seonduvaid erineva raskusastmega ülesandeid ning pakub ka võimalikud lahendused. Töös kirjeldatakse soolsust kui füüsikalist nähtust ning tuuakse välja selle tähtsamad omadused.

Käesolev töö koosneb kolmest peatükist. Esimeses käsitletakse soolsuse mõistet. Teises antakse ülevaade firma Vernier poolt loodud soolsuse andurist, selle tööpõhimõtetest ja kasutamisest. Bakalaureusetöö kolmandas peatükis on soolsuse andurile loodud erinevaid ülesandeid koos vajalike seadmete ja tarkvara loetelude, lahenduskäikude ning võimalike probleemidega.

1. Soolsus

1.1. Soolsuse mõiste

Soolsuse mõõtmiseks peab teadma, mis see üldse on. Soolsus on läbi aegade omanud mitmeid definitsioone, mis on tingitud teaduse pidevast arengust. Soolsuse puhul määrab tema definitsioon ühtlasi ka mõõtmismeetodi, millest omakorda sõltuvad nii mõõtmistäpsus kui ka mõõtmisprotsessi läbiviimise keerukus. Soolsuse mõõtmist kasutatakse enamjaolt väljaspool laboreid, seetõttu peab mõõtmine olema kiire ja täpne. Mõõtmisvahendid peavad olema kerged ning lihtsasti kasutatavad. Näiteks ookeanidel toimuvatel ekspeditsioonidel võetud veeproovide soolsuse määramiseks on vaja meetodit, mille saab läbi viia kohe, ilma keerulisi keemilisi protsesse teostamata. Eelneva saavutamiseks ongi soolsuse mõistet pidevalt täiendatud ja reaalses elus kasutamiseks mugavamaks muudetud. Järgnevalt antakse ülevaade olulisematest soolsuse definitsioonidest ja mõõtmismeetoditest ning nendes tehtud muudatustest.

Ajalooliselt nimetati soolsuseks kõikide lahustunud ainete massi vee massiühiku kohta. Selliselt defineeritud soolsust leiti vee aurustamise teel, mille tulemusena sai määrata alles jäänud tahkete ainete massi. Et definitsiooni kohaselt tuleb leida kõikide lahustunud ainete mass (ka vedelikud ja gaasid), siis on reaalses elus selliselt defineeritud soolsust väga keeruline leida – vees leidub aineid, mille aurustumistemperatuur on vee omast madalam ja seega nad aurustuvad lahusest enne vee aurustumist. Sellised ained on näiteks mõned kloriidid (soolad või orgaanilised ühendid, mis koosnevad kloorist ja mingist muust elemendist [2]), näiteks lämmastikkloriid (NCl), mille keemistemperatuur on 71 kraadi Celsiust (C) [3]. Vee aurustumise viimastes staadiumites muutuvad kloriidid ebapüsivaks (nad aurustuvad) ning nende reaalse massi leidmine on lahusest vee aurustamise teel praktiliselt võimatu. Kõikide lahustunud ainete massil põhinevat soolsust nimetatakse absoluutseks. Selle iseloomustamiseks kasutati promille (‰) ehk tuhandikosi. 35-promillise soolsuse korral moodustavad soolad liitrist veest näiteks 3,5 protsenti ning ühe kilogrammi vee kohta on 35 grammi lahustunud aineid. [4]

Eelnevas lõigus kirjeldatud definitsioon osutus reaalse elu jaoks liiga keerukaks. Seega võeti 1902. aastal Rahvusvahelise Mereuurimise Nõukogu (ICES – *International Council for the Exploration of the Sea*) soovitusel kasutusele täpsem definitsioon: soolsus on

tahkete ainete mass vee massiühiku kohta, kus kõik karbonaadid on oksiidideks muundatud, broom ja jood asendatud klooriga ning orgaanilised ained oksüdeeritud [5]. Karbonaadid on süsihappesoolad, mis koosnevad katioonist ja karbonaatioonist, mille vahel on iooniline side [6]. Selline definitsioon likvideeris eelnevas lõigus kirjeldatud aurustumise probleemi, kuid praktikas oli sellisel teel soolsuse leidmine võimalik siiski vaid laborites. Vee koostise edasisel uurimisel leiti aga otsene seos kloori sisalduse ja soolsuse vahel: $S=1,80655Cl$ (S – soolsus, Cl – kloori sisaldus). Seega piisab eelnevat valemit kasutades soolsuse leidmiseks vaid kloriidide sisalduse määramisest. Selleks kasutatakse lihtsat keemilist analüüsi – tiitrimist. See on meetod ainete/ionide/elementide sisalduse määramiseks, mis põhineb tiitritava aine reaktsioonil ainega, mille kontsentratsioon on täpselt teada [7]. Vee aurustamisega võrreldes on tegemist lihtsama meetodiga, kuid välistes tingimustes võrdlemisi tülikaga. Antud viisil defineeritud meetodi täpsuseks on $\pm 0,02$ tuhandikosa. [4]

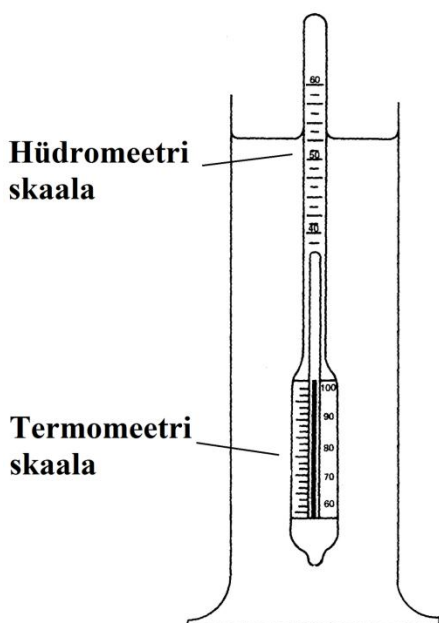
Eelnevas lõigus kirjeldatud kloori sisaldust kasutava definitsiooniga samaaegselt võeti kasutusele elektrijuhtivusel põhinev definitsioon. Selleks mindi 1978. aastal tänu mõõtetehnika arengule UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*) ekspertide ettepanekul üle praktilisele soolsuse skaalale (PSS – *Practical Salinity Scale*). Selle põhjuseks oli erinevate paikade vee varieeruv ionikoostis ning vajadus tiitrimisest kiirema soolsuse leidmise järele. Praktilise soolsuse skaala puhul mõõdetakse merevee elektrijuhtivust, temperatuuri ja rõhku ning soolsus määratakse nende põhjal algoritmi abil. Suuremale elektrijuhtivusele vastab üldjuhul suurem soolsus ning temperatuuri tõus üldiselt suurendab elektrijuhtivust. Täpsete mõõtmistulemuste korral on sellisel viisil leitud soolsuse täpsuseks $\pm 0,001$ tuhandikosa, mis on eelnevalt mainitud soolsuse määramise viisidest tunduvalt täpsem [4]. Praktilise soolsuse ühik (PSU – *Practical Salinity Unit*) on saadud standardse kaaliumkloriidi (KCl) vesilahuse ja vaadeldava mereveeproovi elektrijuhtivuse erinevuse suhtesosest. Kuna tegemist on seosega, siis ühikuid soovitavalt ei kasutata, vaid märgitakse $S=35$ [8]. Arvutusvalemid on kalibreeritud nii, et standardse ionikoostisega merevesi, milles on 35 grammi soolasid ühe liitri vee kohta, annab 35 praktilise soolsuse ühikut. Seega on praktilise soolsuse ühik umbkaudu võrreldav tuhandikosadega. Väiksemate soolsuste jaoks saadi arvutuslik sõltuvus katsetest, kus standardset merevett lahjendati. Ülejäänud merevete soolsus, mille ionikoostis võib olla erinev (eriti magedates ääremeres), on defineeritud elektrijuhtivuste suhte järgi temperatuuril 15 kraadi. [9]

Selles punktis tutvustati ajalooliselt kasutusel olnud soolsuse definitsioone ning nende muutumise põhjusi. Järgnevalt antakse ülevaade tänapäeval kasutusel olevatest soolsuse mõõtmise vahenditest ja meetoditest.

1.2. Soolsuse mõõtmise vahendid

Soolsuse määramiseks on mitmeid viise, mis erinevad täpsuselt, keerukuselt ja kasutatavate vahendite poolest. 21. sajandil on laiemalt levinud elektrilisel juhtivusel põhinevad mõõteriistad, kuid kasutatakse ka tunduvalt odavamaid alternatiive. Viimane on võimalik tänu teadlaste poolt kindlaks tehtud teadmisele, et vee paljud füüsikalised näitajad, nagu tihedus, erikaal ja valguse murdumistegur, on otseselt seotud soolsusega [10]. Järgnevates lõikudes tehakse ülevaade tänapäeval enim kasutatavatest tehnikatest ja seadmetest soolsuse mõõtmiseks.

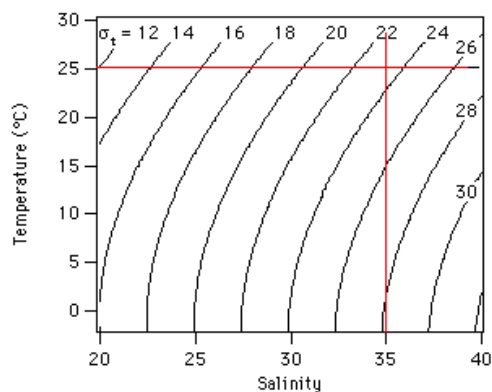
Esiteks on võimalik soolsust määrata hüdromeetri ja termomeetri abil. Hüdromeeter on mõõteriist, millega määratakse vee tihedus [11]. Nagu on näha joonisel 1, on need enamasti ühendatud üheks mõõteriistaks.



Joonis 1. Hüdromeeter ja termomeeter [12].

Pannes hüdromeetri puhtasse vette hõljuma ning lisades soola, tõuseb hüdromeeter kõrgemale – see on tingitud vee tiheduse suurenemisest. Tiheduse skaala asub hüdromeetri

ülemises osas ning seda loetakse vee piirilt. Hüdroomeetri ja termomeetri abil on võimalik leida vaadeldava vee tihedus ja temperatuur [13]. Vee soolsuse, temperatuuri ja tiheduse omavahelist suhet demonstreerib joonis 2. Tiheduste väärtustest on lahutatud 1000, seega on näiteks punaste joontega märgistatud veel temperatuuriga 25 °C ja soolsusega 35 tihedus 1023,3 grammi liitri kohta.



Joonis 2. Vedelike soolsuse (Salinity), temperatuuri (Temperature) ja tiheduse seos [14].

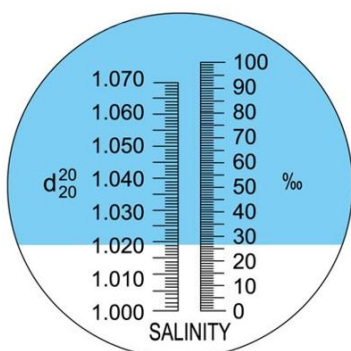
Teiseks võimaluseks soolsuse leidmisel on kasutada refraktomeetrit (kujutatud joonisel 3), millega määratakse vedeliku murdumisnäitaja. Murdumisnäitaja kirjeldab valguse suuna muutust kahe erineva keskkonna piiril [15].



Joonis 3. Refraktomeeter [16].

Vedeliku murdumisnäitaja on lineaarses seoses soolsusega, seetõttu on võimalik antud seadme abil soolsust määrata. Traditsiooniline käeshoitav refraktomeeter koosneb läätest ja suurendusklaasist. Uuritav vesi asetatakse läätsale (joonisel 3 vasakul) nii, et õhumulle ei ole, ning seejärel suunatakse mõõteriist tugeva valgusallika suunas. Vaadates suurendusklaasi (joonisel 3 paremal), peaks nägema soolsuse skaalat ning vedeliku

murdumisnäitajast tulenevat tulemust [17]. Vedeliku murdumisnäitajatele vastavad soolsuse väärtused on näidatud refraktomeetritele omasel skaalal joonisel 4.



Joonis 4. Refraktomeetri skaala. Vasakul on vee murdumisnäitaja ja paremal soolsuse skaala [18].

Eelnevalt kirjeldatud meetodid ei ole aga professionaalseks kasutamiseks piisavalt täpsed. Lahenduseks on soolsuse mõõtmine vee elektrilisel juhtimisel põhinevate mõõteriistadega. Vastav seade baseerub printsiibil, mille kohaselt soolsus mõjutab vee elektrijuhtivust. Mõõteriist leiab vee juhtivuse, mille põhjal arvutatakse erijuhtivus. Erijuhtivust kasutatakse algoritmis, millega leitakse soolsus. Täpsemalt on tööpõhimõtet selgitatud eelneva punkti eelviimases lõigus. Selliseid mõõteriistu on erineva välimusega (joonis 5), kuid tööpõhimõte on kõigil sama.

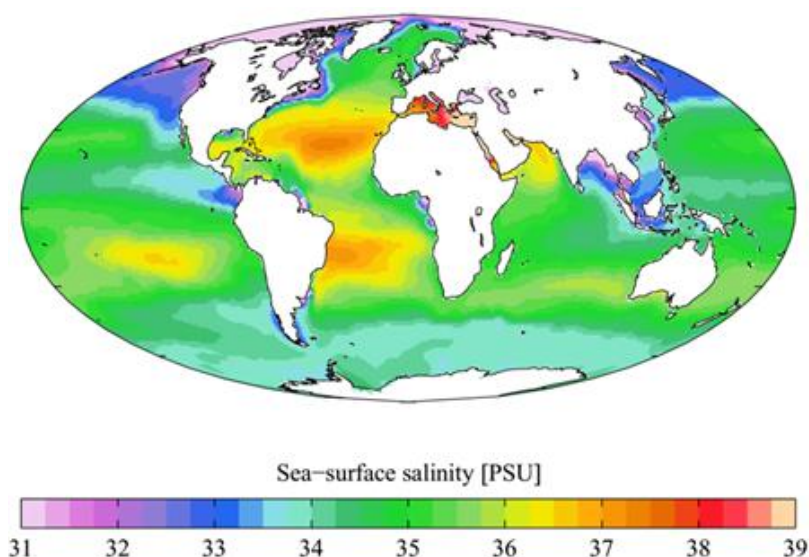


Joonis 5. 1 – Oregon Scientific ST228 [19], 2 – PST-EcoScan Salt 6 [20], 3 – Firma Verinier soolsuse andur [21].

Teises punktis tutvustati soolsuse mõõtmise vahendeid: hüdromeetrit ja termomeetrit, refraktomeetrit ning elektrilisel juhtivusel põhinevaid seadmeid. Järgnevalt on vaatluse all mõningad soolsust mõjutavad tegurid.

1.3. Soolsust mõjutavad tegurid

Soolsust mõjutavad mitmed tegurid. Kõige lihtsam on neid selgitada maailmamere näitel. Joonisel 6 on näha maailmamere soolsus eri paigus. Põhjapoolusel on keskmisest madalam soolsus. See on tingitud faktist, et vee soolsuse kasvades vee jäätumise temperatuur alaneb. Iga viie soolsuse ühiku kohta alaneb vee jäätumistemperatuur 0,28 kraadi (C). Sellest tulenevalt moodustub jää sellistest vee osadest, mille soolsus on võimalikult madal. Seega on põhjapoolusel mereveele lisanduv jääsulavesi ümbritsevast madalama soolsusega. [22]



Joonis 6. Maailmamere soolsus eri paigus (praktilise soolsuse skaalal). Roheline värv tähistab maailmamere keskmise lähedast soolsust, punakad toonid kõrgemat ja sinakad toonid madalamat soolsust [23].

Soolsust mõjutavaks teguriks on ka temperatuur, mis mõjutab otseselt vee aurustumise hulka. Mida suurem on aurustumine, seda suurem on vee soolsus, kuna soolad ei aurustu ning jäävad vette. Selline olukord on ekvaatori lähedal, täpsemalt temast veidi põhja ja lõuna pool, kus aurumine ületab sademete hulga. Ekvaatoril on küll temperatuurid kõrged, kuid suur sademete hulk hoiab soolsuse keskmise lähedal. [24]

Maailmamere soolsust mõjutab ka jõgede sissevool. Selline olukord on India lähistel, kus Bengali lahte suubub palju suuri jõgesid, mis hulgaliselt magedat vett merre viivad. Lisaks mõjutab soolsust suur sademete hulk, mis merevee koostise magedamaks muudab. [24]

Esimene peatükk andis ülevaate soolsuse ajaloolistest definitsioonidest, nendega seotud mõõtmisviisidest ja -vahenditest ning soolsust mõjutavatest teguritest. Järgnevalt tutvustatakse firma Vernier soolsuse andurit ning uuritakse selle tööpõhimõtet ja kasutamist.

2. Firma Vernier soolsuse andur

Vernier on Portlandis asuv ettevõte, mis keskendub erinevate füüsikaliste ja keemiliste nähtuste mõõtmiseks vajalike andurite tootmisele. Ettevõtte asutati 1981. aastal ning on tänaseks üks juhtivaid hariduslikuks otstarbeks kasutatavate laboritoodete valmistajaid [25]. Firma Vernier soolsuse anduri tööpõhimõtet on tutvustatud ingliskeelse kasutusjuhendi põhjal [26].

2.1. Soolsuse anduri spetsifikatsioon ja ehitus

Firma Vernier poolt loodud soolsuse andur on mõeldud kiireks ja lihtsaks soolsuse mõõtmiseks. Mõõtmistulemuse saamiseks on kasutatud eelnevas peatükis kirjeldatud elektrijuhtivuse põhjal soolsuse määramist. Enne anduri kasutamist peaks tutvuma selle tähtsamate omadustega:

- | | |
|---|---|
| • mõõtmisvahemik: | 0-50 promilli (‰) |
| • mõõtmistäpsus: | $\pm 1\%$ |
| • reageerimisaeg: | 5 sekundit |
| • automaatne temperatuuri kompensatsioon: | 5-35 kraadi Celsiust ($^{\circ}\text{C}$) |
| • manuaalne temperatuuri kompensatsioon: | 0-80 kraadi Celsiust ($^{\circ}\text{C}$) |
| • elektroodide konstant: | 10 |

Automaatne temperatuuri kompensatsioon tähendab anduri võimet kompenseerida vahemikus 5-35 kraadi Celsiust temperatuurist tulenevat soolsuse muutust. See tähendab, et andur annab konkreetse lahuse korral nii 5 kraadi kui ka 35 kraadi juures sama tulemuse. Manuaalse temperatuuri kompensatsiooni korral on vahemik üle kahe korra suurem, kuid kasutaja peab sellisel juhul vedeliku temperatuuri ise määrama. Elektroodide konstant on suurus, mida kasutatakse elektrijuhtivusest erijuhtivuse arvutamisel. See saadakse elektroodidevahelise kauguse jagamisel elektroodide pindalaga. Erijuhtivusest arvutatakse soolsus.

Andur on 120 millimeetrit pikk ning 12-millimeetrise diameetriga. Joonisel 7 nähtava anduri plastikust kere on kompaktne ning kerge, mis võimaldab anduri kasutamist ka väljaspool klassiruumi.



Joonis 7. Firma Vernier soolsuse andur [21].

Joonisel 8 on näha anduri avaga ots, kus asuvad kaks elektroodi, mille tööpõhimõtet selgitatakse täpsemalt järgmises punktis.



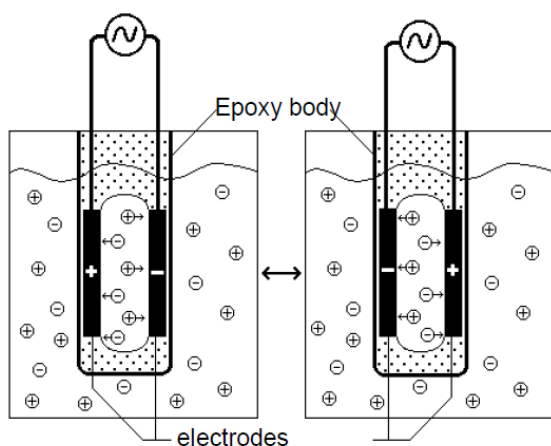
Joonis 8. Soolsuse anduri otsas asuv elektrood.

Andur on eelnevalt kalibreeritud, seega pole uuesti kalibreerimine vajalik. Kalibreerimine on menetlus, mis fikseeritud tingimustel määrab kindlaks seose mõõtevahendiga saadud väärtuse ja etaloni (kontrollmõõdu) abil realiseeritud füüsikalise suuruse vastava väärtuse vahel. Kui on soov andurit ise kalibreerida, siis peab kasutama kaheetapilist kalibreerimist. Esimeses osas tuleb andurit kasutada õhu käes ning saadav tulemus määrata nulliks tuhandikosaks. Teises osas mõõdetakse lahust, mille elektrijuhtivus on varasemalt teada. Sellest, kuidas andurit kasutada, on võimalik lugeda järgnevatest punktidest.

2.2. Soolsuse anduri tööpõhimõte

Antud andur mõõdab vedelike elektrijuhtivust. Elektrijuhtivus on aine võime juhtida elektrivoolu, mis on tingitud liikumisvõimeliste laetud osakeste – laengukandjate – olemasolust aines. Elektrijuhtivuse tähiseks on E (inglisekeelsetes materjalides G) ja ühikuks siimens (S). Elektrijuhtivus on takistuse R pöördväärtus: $E = \frac{1}{R}$; $1S = \frac{1}{1\Omega}$. Soolsuse määramiseks on vaja teada aga aine erijuhtivust σ (inglisekeelsetes materjalides C), mis leitakse valemiga: $\sigma = E * k_c$, kus E on elektrijuhtivus ja k_c elektrodide konstant. Viimane arvutatakse valemiga $k_c = \frac{d}{A}$ (d – elektrodidevaheline kaugus, A – elektrodide pindala). Töös käsitletava anduri elektrodide konstant on $k_c = \frac{d}{A} = \frac{1.0cm}{0.1cm^2} = 10cm^{-1}$. Siimens on väga suur ühik, seetõttu kasutatakse lahuste puhul erijuhtivuse ühikuna mikrosiimensit sentimeetri kohta ($\mu S/cm$). Keskmise joogivee erijuhtivus on näiteks $100 \mu S/cm$. 1 siimens võrdub 1 000 000 mikrosiimensiga.

Järgnevalt kirjeldatakse elektrijuhtivuse mõõtmise protsessi. Anduri sisselülitamisel tekitatakse elektrodidele pinge, mille tulemusena tekib lahuses elektriväli ja aineosakesed (soolad) hakkavad liikuma. Aineosakeste hulk määrab elektrijuhtivuse. Kuna elektrodidele omistatakse erinevad laengud (positiivne ja negatiivne), siis liiguvad aineosakesed vastavalt – negatiivsed osakesed positiivse ja positiivsed negatiivse elektroodi suunas. Vältimaks kõikide osakeste kogunemist elektrodidele, muudab andur teatud aja tagant automaatselt elektrodide laenguid. Sellega tagatakse mõõtmise täpne tulemus (joonis 9).



Joonis 9. Aineosakeste liikumine elektrodide suunas ja elektrodide laengute muutumine [26].

Eelnevalt leitud erijuhtivusest soolsuse arvutamiseks saab kasutada järgnevat valemit:
 $S = K_1 + (K_2 * R^{0.5}) + (K_3 * R) + (K_4 * R^{1.5}) + (K_5 * R^2) + (K_6 * R^{2.5})$, kus S on soolsus ja konstandid:

$$K_1 = 0,0120$$

$$K_2 = -0,2174$$

$$K_3 = 25,3283$$

$$K_4 = 13,7714$$

$$K_5 = -6,4788$$

$$K_6 = 2,5842$$

Muutuja R on vaadeldava vedeliku ja standardse merevee (soolsusega 35) erijuhtivuste suhe. Eelnev valem on tuletatud standardse merevee lahjendamisest destilleeritud veega saadud andmetest. Valemi kasutamisel peab arvestama, et erijuhtivuse väärtused oleks leitud 25 kraadi Celsiuse juures. Standardse merevee erijuhtivus 25 kraadi juures on 53,087 millisiimensit sentimeetri kohta (mS/cm). Seega suhte saamiseks peab vaadeldava lahuse erijuhtivuse jagama väärtusega 53,087 mS/cm, seejuures arvestades sellega, et ühikud oleks erijuhtivustel võrdsed: $R = \text{vaadeldava lahuse erijuhtivus (mS/cm)} / \text{standardse merevee erijuhtivus (53,087 mS/cm)}$. [27]

Näitena kasutatakse eelnevalt kirjeldatud valemit vedeliku, mille erijuhtivus on 44 mS/cm, soolsuse leidmiseks. Selleks tuleb arvutada erijuhtivuste suhe: $R = 44 \text{ mS/cm} / 53,087 \text{ mS/cm} = 0,829$, kuna tegemist on suhtega, siis ühikud puuduvad. Järgnevalt asendada valemis konstandid ja muutuja R : $S = 0,0120 + (-0,2174 * 0,829^{0.5}) + (25,3283 * 0,829) + (13,7714 * 0,829^{1.5}) + (-6,4788 * 0,829^2) + (2,5842 * 0,829^{2.5}) = 28,37$. Seega vedeliku, mille erijuhtivus on 44 mS/cm, soolsus on 28,37.

Eelnevas punktis tutvustati soolsuse anduri tööpõhimõtet: esiteks mõõdetakse vedeliku elektriijuhtivus, teiseks arvutatakse erijuhtivus ja viimaks leitakse erijuhtivuse põhjal vedeliku soolsus. Järgmises punktis kirjeldatakse anduri korrektset kasutamist.

2.3. Anduriga soolsuse mõõtmine

Korrektse mõõtmistulemuse saamiseks on anduri käsiraamatus järgmised soovitused:

- loputa anduri ots destilleeritud veega ning kuivata;
- aseta andur vette nii, et anduri otsas olev avaus oleks täielikult lahuses (anduri täielik lahusesse panek on keelatud, kuna käepide ei ole veekindel);
- oota mõõtmistulemuse stabiliseerumist (võtab aega maksimaalselt viis kuni kümme sekundit);
- enne uue mõõtmise läbiviimist loputa anduri ots destilleeritud veega;
- kui vedeliku temperatuur on alla 15°C või üle 30°C, siis võib korrektse näidu saamine rohkem aega võtta (tingitud temperatuuri kompensatsiooni kohandamisest).

Kui andurit kasutatakse ilma robotika komplektita, tuleb see ühendada sobiva seadmega, näiteks Vernier LabQuest või Vernier LabQuest Mini. Järgnevalt on vaatluse all, kuidas andurit kasutada koos LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga.

2.4. Soolsuse anduri ühendamine LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga

Firma Vernier soolsuse andurit on võimalik kasutada mitmete seadmete ja tarkvarapakettidega. Antud töös kasutatakse andurit LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga. Joonisel 10 on näidatud, kuidas seadmeid omavahel ühendada. Soolsuse anduri (1) ühendamiseks NXT juhtploki (3) on vajalik firma Vernier poolt toodetud NXT adapter (2).



Joonis 10. Soolsuse anduri (1), NXT adapteri (2) ja LEGO NXT juhtploki (3) ühendamine.

Joonisel 11 nähtaval NXT adapteril on kaks ühenduspesa, üks firma Vernier andurite, teine LEGO MINDSTORMS NXT ühendamiseks. Joonisel on näha neist esimene. Kaablite ühendamisel on eksida praktiliselt võimatu, kuna ühenduspesad on erinevad. Juhtplokiga ühendamisel peab arvestama, et kaabel tuleb panna NXT porti 1-4.



Joonis 11. Firma Vernier NXT adapter [28].

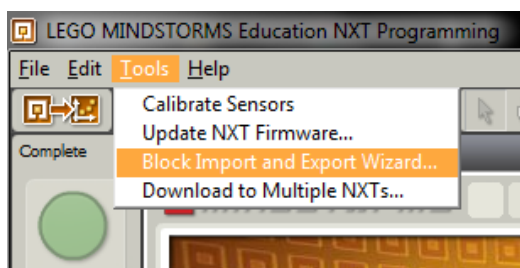
Täpsemalt võib LEGO NXT juhtploki ja andurite kohta lugeda Robootika.ee õppematerjalist „LEGO NXT lühitutvustus” [29].

2.5. Soolsuse anduri programmeerimine NXT-G abil

NXT-G on LEGO MINDSTORMS NXT komplekti jaoks mõeldud graafiline programmeerimiskeel. Tegemist on võrdlemisi lihtsa keelega, kus programmeerimine

toimub plokkide lohistamisel programmeerimisalale ja seejärel nende ühendamise ja parameetrite määramise teel. Firma Vernier andurite jaoks vajalik plokk programmeerimiskeeles NXT-G vaikinisi puudub – see tuleb eraldi installeerida.

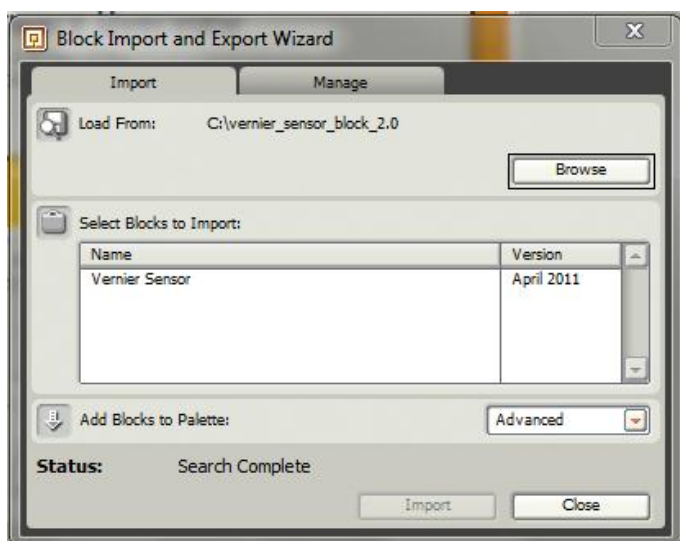
Andurite ploki paigaldamiseks vajalikud failid saab alla laadida firma Vernier kodulehelt [30]. Allalaetud fail tuleb lahti pakkida ja seejärel NXT-G keskkonda importida. Selleks peab *Tools* menüüst valima *Block Import and Export Wizard* (joonis 12).



Joonis 12. Firma Vernier ploki importimine.

Seejärel avaneb dialoogiaken, mis on esitatud joonisel 13. Ploki importimiseks tuleb teha järgmised sammud:

1. Vajutada *Browse* ja valida eelnevalt lahtipakkimisel tekkinud kaust.
2. Märgistada loendist *Select Blocks to Import* rida *Vernier Sensor*.
3. Valida rippmenüüst, millisesse gruppi plokk paigutada.
4. Vajutada *Import*.
5. Importimise lõppedes vajutada *Close*.



Joonis 13. Ploki importimise dialoogiaken.

Andurite plokki importimise õnnestumisel ilmub NXT-G plokkide menüüs plokk nimega „Vernier Sensor”. Plokki on võimalik kasutada, lohistades see programmeerimisalale. Seejärel avaneb joonisel 14 kujutatud vaade.

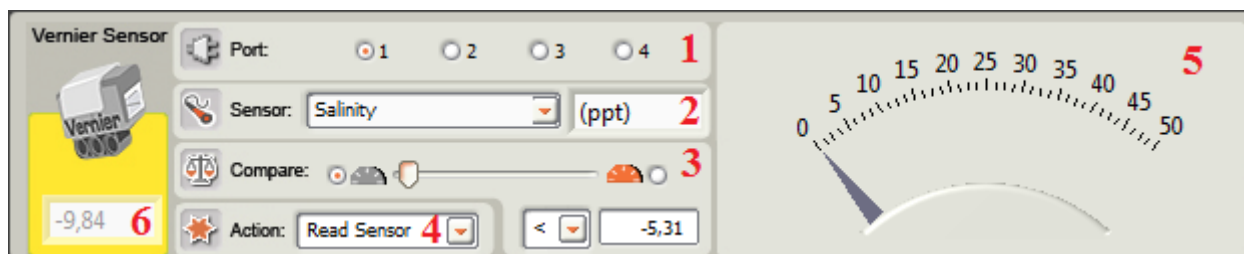


„Vernier Sensor” plokki sisendid ja väljundid on järgmised:

1. Juhtploki pordi number, kuhu andur ühendatud on.
2. Tegevus.
3. Päästik – väärtus, millele andur reageerib.
4. Võrdlus.
5. Võrdluse väärtus.
6. Väärtus töötlemata kujul.
7. Väärtus numbrina.
8. Väärtus tekstina.

Joonis 14. Soolsuse anduri plokk.

Vajutades plokile „Vernier Sensor”, avaneb omaduste paneel, kus on võimalik anduri seadeid muuta. Joonisel 15 on näha soolsuse anduri omaduste paneel.



Joonis 15. Soolsuse anduri omaduste paneel.

Omaduste paneelil on võimalik muuta järgmisi seadeid:

1. Port – võimalik määrata, millisesse juhtploki porti on andur ühendatud.
2. Sensor – võimalik valida firma Vernier andureid (hetkel valitud soolsuse andur).
3. Võrdlus – võimalik määrata väärtus, millega anduri näitu võrrelda.
4. Tegevus – võimalik valida kolme tegevuse vahel:
 - a. *Read Sensor* – anduri näidu lugemine;
 - b. *Zero/Calibrate* – anduri nullimine/kalibreerimine;
 - c. *Reset* – anduri tehaseseadete taastamine.

5. Skaala – võimalik näha anduri hetkenäitu, kui anduriga juhtplokk on arvutiga ühendatud.
6. Anduri hetkenäit – võimalik näha anduri arvulist hetkenäitu, kui anduriga juhtplokk on arvutiga ühendatud.

Käesolevas peatükis on välja toodud olulisemad punktid, mida firma Vernier soolsuse anduri kasutamisel LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga teadma peaks. Järgnevalt esitatakse mõned võimalikud ülesanded antud anduriga tutvumiseks.

3. Ülesanded

Antud peatükis on välja pakutud neli näidisülesannet, mida soolsuse anduriga lahendada. Kõikidele ülesannetele on lisatud nende raskustase, eesmärk, ülesande täitmiseks vaja minevad vahendid, ülesande püstitus ning üks võimalikest lahendustest. Ülesannete lahendamiseks on vaja LEGO MINDSTORMS NXT komplekti, firma Vernier soolsuse andurit ja NXT adapterit ning LEGO NXT tarkvara.

Esimene ülesanne on väga lihtne ning on mõeldud anduri korrasoleku kontrollimiseks. Teises ülesandes tutvutakse NXT-G programmeerimiskeelega lähemalt ning kasutatakse tsüklit. Kolmas ülesanne on eelnevast veidi keerulisem ning vajab kahe tsükli kasutamist. Esimesed kolm ülesannet on mõeldud algajatele ning nende lahendused on välja toodud üksikasjalikult. Neljas ülesanne on eelnevatest tunduvalt raskem ning lahendus ei ole eelnevatega võrreldes nii detailselt välja toodud. Seega on selle ülesande lahendamiseks vajalik eelnev LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga töötamise ja programmeerimiskeele NXT-G kogemus.

3.1. Ülesanne 1

Tase: Väga kerge

Eesmärk: Testida soolsuse anduri tööd.

Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid:

- LEGO MINDSTORMS NXT komplekt
- Firma Vernier soolsuse andur ja NXT adapter
- Arvuti koos LEGO MINDSTORMS NXT tarkvaraga

Ülesande püstitus: Ühendada soolsuse andur juhtploki vahendusel arvutiga ning jälgida anduri näitu.

Lahendus:

Riistvara kasutamiseks peab ühendama NXT juhtploki, NXT adapteri ja soolsuse anduri ning jätma meelde pordi numbri, kuhu andur paigaldati. Näidu jälgimiseks peab ühendama juhtploki USB kaabli vahendusel arvutiga.

Anduri näidu kuvamiseks peab valima firma Vernier andurite ploki ning sealt soolsuse (*Salinity*). Anduri tegevuseks peab olema valitud anduri näidu lugemine (*Read Sensor*). Seejärel lülitada NXT juhtplokk sisse. Kui ühendus on loodud, kuvatakse arvuti ekraanil anduri näit. Lahenduseks kasutatav fail „Yl_1_test.rbt” on esitatud ka käesoleva töö lisas 1 oleval CD-plaadil.

Tekkida võivad probleemid:

Kui anduri näitu ei kuvata, siis:

- kontrollida üle ühendused ja kaablid;
- avada arvutis NXT aken (*NXT window*) ning teha kindlaks, kas juhtplokk on arvutiga ühenduse loonud;
- kontrollida anduri pordi numbri ja programmis kasutatava numbri ühtivus.

3.2. Ülesanne 2

Tase: Kerge

Eesmärk: Tutvuda LEGO MINDSTORMS NXT komplekti, firma Vernier soolsuse anduri ja programmeerimiskeelega NXT-G ning katsetada anduri tööd.

Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid:

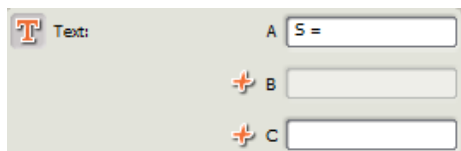
- LEGO MINDSTORMS NXT komplekt
- Firma Vernier soolsuse andur ja NXT adapter
- Arvuti koos LEGO MINDSTORMS NXT tarkvaraga
- Kraanivesi ja anum

Ülesande püstitus: Koostada programm, mis väljastab soolsuse anduri väärtuse NXT juhtploki ekraanile kujul $S = \langle \text{väärtus} \rangle$, ning mõõta kraanivee soolsus.

Lahendus:

Riistvara kasutamiseks peab ühendama juhtploki, NXT adapteri ja soolsuse anduri ning jätma meelde pordi numbri, kuhu andur paigaldati.

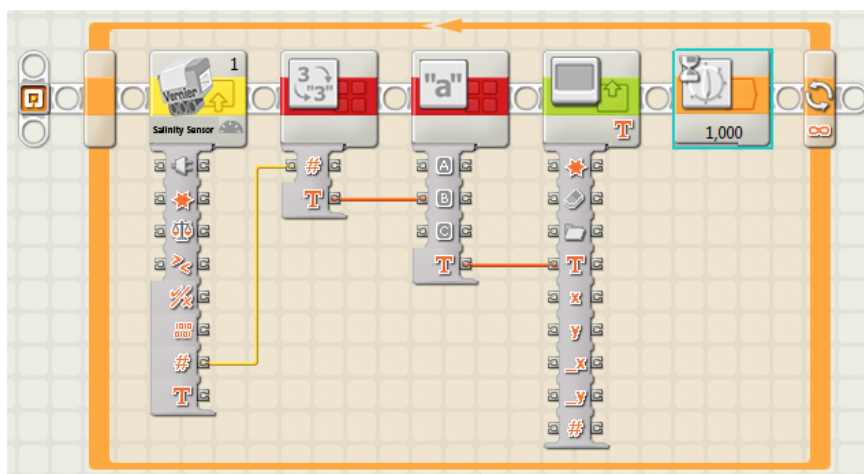
Programmi loomiseks tuleb kasutada soolsuse anduri plokki (*Salinity*). Kuna anduri poolt edastatav väärtus on numbriline, siis kasutada plokki, mis teisendaks numbri tekstiks (*Number to Text*). „S = ” lisamiseks väärtuse ette peab kasutama tekstiplokki (*Text*) ning lisama teksti nii, nagu on näha joonisel 16.



Joonis 16. „S =“ lisamine väärtuse ette.

Tekstile väärtuse lisamine toimub teisenduse plokki väljundi ühendamisel tekstiploki sisendisse B. Juhtploki ekraanil kuvamiseks tuleb kasutada ekraaniplokki (*Display*), mille tegevuseks (*Action*) peab valima teksti kuvamise. Kõik eelnevad plokid tuleb panna tsükklisse, mis tagab anduri näidu jätkuva kuvamise. Soovitatavalt peaks lisama tsükklisse ka ooteploki (*Wait*), vastasel korral vaheldub näit ekraanil liiga kiiresti, mis teeb selle jälgimise keerukaks.

Eelnevalt kirjeldatud lahenduse üks variante on toodud joonisel 17. CD-plaadil asuva lahenduse faili nimi on „Yl_2_soolsus_ekraanil.rbt”



Joonis 17. Ekraanipilt ülesande 1 võimalikust lahendusest.

Kraanivee soolsuse mõõtmiseks tuleb programm laadida juhtploki ning seejärel käivitada. Pärast anduri vette asetamist ja näidu stabiliseerumist saab lugeda ekraanilt vee soolsuse.

Tekkida võivad probleemid:

- Kui ekraanile soolsuse näitu ei kuvata, siis kontrollida, et:
 - anduri plokis oleks kindlasti valitud soolsuse andur;
 - soolsuse anduri port vastaks plokis valitule.
- Teksti vilkumise korral eemaldada ekraanile kuvamise plokis linnuke *Clear* eest.
- Soolsuse väärtuse liiga kiire uuenemise korral pikendada ooteploki aega.

3.3. Ülesanne 3

Tase: Keskmine

Eesmärk: Tutvuda ekraanile joonistamise, arvutamise ning loendurit kasutava tsükliga.

Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid:

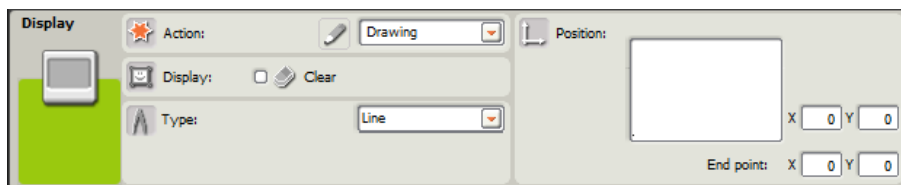
- LEGO MINDSTORMS NXT komplekt
- Firma Vernier soolsuse andur ja NXT adapter
- Arvuti koos LEGO MINDSTORMS NXT tarkvaraga
- Kraanivesi ja anum
- Sool

Ülesande püstitus: Koostada programm, mis joonistab soolsuse anduri väärtused juhtploki ekraanile graafikuna, ning uurida, kuidas mõjub soola lisamine vette anduri näidule.

Lahendus:

Riistvara ühendatakse sarnaselt eelnevatele ülesannetele.

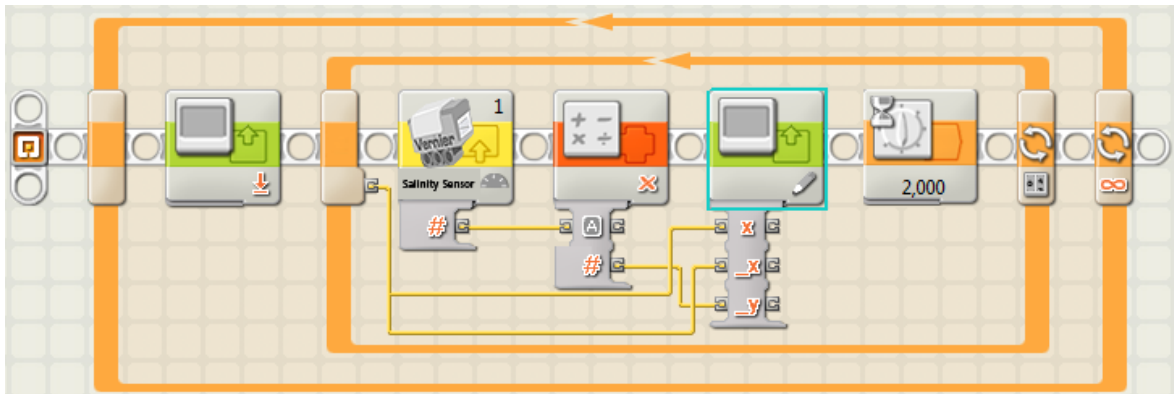
Programmis on vaja kasutada soolsuse anduri plokki. Juhtploki ekraani kõrgus on 60 pikslit, seega tuleb korrutada graafiku paremaks jälgimiseks anduri väärtus kahega. Selleks kasutatakse matemaatika (*Math*) ploki operatsiooni korrutamine (*Multiplication*). Ekraaniploki valitakse joone (*Line*) joonistamise (*Drawing*) funktsioon. Graafiku alguspunktiks tuleb määrata ekraani vasak alumine nurk – sisestada väärtused, nagu näidatud joonisel 18.



Joonis 18. Ekraaniploki seadistamine graafiku joonistamiseks.

Eelnevalt kahega korrutatud soolsuse väärtus on Y lõpp-punkt. Punkti X algus- ja lõpp-punkt on mõõtmiskorra arv, mis saadakse loendurit kasutava tsükli väärtusest. Et ekraani laius on 100 pikslit, siis peab tsükli töö lõpetama pärast saja korduse tegemist. Graafiku paremaks jälgimiseks on mõõtmise sageduseks määratud kaks sekundit. Kui tsükkel on lõpetanud, siis peab graafiku joonistamine uuesti puhtalt ekraanilt alustama, selleks tuleb panna kogu programm lõpmatusse tsükklisse ning lisada ekraani puhastamise plokk. Üks

võimalikke lahendusi, mis on olemas CD-plaadil failis nimega „Yl_3_graafik.rbt”, on toodud joonisel 19.



Joonis 19. Ülesande 3 lahenduse ekraanipilt.

Joonisel 20 on näha NXT juhtplokki ekraanipilt soolsuse graafiku joonistamisest. Graafikul eristuvad selgelt soolsuse näidu tõusud. Esimene neist toimus anduri vette asetamisel, ülejäänud soola lisamisel vaadeldavale vedelikule.



Joonis 20. Ülesande 3 käigus NXT juhtplokki ekraanile joonistatav graafik.

Eelnevat ülesannet võib näiteks täiendada, muutes mõõtmisperioodi pikemaks ning seejärel lisades jääd lahusesse, on võimalik uurida jää sulamise mõju antud lahusele.

Tekkida võivad probleemid:

- Kui ekraanile soolsuse graafikut ei kuvata, siis kontrollida, et:
 - anduri plokis oleks kindlasti valitud soolsuse andur;
 - soolsuse anduri port vastaks plokis valitule;
 - ekraanile joonistamise plokis oleks valitud joone joonistamine.
- Ekraani puhastamata jätmisel ei ole graafik enam täpne.
- Loenduriga tsüklil tuleb funktsiooni loenduri (*Counter*) ette panna linnuke, vastasel juhul ei saa määrata mõõtmiskorda.

3.4. Ülesanne 4

Tase: Raske

Eesmärk: Tutvuda soolsuse ja kauguse andurite ning mootorite tööga, kasutada muutujat keskmise arvutamiseks ning faili andmete salvestamiseks.

Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid:

- LEGO MINDSTORMS NXT komplekt
- Firma Vernier soolsuse andur ja NXT adapter
- Arvuti koos LEGO MINDSTORMS NXT tarkvaraga
- Sool, vesi ja kolm ühesugust anumat

Ülesande püstitus: Ehitada robot, mis mõõdaks kolme vedeliku soolsuse ning kuvaks tulemused ekraanile. Robot peab olema võimeline sirge liikumise pealt tuvastama anuma ning peatuma. Seejärel tuleb mõõta vedeliku soolsus ja liikuda kuni järgmise anuma tuvastamiseni. Mõõtmistulemused salvestada faili, kust need hiljem ekraanil esitamiseks lugeda.

Lahendus:

Roboti ehitamisel peab arvestama kasutatavate anumate kõrgusega, sest anumad peavad jääma kauguse sensori vaatevälja. Soolsuse andur pole LEGO poolt toodetud, seega puuduvad sel kinnituskohad, mille pärast peab selle paigaldamiseks leidma alternatiivse lahenduse, näiteks kummipaelad. Juhtploki ekraan peab olema kasutajale nähtav, sest ülesandes kasutatakse seda andmete kuvamiseks. Üks võimalik robot ülesande lahendamiseks on joonistel 21 ja 22.



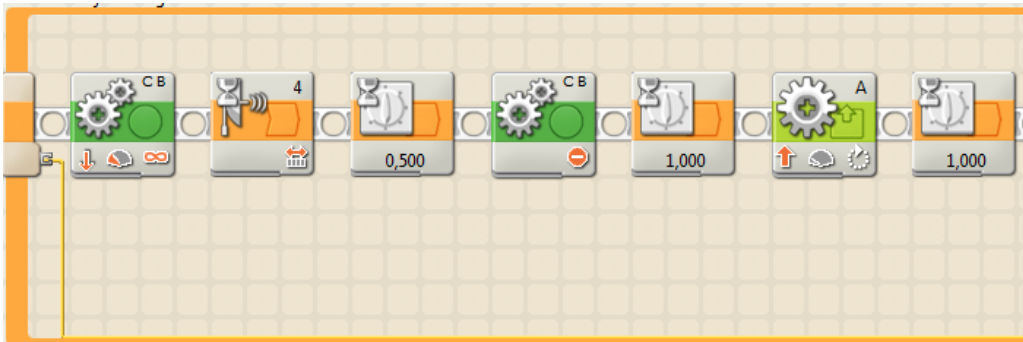
Joonis 21. Ülesande 4 lahendamiseks sobilik robot esialgses asendis.



Joonis 22. Ülesande 4 lahendamiseks sobilik robot soolsuse mõõtmise asendis.

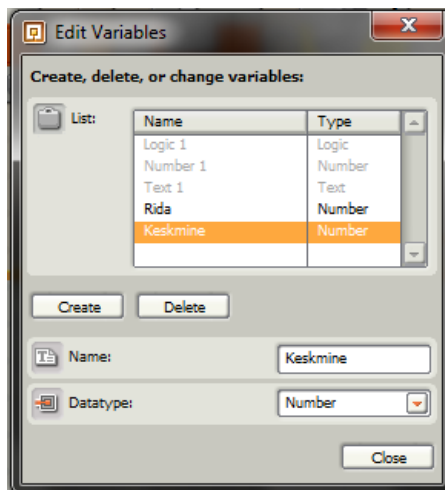
Jälgima peaks veel juhtploki asendit ning seda, et kaablite ühendamiseks vajalikud pesad oleks lihtsalt ligipääsetavad.

Programmi loomist tuleb alustada roboti liikuma panemisest. Seejärel lisada ooteplokk, mis aktiveeruks juhul, kui kauguse sensori vaatevälja satub objekt, mis on lähemal kui 5 sentimeetrit. Eelnevalt kirjeldatud roboti eripära arvestades lisatakse enne peatumise plokki poolesekundiline viivitus, mille tulemusena satub soolsuse andur anuma suhtes õigesse asupaika. Seejärel liigutatakse mootorit, mille küljes soolsuse andur asub, 90 kraadi. See langetab anduri vedeliku sisse. Eelneva programmiosa kirjeldus on toodud joonisel 23.



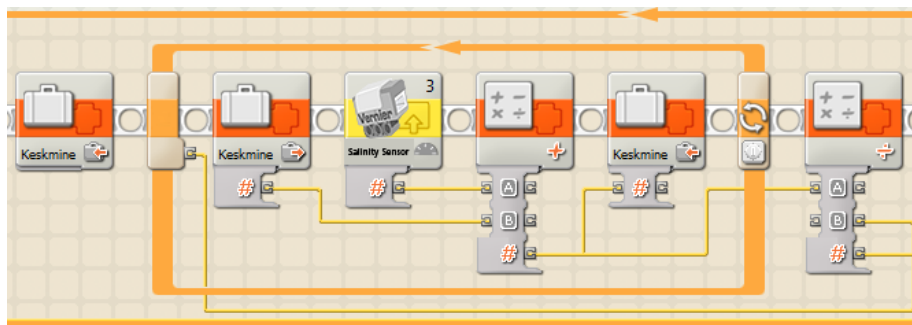
Joonis 23. Roboti liikumine, anuma juures peatumine ning soolsuse anduri vedelikku langetamine.

Järgnevalt tuleb mõõta vedeliku soolsus viie sekundi jooksul, selleks defineerida *Edit - Define Variables* menüüs uus numbriline muutuja „Keskmine”, nagu näidatud joonisel 24.



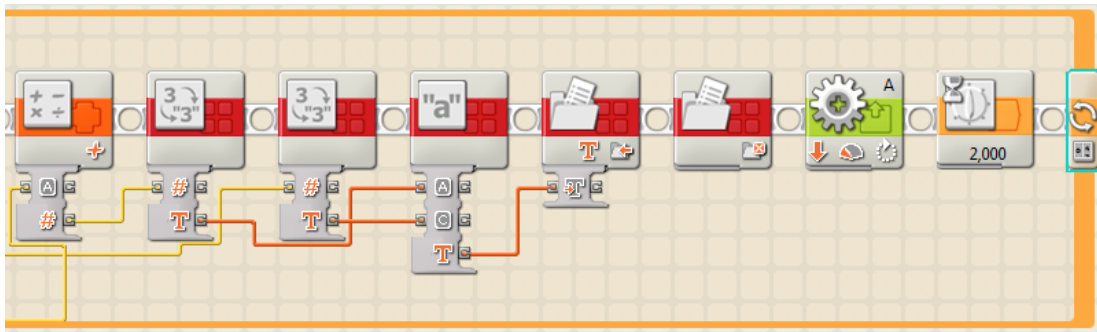
Joonis 24. Muutuja „Keskmine” loomine.

Muutuja loomiseks lohistada muutuja plokk programmeerimisalale ning valida õige nimi. Antud ülesande jaoks peab muutuja väärtuseks määrama nulli. Joonisel 25 on toodud programmi osa, kus viis sekundit kestva tsükli sees liidetakse muutuja “Keskmine” väärtusele igal tsükli läbimisel soolsuse andurilt saadud väärtus. Soolsuste summa jagatakse tsükli lõppedes arvutamise plokkis tsükli läbimise kordade arvuga, mille tulemusena saadakse vedeliku keskmine soolsus.



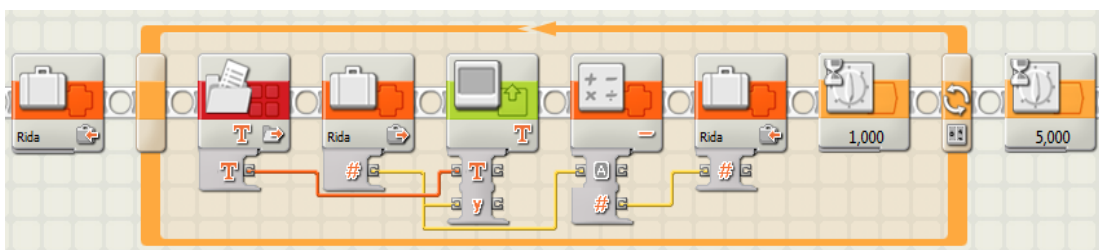
Joonis 25. Keskmise soolsuse arvutamine.

Programmi järgnev osa, kujutatud joonisel 26, salvestab saadud tulemused faili „Soolsus”. Andmed salvestatakse kujul: <anuma järjekorranumber>. anum: <soolsus>. Selleks liidetakse soolsuse mõõtmise tsükli läbimise korrale (algab nullist) üks ning muudetakse saadud arv ja vedeliku soolsus tekstiks. Saadud tekstid liidetakse tekstiplokkis, mille tulemus faili kirjutatakse. Faili hilisemaks lugemiseks peab selle kirjutamise lõppedes sulgema. Kui soolsuse mõõtmine ja andmete faili kirjutamine on lõpetatud, siis tõstetakse soolsuse andur üles.



Joonis 26. Andmete tekstiks muutmine ning faili salvestamine.

Joonisel 27 jätkub programmi loomine. Failis „Soolsus” on kolm rida andmeid, seega peab andmed kirjutama juhtploki ekraani kolmele reale. Kuna ekraaniploki sisendites rea valimise võimalust ei ole, siis peab sellele ette andma Y väärtuse, mille jaoks tuleb luua uus muutuja „Rida” ning selle väärtuseks määrata ekraani kõrgus, kust trükkimist alustada. Selles näites on väärtuseks 48. Juhtplokk kasutab ühe rea kuvamiseks kaheksat pikslit, seega lahutatakse muutuja väärtusest iga tsükli lõpus kaheksa. Tsükli kasutatakse sellepärast, et failist andmete lugemine toimub rea haaval. Iga tsükli jooksul loetakse üks rida. Kui andmed on failist loetud, kuvatakse neid ekraanil viis sekundit ning seejärel lõpetab programm töö.



Joonis 27. Failist andmete lugemine ja ekraanile kuvamine.

Andmete edasiseks kasutamiseks faili „Soolsus” programmi lõpus ära ei kustutata. Programmi korduva kasutamise jaoks tuleb faili kustutamine programmi algusesse panna. See tagab olukorra, kus andmete lugemisel on failis alati maksimaalselt kolm rida. Eelnevalt kirjeldatud programmi fail nimega „Yl_4_m66tmine.rbt” ja roboti tööd demonstreeriv video „Yl_4_video.avi” on tööga kaasas oleval CD-plaadil.

Ülesande täiustamiseks on palju variante. Üheks võimaluseks on kõige soolasema lahuse valimine ning selle juurde robotiga tagasi sõitmine ja näiteks heli- või valgussignaali sellest märku andmine. Lisaks võib ka suurendada anumate arvu.

Tekkida võivad probleemid:

- Kui eelnevalt loodud faili ei kustutata, siis õigeid andmeid lugemisel ei saa (loetakse kolm esimest rida).
- Roboti ehitusest tulenevalt võib olla vajalik programmis muudatuste tegemine (ooteajad, soolsuse andurit liigutava mootori pööramisraadius).
- Faili peab kindlasti enne lugema hakkamist sulgema, vastasel juhul lugemine ebaõnnestub.
- Andmete ekraanile kuvamisel peab *Clear* eest linnukese ära võtma, et kuvataks kõiki andmeridu.

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli luua õpetajatele ja õpilastele arusaadav eestikeelne õppematerjal firma Vernier soolsuse andurist, kirjeldada selle kasutamise- ja programmeerimisvõimalusi LEGO MINDSTORMS NXT komplekti ja tarkvaraga ning luua anduriga tutvumiseks erineva raskusastmega ülesandeid.

Töös on järgitud ühtset struktuuri teiste sarnaste bakalaureusetöödega, mis kirjeldavad LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga kasutatavaid andureid. Töö koosneb kolmest peatükist. Esimeses tehti ülevaade läbi aegade kasutusel olnud soolsuse mõistetest ning selgitati nende muutmise põhjusi. Kirjeldati erinevaid soolsuse mõõtmisviise, toodi välja maailmamere kontekstis soolsust mõjutavad tegurid. Teises peatükis keskenduti firma Vernier soolsuse anduri tööpõhimõtte ja kasutamise selgitamisele. Toodi välja anduri olulisemad karakteristikud ning juhendati andurit koos LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga korrektselt kasutama. Kolmandas peatükis pakuti välja erineva raskustasemega ülesandeid robotikaringides ja koolitundides kasutamiseks. Iga ülesande loomisel kasutati ühtset malli:

- ülesande tase;
- ülesande eesmärk;
- ülesande täitmiseks vajalikud vahendid;
- ülesande püstitus;
- ülesande lahendus;
- tekkida võivad probleemid.

Käesolevat tööd on võimalik kasutada koolitundide huvitavamaks muutmisel, seejuures ei pea õpetaja tegema tunni ettevalmistamiseks märkimisväärselt lisatööd. Materjali põhjal võib luua uusi ja raskemaid ülesandeid, anduril on palju kasutamisevõimalusi. Õpilased saavad oma teoreetilised teadmised soolsusest ühendada praktilise tegevusega. Ülesannete lahendamisel LEGO MINDSTORMS NXT keskkonnas saadakse algteadmised programmeerimises.

Bakalaureusetöö käigus tutvus autor LEGO MINDSTORMS NXT komplekti ja NXT-G programmeerimiskeelega. Töö kirjutamise käigus sai autor teada palju uut soolsusest.

Huvitav oli robotit ehitada ja katsetada, mõelda välja ülesandeid ning luua lahendusteks sobivaid programme. Lisaks koolitundide huvitavamaks muutmisele on robotikaga tegelemine ka arendav vaba aja veetmise viis.

LEGO MINDSTORMS NXT: Salinity Sensor

Bachelor Thesis

Siim Jalakas

Abstract

The aim of this bachelor thesis was to create teaching material in Estonian about the salinity sensor made by Vernier Company. The thesis explains, how salinity sensor can be used with LEGO MINDSTORMS NXT set and gives a few sample exercises for teachers and students who want to learn to use it.

The first part of the bachelor thesis gives a brief overview of salinity, describes its definitions and measuring methods to give the reader a better understanding of salinity.. The second part is about salinity sensor, its technical specification and working principles. Also detailed descriptions are given on how to connect it with LEGO MINDSTORMS NXT set and how to use it in NXT-G programming environment. The third part is more practical and consists of four sample exercises for salinity sensor and LEGO MINDSTORM NXT set. Every exercise consists of instructions, list of needed equipment, solution and list of problems which may occur. The programs that are part of the solutions are available on CD which is added to this thesis.

This bachelor thesis has a similar structure to other thesis about LEGO MINDSTORMS NXT so it can be used as a part of teaching material that is used in Estonian schools. This work is intended to be used by both teachers and students to make the learning more interesting and fun.

Kasutatud kirjandus

1. Kooliroboti projekt, 2012.
<http://www.robootika.ee/lego/projekt/> – viimati vaadatud 07.05.2012.
2. Vikipeedia, *Kloriidid*, 05.04.2012.
<http://et.wikipedia.org/wiki/Kloriidid> – viimati vaadatud 07.05.2012.
3. Vikipeedia, *Nitrogen trichloride*, 29.04.2012.
http://en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen_trichloride – viimati vaadatud 07.05.2012
4. Lynne D. Talley, George L. Pickard, William J. Emery, James H. Swift. *Descriptive Physical Oceanography: An Introduction*, Academic Press, lk 34-37, 2011.
5. M. P. M. Reddy. *Descriptive Physical Oceanography*, Taylor & Francis, lk 78.
6. Vikipeedia, *Karbonaadid*, 06.12.2011.
<http://et.wikipedia.org/wiki/Karbonaadid> – viimati vaadatud 07.05.2012.
7. Vikipeedia, *Tiitrimine*, 29.03.2012.
<http://et.wikipedia.org/wiki/Tiitrimine> – viimati vaadatud 07.05.2012.
8. Vikipeedia, *Soolsus*, 18.02.2012.
<http://et.wikipedia.org/wiki/Soolsus> – viimati vaadatud 07.05.2012.
9. Prof. Jüri Elken. *Füüsikalise okeanoloogia konspekt teemal „Stratifikatsioon, veemassid”*.
<http://www.msi.ttu.ee/~elken/Phoclist.htm> – viimati vaadatud 07.05.2012.
10. Randy Holmes-Farley. *Chemistry and the Aquarium: Specific Gravity: Oh How Complicated!*, 2012.
<http://www.advancedaquarist.com/2002/1/chemistry> – viimati vaadatud 07.05.2012.
11. Vikipeedia, *Hydrometer*, 06.05.2012.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrometer> – viimati vaadatud 07.05.2012.
12. Joonis „Hüdromeeter”.
<http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/10-67-1/Image760.gif> – viimati vaadatud 07.05.2012.
13. Louisiana Universities Marine Consortium. *Using A Hydrometer*.
<http://www.lumcon.edu/education/studentdatabase/hydrometer.asp> – viimati vaadatud 07.05.2012.

14. Joonis „Vedelike soolsuse, temperatuuri ja tiheduse seos”.
<http://meri.akvarist.ee/images/upload/albert@density1.gif> – viimati vaadatud 07.05.2012.
15. Vikipeedia, *Murdumisnäitaja*, 22.01.2012.
<http://et.wikipedia.org/wiki/Murdumisnäitaja> – viimati vaadatud 07.05.2012.
16. Joonis „Refraktomeeter”.
<http://www.arssales.com/images/refractometer02.jpg> – viimati vaadatud 07.05.2012.
17. Vikipeedia, *Refractometer*, 16.04.2012.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Refractometer>
18. Joonis „Refraktomeetri skaala”.
<http://www.agriculturesolutions.com/Refractometers/-Brix-Meters/Salinity-Refractometer-Aquarium-Seawater-Dual-Scale.html#gal> – viimati vaadatud 07.05.2012.
19. Joonis „Refraktomeeter Oregon Scientific ST228”.
<http://www.partshelf.com/oregon-st228.html> – viimati vaadatud 07.05.2012.
20. Joonis „Refraktomeeter PST-EcoScan Salt 6”.
<http://www.ferret.com.au/c/Pacific-Sensor-Technologies/PST-EcoScan-Salt-6-salinity-meter-from-Pacific-Sensor-Technologies-n668544> – viimati vaadatud 07.05.2012.
21. Joonis „Firma Vernie soolsuse andur”.
<http://www.vernier.com/products/sensors/sal-bta/> – viimati vaadatud 07.05.2012.
22. National Snow & Ice Data Center. *Salinity and Brine*.
http://nsidc.org/cryosphere/seaice/characteristics/brine_salinity.html – viimati vaadatud 07.05.2012.
23. Joonis „Maailmamere soolsus”.
http://en.wikipedia.org/wiki/File:WOA05_sea-surf_SAL_AYool.png – viimati vaadatud 07.05.2012.
24. Ülle Liiber. *Eksamimaterjalid*.
http://raatuse.rtk.tartu.ee/sisu/1193_4452Uldmaateadus_koostas_Maigi_Astok.doc – viimati vaadatud 07.05.2012.
25. Vernier. *Company*, 2012.
<http://www.vernier.com/company/> – viimati vaadatud 07.05.2012.
26. Vernier. *Salinity Sensor*, 2011.
<http://www.vernier.com/files/manuals/sal-bta.pdf> – viimati vaadatud 07.05.2012.

27. Richard J. Wagner, Robert W. Boulger, Jr., Carolyn J. Oblinger, Brett A. Smith. *Guidelines and Standard Procedures for Continuous Water-Quality Monitors: Station Operation, Record Computation, and Data Reporting*, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, lk 36, 2006.
pubs.usgs.gov/tm/2006/tm1D3/pdf/TM1D3.pdf – viimati vaadatud 07.05.2012.
28. Vernier. *NXT Sensor Adapter*.
<http://www.vernier.com/products/interfaces/bta-nxt/> – viimati vaadatud 07.05.2012.
29. Tiigrihüppe sihtasutus. *LEGO NXT lühitutvustus*.
www.robootika.ee/lego/failid/NXT_robot_opetus.pdf – viimati vaadatud 07.05.2012.
30. Vernier. *Vernier Sensor Block*.
<http://www.vernier.com/engineering/lego-nxt/vernier-sensor-block/> – viimati vaadatud 07.05.2012.

Lisa

Lisa 1. CD-plaadil olevad failid

Tabelis 1 on välja toodud failid, mis on tööga kaasas oleval CD-plaadil.

Tabel 1. CD-plaadil olevad failid.

Faili nimi	Kommentaar
Failid.txt	CD-plaadil olevate failide kirjeldus
Vernier_soolsuse_andur_Siim_Jalakas.pdf	Bakalaureusetöö
Yl_1_test.rbt	Esimese ülesande lahenduse programm
Yl_2_soolsus_ekraanil.rbt	Teise ülesande lahenduse programm
Yl_3_graafik.rbt	Kolmanda ülesande lahenduse programm
Yl_4_m66tmine.rbt	Neljanda ülesande lahenduse programm
Yl_4_video.avi	Neljanda ülesande lahendust demonstreeriv video