

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKA TEADUSKOND
Arvutiteaduse Instituut
Infotehnoloogia eriala

Priit Kaup

LEGO MINDSTOMS NXT: Baromeetri tutvustus ja ülesanded

Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendaja: Anne Villems

Kaasjuhendaja: Taavi Duvin

Autor:“.....“ mai 2012

Juhendaja:“.....“ mai 2012

Kaasjuhendaja:“.....“ mai 2012

Lubada kaitsmisele

Professor:“.....“ mai 2012

TARTU 2012

Sisukord

Sissejuhatus	3
1. Õhurõhk	5
1.1. Rõhk ja õhurõhk	5
1.1.1. Õhurõhu mõõtmise ajalugu.....	6
1.2. Õhurõhu tähtsus	7
1.2.1. Ilma ennustamine õhurõhu abil	7
1.2.2. Barograaf	10
1.2.3. Õhurõhu tähtsus lennunduses	11
2. Baromeetri BAR-BTA tutvustus	13
2.1. BAR-BTA tööpõhimõte.....	15
2.2. BAR-BTA kasutamine.....	15
2.2.1. BAR-BTA programmeerimine	18
3. Ülesanded.....	21
3.1. Ülesanne 1 – Õhurõhu määramine.....	22
3.2. Ülesanne 2 – Õhurõhu kuvamine NXT ekraanil	24
3.3. Ülesanne 3 – Barograaf	27
3.4. Ülesanne 4 – Altimeeter	32
Kokkuvõte	35
LEGO MINDSTORMS NXT: Introduction and Sample Assignments for Barometer.....	36
Summary.....	36
Kasutatud kirjandus	37
Lisad	39
Lisa 1. DVD bakalaureusetöö juurde kuuluvate failidega.....	39

Sissejuhatus

Reaalainete õppetunnid on praegusel ajal põhi- ja gümnaasiumihariduses tihti peale väga teoreetilised, tunnis õpitavat materjali tõestatakse katseliselt harva ning enamasti puuduvad selleks koolides võimalused. LEGO MINDSTORMS NXT on robotikakomplekt, mis võimaldab kasutada mitmesuguseid andureid, mille abil on võimalik läbi viia erinevaid katseid. Katsetega saab muuta huvitavamaks ning siduda omavahel nii keemia, füüsika kui matemaatika ja geograafia tunnis õpitut ning kinnistada teoreetilisi teadmisi läbi mänguliste ülesannete lahendamise.

Paljudes põhi- ja keskkoolides on õpilastele loodud spetsiaalsed robotikaringid, kus nad saavad juhendajate käe all tutvuda programmeerimise algtõdedega ning lahendada põnevaid ülesandeid LEGO MINDSTORMS NXT platvormil. Praktiliste ülesannete lahendamise ning programmeerimise sidumine füüsiliselt liikuva robotiga tekitab lastes reaalteaduste vastu huvi juba varakult. Edasijõudnutel on võimalus osaleda võistlustel Eestis ning parimad saavad võimaluse võtta mõõtu robotikahuvilistega üle maailma First LEGO League võistlusel. Käesoleval aastal osalesid Eesti kooliõpilased sellel võistlusel, kus saavutati 69 võistkonna seast 24. koht, esimest korda [1].

Lihtsustamaks ja ühtlustamaks juhendajate ja õpetajate tööd, kes LEGO MINDSTORMS NXT robotite tunde läbi viivad, on Tartu Ülikooli arvutiteaduse instituudi juures ellu kutsutud Robotite arendamise ja uurimise (RAJU) keskus, mis koordineerib eestikeelsete õppematerjalide ja tunnikavade loomist LEGO MINDSTORMS NXT robotite jaoks.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on kirjeldada ettevõtte Vernier poolt õhurõhu mõõtmiseks toodetud baromeetri BAR-BTA kasutamist koos LEGO MINDSTORMS NXT robotikakomplektiga, lühidalt tutvustada õhurõhu mõõtmise ajalugu ja põhilisi kasutusvaldkondi tänapäeval. Lisaks on loodud erineva raskustasemega ülesanded, mida saavad tunnimaterjalidena kasutada nii robotikaringide juhendajad kui ka õpetajad põhi- ja keskkoolides.

Bakalaureusetöö koosneb kolmest peatükist, millest esimeses antakse ülevaade õhurõhu mõistest, õhurõhu mõõtmise ajaloost ja tähtsusest. Samuti tutvustatakse erinevate õhurõhu mõõtmisel põhinevate seadmete tööpõhimõtteid ning kasutusvaldkondi tänapäeval.

Teises peatükis keskendutakse Vernier baromeetri BAR-BTA tundmaõppimisele. Antakse ülevaade konkreetsest baromeetrist, selle tüübist ning mõõtmisomadustest, aga ka ühendamisest ja programmeerimisest LEGO MINDSTORM NXT robotikakomplektiga.

Bakalaureusetöö kolmas peatükk koosneb neljast erineva raskustasemega ülesandest, mis muutuvad järk-järgult keerukamaks jaarendavad õpilaste oskust BAR-BTA baromeetri abil erinevaid õhurõhuga seotud ülesandeid lahendada ning LEGO MINDSTORMS NXT komplekti programmeerida. Ülesanded on koostatud eesmärgiga kinnistada teoreetilisi teadmisi erinevate seadmete kohta, mis kasutavad oma töös õhurõhu mõõtmise tulemusi.

Töö juurde kuulub lisana DVD pealkirjaga „LEGO MINDSTORMS NXT: Baromeetri tutvustus ja ülesanded. Lisa 1“, millel on kolmandas peatükis kirjeldatud ülesannete võimalikud lahendusvariandid LEGO MINDSTORMS Education NXT programmiga töödeldavas vormingus.

Bakalaureusetöö sisu peab olema juhendaja abil selgelt mõistetav põhi- ja keskkooliõpilastele ning vastama RAJU keskuse vormistusnõuetele, mis on kirjeldatud Jaana Metsamaa magistritöös [2]. RAJU nõuetest tulenevalt peab olema võimalik kasutada bakalaureusetöö peatükke ja ülesandeid eraldiseisvalt.

1. Õhurõhk

Käesolevas peatükis tutvustatakse rõhu ja õhurõhu mõistet ning antakse ülevaade õhurõhu mõõtmise ajaloost ning esimese baromeetri tööpõhimõttest. Samuti tutvustatakse õhurõhu mõõtmise tähtsust ilma ennustamisel ning lennunduses.

1.1. Rõhk ja õhurõhk

Järgnevatel lõikudel tutvustatakse rõhu ja õhurõhu olemust, põhinedes kooliteadmiste ja Wikipedia artiklitele „Pressure“ [3] ja „Atmospheric Pressure“ [4].

Rõhuks nimetatakse füüsikalist suurust p , mis on võrdne pinnale risti mõjuva jõu ja pindala suhtega:

$$p = \frac{F}{A}, \text{ kus}$$

- p on rõhk
- F on jõud
- S on pindala

Rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis ehk SI-süsteemis on rõhu mõõtühikuks $1 \frac{N}{m^2}$ ehk 1 paskal (lühend Pa) [5]. 1 Pa on rõhk, mille tekitab ühe ruutmeetri suurusele pinnale ühtlaselt jaotunud 1 njuutoni (lühend N) suurune jõud.

Õhurõhk on õhusamba kaal mingis kindlas kohas Maa atmosfääris. Õhurõhku mõõdetakse baromeetriga ja väljendatakse meteoroloogias hektopaskalites. Eesliide hekto on tulnud kreeka keelest ja tähendab „sada“ [6]. Seega on üks hektopaskal võrdne saja paskaliga. Hektopaskal (hPa) sai nime Blaise Pascali (19. juuni 1623 – 19. august 1662 [7]) järgi [8]. B. Pascal oli Prantsuse matemaatik ja füüsik, kes sõnastas hüdrostaatika põhiseaduse, mille kohaselt rõhk kandub vedelikus edasi igas suunas ühesuguselt. Maa keskmiseks ehk normaalseks õhurõhuks merepinnal loetakse 101325 paskalit ehk 1013,25 hPa [4]. Õhurõhk kahaneb kõrguse kasvades. Kindlal kõrgusel mõjuvat rõhku on võimalik arvutada ligikaudse baromeetrilise valemiga [9], millega lugeja võib soovi korral iseseisvalt tutvuda. Käesolevas bakalaureusetöös lähtume lihtsuse mõttes Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia

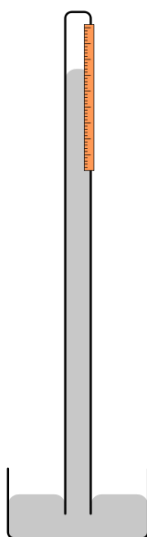
Instituudi (EMHI) kodulehel olevast artiklist [10], millest järeldub, et ühe meetri kõrguse kasvades väheneb õhurõhk umbes 0,133 HPa võrra.

Järgnevas punktis tutvustatakse õhurõhu mõõtmise ajalugu ning esimese baromeetri tööpõhimõtet.

1.1.1. Õhurõhu mõõtmise ajalugu

Seadet, millega on võimalik mõõta õhurõhku, nimetatakse baromeetriks. Sõna baromeeter tuleb kreeka keelest ja on kokku pandud sõnadest *baros* (raskus) ja *metreo* (mõõdan) [11], mis otse tõlkides viitab hoopis raskuse mõõtmise seadmele ehk kaalule. Tegelikult baromeeter “kaalubki” õhusamba massi. Õhurõhu mõõtmisel saadavaid andmeid kasutatakse laialdaselt meteoroloogias ilma ennustamiseks.

Järgnevates lõikudes tutvustatakse õhurõhu mõõtmise ajalugu ja esimese baromeetri tööpõhimõtet Wikipedia artikli „Barometer“ põhjal [12]. Baromeetri loojaks peetakse Evangelista Torricellit (15. oktoober 1608 – 25. oktoober 1647), kes oli Galileo Galilei üks õpilastest. Just Galileo oli see, kes juhtis Torricelli vaakumi uurimise juurde, mille käigus Torricelli avastas, et õhul on kaal. Varem arvati, et meid ümbritseval õhul kaal puudub. Torricelli täitis 80 sentimeetrise silindrilise klaasanuma elavhõbedaga, sulges mõlemad silindri otsad ja tõstis silindri püsti elavhõbedaga täidetud vanni nii, et silindri alumine ots jäi elavhõbedada alla (Joonis 1-1).



Joonis 1-1 - Elavhõbedaga täidetud silinder ja vann [12]

Kui ta seejärel silindri alumise otsa avas, vajus elavhõbe silindris alla, kuid mitte kõik elavhõbedast ei voolanud vanni. Varem arvati, et osa metalli jääb silindrisse seetõttu, et silindri ülemises osas tekkiv vaakum „imeb” elavhõbedat ülespoole, siis Torricelli pakkus välja, et atmosfääris olev õhk hoopis surub elavhõbedat silindrisse. Torricelli ei avaldanud oma uurimistööd, kuna liikuma hakkasid kuulujutud, et Itaalia teadlane tegeleb mingit sorti nõiduse või maagiaga, mis võis tol ajal kaasa tuua vangistuse.

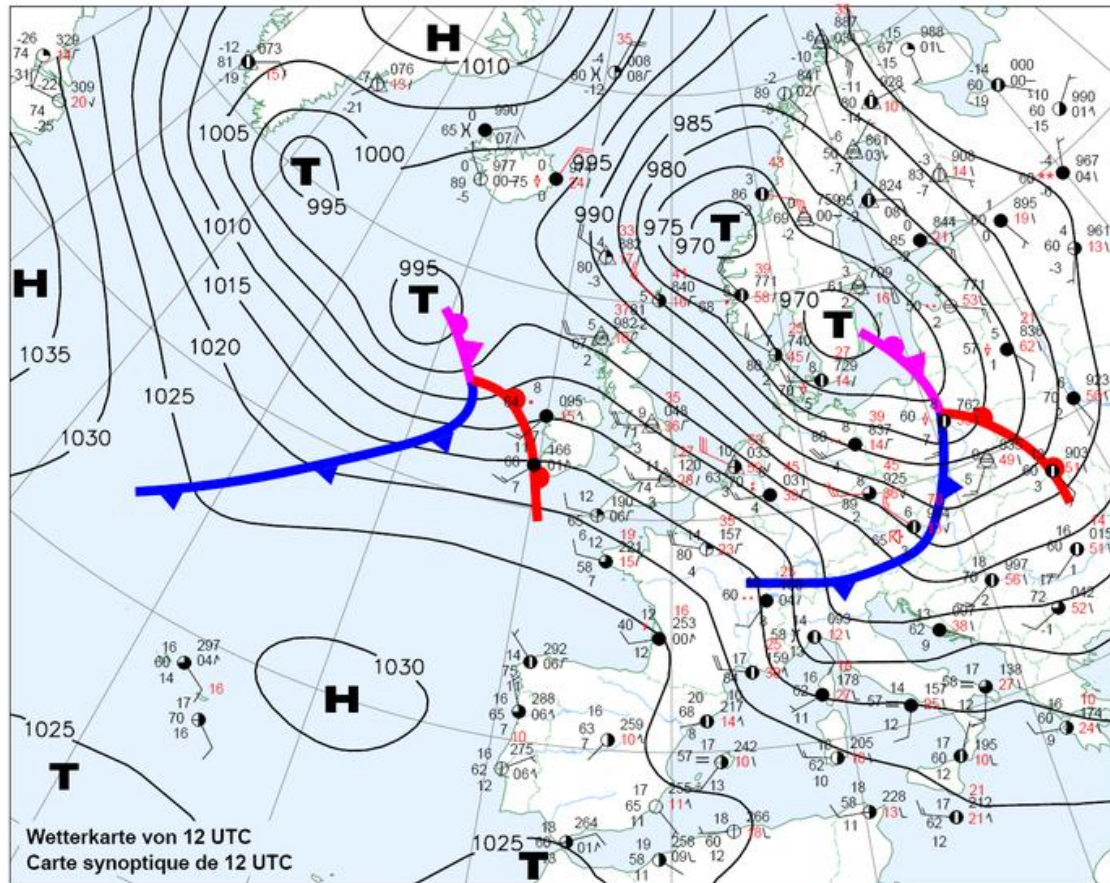
1646. aastal kordas ja täiustas Torricelli katset Blaise Pascal, kes nagu Torricelli uskus, et õhul on kaal. Sellest järeldas Pascal, et kõrguse kasvades peaks õhu kaal vähenema. Selle katseliseks kontrollimiseks kirjutas ta oma sõbrale, kes elas mäe lähedal, ning palus, et ta läheks baromeetriga mäele ning vaatleks, kuidas baromeeter reageerib kõrguse kasvamisele. Septembris 1648 viidigi katse läbi ning ilmnes, et Pascali järeldused olid tõesed.

1.2. Õhurõhu tähtsus

Järgnevates punktides kirjeldatakse õhurõhu pealmiseid kasutusvaldkondi ning kirjeldatakse õhurõhu mõõtmisel põhinevaid seadmeid. Õhurõhu muutumist jälgides on võimalik ennustada kohalikku ilma ning samuti on õhurõhk väga tähtis suurus lennunduses, mis võimaldab määrata lennuki kõrgust ning liikumiskiirust õhu suhtes.

1.2.1. Ilma ennustamine õhurõhu abil

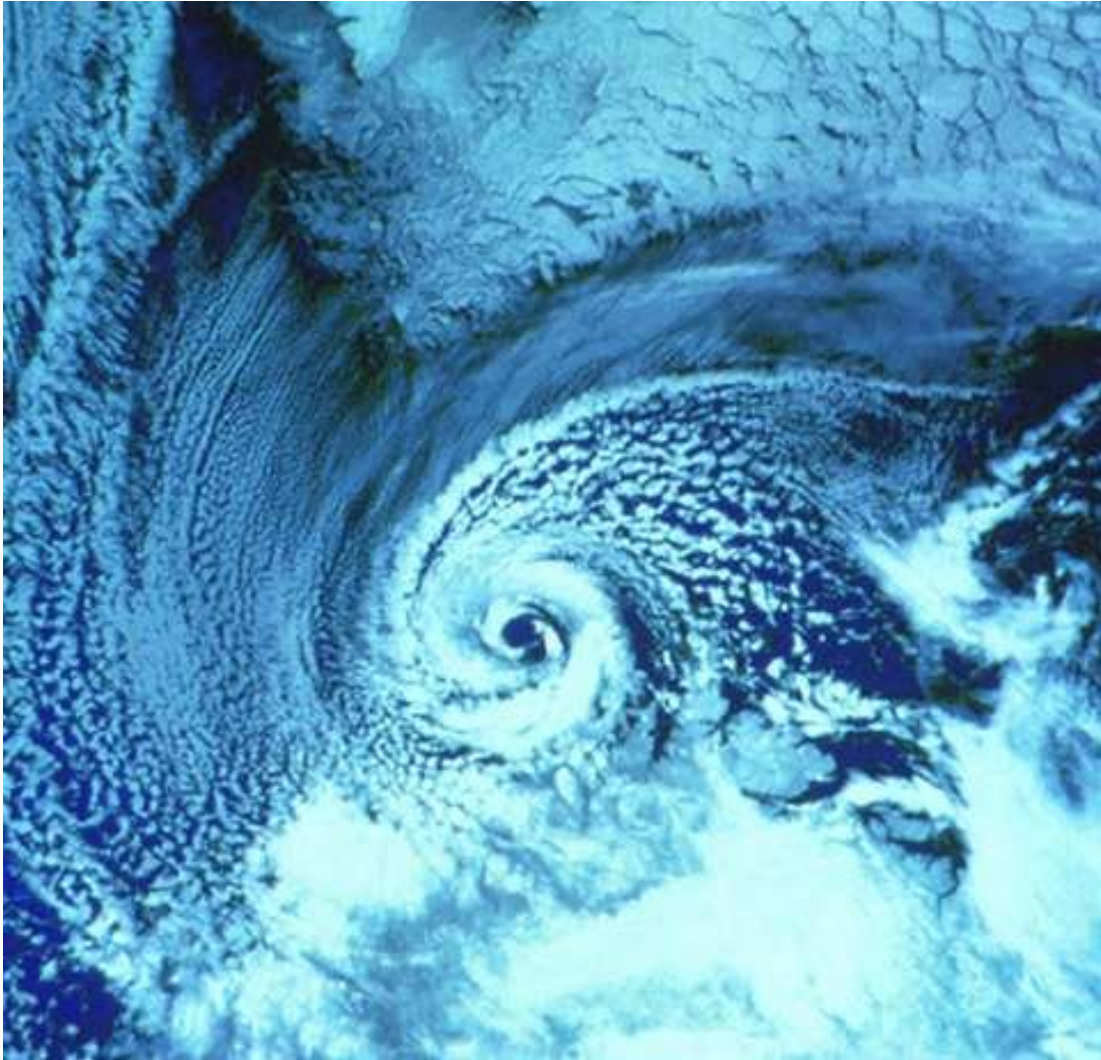
Igapäevaselt saavad inimesed õhurõhu väärtuse teada ilmateadet jälgides. Paljud telekanalid näitavad ilmateadete ajal ilmakaarti (Joonis 1-2), millel on välja toodud samarõhujooned, mis märgivad mingi kindla rõhuga piirkondi ning millelt on võimalik näha kõrg- ja madalrõhupiirkondi (vastavalt märgistatud H ja T). Kooli geograafiatundidest teame, et madal- ja kõrgrõhkkondasid iseloomustavad erinevad ilmastikutingimused ning eriti tuntavad ilmamuutused toimuvad rõhkkondade piirialadel.



Joonis 1-2 - Euroopa ilmakaardi näidis [13].

Järgnevad lõigud kirjeldavad madalrõhkkondade ehk tsüklonite ja kõrgrõhkkondade ehk antitsüklonite mõju ilmale Eesti aladel. Lõigud on kirjutatud tuginedes EMHI kodulehel olevale artiklile „Tsüklon ja antitsüklon“ [14].

Tsüklon (Joonis 1-3) on ala, kus valitseb ümbritsevast piirkonnast madalam rõhk. Tuuled puhuvad tsüklonis vastupäeva ning õhurõhk muutub tsüklonis kiiresti. Kui tsüklon läheneb, langeb õhurõhk, pilvisus tiheneb ning hakkab sadama. Tsükloni taandudes sadu lõppeb või asendub hoovihmadega ning õhurõhk hakkab tõusma. Kõige madalam õhurõhk Eestis, 936,0 hPa, on mõõdetud Väike-Maarjas [15]. Maailma madalaim õhurõhk, 870 hPa, on mõõdetud taifuuni Tip keskmes 1979. aastal, tuulte kiirused ulatusid selles taifuunis 305 kilomeetrini tunnis [16].



Joonis 1-3 - Polaartsüklon Barentsi mere kohal 27. veebruaril 1987 [17]

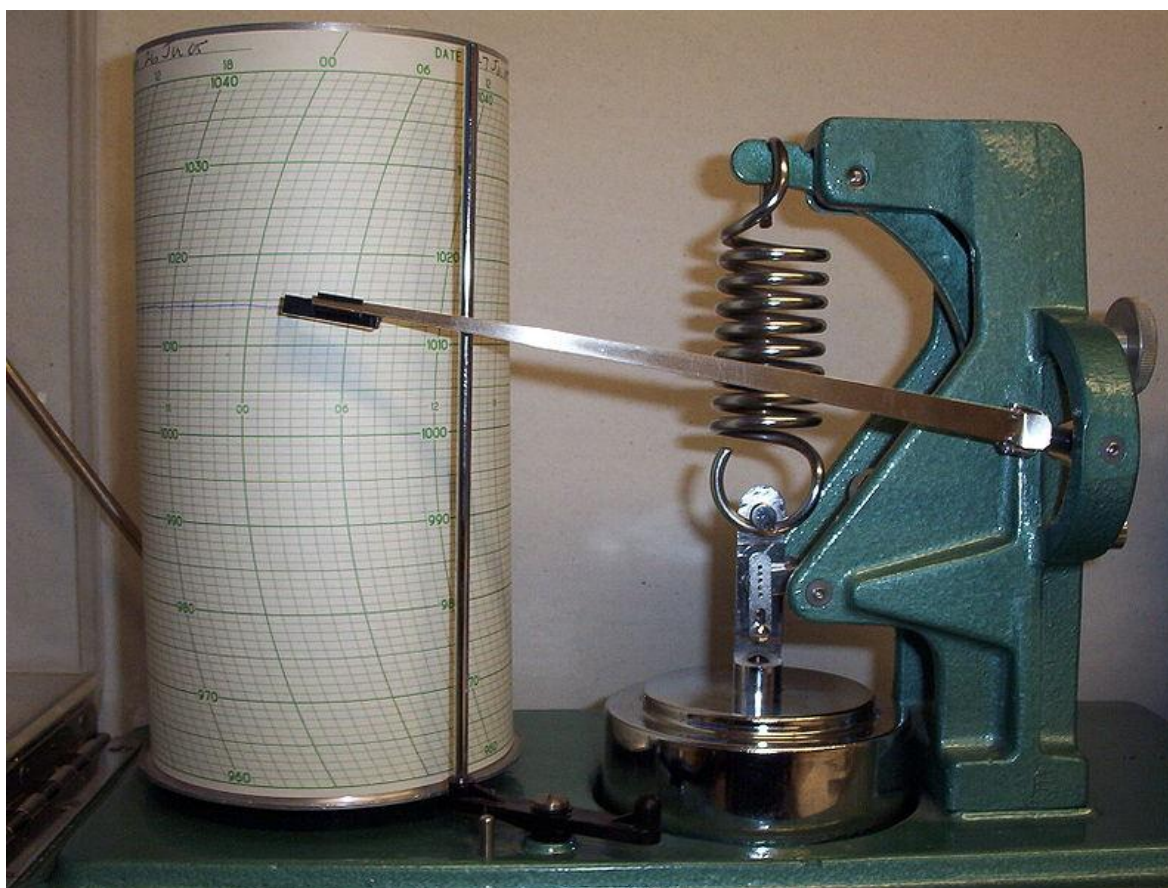
Antitsüklon on niisugune ala, kus valitseb ümbritsevatest piirkondadest kõrgem õhurõhk. Antitsüklonis valitsevad laskuvad õhuvoolud, mis põhjustavad pilvede hajumist. Talvisel ajal toob antitsüklon krõbeda külma ning selge ilma, suvekuudel aga sooja ja ilusa ilma. Kõrgeim rõhk, mis Eestis mõõdetud on, registreeriti 1907. aastal Tallinnas. Baromeetri näit oli jaama kõrgusel siis 1060,3 hPa [15]. Maailmas on kõrgeimaks registreeritud õhurõhuks 1083,3 hPa, mis mõõdeti Siberis 1968. aastal [10].

Õhurõhu üksikud mõõtmised ei anna ilma ennustamiseks vajalikku infot. Selleks, et aru saada, kas ilm muutub või püsib, on tähtis teada õhurõhu muutust ehk trendi. Väikesed õhurõhu muudatused viitavad ilma püsimisele, suur ja kiire rõhu langemine seevastu aga ennustab ilma halvenemist. Õhurõhu sujuv tõus ennustab ilma paranemist.

Järgmises peatükis vaatleme seadet, mis on konstrueeritud õhurõhu pidevaks jälgimiseks ning mis suudab iseseisvalt talletada õhurõhu mõõdetud väärtused pikema perioodi jooksul.

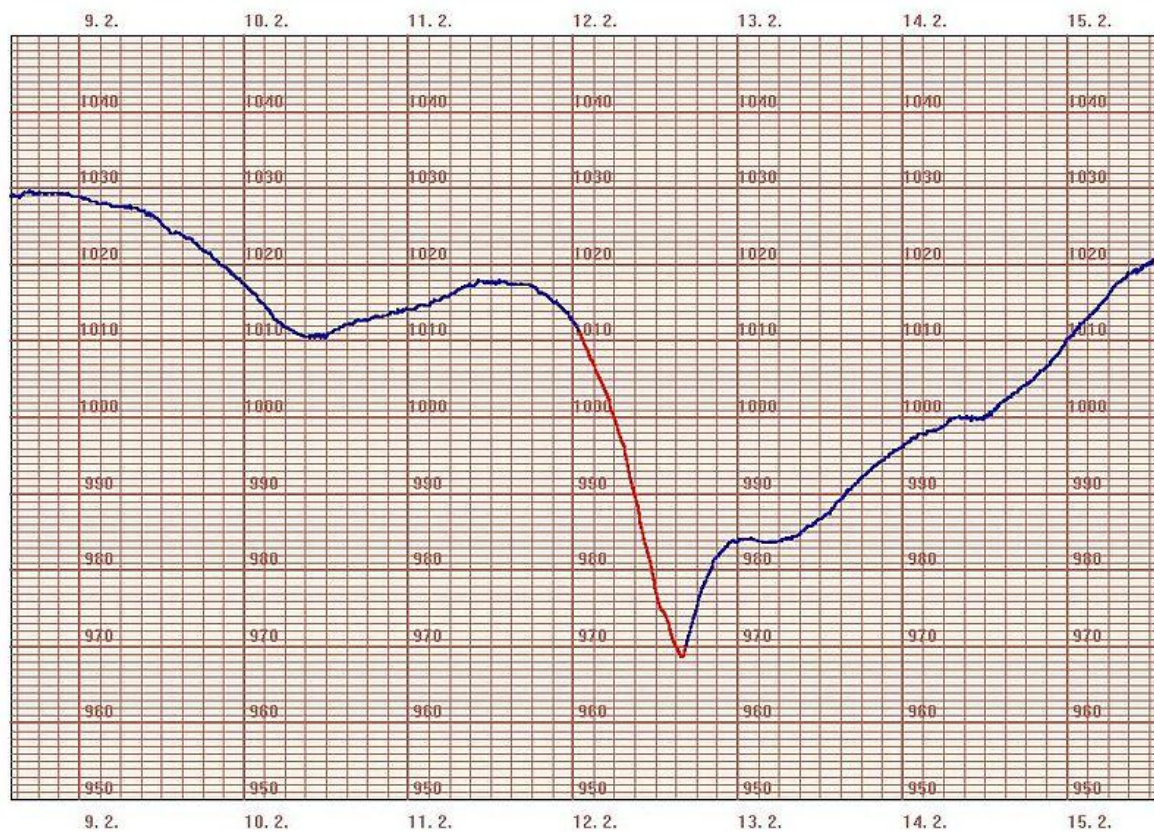
1.2.2. Barograaf

Barograafi tutvustavad lõigud põhinevad Wikipedia artiklil „Barograph“ [18]. Barograaf on seade, milles on kombineeritud baromeeter ning salvestusseade, mis suudab õhurõhu väärtused mingi ajaperioodi kohta talletada (Joonis 1-4).



Joonis 1-4 – Barograaf [18]

Traditsiooniliselt joonistavad barograafid õhurõhu väärtuse pidevalt spetsiaalsele paberile ehk barogrammile, millele on eelnevalt trükitud mõõtkava (Joonis 1-5). Barogramme saab hiljem täiendavalt analüüsida ning seeläbi parandada kindlas piirkonnas ilma ennustamise täpsust. Kui tavaline baromeeter on üsna levinud seade, mida võib leida paljudest kodudest, siis barograafi kasutatakse enamasti professionaalsete ilmaurijate ehk sünoptikute poolt.



Joonis 1-5 – Tsüklon barogramm [18]

Joonis 1-5 kujutab 2005. aastal Põhja-Saksamaad ületanud tormi ajal mõjunud õhurõhkude väärtusi. Selgelt on näha tsüklonile omane järsk õhurõhu langus ning tõus ning seejärel pikaajaline ning sujuv antitsükloni saabumine.

Järgmises punktis tutvustatakse õhurõhu tähtsust lennunduses ning selgitatakse lühidalt, kuidas õhurõhu väärtuse teadmist saab kasutada lennuki kõrguse määramiseks.

1.2.3. Õhurõhu tähtsus lennunduses

Ohutu lennuliikluse tagamiseks on vaja teada lennuki kõrgust maapinnast. Esimese peatüki põhjal teame, et õhurõhk väheneb kõrguse kasvades. Seda seaduspärasust teades on lihtne mõista, kuidas lennunduses jõuti kõrguse määramiseni baromeetrilise altimeetri abil.

Järgnevad lõigud põhinevad Massachusetts Institute of Technology (MIT) veebilehel olevale artiklile „Paul Kollsman Barometric Altimeter“ [19], Wikipedia artiklile „Altimeter“ [20] ja „Barometer“ [12].

Esimese baromeetrilise altimeetri koostas aastal 1928 Paul Kollsman (22. veebruar 1900 – 26. september 1982). Kollsmani altimeeter oli võrreldes varasemate kõrguse mõõtmise vahenditega äärmiselt tundlik: tema altimeeter suutis määrata kõrguse alla meetrise eksimusega. P. Kollsmani altimeeter oli üks seadmetest, mis võimaldas instrumentaallendu ehk lendamist mõõteseadmete järgi öösel ning halbades ilmastikutingimustes, kus pilootidel ei olnud võimalik visuaalselt lennuki kõrgust ja asukohta määrata.

Lennunduses kasutatakse aneroidbaromeetrit (Joonis 1-6), mis koosneb painduvast metallist kapslist, mille sisse on tekitatud vaakum või vaakumilähedane rõhk ning kapsli sisse on paigutatud vedru, mis takistab kapsli kokkuvajumist. Muutused õhurõhus võimaldavad kapsli paisumist või kahanemist ning kapsli külge kinnitatud seier muudab need liikumised nähtavaks. Altimeetril on keeratav nupp, mille abil saab piloot määrata maapinnal mõjuva õhurõhu ning seeläbi määrata enne õhkutõusu kõrguseks null meetrit.



Joonis 1-6 - Lennunduses kasutatav altimeeter [20]

Alates kõrgusest 1500 meetrit seadistatakse altimeetrisse standardõhurõhk ehk 1013,5 hPa, kuna nii kõrgel ei ole enam oluline täpne kõrgus maapinnast, vaid kõrgus teiste lennukite suhtes, et vältida kokkupõrkeid [21]. Maandumisel küsib piloot lennujuhilt maapinna õhurõhu väärtust ning seadistab lennuki altimeetri selle järgi, et tagada ohutu maandumine.

2. Baromeetri BAR-BTA tutvustus

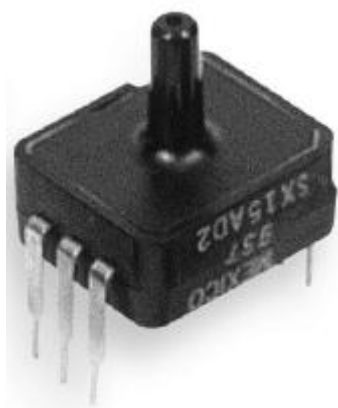
Käesolevas bakalaureusetöös tutvustatav baromeeter on toodetud Ameerika Ühendriikide firma Vernier poolt ja kannab tootenime BAR-BTA. Vernier on firma, mis toodab õppeeesmärkidel kasutamiseks mõeldud laboriseadmeid keemia, füüsika, matemaatika ja bioloogia õpetamiseks [22]. Samuti kuuluvad firma Vernier tootevalikusse erinevad andmekogumisseadmed nende toodetud anduritega töötamiseks. Baromeetri tutvustamiseks on kasutatud anduriga kaasas olevast kasutusjuhendist saadud informatsiooni [23].

Baromeetri komplekt koosneb BAR-BTA baromeetrist (Joonis 2-1) ja inglisekeelsest kasutusjuhendist. Seadme mõõtmed on järgmised: pikkus 85 mm, laius 53 mm ja kõrgus 26 mm. Baromeetri ühte otsa kinnitub toite- ja andmesidekaabel pikkusega 1,5 meetrit ja selle vastas olevas otsas on valge plastikust mõõtmisotsik. Mõõtmisotsik on disainitud nii, et sellele on võimalik kinnitada voolik ning seeläbi mõõta näiteks anumate sees olevat rõhku andurit anumasse sulgemata. Andurit rikkumata on võimalik mõõta näiteks õhu, heeliumi ja lämmastiku rõhku. Anduril on mõõtmisotsiku kõrval pisike auk, mille kaudu saab sobiva kruvikeerajaga vajadusel mõõtmistulemust korrigeerida.



Joonis 2-1 - BAR-BTA baromeeter [24]

BAR-BTA baromeeter kasutab õhurõhu määramiseks firmas Honeywell toodetud SenSym SDX15A4 andurit (Joonis 2-2).



Joonis 2-2 - SDX tüüpi absoluutse rõhu andur [25]

SDX15A4 andur võrdleb sisendrõhu väärtust vaakumiga, mis on tootmisprotsessi käigus anduri sisse tekitatud ning rõhkude erinevus ongi andurile mõjuv õhurõhk [25]

Tabel 2-1 koondab BAR-BTA baromeetri tähtsaimad tehnilised näitajad.

Anduri tüüp	SenSym SDX15A4
Vaikimisi mõõtevahemik	810,6 ... 1063,9 hPa
Rõhk, mille juures andur puruneb	2068.4 hPa
Reaktsiooniaeg	100 mikrosekundit
Mõõtmistäpsus:	
<ul style="list-style-type: none"> • SensorDAQ süsteemiga • LabQuest süsteemiga • LEGO MINDSTORMS NXT 	0.05 hPa 0.1 hPa 0.3 hPa
Mõõtmisviga	$\pm 0,1\% \dots \pm 0,5\%$
Tundlikkus	13.06 V/atm

Tabel 2-1 – BAR-BTA tähtsamad tehnilised näitajad [23]

Tabelis (Tabel 2-1) on näha, et baromeetri BAR-BTA mõõtevahemik on piisav Eesti oludes ning selle abil oleks olnud võimalik registreerida nii Eesti madalaim (936,0 hPa) kui ka kõrgeim (1060,3 hPa) õhurõhk.

Järgmistes punktides tutvustatakse lähemalt BAR-BTA baromeetri töö põhimõtet ja tutvustatakse selle baromeetri kasutamist LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga.

2.1. BAR-BTA tööpõhimõte

Baromeetrid jagunevad kahte suuremasse rühma: diferentsiaalrõhu anduriteks ja absoluutse rõhu anduriteks, vastavalt sellele, kas andur mõõdab kahe sisendrõhu erinevust või võrreldakse sisendrõhu ja andurisse konstrueerimise käigus tekitatud rõhu erinevust [26]. Järgnevad lõigud põhinevad BAR-BTA baromeetri rõhuanduri tootja poolt koostatud materjalil [27].

Diferentsiaalrõhu andurid võrdlevad rõhu erinevust kahe erineva sisendi vahel. Enamasti on üheks sisendiks ümbritseva keskkonna rõhk ja teiseks näiteks rõhu all oleva anuma rõhk. Diferentsiaalrõhu andureid kasutatakse laialdaselt Pitot' torudes, mille abil määratakse lennuki kiirus teda ümbritseva õhu suhtes [28].

Absoluutse rõhu andurid võrdlevad samuti rõhu erinevust, kuid mitte kahe sisendi vahel. Nendes andurites on kambrike vaakumiga (või vaakumile väga lähedal oleva rõhuga), millega võrreldakse sisendrõhku. Tänu sellele, et nendes andurites on võrdluspunkt olemas, saab neid kasutada õhurõhu mõõtmiseks ning näiteks altimeetrite koostamiseks.

BAR-BTA baromeetris ongi kasutusel absoluutse rõhu andur. Absoluutse rõhu andurite ehitamisel suletakse membraaniga eraldatud kambrikesse väga madal, vaakumilähedane, rõhk. Vaakumilähedase rõhu kasutamine tähendab seda, et kambrikeses pole peaaegu üldse gaase. Nii välditakse olukorda, kus anduri soojenedes või jahenedes hakkaks võrdluskambrikeses olev gaas paisuma või kokku tõmbuma, mis muudaks anduri kasutamise keerukamaks. Sellisel juhul annaks andur erinevatel temperatuuridel sama rõhu juures erinevaid tulemusi ja õige rõhu saamiseks tuleks arvesse võtta mõõtmispaiga temperatuuri. Tähelepanu tuleb pöörata sellele, et BAR-BTA annab väljundiks väärtuse kilopaskalites. Üks kilopaskal (kPa) on kümme hektopaskalit (hPa) [8].

2.2. BAR-BTA kasutamine

Baromeetri BAR-BTA abil õhurõhu mõõtmiseks on vaja seade ühendada ühilduva andmekogumisseadmega. Käesolevas bakalaureusetöös kasutatakse selleks LEGO MINDSTORMS NXT robotikakomplekti. BAR-BTA ühendamiseks robotikakomplekti ajuga tuleb kasutada LEGO Vernier adapterit (Joonis 2-3) ning baromeetri võib ühendada suvalisse anduriporti (1-4).

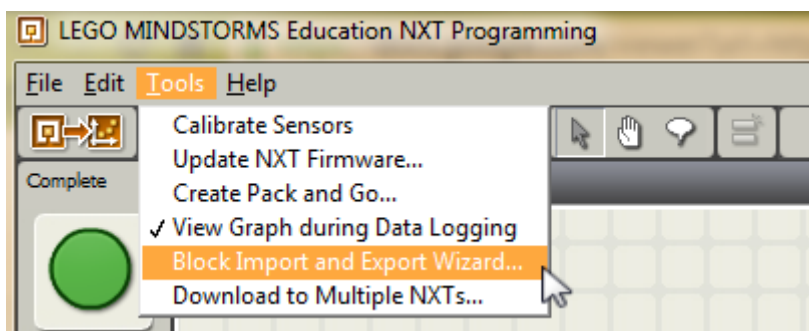


Joonis 2-3 - Vernier NXT adapter [29]

Anduri graafiliseks programmeerimiseks kasutatakse LEGO MINDSTORMS NXT-G tarkvararakendust, mida on lihtne alustavatel robotika ja programmeerimishuvilistel kasutada. BAR-BTA anduriga töötamiseks tuleb Vernier kodulehelt alla laadida sensorite plokk, mille abil on võimalik kõiki ettevõtte Vernier poolt toodetud andureid kasutada [30]. Kui anduriplokk on arvutisse laetud, siis tuleb see NXT-G tarvarasse importida.

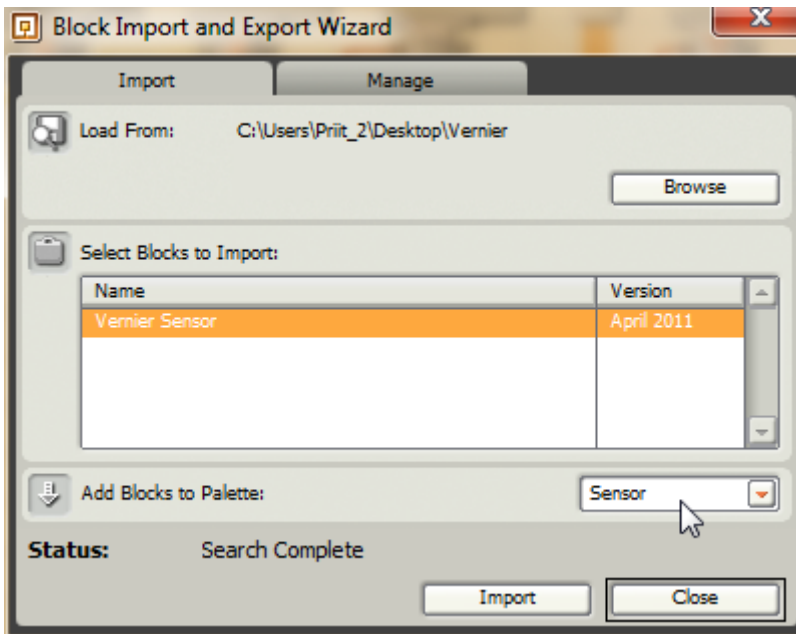
Anduriploki importimiseks tuleb:

1. Pakkida lahti Vernier kodulehelt allalaetud sensoriploki failid endale sobivasse kausta.
2. Käivitada NXT-G rakendus.
3. Valida menüüribalt „Tools“ ja avanenud rippmenüüst „Block Import and Export Wizard...“ (Joonis 2-4).



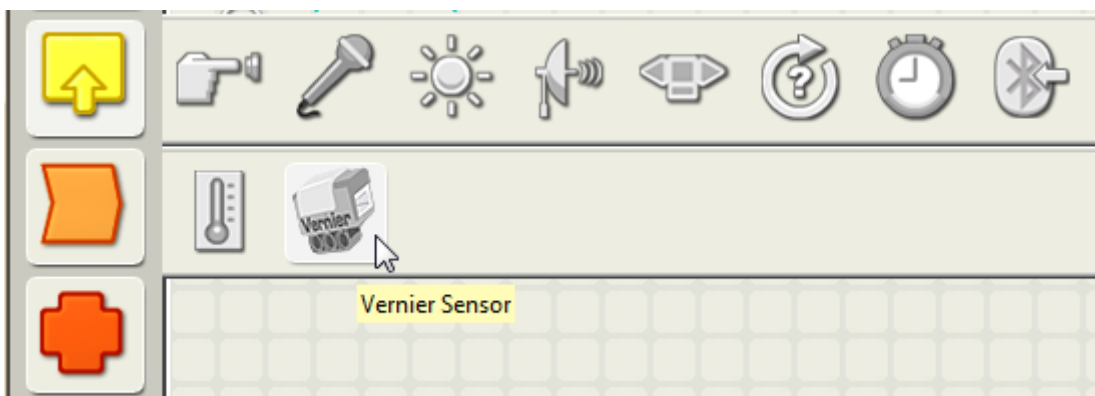
Joonis 2-4 - Anduriploki importimise viisardi avamine

4. Avanenud viisardis tuleb klõpsata nupule „Browse“ ning valida kaust, kuhu Vernier anduriploki failid lahti pakiti. Viisardisse ilmub alale „Select Blocks to Import“ rida „Vernier Sensor“ (Joonis 2-5).
5. Rippmenüüs „Add Blocks to Palette“ tuleb valituks määrata „Sensor“ (Joonis 2-5) . See valik määrab, kust on hiljem võimalik Vernier anduriplokki leida.
6. Anduriploki importimiseks klõpsata nupule „Import“.



Joonis 2-5 - Impordiviisard valmis sensoriplokki importima

7. Õnnestunud impordi korral ilmub sensorite paleti alla valik „Vernier Sensor“ (Joonis 2-6).



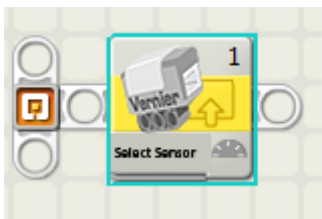
Joonis 2-6 - Vernier sensoriplokk sensorite paletil

Sellega on BAR-BTA baromeeter ühendatud Vernier NXT adapteri abil LEGO MINDSTORMS NXT ajuga ning seadistatud tööks NXT-G rakendus. Järgmises punktis kirjeldatakse Vernier sensoribloki seadistamist ning kasutamist programmeerimisel.

2.2.1. BAR-BTA programmeerimine

Vernier sensoriplokk on kõigi Vernier andurite jaoks universaalne ja sellega on võimalik programmeerida erinevaid Vernier poolt toodetud andureid. Selleks tuleb esmalt lisada Vernier sensoriplokk programmeerimisalale ning seejärel seadistada plokk BAR-BTA baromeetrit kasutama.

1. Vali sensoripalett ning sellelt Vernier sensoriplokk (Joonis 2-6).
2. Lohista Vernier sensoriplokk programmeerimisalale (Joonis 2-7).



Joonis 2-7 - Vernier sensoriplokk programmeerimisalal

3. Klõpsa sensoriplokil, et muuta see aktiivseks ning sensoriploki omadustepaneelil vali rippmenüüst „Sensor“ sensoriks „Barometer“ ning vali port, kuhu BAR-BTA on ühendatud (Joonis 2-8).

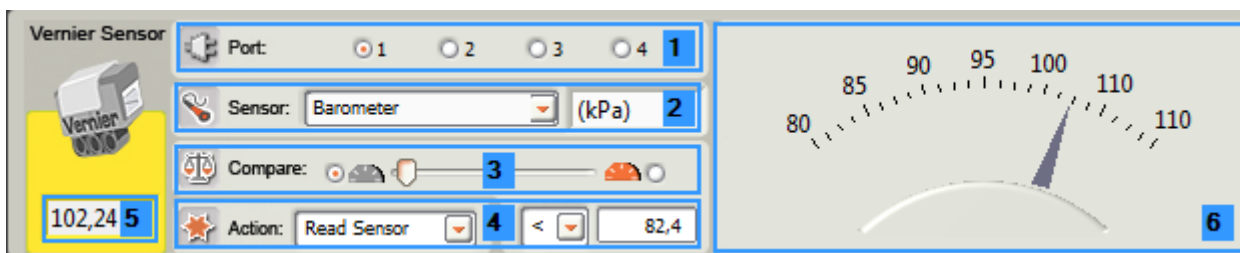


Joonis 2-8 - Vernier sensoriplokk on seadistatud kasutama BAR-BTA baromeetrit pordis 1

4. Anduri töökorra testimiseks võib katta sõrmega mõõtmisotsiku ning sellele kergelt vajutada. Samuti võib mõõtmisotsikule mõne sentimeetri kauguselt puhuda. Andur on töökorras, kui sensoriploki omadustepaneelil olev seieri näit pisut suureneb.

Baromeetri omadustepaneelil on järgmised alad (Joonis 2-9), mille abil saab anduri tööd seadistada:

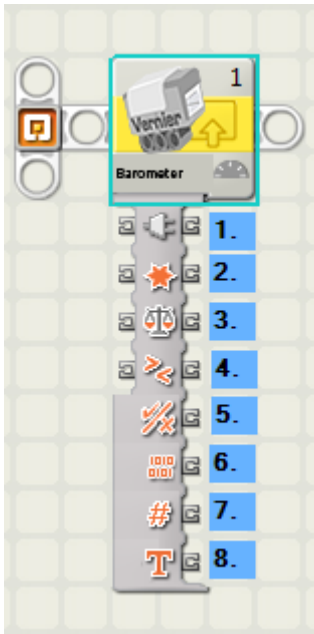
1. NXT aju pordi number, kuhu BAR-BTA ühendatud on;
2. Vernier sensori valiku ala;
3. võrdlusfunktsiooni seadistamise ala;
4. tegevuse valiku ala;
5. sensori mõõdetud väärtus numbrilisel kujul;
6. sensori mõõdetud väärtus visuaalsel kujul.



Joonis 2-9 - Omadustepaneeli alad

Järgmiseks tutvume baromeetri sensoriploki sisendite ja väljunditega (Joonis 2-10). Vernier sensoriplokil on kokku kaheksa sisend-väljundit, millest neli toimivad nii sisendite kui ka väljunditena ning ülejäänud neli on ainult väljundid:

1. NXT aju pordi number, kuhu andur ühendatud on (sisend-väljund);
2. Tegevuse number (sisend-väljund);
3. Väärtus, millega võrrelda baromeetri lugemit (sisend-väljund);
4. Võrdlemise seadistamine loogiliste väärtuste abil (sisend-väljund);
5. Võrdluse tulemus, tõene või väär (väljund);
6. Anduri lugem numbrilisel kujul 0...1023 (väljund);
7. Anduri lugem kilopaskalites numbrilisel kujul (väljund);
8. Anduri lugem kilopaskalites teksti kujul (väljund).



Joonis 2-10 - Vernier anduriploki sisendid ja väljundid

Järgmiseks vaadeldakse Vernier anduriploki praktilist kasutamist programmeerimis ülesannete lahendamisel. Kolmas peatükk sisaldab näidisülesandeid ja nende lahendusi, mida on võimalik kasutada baromeetri BAR-BTA tundmaõppimiseks huvialaringide või koolitundide raames.

3. Ülesanded

Selles peatükis kasutatakse teoreetilisi teadmisi, mis eelnevatest peatükkidest omandati ning lahendatakse baromeetriga seotud ülesandeid. Ülesandeid on kokku neli ning need jagunevad erinevatesse raskusastmetesse – „*Hello World*“, kerge, keskmine ja raske. „*Hello World*“ ülesande eesmärk on BAR-BTA tutvustamine ja ühendamine robotiga, raske ülesanne eeldab anduri ja programmeerimiskeskonna põhjalikku tundmist. Ülesannete lahenduste failid asuvad tööga kaasa kuuluval *DVD-1* (Lisa 1).

Iga ülesande töölehele on lisatud ülesande lahendamise idee, mis suunab ülesannet lahendavat õpilast. Eraldi lehtedel on kirjeldatud ülesande lahendust, mis on abiks juhendajale ning mille saab vajadusel eraldi õpilastele välja jagada.

3.1. Ülesanne 1 – Õhurõhu määramine

Tase:

„Hello World“

Eesmärk:

- Tutvustada baromeetri BAR-BTA robotiplokiga ühendamist
- Õppida kasutama baromeetri väljundit läbi Vernier anduriploki.

Ülesande täitmiseks vajalikud:

- Algteadmised NXT-G keskkonnast
- Arvuti koos NXT-G tarkvaraga
- Installeeritud Vernier anduriplokk
- Baromeeter BAR-BTA
- NXT juhtplokk
- Ühenduskaablid
- Vernier NXT adapter

Ülesande püstitus:

Ühendada andur, juhtplokk ja arvuti ning uurida, kas anduri väljastatud mõõtetulemus jõuab arvutini.

Lahenduse idee:

Ühenda seadmed, tõsta NXT-G programmeerimisaknas Vernier andurite plokk töösooni ja määra anduriks baromeeter.

Üks võimalik lahendusvariant:

1. Vali paletilt „*Sensor*“ sensoriplokk „*Vernier Sensor*“
2. Lohista sensoriplokk programmeerimisala „*Start*“ väljale
3. Käivita programm

Ülesande lahenduse fail „3-1 Õhurõhu määramine 1.0 Kaup.rbt“ asub Lisal 1.

Võimalikud tekkivad probleemid:

Juhul kui sensori omadustepaneelil on numbrilise väärtuse ala hall ja omadustepaneeli „seieri“ näit on vasakpoolses ääres, tuleb programm käivitada. Pärast esmakordset käivitamist kuvatakse baromeetri mõõtmise väärtus ka siis NXT-G programmis, kui programm NXT ajus ei ole käivitatud.

3.2. Ülesanne 2 – Õhurõhu kuvamine NXT ekraanil

Tase:

Kerge

Eesmärk:

- Õppida Verner' anduriploki väljundit töötleva ja edasi suunama teistesse programmeerimisplokkidesse.

Ülesande täitmiseks vajalik:

- Algteadmised NXT-G keskkonnast
- Arvuti koos NXT-G tarkvaraga
- Installeeritud Vernier anduriplokk
- Baromeeter BAR-BTA
- NXT juhtplokk
- Ühenduskaablid
- Vernier NXT adapter

Ülesande püstitus:

Koostada programm, mis mõõdab õhurõhku, kuvab selle NXT ekraanile hektopaskalites (hPa) ning lisab numbrilise väärtuse lõppu tühiku ja mõõtühiku „hPa“.

Lisaülesanne:

Täiendada programmi nii, et ekraanile kuvatakse viimase 2 sekundi jooksul mõõdetud väärtuste keskmine.

Lahenduse idee:

Kasutada tuleb tsükli, millesse tuleb lisada Vernier anduriplokk, „*Math*“ plokk, „*Number to Text*“ plokk, „*Text*“ plokk ja „*Display*“ plokk. „*Math*“ plokk on vajalik anduri väljundi teisendamiseks, et saada BAR-BTA väljundist (kilopaskalid) hektopaskalid. Ekraanile kuvatakse näiteks „1016.27 hPa“.

Lisaülesande idee:

Selleks, et kuvada 2 sekundi mõõtmistulemuste keskmine, tuleb tsüklist kokku liita 2 sekundi jooksul tehtud mõõtmiste tulemused ning seejärel tulemus jagada mõõtmiste arvuga. Mõõtmiste arvu saamiseks võib kasutada tsükli sees plokki „*Wait*“ ning mõõtmistulemuste kogumiseks plokki „*Variable*“. Keskmise õhurõhu kuvamiseks võib lisada tsükli ümber teise tsükli.

Üks võimalik lahendusvariant:

1. Lisa programmeerimisalale tsükkel.
2. Lohista Vernier sensoriplokk tsükli sisse.
3. Lisa tsüklisse järgmised plokid:
 - a. „*Math*“;
 - b. „*Number to Text*“;
 - c. „*Text*“;
 - d. „*Display*“.
4. Ühenda sensoriploki väljund „*Sensor Reading*“ ploki „*Math*“ sisendisse „A“.
5. Seadista „*Math*“ plokk korrutamistehtele ning väärtuseks „B“ sisesta 10. Sellega on baromeetri väljund teisendatud hektopaskaliteks.
6. Järgmiseks ühenda „*Math*“ ploki väljund „*Result*“ „*Text to Number*“ ploki sisendisse.
7. Selleks, et lisada ekraanile mõõtühik „hPa“ on vaja ühendada „*Text to Number*“ ploki väljund „*Text*“ ploki „*Text*“ sisendisse „A“ ning sisestada „*Text*“ ploki omadustepaneelil väljale „C“ tekst „hPa“, mille ette tuleb lisada tühik.
8. Viimasena ühenda „*Text to Number*“ ploki väljund „*Text*“ ploki „*Display*“ sisendisse „*Text*“ ning seadista ploki „*Display*“ omadustepaneelil tegevuseks „*Text*“. Märgi omadustepaneelil linnuke kasti „*Clear*“.

Ülesande lahenduse fail „3-2 Õhurõhu kuvamine ekraanil 1.0 Kaup.rbt“ asub Lisal 1.

Võimalikud tekkivad probleemid:

Kui õhurõhu väärtuse muutumisel alla või üle tuhande hPa jääb ekraanile kuva näiteks „999.09 hPaa“, siis on „*Display*“ ploki omadustepaneelil jäänud märkimata linnuke „*Clear*“, mis puhastab ekraani enne uut kuvamist.

3.3. Ülesanne 3 – Barograaf

Tase:

Keskmine

Eesmärk:

- Tutvustada baromeetri tööpõhimõtet
- Jälgida õhurõhu muutusi ajas
- Luua arusaam, kuidas õhurõhk ja ilmastikuolud omavahel seotud on
- Tutvustada LEGO MINDWORKS NXT komplektiga kogutud andmete töötlemist tabelarvutusprogrammiga

Ülesande täitmiseks vajalik:

- Algteadmised NXT-G keskkonnast
- Arvuti koos NXT-G tarkvaraga
- Installeeritud Vernier anduriplokk
- Baromeeter BAR-BTA
- NXT juhtplokk
- Ühenduskaablid
- Vernier NXT adapter
- Tabelarvutusprogramm (näitkeks Microsoft Excel või OpenOffice Calc)

Ülesande püstitus:

Baromeeter on seade, mis mõõdab perioodiliselt õhurõhku ning võimaldab õhurõhu jälgimist graafiku kujul. Koostada programm, mille abil on võimalik salvstada 24 tunni jooksul iga 10 minuti tagant õhurõhu väärtus ning salvestada mõtmiste tulemused NXT

aju mällu faili nimega „baromeeter.txt“. NXT ekraanile peab programm töötamise aja kuvama tehtud mõõtmiste arvu kujul „Mootmisi: n“, kus on salvestatud õhuõhu väärtuste arv ning viimase mõõdetud õhurõhu väärtuse hektopaskalites koos mõõtühikuga.

Pärast programmi töö lõpetamist 24 tunni pärast lae NXT ajast alla fail „baromeeter.txt“ ning koosta tabelarvutusprogrammi abil õhurõhu barogramm.

Lisaülesanne:

Koosta analoogne barogramm LEGO MINDSTORMS NXT-G andmelogimise võimaluste abil.

Lahenduse idee:

Ülesande lahendamiseks tuleb piirata õhurõhu mõõtmiste arvu ja programmi töö pikkust. Programmi töö piiramiseks saab kasutada tsükli, mille töötamise pikkus on ajaliselt piiratud ning mõõtmiste arvu piiramiseks võib kasutada „Wait“ plokki tsükli sees. Tsükklisse on vaja lisada veel plokkid faili kirjutamiseks ning failiga töö sulgemiseks ja programmi töö info kuvamiseks ekraanile.

Programmi töö testimiseks on hea vähendada mõõtmistevahelist aega näiteks 2 sekundini.

Pikemaajalisi mõõtmisi läbi viies on mõistlik ühenda NXT aju adapteri abil vooluvõrku, et enne programmi töö lõppu aku tühjaks ei saaks.

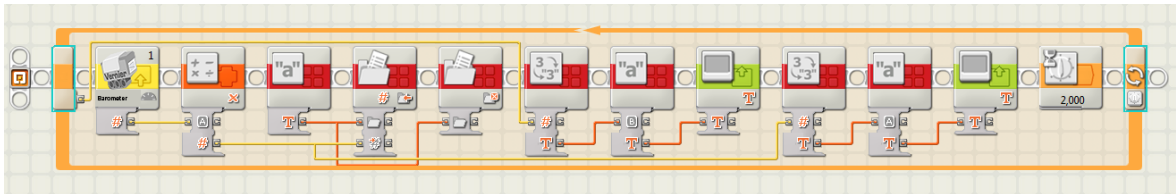
Lisaülesande idee:

NXT-G sisaldab plokkide „Start Datalogging“ ja „Stop Datalogging“, mille abil saab luua graafikuid erinevate mõõtmistulemuste esitamiseks ning analüüsimiseks reaalsajas.

Üks võimalik lahendusvariant:

Kõik programmi plokid asuvad tsükli sees, mis on piiratud ajaliselt. Selleks tuleb tsükli omadustepaneelil „Control“ rippmenüüst valida „Time“ ning „Seconds“ väljale sisestada 24 tundi sekundites ehk 86400 sekundit. Lisaks märgi linnuke valikusse „Show: Counter“, mis võimaldab kasutada programmis parajasti töötava tsükli järjekorranumbrit.

Tsükli sees on plokid, mis on näha alloleval joonisel (Joonis 3-1).



Joonis 3-1 - Ülesandes kasutatavad plokid

Seadista „Wait“ plokk aja peale ning sisesta sekundite arvuks 600.

Ülesande lahenduse fail „3-3 Baromeeter 1.0 Kaup.rbt“ asub Lisal 1.

Kui andmed on 24 tunnijooksul kogutud, siis tuleb neid hakata tabelarvutusprogrammis töötlemata. Selleks on vaja NTX ajast salvestada arvutisse fail „baromeeter.txt“.

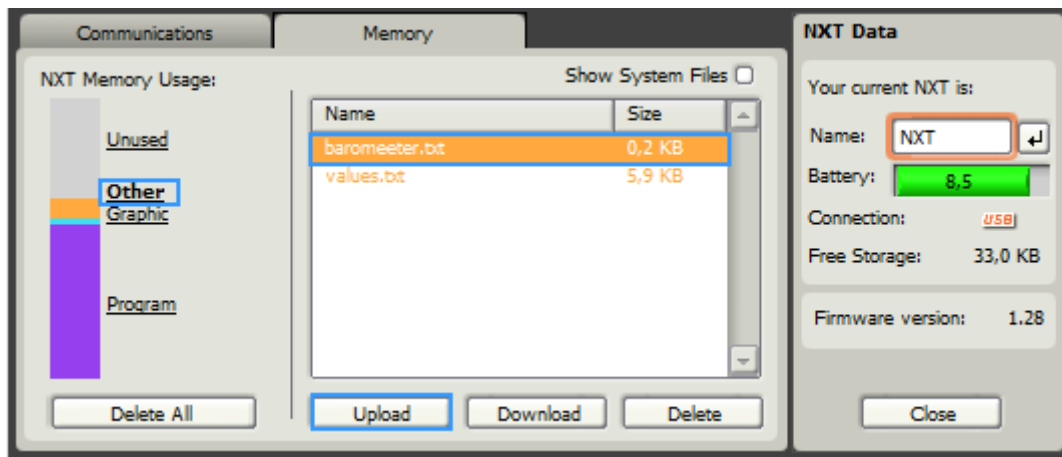
Selleks kasuta NXT-G rakendust.

1. Klõpsa nupule „NXT window“ (Joonis 3-2).



Joonis 3-2 - Nupp „NXT window“

2. Avanenud aknast vali „Memory“.
3. Vasakpoolsest jaotusest „NXT memory usage:“ klõpsa lingile „Other“ (Joonis 3-3).
4. Vali fail „baromeeter.txt“ ning klõpsa nupule „Upload“ (Joonis 3-3).



Joonis 3-3 - Faili salvamine arvutisse

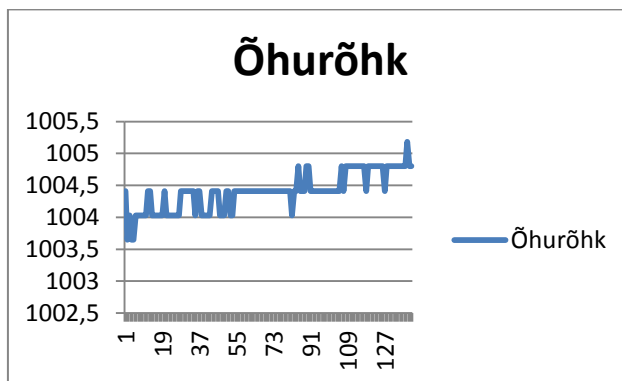
5. Avanenud aknas vali sobiv kaust arvutist ning klõpsa „OK“.

Barogrammi loomist tabelarvutusprogrammis on näidatud Microsoft Excel 2007 näitel.

Kui kasutatav Excel tõlgendab komakoha eraldajana koma, siis tuleb enne andmete töötlemist muuta failis „baromeeter.txt“ kõik punktid komadeks. Seda on lihtne teha kasutades programmi Notepad ja selle funktsiooni „Replace“.

Käivita Excel ning ava eelnevalt salvestatud fail „baromeeter.txt“. Avaneb „Text Import“ viisard, kus klõpsa nupule „Finish“. Järgmiseks lisa veerule A pealkirjaks „Õhurõhk“. Graafiku koostamiseks vali veerus A olevad väärtused koos veeru pealkirjaga ning klõpsa lehel „Insert“ nupule „Line“ ning avanenud rippmenüüst vali graafiku tüübiks „Line“.

Valmis barogramm on näha alloleval joonisel (Joonis 3-4) ning barogrammi koostamise fail „3-3 Barogramm 1.0 Kaup.xlsx“ asub Lisal 1.



Joonis 3-4 - Exceli abil loodud barogramm

Võimalikud tekkivad probleemid:

Kui ekraanile ei kuvata korrektselt erinevatele ridadele tehtud mõõtmiste arvu ja viimase mõõtmise väärtust, siis on vaja kontrollida, kas esimesel „*Display*“ plokil on tehtud linnuke „*Clear*“. Teisel „*Display*“ plokil ei tohi olla linnukest „*Clear*“.

3.4. Ülesanne 4 – Altimeeter

Tase:

Raske

Eesmärk:

- Tõestada katseliselt, et õhurõhk väheneb kõrguse kasvades ning anda arusaamine altimeetri tööpõhimõttest.

Ülesande täitmiseks vajalik:

- Algteadmised NXT-G keskkonnast
- Arvuti koos NXT-G tarkvaraga
- Installeeritud Vernier anduriplokk
- Baromeeter BAR-BTA
- NXT juhtplokk
- Ühenduskaablid
- Vernier NXT adapter
- Kõrge maja või mägi

Ülesande püstitus:

Altimeeter on seade, mis määrab kõrgust õhurõhu mõõtmise abil. Koostada programm, mis mõõdab õhurõhu „maapinnal”, hoiab seda muutujas ning võrdleb seda iga poole sekundi tagant õhurõhuandurile mõjuva rõhuga. Programm peab kuvama ekraanil „maapinna” õhurõhu ja hetkel mõjuva rõhu hektopaskalites ning arvutama rõhkude väärtuste põhjal kõrguse meetrites. Ülesande lahendamisel eeldame, et õhurõhk väheneb kõrguse kasvamisel ühe meetri võrra 0,133 hPa.

NXT ekraanil peab olema näidatud nii „maapinna“ õhurõhk, hetkel mõjuv õhurõhk kui ka kõrgus „maapinnast“ meetrites.

Lisaülesanne:

Täiendada programmi nii, et käivitamisel kuvatakse kasutajale kiri „M66da algrõhk“ ja programm ei lähe edasi enne, kui kasutaja vajutab NXT aju oranžile nupule, mispeale mõõdetakse „maapinna“ õhurõhk.

Lahenduse idee:

Ülesande võib jagada kaheks osaks. Esimese osa eesmärk on „maapinna“ õhurõhu mõõtmine ning selle kirjutamine muutujasse. Lisaks tuleb esimeses osas töödelda õhurõhu väärtus ekraanile kuvamiseks sobivale kujule.

Teine osa koosneb tsüklist, mille sisse on paigutatud plokid, mille abil saab jooksvalt mõõta õhurõhku, arvutada kõrgus võrreldes „maapinnaga“ ning kuvada ekraanile korraka nii esialgselt mõõdetud „maapinna“ õhurõhk, hetkel mõõdetud õhurõhk kui ka kõrgus meetrites. Mõistlik on lisada tsükklisse plokk „*Wait*“ ning seadistada see näiteks poole sekundi pikkuseks.

Lisaülesande idee:

Lisaülesande lahendamiseks tuleb lisada esimesse osasse plokid „*Text*“, „*Display*“ ja „*Wait*“ ning seadistada need nii, et ekraanile kuvataks lause „M66da algrõhk“ ning alles nupule vajutades läheb programm edasi.

Üks võimalik lahendusvariant:

Altimeetri ülesande mahukas lahendus (Joonis 3-5) koosneb 20 plokist ning sellega on võimalik tutvuda Lisal 1 oleva faili „3-4 Altimeeter 1.0 Kaup.rbt“ abil.



Joonis 3-5 - Altimeetri ülesande lahendus

Võimalikud tekkivad probleemid:

Kuna üleande lahendus eeldab informatsiooni kuvamist mitmel ekraani real, siis tuleb jälgida, et linnuke „Clear“ oleks märgitud ainult tsüklis esimesena paikneval „Display“ plokiomadustepaneelil.

Kokkuvõte

Käesolevas bakalaureusetöö esimeses peatükis anti ülevaade rõhu ja õhurõhu olemusest, kirjeldati nende uurimise ajalugu ning esimesi Torricelli poolt läbi viidud katseid õhurõhu mõõtmiseks. Tutvustati õhurõhu mõõtmise peamiseid kasutusalasid ning õhurõhu tähtsust ilma ennustamisel ja lennunduses. Selgitati erinevate seadmete, mis kasutavad oma töös õhurõhu mõõtmist, tööpõhimõtted.

Teine peatükk andis ülevaate ettevõtte Vernier toodetud LEGO MINDSTORMS NXT robotikakomplektiga ühilduva BAR-BTA tööpõhimõttest, tutvustati selle anduri tehnilisi näitajaid ning loodi ülevaade, kuidas andurit kasutada koos MINDSTORMS NXT-G graafilise programmeerimiskeskkonnaga.

Kolmandas peatükis loodi erinevate raskusastmetega ülesanded, mida saab kasutada huvialaringides ning koolides robotikatundide läbiviimiseks, NXT-G keskkonna tundmaõppimiseks ja õhurõhu tähtsuse mõistmiseks. Iga ülesande juures kirjeldati ülesande püstitus, toodi välja lahenduseks vajaminevad komponendid ning lahenduse idee. Õpetajate või juhendate töö lihtsustamiseks kirjeldati lühidalt ülesannete lahendusi ning tööga on kaasas andmekandja ülesannete lahendusfailidega.

Bakalaureusetöö kirjutati vastavalt RAJU keskuse vormistusnõuetele ja seetõttu on võimalik käesolevat tööd kasutada koos teiste varasemalt RAJU keskuse koordineerimisel loodud õppematerjalidega.

Bakalaureusetööd on võimalik edasi arendada eelkõige uute ülesannete loomisega baromeetritele BAR-BTA ning seejuures kasutada baromeetrit kombinatsioonis teiste LEGO MINDSTORMS NXT andurite ja robotikakomplekti võimalustega. Samuti on võimalik edasiarendus BAR-BTA anduri kasutamise kirjeldus teiste programmeerimisplatvormide jaoks.

LEGO MINDSTORMS NXT: Introduction and Sample Assignments for Barometer

Bachelor Thesis

Priit Kaup

Summary

The main goal of this bachelor thesis was to support teachers and students to use Vernier BAR-BTA barometer in combination with LEGO MINDSTORMS NXT robotics development kit and LEGO MINDSTORMS NXT-G software in Estonian schools.

The thesis is composed of three parts. The first part includes the story of discovering that air has weight by Italian physicist Evangelista Torricelli and describes the experiment that proved it. More than that, the first part of the thesis gives insight to the uses of air pressure measurement and most important areas where air pressure measurement is used today like meteorology and aviation. Also the working principles of devices used in these areas, like barometers, barographs and altimeters are explained.

The second part of this thesis gives overview of the technical aspects of the BAR-BTA barometer. It describes the use of Vernier Sensor Block which enables the use of LEGO MINDSTORMS NXT-G software for creating programs that run on the LEGO MINDSTORMS NXT brick.

To achieve the main goal of the thesis four assignments were formulated in the third part. All assignments contain the description and the main idea for solving the problem. In addition NXT-G solution files to the problems are provided on the DVD included with this thesis for easing the preparation of classes for robotics teachers.

Kasutatud kirjandus

- 1 E. Randoja, „Pioneerid käisid Hollandis maad kuulamas“
<http://www.tartupostimees.ee/476224/pioneerid-kaisid-hollandis-maad-katsumas/>
6. mai 2012
- 2 J. Metsamaa (2010), magistritöö „Materjalide kooskirjutamise raamistik RAJU keskuse õppevara näitel“.
- 3 Wikipedia, Pressure,
<http://en.wikipedia.org/wiki/Pressure> 06. mai 2012
- 4 Wikipedia, Atmospheric pressure,
http://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_pressure 06. mai 2012.
- 5 Bureau International des Poids et Mesures, *SI brochure*, Table 3, Section 2.2.2,
http://www.bipm.org/en/si/si_brochure/chapter2/2-2/table3.html 6. mai 2012
- 6 Wikipedia, Hecto-,
<http://en.wikipedia.org/wiki/Hecto-> 6. mai 2012
- 7 Vikipeedia, Blaise Pascal,
http://et.wikipedia.org/wiki/Blaise_Pascal 6. mai 2012
- 8 Wikipedia, Pascal (unit),
<http://en.wikipedia.org/wiki/Hectopascal> 6. mai 2012
- 9 Vikipeedia, Õhurõhk,
<http://et.wikipedia.org/wiki/%C3%95hur%C3%B5hk> 6. mai 2012
- 10 Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut, „Soodsalt müüa kõrgrõuhari“,
<http://www.emhi.ee/index.php?ide=29,843,844> 6. mai 2012
- 11 T. Pung, Definitsioonid, Tartu Ülikooli ajaloo muuseum,
<http://www.ajaloomuuseum.ut.ee/vvilm/definitsioonid2.htm> 6. mai 2012
- 12 Wikipedia, Barometer,
<http://en.wikipedia.org/wiki/Barometer> 6. mai 2012
- 13 Vikipeedia, Ilmakaart,
<http://et.wikipedia.org/wiki/Ilmakaart> 6. mai 2012
- 14 M. Merilain, „Tsüklon ja antitsüklon“, EMHI,
<http://www.emhi.ee/?ide=29,720,723> 6. mai 2012
- 15 EMHI, Õhurõhk,
<http://www.emhi.ee/index.php?ide=6,747,749> 6. mai 2012

- 16 Wikipedia, Typhoon Tip,
http://en.wikipedia.org/wiki/Typhoon_Tip 6. mai 2012
- 17 Vikipeedia, Tsüklon,
<http://et.wikipedia.org/wiki/Ts%C3%BCklon> 6. mai 2012
- 18 Wikipedia, Barograph,
<http://en.wikipedia.org/wiki/Barograph> 6. mai 2012
- 19 MIT, Paul Kollsman Barometric Altimeter,
<http://web.mit.edu/Invent/iow/kollsman.html> 6. Mai 2012
- 20 Wikipedia, Altimeter,
<http://en.wikipedia.org/wiki/Altimeter> 6. mai 2012
- 21 VRF navigatsioon II (Mõisted ja elemendid II), Eesti Lennuakadeemia
http://www.eava.ee/~roots/vfr_navigatsioon_II_moisted_ja_elemendid.pdf 6. mai 2012
- 22 Verner, Growing Beyond Physics,
<http://www.vernier.com/company/growing-beyond-physics/> 6. mai 2012
- 23 Vernier, Barometer,
<http://www2.vernier.com/booklets/bar-bta.pdf> 6.mai 2012
- 24 Vernier, Barometer,
<http://www.vernier.com/products/sensors/bar-bta/> 6. mai 2012
- 25 Honeywell, Microstructure Pressure Sensors SDX Series,
<http://datasheet.octopart.com/SDX15A4-Honeywell-datasheet-13441.pdf> 6. mai 2012
- 26 E. Brindfeldt, U. Lepiksoo, Tallinna Tööstushariduskeskus, „Andurid“,
http://www.tthk.ee/MEH/Andurid_4.html 8. mai 2012
- 27 Honeywell, Understanding Absolute Pressure Sensors,
http://sensing.honeywell.com/index.php?ci_id=49918 8. mai 2012
- 28 Wikipedia, Pitot tube,
http://en.wikipedia.org/wiki/Pitot_tube 8. mai 2012
- 29 Vernier, NXT Sensor Adapter,
<http://www.vernier.com/products/interfaces/bta-nxt/> 8. mai 2012
- 30 Vernier, Vernier Sensor Block,
<http://www.vernier.com/engineering/lego-nxt/vernier-sensor-block/> 8. mai 2012

Lisad

Lisa 1. DVD bakalaureusetöö juurde kuuluvate failidega

Käesoleva bakalaureusetöö juurde kuuluv DVD sisaldab järgmiseid faile:

- 3-1 Õhurõhu määramine 1.0 Kaup.rbt
- 3-2 Õhurõhu kuvamine ekraanil 1.0 Kaup.rbt
- 3-3 Baromeeter 1.0 Kaup.rbt
- 3-3 Barogramm 1.0 Kaup.xlsx
- 3-4 Altimeeter 1.0 Kaup.rbt

Failide nimetused algavad peatüki numbriga, mille juurdeneed kuuluvad. Edasi sisaldavad faili nimed ülesande nimetust, versiooni numbrit ning koostaja perekonnanime.