

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKATEADUSKOND

Arvutiteaduse instituut
Informaatika eriala

Laure Oras

LEGO MINDSTORMS NXT: Jõuplaad ja näidisülesanded jõuplaadi rakendamiseks

Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendajad: lektor Anne Villems
spetsialist Taavi Duvin

Autor: “.....“ juuni 2011

Juhendaja: “.....“ juuni 2011

Juhendaja: “.....“ juuni 2011

Lubada kaitsmisele

Professor “.....“ juuni 2011

TARTU 2011

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1 Jõud.....	6
1.1 Vastasmõju ja jõu ühik.....	6
1.2 Jõu eriliigid.....	7
1.3 Jõu põhivalem.....	7
1.4 Jõu mõõtmine.....	8
2 Jõuplaat.....	10
2.1 Jõuplaadi lühituvvustus.....	10
2.2 Jõuplaadi tehnilised andmed.....	10
2.3 Jõuplaadi kasutamine.....	12
2.4 Olulised tähelepanekud jõuplaadi kasutamisel.....	14
2.5 Jõuplaadi programmeerimine.....	15
2.5.1 Vernier sensoriploki (Sensor Block) lisamine NXT Edu keskkonda.....	16
2.5.2 Jõuplaadiga andmete kogumine, kasutades NXT 2.0 Data Logging keskkonda. 17	
a) Alustamine NXT 2.0 Data Logging keskkonnas ja uue eksperimendi loomine. .17	
b) Eksperimendi käigus tekkinud graafiku analüüsimine NXT 2.0 Data Logging keskkonnas.....	19
c) Logifailide haldamine.....	20
2.5.3 Jõuplaati rakendavate programmide kirjutamine NXT 2.0 Programming tarkvara abil.....	21
a) Alustamine NXT 2.0 keskkonnas.....	22
b) NXT 2.0 Programming keskkonna vasakpoolne menüü.....	23
c) NXT 2.0 Programming keskkonna vasakpoolse menüü teine jaotis.....	24
d) Vernier'i sensori plokk.....	24
e) Jõuplaadi ploki lisaparaameetrid (paraameetrite riba).....	27
f) Muutuja seadistamine NXT 2.0 Programming keskkonnas.....	29
g) Jõuplaadi eksperimendi plokk.....	29
3 Ülesanded.....	31
3.1 Iseenda massi arvutamine.....	31
3.2 Ukse lahti lükkamine.....	33
3.3 Kiirenduse leidmine üleshüppel.....	36

Kokkuvõte.....	40
LEGO MINDSTORMS NXT: Force Plate and sample exercises for putting it to use.....	42
Kasutatud allikad.....	44
LISA 1 – CD ülesannete lahendusfailidega.....	45

Sissejuhatus

Arvutid muutuvad aina väiksemaks ja odavamaks ning seepärast kasutatakse neid üha laialdasemalt. Seoses sellega on kõik arvutitega seonduv, ka programmeerimine, muutunud väga aktuaalseks. Ühiskonnas on vaja aina rohkem IT haridusega inimesi ja eriti programmeerijaid. Kahjuks aga tundub programmide koostamine enamikule inimestest väga keeruline ja seetõttu oleks vaja leida viis, kuidas lihtsalt ja mänguliselt programmeerimine õpilastele (ja ka muudele huvilistele) huvitavamaks muuta. Just sel eesmärgil ongi Eesti koolides Kooliroboti programmi raames [1] kasutusele võetud LEGO MINDSTORMS NXT robotid, mida saab kõige intuitiivsemalt programmeerida graafilises programmeerimiskeeles nimega NXT-G.

LEGO MINDSTORMS NXT roboteid saab vastavalt oma soovile LEGO klotsidest valmis ehitada. Iga roboti juurde käib juhtplokk ehk roboti aju, mida saab programmeerida. Samuti kuuluvad roboti juurde erinevad andurid, mille saab juhtploki külge ühendada ning seega programmides kasutada. Eesti koolid hakkavad kasutama LEGO MINDSTORMS NXT roboti komplekti hariduslikku versiooni, mille standardkomplektis on kaasas nelja erinevat tüüpi andureid (kokku viis andurit): heli-, valgus-, ultraheli- ja puuteandur (2 tk). Lisaks eelnevalt nimetatud anduritele saab juurde osta veel andureid ja üheks selliseks on käesolevas töös käsitletud jõuplaat.

Käesolev bakalaureusetöö on jaotatud kolmeks peatükiks. Esimene annab lugejale vajalikud taustateadmised sellisest füüsilisest suurusest nagu jõud. Teine peatükk sisaldab kõike olulist jõuplaadi enda kohta. Kolmas peatükk sisaldab ülesandeid, mis praktilise tegevuse kaudu õpetavad jõuplaati kasutama. Bakalaureusetööle on lisatud ka CD [LISA 1], millel on kolmest ülesandest kahe kohta esitatud üks võimalik lahendusvariant ja samuti videod mõndade näisprogrammide koostamisest NXT-G programmeerimiskeeles.

Töö põhieesmärgiks on selgitada võimalikult lihtsalt ning arusaadavas keeles jõuplaadi kasutusvõimalusi. Kuna käesoleva bakalaureusetöö peamine sihtgrupp on kooliõpilased, on püütud vältida erialast keelt, kuid kohati on sõnavara laiendamise eesmärgil siiski vähemlevinud mõisteid sisse toodud. Püütud on siiski teha nii, et vähemtuntud terminite mittetundmine ei takistaks jõuplaadi rakendusvõimalustest arusaamist. Käesolev

bakalaureusetöö on väga oluline, sest Vernier'i jõuplaadi kohta, mida saab koos LEGO robotiga kasutada, ei olnud varem olemas eestikeelseid materjale ega juhendeid.

Autor soovib tänada oma juhendajaid Anne Villemsit ja Taavi Duvinit, kes olid alati abiks ning tegid töösse asjakohaseid parandusi. Samuti väärivad tänusõnu kaastudengid, kes ka LEGO robotitega tegelesid ning kasulikku nõu andsid.

1 Jõud

Jõud on füüsikaline suurus, mis iseloomustab kehade vahelist vastastikmõju. Jõu tähiseks on F nagu Force (inglise keeles jõud). Jõudu võib kujutada vektorina, mis tähendab, et jõu puhul on lisaks suurusele olulised siht ja suund ehk see, mis suunas jõud mõjub [2]. Oluline on märkida ka seda, et igal jõul on alati olemas vastandjõud. See tähendab, et sama suure jõuga, kui esimene keha mõjutab teist, mõjutab teine keha ka esimest. Need jõud on suuruselt võrdsed ja samasihilised, kuid vastassuunalised. Kõige lihtsam on vastandjõudu ehk vastasmõju selgitada kuulide näitel.

1.1 Vastasmõju ja jõu ühik

Joonisel 1 on kujutatud kahele kuulile mõjuvad jõud hetk pärast kokkupõrget. On ilmne, et need kuulid avaldavad teineteisele mõju, kui üks (või mõlemad) neist liigub.



Joonis 1. Kuulidele mõjuvad jõud pärast kokkupõrget.

Kui näiteks triibuga kuuli (number 15) veeretada oranžile kuulile (number 5) pihta, siis kokkupõrkel triibuga kuul mõjutab oranži kuuli teatava (liikumisest tingitud) jõuga. Tegelikult mõjutab ka paigalseisev oranž kuul talle pihta liikuvat triibuga kuuli sama suure kuid vastassuunalise jõuga. Jõud, millega oranž, paigalseisev kuul, triibuga kuuli mõjutab, tingibki triibuga kuuli peatumise (kokkupõrke hetkeks). Kokkupõrke tulemusel liiguvad kuulid teineteisest eemale võrdse suurusega, kuid taaskord vastassuunalise jõuga, nagu on kujutatud joonisel 1. Joonisel on jõud tähistatud tähega F .

Jõu ühikuks SI-süsteemis (rahvusvaheline mõõtühikute süsteem, prantsuse keeles *Système International d'Unités*) on N ehk njuuton [3]. Jõud suurusega 1 N tähendab seda, et kehale massiga 1 kg antakse jõu mõjumise suunas kiirendus 1 m/s^2 (kiirenduse ühikut loetakse

„meetrit sekundi ruudu kohta“). Jõu ühik njuuton on oma nime saanud kuulsa inglise teadlase (füüsik, matemaatik, astronoom, teoloog, alkeemik) Isaac Newtoni (elas 17. sajandi lõpus ja 18. sajandi alguses) järgi, kellele väidetavalt kukkus puu all istudes õun pähe. Teadlasele omaselt hakkas Newton uurima, miks õun talle pähe kukkus ja selle tulemusel sai maailm teada, mis on gravitatsioon (kahe massi omava keha vaheline vastastikmõju) ja konkreetselt – raskusjõud [4].

1.2 Jõu eriliigid

Raskusjõud ongi kõige ilmsem jõu näide. See mõjutab kõike planeedil Maa. Raskusjõu tugevust iseloomustab gravitatsioonikonstant ehk gravitatsioonikiirendus (või eestipäraselt raskuskiirendus), mida tähistatakse tähega g ja selle väärtus Maal on $9,8\text{m/s}^2$. Raskusjõu mõjumise suund on Maa keskmise suunas. Sellepärast kukuvad kõik üles visatud asjad alati alla tagasi ja raskusjõu tõttu ei saa inimesed näiteks laes kõndida ja ilma lennumasinata lennata.

Jõu üheks eriliigiks on hõõrdejõud. Iga kahe (või enama) kokkupuutuva keha pinna vahel mõjub hõõrdejõud. Hõõrdejõu suurus sõltub nende kehade kokkupuutuvate pindade eripärast. Näiteks krobeliste pindade vahel on hõõrdejõud enamasti suurem ja siledate pindade vahel väiksem. Selleks, et üks keha hakkaks teise keha pinnal liikuma (näiteks tikutops laual), on vaja esmalt rakendada sellele kehale (tikutopsile) piisavalt palju jõudu, ületamaks hõõrdejõudu. Tänu hõõrdejõule püsib näiteks nael seinas ja auto teel.

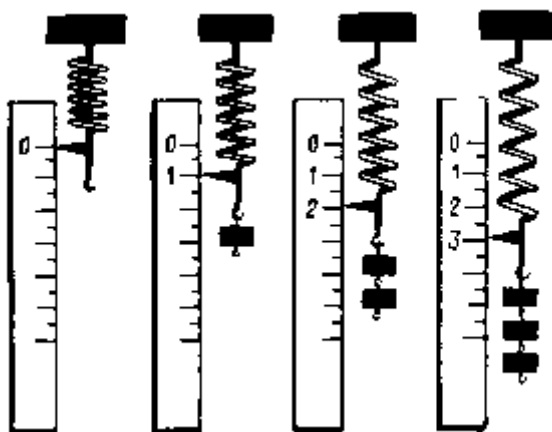
1.3 Jõu põhivalem

Põhiliselt leitakse jõu arvulist väärtust valemiga $F = m \cdot g$ või üldisemal juhul valemiga $F = m \cdot a$. See tähendab, et mingile konkreetsele füüsikalisele kehale mõjuv jõud njuutonites (valemis tähistega F) on võrdne selle keha massi (ühik kg , valemis tähistatud tähega m) ja sellele kehale mõjuva kiirenduse (ühik m/s^2 , valemis tähistatud tähega a) korrutisega. Kiirendus on kiiruse muutumine. Positiivne kiirendus tähendab, et kiirus kasvab, ja negatiivne tähendab, et hoog pidurdub. Kui näiteks inimene tahab arvutada talle mõjuvat jõudu, kui ta maa peal paigal seisab, siis tuleb kasutada esimest valemit, kus kiirenduse asemel on gravitatsioonikonstant. Seega see inimene peab endale mõjuva jõu leidmiseks korrutama oma massi kilogrammides gravitatsioonikonstandi ehk gravitatsiooni-

kiirendusega. Näiteks inimene, kes kaalub 50 kg, peab korrutama $50 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2$. Tehte tulemusena saab see inimene teada, et Maa peal paigal olles mõjub talle jõud suurusega 490 N.

1.4 Jõu mõõtmine

Jõu mõõtmiseks on erinevaid viise. Üks võimalus on jõudu mõõta näiteks dünamomeetriga, mille näidis on kujutatud joonisel 2. Dünamomeeter on vedruga seadeldis, millel on skaala ja millega saab mõõta näiteks raskusjõudu või tõmbejõudu nii horisontaal- kui ka vertikaalsuunas. Dünamomeeter töötab vedru deformeerumise ehk kuju muutmise (antud juhul venimise) põhimõttel. Rakendatava jõu mõjul vedru deformeerub (venib) ja vastavalt sellele, kui palju vedru deformeerub, näitab skaala dünamomeetrile mõjuva jõu suurust. Joonisel 2 on kujutatud lihtne dünamomeeter võrdluse mõttes ilma raskuseta ning ühe, kahe ja kolme (võrdse massiga) raskusega.



Joonis 2. Lihtne dünamomeeter [5].

Kui on olemas seadeldis, millega saab jõudu mõõta (njuutonites), siis on eelpool esitatud valemi $F = m \cdot a$ teisendamisel võimalik arvutada ka kehale mõjuvat kiirendust. Eelnevast valemist saame, et $a = F / m$. See tähendab, et mingile konkreetsele kehale mõjuva kiirenduse arvutamiseks, tuleb sellele kehale mõjuv jõud (njuutonites) jagada selle keha massiga (kilogrammides). Seega, kui on seadeldis, millega saab mõõta, kui suure jõuga inimene üles hüppates äratõukel maapinda mõjutab, siis saab selle inimese massi teades välja arvutada tema kiirenduse hüppe sooritamisel.

Teine variant jõu mõõtmiseks on näiteks jõuplaadi abil. Jõuplaadist tuleb lähemalt juttu järgnevas peatükis.

2 Jõuplaat

Vernier Software & Technology on firma, mis toodab laboritarkvara ja -riistvara. Käesolevas töös on vaatluse all Vernier'i jõuplaat, mis on tavalise vannitoakaalu suurune seadeldis jõu mõõtmiseks. Järgnev peatükk esitab Vernier'i jõuplaadi tehnilised andmed ja annab juhiseid ka jõuplaadi kasutamiseks LEGO MINDSTORMS NXT robotiga.

2.1 Jõuplaadi lühitutvustus

Inglisekeelene Wikipedia ütleb järgnevat: "Jõuplatvormid või jõuplaadid on mõõtmise vahendid, mis mõõdavad maapinna vastasmõju jõuplaadil või -platvormil seisvale või sellest üle liikuvale kehale. Neid mõõtmisvahendeid kasutatakse, et arvuliste näitajate abil väljendada tasakaalu, kõnnakut ja teisi biomehaanilisi parameetreid." [6].

Jõuplaadi sees on n-ö kaaluelemendid või jõuandurid (*load cells*), mis teisendavad jõu elektriliseks signaaliks [7]. Kaaluelementides on mõõdikud, mis jõu mõjul deformeeruvad ehk kuju muudavad ning selle põhjal on võimalik leida neile mõjuv jõud. Teisendamise käigus saadav elektrisignaal saadetakse edasi ning seda on võimalik arvuti või muu seadme abil inimesele mõistetavaks töödelda.

Kõnealune jõuplaat on firma Vernier Software & Technology toodetud andur, mis on mõeldud inimskaalas jõudude mõõtmiseks. "Inimskaalas" tähendab seda, et jõuplaat kannatab, kui keskmine inimene näiteks jõuplaadile astub, jõuplaati surub või tirib. Jõuplaat on tehtud piisavalt tugev, et vastu pidada ka sellele, kui inimene jõuplaadile hüppab. Kuni 780 kg kaaluva kodiaki karu skaalas jõududele aga jõuplaat vastu ei peaks. Vernier'i jõuplaat mõõdab jõude ainult ühes sihis ehk ainult risti oma (suurima ehk kokkuleppeliselt pealmise, nahkse materjaliga kaetud) pinnaga. Seda on oluline märkida, sest on ka jõuplaate, mis võimaldavad jõude mõõta samaaegselt kolmes sihis [6].

2.2 Jõuplaadi tehnilised andmed

Nagu eelnevalt mainitud, on jõuplaat umbes tavalise vannitoakaalu suurune. Pikkus on 32 cm, laius 28 cm ja kõrgus on 5 cm. Olgu selguse mõttes märgitud, et järgnevas käsitluses on pealmise külje all silmas peetud 32 x 28 cm suurust nahkse materjaliga kaetud pinda, mis

joonisel 3 näha on.



Joonis 3. Vernier Software & Technology jõuplaat võrdluse mõttes suurus 38 jalanõudega.

Jõuplaadiga on kaasas üks paar sangasid, mida saab kinnitada jõuplaadi alumisele või pealmisele küljele, et paremini mõõta näiteks surumise jõudu. Joonisel 4 on kujutatud jõuplaat koos alumisele küljele kinnitatud sangadega. Kui sangad on küljes, ei tohi jõuplaadile astuda.

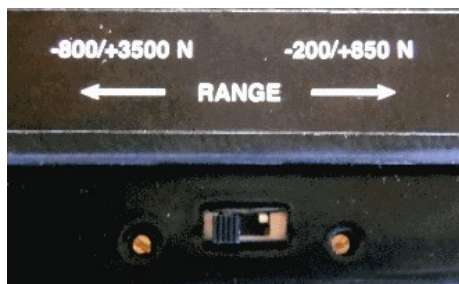


Joonis 4. Jõuplaat koos alumisele küljele kinnitatud sangadega.

Tõmbejõudude mõõtmiseks on võimalik tellida jõuplaadile lisapaar sangasid. Ühe sangapaari saab sel juhul kinnitada jõuplaadi alumisele ja teise ülemisele küljele ning niimoodi mõõta tõmbejõudu näiteks kahe inimese vahel (üks haaraks ühest, teine teisest

sangapaarist ning kumbki püüaks jõuplaati enda poole tõmmata). Jõuplaadi alumisel küljel on ka väike riputusava, mille abil saab jõuplaadi näiteks seinale riputada, asetades jõuplaadi kruvi- või naelapea külge. Riputusaas on näha ka joonisel 4. Kui jõuplaad näiteks ukse külge kinnitada, siis saab mõõta jõudu, mida on tarvis rakendada ukse lahti lükkamiseks.

Jõuplaadil on kaks mõõterežiimi: esimene on -800 N kuni +3500 N ja teine -200 N kuni +850 N [8]. Esimene mõõterežiim tähendab, et tõmbejõudu on võimalik mõõta kuni 800 N ja kokkusurumisjõudu kuni 3500 N - see on ühtlasi ka jõuplaadi suurim töövahemik. Teine režiim on selle jaoks, kui on vaja teha täpsemaid mõõtmisi. Sel juhul tuleb aga tähele panna, et jõuplaadi surumisel ei ületaks jõud 850 N ja tõmbejõud peab jääma väiksemaks kui 200 N. LEGO MINDSTORMS NXT registreerib jõuplaadi näitu 0,01 njuutoni täpsusega. Mõõterežiimi saab muuta jõuplaadi küljel olevast nupust, mis on kujutatud joonisel 5.



Joonis 5. Jõuplaadi küljel asuv nupp mõõterežiimi muutmiseks.

Maksimaalselt võib jõuplaati suruda jõuga 4500 N ja tõmmata jõuga 900 N, ilma et jõuplaad katki läheks. See tähendab, et kui jõuplaadile astub 459 kg raskune inimene, siis peab ta väga ettevaatlikult astuma ja ei tohi ennast liigutada, muidu jõuplaad läheks katki (Alapeatükis “1.3 Jõu põhivalem” esitatud valemi teisendamisel $4500 \text{ N} / 9,8 \text{ m/s}^2 = 459,18 \text{ kg}$). Tõmbejõu maksimumpiiri võiks ette kujutada nii, et jõuplaadi lakke kinnitamisel tohib jõuplaadile kinnitatud sangade küljes rippuda 91 kg kaaluv inimene ja ei tohiks ennast liigutada, vältimaks jõuplaadi lõhkumist (Alapeatükis “1.3 Jõu põhivalem” esitatud valemi teisendamisel $900 \text{ N} / 9,8 \text{ m/s}^2 = 91,84 \text{ kg}$).

2.3 Jõuplaadi kasutamine

Jõuplaadil ei ole ühtegi ekraani ega muud visuaalset väljundit ja selleks, et jõuplaati üldse kasutada, on vaja see ühendada arvuti või mõne muu sobiva seadmega. Arvutitel aga ei ole

jõuplaadi juhtme otsakuga ühilduvat pesa, seega on jõuplaadi arvutiga ühendamiseks vajalik vaheliides. Käesolevas töös on selleks vahelülis ja kohati isegi arvuti asendajaks LEGO MINDSTORMS NXT robot. Jõuplaadi arvutiga ühendamiseks võib kasutada ka hoopis Vernier'i toodetud LabPro, Go!Link, ULI või Serial Box liideseid, kuid need jäävad käesoleva töö skoobist välja. Vajadusel saab nende kohta infot Vernier'i kodulehelt [9].

Jõuplaadi kasutamiseks LEGO MINDSTORMS NXT robotiga on vajalik ühenduslülid Vernier'i NXT sensoriadapter [10], mis on kujutatud joonisel 6.



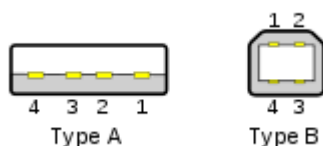
Joonis 6. Vernier sensoriadapter [10].

Jõuplaadi küljes olev juhe tuleb ühendada Vernier NXT sensoriadapteri külge valgesse porti, mis on näha joonisel 6. Seejärel tuleb sensoriadapter ühendada NXT juhtploki külge. Selleks tuleb mõne LEGO robotiga kaasas olnud suvalise pikkusega joonisel 7 kujutatud juhtme üks ots torgata sensoriadapteri halli auku ja juhtme teine ots NXT juhtploki külge vastavalt soovile kas numbriga 1, 2, 3 või 4 märgitud porti (numbrid on näha NXT juhtploki esiküljel nuppude läheduses).



Joonis 7. LEGO MINDSTORMS NXTga kaasnev RJ12 tüüpi otstega juhe [11].

LEGO MINDSTORMS NXT juhtploki ühendamiseks arvutiga saab kasutada robotiga kaasas olnud USB-kaablit või luua ühenduse sinihamba ehk *Bluetooth*'i abil. Kaabli abil ühendamiseks tuleb USB-kaabli B-tüüpi (kujutatud joonisel 8) ots ühendada NXT juhtploki külge auku tähistega "USB" (tähis on näha juhtploki esiküljel ekraani juures). USB-kaabli A-tüüpi ots (enimlevinud USB-kaablitüüp), mis on joonisel 8 kujutatud vasakpoolsena, tuleb sisestada arvuti USB pessa.



Joonis 8. LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga kaasas oleva USB-kaabli A-tüüpi ots (vasakul) ühendub arvuti külge, B-tüüpi ots NXT juhtploki külge. [12]

Kõige lihtsam on jõuplaati kasutada sarnaselt tavalise vannitoakaaluga ehk lihtsalt peale astudes või esemeid plaadi peale asetades. Jõuplaadil ei tohi sellisel juhul sangasid küljes olla, sest muidu sangad takistavad jõuplaadile astumist ja tasakaalu hoidmist ning mõõtmise tulemused ei ole täpsed. Jõuplaat tuleb kindlasti asetada tasasele pinnale, et jõud mõjuks tervele jõuplaadile ühtlaselt.

Oluline on märkida, et jõuplaat ei pea ilmingimata olema maas nagu vannitoakaal, vaid seda võib ka näiteks vastu seina suruda. Sellisel juhul oleks kasulik jõuplaadile kinnitada sangad või riputada see alumisel küljel olevat avaust kasutades seinale, nagu on kirjeldatud eelnevas alapeatükis ("2.2 Jõuplaadi tehnilised andmed").

Kui tellida jõuplaadile lisapaar sangasid, siis saab mugavalt mõõta ka tõmbejõude. Selleks võib kinnitada ühe paari sangasid jõuplaadi alumisele ja teise pealmisele küljele, nagu on kirjeldatud punktis "2.2 Jõuplaadi tehnilised andmed".

2.4 Olulised tähelepanekud jõuplaadi kasutamisel

Eelkõige on oluline jälgida jõuplaadi töörežiimi, sest nagu punktis "2.2 Jõuplaadi tehnilised andmed" välja toodud, on jõuplaadil kaks mõõterežiimi: -800 N kuni +3500 N ja -200 N

kuni +850 N. Kui mõõdetavad jõud on piisavalt väikesed, mahtumaks kitsamasse vahemikku, siis peaks kasutama kitsamat vahemikku, saamaks täpsemad mõõtmistulemused.

Kindlasti tuleb tähele panna ka seda, et kui jõuplaadile on kinnitatud sangad, siis ei tohi jõuplaadi peale astuda. Sangadega jõuplaati tohib kasutada näiteks vastu seinu surumisel või tõmbejõudude mõõtmiseks. Kui sangad kinnitatakse jõuplaadi alumisele küljele ning seejärel asetatakse jõuplaad maapinnale, jääb jõuplaad kõikumama. Selle tagajärjel ei ole jõuplaad stabiilne, sest sangad on kaarekujulised, ning samuti ei ole jõuplaadil piisavalt ühtlane toetuspinne. Kui sangad kinnitatakse aga jõuplaadi pealmisele küljele ning siis jõuplaad maapinnale asetatakse, jäävad sangad takistama jõuplaadile astumist. Sangade peale astuda ei tohi, sest vastasel juhul taaskord ei jaotuks jõud ühtlaselt ning sangade kaarja kuju tõttu ei saaks stabiilselt paigal seista.

Vernier'i jõuplaad on ka väga tundlik. Lihtsalt niisama (siledal) maapinnal lebava jõuplaadi näit varieerub väikeses ulatuses (mõne njuutoni piires). Seda võiks arvestada, kui tegemist on suurt täpsust nõudvate mõõtmistega ning panna see kirja mõõtmise veana. Katseliselt vea määramiseks tuleks jõuplaad asetada tasasele pinnale ilma jõuplaadile jõudu rakendamata ning näiteks Data Logging programmi abil korjata 5 või 10 sekundi jooksul jõuplaadilt näite. Kogutud näitudest tuleks leida suurim ja vähim ning seejärel suurimast vähim lahutada. Tulemuseks ongi see arv njuutonites, mille võrra jõuplaadi näit võib tegelikult väärtusest erineda.

Iga uue mõõtmise alguses oleks kasulik jõuplaad nullida, saamaks võimalikult täpse näidu. Nullimisest on lähemalt kirjutatud järgmises peatükis.

2.5 Jõuplaadi programmeerimine

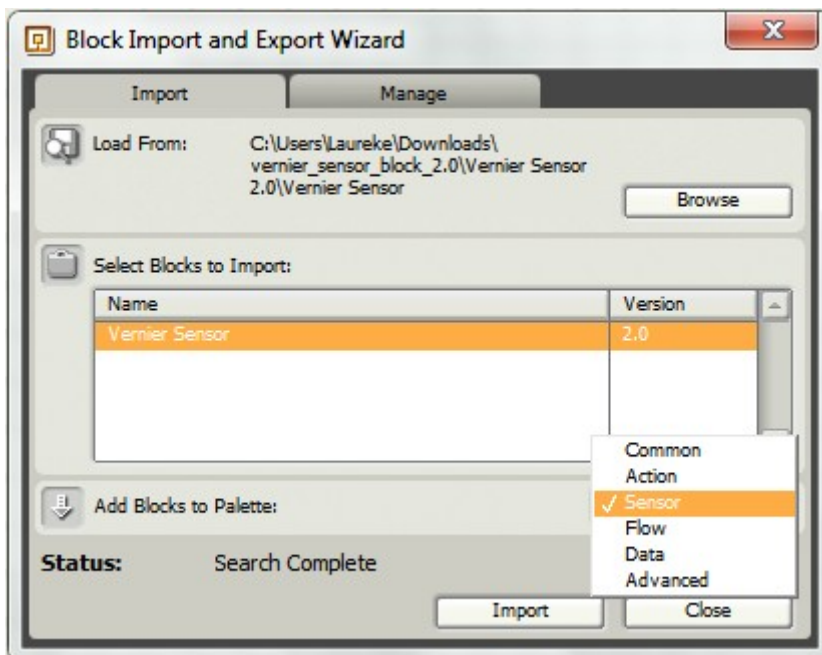
Jõuplaadi programmeerimiseks on erinevaid võimalusi erinevates programmeerimiskeeltes alates lihtsamatest ja intuiitsematest graafilistest keeltest (NXT-G) kuni väga erinevate ja universaalsete keelteneni (nt C ja Java) [13]. Lihtsuse mõttes käsitletakse käesolevas bakalaureusetöös LEGO MINDSTORMS Edu NXT 2.0 tarkvara (lühidalt NXT Edu) ja graafilist programmeerimiskeelt NXT-G. See programmeerimiskeskond jaguneb kaheks

osaks: NXT 2.0 Data Logging ja NXT 2.0 Programming. Järgnevalt kõigest lähemalt.

2.5.1 Vernier sensoriploki (*Sensor Block*) lisamine NXT Edu keskkonda

Kuna jõuplaadi tootja on erinev roboti tootjast, siis on vaja LEGO NXT Edu keskkonda täiendada, et keskkond võimaldaks jõuplaadi kasutamist programmides. Selleks tuleb NXT Edu keskkonda importida Vernier'i sensoriplokk. Selle saab alla laadida Vernier'i kodulehelt NXT sensoriadapteri leheküljelt [10]. Alajaotises “*NXT Sensor Adapter with MINDSTORMS NXT Software*” tuleb klikkida lingil kirjaga “*Download the latest version of the Vernier Sensor Block*”. Seejärel suunatakse järgmisele lehele, kus tuleb alajaotises “*Vernier Sensor Block for MINDSTORMS NXT Software*” valida vastavalt NXT versioonile õige sensoriplokk - tarkvaraversiooni 2.0 puhul “*Download Vernier Sensor Block (version 2.0)*”. Sensoriplokk laetakse alla kokkupakitud kujul (vernier_sensor_block_2.0.zip failina).

Järgnevalt tuleb allalaetud fail lahti pakkida mõnda lihtsastileitavasse asukohta arvutis (näiteks taustale ehk desktopile). Seejärel tuleb NXT Edu programmeerimise keskkonnas (NXT 2.0 Programming) avada akna ülemises ääres paiknevast menüüst “*Tools*” alajaotis “*Block Import and Export Wizard...*”. Seejärel avaneb selline aken, nagu on kujutatud joonisel 9.



Joonis 9. Vernier sensoriploki importimise dialoogiaken.

Avanenud aknas tuleb vajutada nupule “*Browse*” ning seejärel otsida oma arvutist üles (eelnevalt lahtipakkimisel valitud lihtsastileitavast asukohast) ja valida kaust “*Vernier Sensor*”. Seejärel tuleb joonisel 9 kujutatud aknas klõpsata kastikesel, millel on vaikimisi kiri “*Advanced*”. Selle tulemusel avaneb valik, nagu on kujutatud joonisel 9, ning sealt tuleb valida “*Sensor*”. Oluline on tähele panna, et akna keskses kastikeses on kuvatud “*Vernier Sensor*” ja tema versioon “2.0”. Seejärel võib vajutada nuppu “*Import*” ja sellega on NXT Edu keskkond valmis jõuplaadiga töötamiseks.

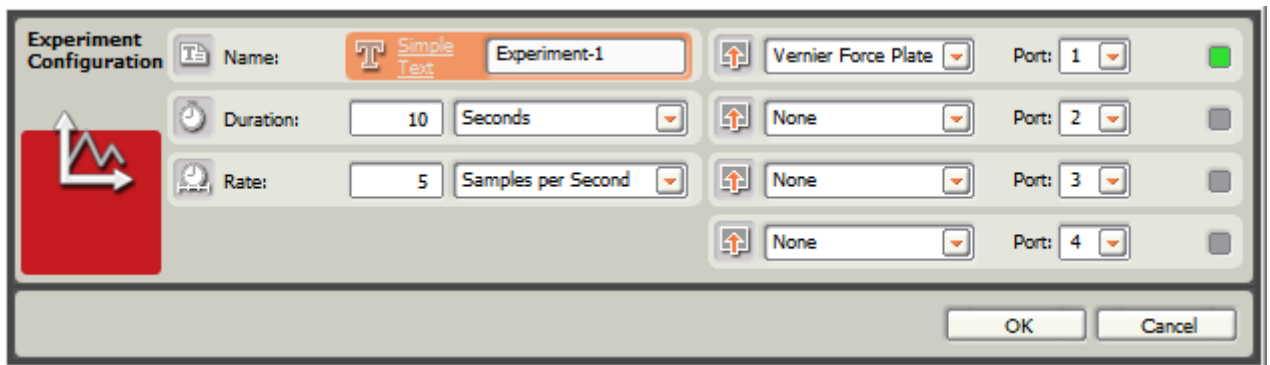
2.5.2 Jõuplaadiga andmete kogumine, kasutades NXT 2.0 Data Logging keskkonda

NXT 2.0 Data Logging on keskkond, milles saab jõuplaadilt pikema ajavahemiku jooksul andmeid korjata ning kui jõuplaat on arvutiga ühendatud, siis saab nende andmete põhjal ka arvutiekraanile (reaalajas) graafiku kuvada. NXT 2.0 Data Logging keskkonnas on olemas ka mõned enimkasutatavad andmetöötlusvahendid nagu näiteks miinimumi, maksimumi ja keskmise leidmine.

a) Alustamine NXT 2.0 Data Logging keskkonnas ja uue eksperimendi loomine

Data Logging keskkonnas andmete kogumiseks tuleb esmalt jõuplaat arvutiga ühendada, nagu on kirjeldatud alapeatükis “2.3 Jõuplaadi kasutamine”. Kindlasti tuleb LEGO MINDSTORMS NXT juhtplokk ka arvuti külge ühendada.

Järgmiseks tuleb käivitada Data Logging keskkond ja valida uue eksperimendi alustamise alajaotises “*Start New Experiment*” oma eksperimendile soovi korral nimi (vaikimisi on nimeks “*Experiment-1*”). Seejärel tuleb vajutada juuresolevat nuppu kirjaga “*Go*”. Seejärel kuvatakse joonisel 10 kujutatud valikuaken. Selles aknas saab seadistada eksperimendi jaoks vajalikud parameetrid.



Joonis 10. Valikuaken NXT 2.0 Data Logging keskkonnas eksperimendi parameetrite seadistamiseks.

Kõigepealt on vasakpoolses tulbas võimalik veel muuta eksperimendi nime (“Name”), kui eelnevas sammus tekkis nime sisestamisel viga või kui tekib soov veel nime muuta. Järgmine valik on eksperimendi kestus (“Duration”), milleks vaikimisi on kümme sekundit. See määrab ära, kui pika aja jooksul programm jõuplaadi mõõtmistulemusi loeb. Võimalik on mõõtmisaega sekundite asemel ka minutites sisestada. Selleks tuleb “Seconds” asemel valida “Minutes”. “Rate” ehk mõõtmisagedus määrab ära, mitu korda sekundis jõuplaadilt andmeid loetakse (“Samples per Second” ehk “näitu sekundis”). Sel juhul on mõõtmistulemuste lugemise intervallid ehk vahed mõõtmiste vahel väiksemad kui üks sekund. Võimalik on ka selline seadistus, kus mõõtmiste vahed on suuremad kui üks sekund. Sel juhul tuleb “Samples per Second” asemel valida “Seconds between Samples” (“sekundit näitude vahel”).

Parempoolses tulbas saab valida need andurid, mis on eksperimenti kaasatud. Joonisel 10 esimeseks valikuks on *Vernier Force Plate 850 N* ehk jõuplaad täpsema töörežiimiga kuni 850 N (vt alapeatükki “2.2 Jõuplaadi tehnilised andmed”). Samal real on ka pordi number, millesse jõuplaad on ühendatud. Soovi korral saab seda muuta, kuid see peab ühtima selle pordi numbriga, millesse jõuplaad on NXT juhplokil ühendatud. Järgmistel ridadel on soovi korral võimalik lisada veel andureid, mida eksperimendis kasutada. Antud tutvustuses piirdume vaid jõuplaadiga.

Kui kõik parameetrid on seadistatud, tuleb vajutada nuppu kirjaga “OK”. Järgmisena kuvatakse musta taustaga aken, mille paremas alanurgas on joonisel 11 kujutatud juhtnupud

LEGO MINDSTORMS NXTga suhtlemiseks. Selleks, et jõuplaadi mõõtmistulemustest moodustatud graafik tekiks reaajas arvutiekraanile, tuleb vajutada oranži juhtnuppu (“*Download and run*” ehk “lae alla ja käita”), mis on kujutatud joonisel 11 keskel.



Joonis 11. Nupuplokk NXT 2.0 Data Logging keskkonna paremas alanurgas (NXT 2.0 Programming keskkonnas on sarnane nupustik).

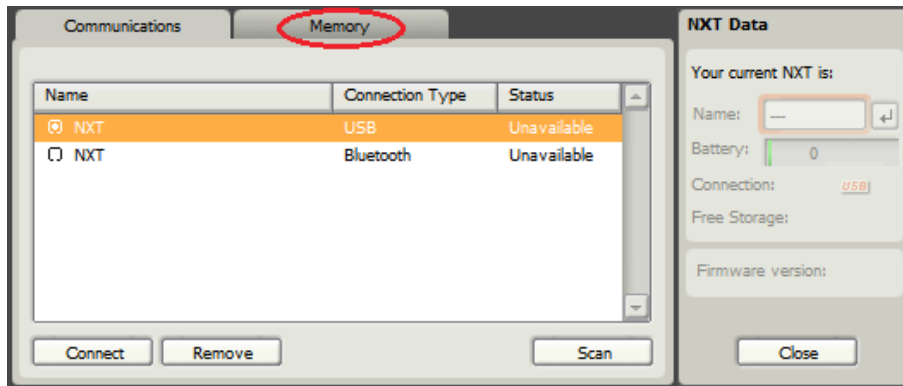
Joonisel 11 keskel asuvale oranžile nupule vajutamise järel laetakse eksperimendi läbiviimiseks vajalikud käsud ehk vastav programm LEGO MINDSTORMS NXTsse. Laadimine kestab enamasti umbes ühe sekundi, misjärel programm kohe käivitub ja ekraanile tekib graafik, millel kuvatakse jõuplaadile mõjuvad jõud. Kui programmi täitmise ajal näiteks jõuplaadile astuda, siis on jõudude muutus kohe ka arvutiekraanil näha.

b) Eksperimendi käigus tekkinud graafiku analüüsimine NXT 2.0 Data Logging keskkonnas

Kui programm on töö lõpetanud, on ekraanil endiselt alles graafik. Data Logging programmiakna ülemises osas on tööriistariba ja seal on nupp “*Analysis Tools*” (“analüüsi tööriistad”), millel on kujutatud mikroskoop. Sellele nupule vajutades saab valida kahe tööriista vahel. Esimene ehk punktianalüüs (“*Point analysis*”) võimaldab määrata graafikul konkreetset punkti, mis märgitakse vertikaalse joonega, ja vaadata jõu väärtust selles punktis. Punkti saab muuta, liigutades hiirega joont, mis seda punkti märgib, horisontaalses sihis vasakule või paremale. Teine tööriist “*Analysis Tools*” valikus on vahemiku uurimiseks (“*Section analysis*”). Sellega saab valida graafikul vahemiku, mille kohta kuvatakse graafiku miinimum- ja maksimumväärtus ning nende kahe aritmeetiline keskmine antud vahemikus.

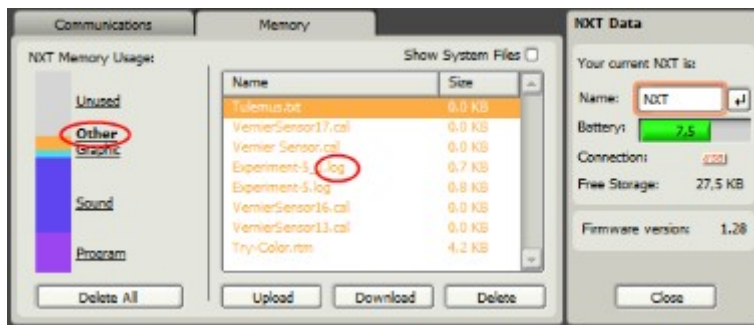
c) Logifailide haldamine

Programmi täitmise käigus, kui programmi NXT juhtplokis käitati, loodi ka logifail, mis salvestati NXT juhtplokki mälu. Logifaili sisuks on jõuplaadilt läbiviidud eksperimendi käigus korjatud näidud koos ajalise märgendiga. Logifaili kättesaamiseks tuleb joonisel 11 kujutatud nupustikus vajutada ülemisele vasakpoolsele nupule (“NXT Window”). Seejärel avaneb joonisel 12 kujutatud NXT aken.



Joonis 12. NXT aken NXT Edu keskkonnas (Data Logging ja Programming).

Joonisel 12 on punase ovaaliga märgitud NXT juhtplokki mälu (“Memory”) vahekaart. Kui NXT juhtplokki mälu hakkab täis saama, siis saab just sellel vahekaardil olevatest nimekirjadest faile kustutades mälu tühjendada. Mälu vahekaardil klõpsates avaneb joonisel 13 kujutatuga sarnane vaade. Vasakul on mälu jaotumine erinevate kategooriate vahel (kasutamata - “Unused”, muu - “Other”, graafika - “Graphic”, heli - “Sound”, programmid - “Program”) kujutatud tulpdiagrammina. Jaotisel “Other” ehk muu klõpsates avaneb sarnane nimekiri, nagu on joonisel 13 keskel oranžis kirjas. “.log” lõpuga nimedega failid ongi logifailid. Logifaili arvutisse laadimiseks tuleb esmalt klõpsata sobival logifailil ning seejärel vajutada nupule “Upload” ehk “Lae üles”. Seejärel avaneb aken, milles tuleb valida sobiv koht oma arvutis, kuhu logifail salvestada.



Joonis 13. Mälu seisu näitav vahekaart NXT aknas (keskkondades NXT 2.0 Data Logging ja Programming).

Jõuplaadiga tehtud eksperimendi ühe logifaili näide on joonisel 14. Joonisel on kujutatud vaid logifaili algus. Andmed on jaotatud kahte tulpa: esimeses on ajamärgend millisekundites (eksperimendi algus on märgendatud nulliga) ja teises on jõuplaadi näit njuutonites.

```

Sync data      3387519741      34450  40325  200   10000
Sdata  1_Vernier Sensor_17
Time   Vernier Sensor
0      -42.38
202    -37.41
402    -37.41
601    -42.38
801    -37.41

```

Joonis 14. Jõuplaadi logifaili näide.

Data Logging keskkonna tööriistade (“Tools”) menüüs on valik “Create Data Logging Program...” (“Loo andmekogumise programm”). Selle abil on võimalik koostatud eksperiment otse NXT 2.0 Programming keskkonda ümber tõsta. Sel juhul avaneb Programming keskkond ja seal on kuvatud eksperimendi tähistav moodul, kuid sellest keskkonnast lähemalt juba järgmises alapeatükis.

2.5.3 Jõuplaati rakendavate programmide kirjutamine NXT 2.0

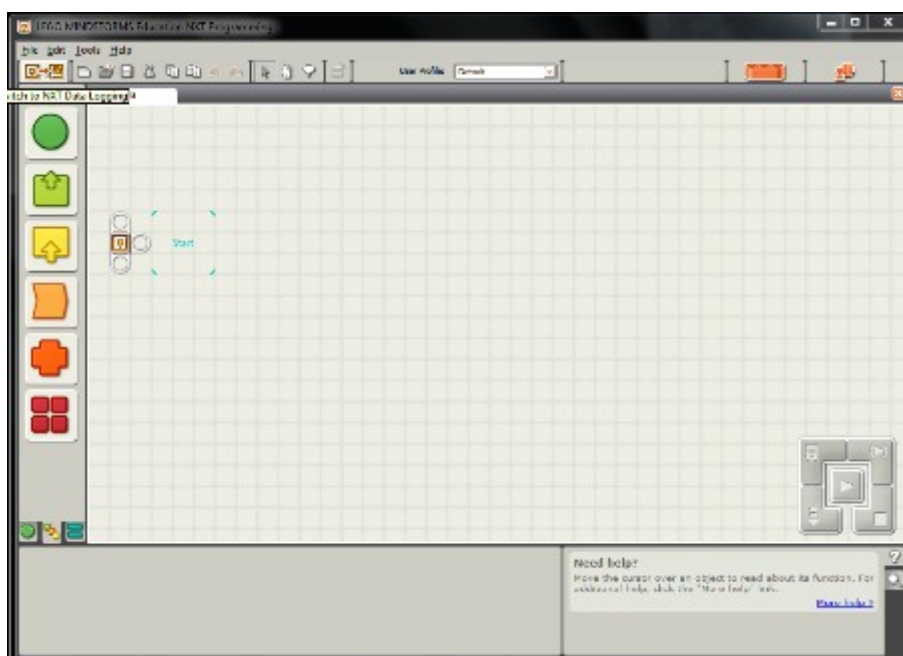
Programming tarkvara abil

NXT 2.0 Programming keskkond on loodud selleks, et LEGO MINDSTORMS NXT robotile programme luua ehk panna LEGO robot enda soovi kohaselt tegutsema. Robotit saab panna liikuma, heli mõõtma, heli tekitama, andmeid koguma ja palju muud. Järgnevalt

on kirjeldatud seda, mis võimalused on jõuplaadi kasutamiseks NXT 2.0 Programming keskkonnas programmide loomisel. NTX-G keelest ja programmeerimisest on kirjutatud võimalikult vähe, sest täpsemat infot nende teemade kohta saab näiteks Mait Urbaniku bakalaureusetööst “LEGO MINDSTORMS NXT programmeerimine” [14].

a) Alustamine NXT 2.0 keskkonnas

Nagu eelnevas alapeatükis kirjeldatud, tuleb ka NXT 2.0 Programming keskkonnas alustada programmile nime valimisest, kui luuakse uus programm. Kui nimi valitud, avaneb programmeerimise keskkond, mis on kujutatud joonisel 15. Paremas alaservas on taaskord eelnevast tuttav nupustik, mille abil saab luua ühenduse LEGO MINDSTORMS NXT robotiga. Kogu akna taustaks on ruudustik.



Joonis 15. NXT 2.0 Programming keskkond.

NXT 2.0 Programming keskkonnas saab programme kirjutada graafilises programmeerimiskeeles nimega NXT-G. Programmide kirjutamine NXT-G's on väga lihtne ja intuiitvne (võrreldes universaalsete programmeerimiskeeltega, millest käesolevas kontekstis juttu ei tule), sest programmi moodustamiseks tuleb vaid menüüst plokk nagu ehitusklotse valida ning neid üksteise järele ritta laduda. Igal plokil on olemas ka oma parameetrid, mis kuvatakse akna alla serva, kui plokil hiirega klõpsata. Neid parameetreid

saab vastavalt vajadusele muuta. Samuti saab igal plokil alla serva klõpsates avada lisavalikute riba, kus on reastatud erinevad parameetrid, mida saab siduda teiste plokkide parameetritega ning seeläbi programmi lisavõimalusi tuua. Näiteks saab niimoodi jõuplaadi tekstilise näidu edastada NXT ekraani kujutavale plokile ning seeläbi luua programm, mis kuvab jõuplaadi näidu NXT juhtploki ekraanile.

b) NXT 2.0 Programming keskkonna vasakpoolne menüü

NXT 2.0 Programming keskkonnas on vasakus servas vertikaalses suunas piltidega menüü, millest saab programmi plokkide valida. See menüü on kujutatud joonisel 16. NXT 2.0 keskkonna esmakordsel avamisel kuvatakse enamasti menüü jaotist, mis on joonisel 16 märgitud tähega a).



Joonis 16. a) Menüü NXT 2.0 Programming keskkonnas (vasakpoolses servas), b) eelneva menüü teine (2) alajaotis.

Menüü on jagatud kolmeks leheks või jaotiseks, mille kujutised on menüü allservas. Joonisel 16 on need lehed või jaotised tähistatud numbritega 1-3 ja hetkel aktiivne leht on mõlemal juhul (nii joonisel 16 tähise a) kui ka b) juures) märgitud punase ringiga. Esimene jaotis (1) on üldine, kus on põhilised programmeerimiseks vajaminevad vahendid olemas, kuid seal ei ole kõiki võimalusi. Teine jaotis (2) on täielik ja seal on olemas kõik vahendid, mida saab programmide kirjutamisel NXT 2.0 Programming keskkonnas kasutada. Teist jaotist on vaja ka selleks, et jõuplaati programmides kasutada. Kolmas jaotis (3) on kohandatav. Sinna saab koondada enda koostatud programmikatted, et neid omakorda järgmistes programmides kompaktsemalt kasutada. Samuti on kolmandas jaotises Internetist allalaetavad materjalid. Järgnevas aga keskendume teisele jaotisele (2).

c) NXT 2.0 Programming keskkonna vasakpoolse menüü teine jaotis

Teine jaotis, mis on kujutatud joonisel 16 ja tähistatud tähega b), sisaldab, nagu eelnevalt mainitud, kõiki vahendeid, mida on LEGO MINDSTORMS NXT programmeerimisel tarvis. Need vahendid on jaotatud omakorda kategooriatesse, mis joonisel 16 tähise b) juures on märgitud numbritega 1-6. Jõuplaadi programmeerimisel on eelkõige oluline numbriga 3 tähistatud kategooria, mis sisaldab endas sensoreid ehk andureid. Joonisel 17, millel kujutatud menüü avaneb joonisel 16 tähise b) juures olevas menüüs numbriga 3 tähistatud kujutisele hiirega liikudes, on punase ringiga tähistatud Vernier'i sensori plokk. Sellel klõpsates tekib kursori külge programmeerimisblokk, mis tuleb ruudustikule sobivasse kohta asetada.



Joonis 17. Sensorite ehk andurite plokkid NXT 2.0 Programming keskkonnas. Punasega tähistatud Vernier'i sensor.

d) Vernier'i sensori plokk

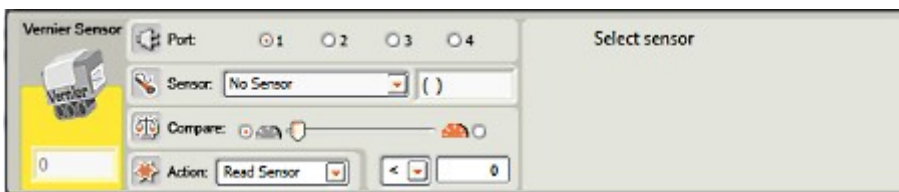
Vernier sensorite plokk on kujutatud joonisel 18. Joonisel on punasega märgitud ala, millele tuleb klõpsata, et avada selle ploki sisend- ja väljundklemmidega varustatud parameetrite riba. Vernier'i sensori ploki parempoolses ülanurgas olev number tähistab seda, millisesse

porti peab jõuplaad LEGO MINDSTORMS NXT juhtplokil ühendatud olema.



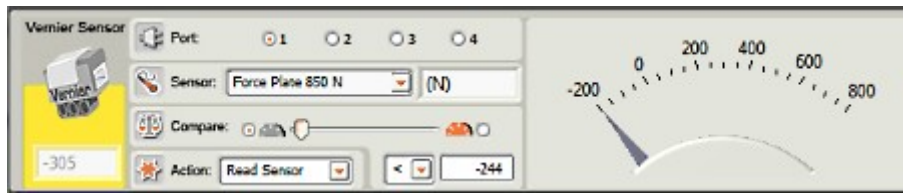
Joonis 18. Vernier'i sensori plokk NXT 2.0 Programming keskkonnas. Punasega märgitud lisavalikute avamise ala.

Joonisel 18 on näha, et sensori plokil on kiri "*Select sensor*" ehk "Vali sensor", kuna vaikimisi pole ühtegi sensorit valitud. Soovitud sensori valimiseks tuleb ruudustikus olevale Vernier'i sensori plokkile klõpsata, mille tulemusel kuvatakse akna alläärde joonisel 19 kujutatud menüü.



Joonis 19. Vernier'i sensori ploki valikmenüü NXT 2.0 Programming keskkonnas (akna allservas).

Seejärel tuleb menüüs tähise "*Sensor*" juures olevale kastikesele (kirjaga "*No sensor*") klõpsata, mille tulemusel avaneb rippmenüü, kus on üles loetletud kõik Vernier'i sensorid. Sellest menüüst tuleb valida (vastavalt vajadusele) kas "*Force Plate 850N*" või "*Force Plate 3500N*". Seejärel menüü kujundus muutub. Näiteks "*Force Plate 850N*" valides kuvatakse joonisel 20 kujutatud menüü. Sensori nimetuse järel olevasse kastikesse kuvatakse ühik "(N)", milles sensor oma näitu edastab.



Joonis 20. Jõuplaadi (850 N režiimiga) kohta käiv menüü NXT 2.0 Programming keskkonnas (allservas).

Real, kus on kirjas "*Port*" (Port) ja numbrid 1-4, saab märkida, millisesse NXT juhploki porti on jõuplaad ühendatud. Vaikimisi on valitud port 1. Real "*Compare*" ("Võrdle") saab seada väärtuse (järgnevas nimetatud ka "käivitusväärtuseks"), millega jõuplaadi näitu võrreldakse. Järgmisel real on võimalik ka ära märkida, kas jõuplaadi näit peab olema etteantud väärtusest suurem või väiksem. Vaikimisi on märgitud väiksem. Jõuplaadi näitu edastatakse vaid siis, kui võrdluse tulemus on positiivne ehk kui jõuplaadi näit on vastavalt vajadusele kas üle või alla märgitud käivitusväärtuse.

Järgmisel real märke "*Action*" ("Tegevus") järel on valikmenüü, kus saab määrata, mida jõuplaadiga parajasti teha tahetakse. Esimeseks valikuks (see on ka vaikimisi valitud) on "*Read Sensor*" ("Loe sensori näitu"), mille tulemusel selle programmeerimisploki täitmisel jõuplaad edastab oma hetkenäidu. Järgmine võimalus on "*Zero/Calibrate*" ("Nulli/Kalibreeri"), mille valimisel jõuplaad seadistatakse ümber nii, et hetkenäit on null, kõik sellest näidust kõrgemad väärtused on positiivsed ja madalamad on negatiivsed. See tuleb kasuks näiteks siis, kui inimene tahab kaaluda koera nii, et võtab koera sülle. Selleks peab inimene jõuplaadile astuma, seejärel (ise jõuplaadil seistes) jõuplaadi ära nullima ning kui inimene siis koera endale sülle võtab, siis mõõdab jõuplaad vaid koerale mõjuvat jõudu, mille põhjal on lihtne koera kaalu arvutada. Kasulik on iga uue jõuplaadi kasutava programmi algusesse panna üks jõuplaadi nullimise plokk. Viimane variant on "*Reset*" ("Taasta"), mis taastab Vernier'i tehases jõuplaadile määratud seaded.

Joonisel 20 on paremas servas näha skaala ja osuti. Kui jõuplaad on LEGO MINDSTORMS NXT abil arvutiga ühendatud, siis skaalal kuvatakse jõuplaadi hetkenäitu. Samuti kuvatakse jõuplaadi hetkenäitu joonisel 20 kujutatud menüü vasakus alumises nurgas paiknevas (kollasega ümbritsetud) kastikeses, kuid ainult siis, kui jõuplaad on parasjagu arvutiga ühenduses.

e) Jõuplaadi ploki lisaparaameetrid (paraameetrite riba)

Jõuplaadi plokki on võimalik programmi teiste osadega suhtlema panna, kasutades jõuplaadi ploki paraameetrite sisendeid ja väljundeid. Vastav riba avaneb siis, kui klõpsata hiirega joonisel 18 punasega märgitud joonele. Selle tulemusel avaneb joonisel 21 kujutatud pilt.



Joonis 21. Jõuplaadi programmeerimisplakk NXT 2.0 Programming keskkonnas. Numbritega 1-8 on tähistatud erinevad paraameetrid. Vasakpoolsed klemmid on sisendid ja parempoolsed väljundid.

Joonisel 21 kujutatud paraameetrite sisendite ja väljundite ribas ülevalt alla on reastatud (ja joonisel numbritega tähistatud) erinevad jõuplaadi paraameetrid, mis on kujutatud pildikestega. Kui hiirega pildikeste kohale liikuda, kuvatakse igäühe kohta nimetus, mida pildike tähistab. Esimesel neljal pildikesel on vasakul ja paremal pool väikesed ühendusklemmid. Vasakpoolsed ühendusklemmid tähistavad sisendeid ehk vasakpoolsete klemmidega paraameetritele saab programselt väärtusi edastada. Parempoolsed ühendusklemmid märgivad väljundeid, mis tähendab, et nende ühenduste kaudu saab jõuplaadilt vajalike paraameetrite väärtusi programselt (teistele plokkidele) edasi anda.

Joonisel 21 kujutatud numbriga 1 tähistatud paraameeter on pordinumber ("*Port*"), mis peab ühtima sellega, mitmendasse NXT juhtploki porti on jõuplaad ühendatud. Pordinumber on arvuline suurus ja võimalikud valikud on 1-4. Number 2 on tegevus ("*Action*"), mis määrab jõuplaadiga seotud toimingu. Võimalikud variandid on sensori näidu lugemine, nullimine või tehase seadete taastamine. Number 3 on n-ö käivituspunkt ("*Trigger Point*"), mis määrab selle punkti, millest suuremaid või väiksemaid väärtusi jõuplaad edastab. Kui see punkt pole

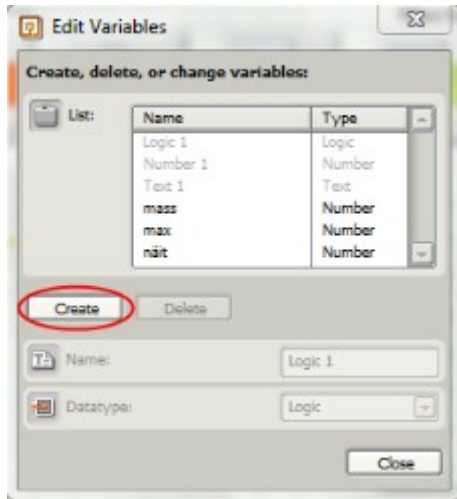
seadistatud, siis on käivituspunktiks vaikimisi minimaalne mõõdetav suurus ning edastatakse sellest suuremaid (ehk igasuguseid) väärtusi. Käivituspunkt on arvuline parameeter. Number 4 on tõeväärtustüüpi (väärtusega "tõene" või "väär") võrdlusparameeter ("*Greater/Less*") ja on otseselt seotud käivituspunktiga. Võrdlusparameetri võimalikud väärtused on "tõene" (*True*) ja "väär" (*False*). Kui jõuplaadi näit on mõõtmishetkel käivituspunkti väärtusest suurem, siis võrdlusparameetri väärtus on "tõene", ja kui väiksem, siis "väär". Numbritega 1-4 tähistatud parameetreid saab muuta ka joonisel 20 kujutatud menüüs.

Number 5 on võrdlustulemuse ("*Yes/No*") parameeter, mis on samuti tõeväärtustüüpi parameeter ehk tema väärtuseks on ka "tõene" või "väär". Selle parameetri väärtus sõltub sellest, kas käivituspunktiga võrdlemine andis soovitud tulemuse (kas jõuplaadi hetkeväärtus oli käivituspunkti väärtusest suurem või väiksem, nagu varem ära määratud). Number 6 on n-õ toorväärtus ("*Raw Value*"), mis on samuti arvuline väärtus. Number 7 on jõuplaadi näit ("*Sensor Reading*") arvulise väärtusena. Number 8 on jõuplaadi näit sõnena ("*Sensor Reading (Text)*"), mille tüübiks on tekst, ja väärtusele on lisatud ka ühik ehk tähis "N" (njuuton).

Erinevate plokkide ühendusklemmide omavahel sidumiseks tuleb hiirega klõpsata ühe ploki sellel klemmil, mida tahetakse ühendada, ning seejärel tuleb klõpsata teise ploki sellel klemmil, mille külge tahetakse ühendada. Erinevate plokkide klemmide ühendamisel tuleb olla tähelepanelik, sest omavahel tohib siduda vaid samaliigilisi ühendusklemme. See tähendab, et näiteks ühe ploki tekstilise parameetri väljundist tohib ühenduse luua vaid teise ploki tekstilise parameetri sisendisse. Ühenduse loomisel kuvatakse kahe ploki vahele juhe ja on oluline märkida, et arvuti ekraanil ei pruugita selle juhtme otsi alati ilmtingimata õigetel kohtadel kuvada, seega peab ise tähelepanelik olema ja meeles pidama, millised klemmid ühendati. Abiks on veidi juhtme värv, sest korrektse ühenduse korral (omavahel ühendatud klemmid on samaliigilised) on juhe värviline. Tõeväärtustüüpi parameetrite vaheline juhe on roheline, arvuliste vaheline on kollane ning tekstiliste vaheline on oranž. Kui on tegemist vale ühendusega (ühendatud klemmid pole samaliigilised), siis on juhe hall ja katkendlik. Sellisel juhul tuleb ühendus uuesti luua, sest olemas olev ei toimi.

f) Muutuja seadistamine NXT 2.0 Programming keskkonnas

Muutuja seadistamiseks tuleb NXT 2.0 keskkonnas ülemises servas asuvas “*Edit*” (“Redigeeri”) menüüs valida “*Define variables*” (“Määra muutujad”), mille tulemusel kuvatakse joonisel 22 kujutatud aken.



Joonis 22. Muutujate seadistamise aken NXT 2.0 keskkonnas.

Uue muutuja loomiseks tuleb vajutada nuppu “*Create*” ehk “Loo”, mille tulemusel saab sama akna alaservas sisestada uue muutuja nime (“*Name*”) ja valida andmetüübi (“*Datatype*”). Hiljem saab loodud muutujaid programmides kasutada. Vaikimisi on olemas kolme erinevat tüüpi muutjad: tõeväärtustüüpi “*Logic 1*”, arvuline “*Number 1*” ja tekstiline “*Text 1*”.

g) Jõuplaadi eksperimendi plokk

Eelmise alapeatüki “2.5.2 Jõuplaadiga andmete kogumine, kasutades NXT 2.0 Data Logging keskkonda” lõpus sai mainitud, et NXT 2.0 Data Logging keskkonnas moodustatud eksperimendi saab üle kanda NXT 2.0 Programming keskkonda. Üle kantud eksperimendi tähistav plokk näeb välja sarnane, nagu on kujutatud joonisel 23. Kiri “*Experim...*” joonisel tähistab eksperimendi nime, milleks joonisel 23 kujutatud näites on “*Experiment-1*”.



Joonis 23. NXT 2.0 Data Logging keskkonnas koostatud eksperimendi plokk NXT 2.0 Programming keskkonnas.

Joonisel 23 numbriga 1 tähistatud arvuline parameeter märgib eksperimendi kestust (“*Duration*”), number 2 tähistab (arvuliselt) eksperimendi sagedust (“*Rate*”) (kusjuures NXT 2.0 Programming keskkonna akna allservas olevas menüüs, mis avaneb eksperimendi plokkile klõpsates, saab muuta, kas sagedus tähistab näitude arvu sekundis või sekundite arvu näitude vahel) ning number 3 märgib eksperimendi käigus loodava logifaili nime (“*Logname*”). Kui logifaili nime ei täpsustata, on selleks vaikimisi eksperimendi nimi.

Sellega on põhiline jõuplaadi programmides kasutamise kohta käiv info kaetud. Järgnevas peatükis on esitatud kolm praktilist ülesannet, millest kahes viimases on vaja programm koostada.

3 Ülesanded

Järgnevalt on toodud mõned näidisülesanded, mis õpetavad praktiliste tegevuste abil jõuplaati kasutama. Iga ülesande puhul on subjektiivselt määratud ülesande raskusaste ja ülesanded on järjestatud alates kergeimast ja lõpetades raskeimaga. Iga ülesande kohta on püstitatud ka eesmärk, mille poole tuleb ülesande lahendamisel pürgida. Eesmärgis on sõnastatud ka ülesande üldine mõte, miks selle ülesande lahendamine on kasulik. Mõne ülesande püstituse juures on lisaks mainitud, kuidas ülesannet edasi võiks arendada. Kui ülesande lahendamine kipub üle jõu käima, saab esmalt abi ülesande juures olevast lahenduse ideest, mis annab kätte suuna. Kui ka lahenduse ideest abi ei ole, siis on olemas ka üks konkreetne lahendus, millest saab eeskujul võtta või mille alusel kontrollida oma lahenduskäiku. Kõik ülesanded eeldavad arvuti tarkvaralist valmisolekut ehk seda, et arvutis on olemas LEGO MINDSTORMS Edu NXT 2.0 tarkvara ja imporditud on ka Vernier'i sensoriplokk, nagu on kirjeldatud alapeatükis "2.5 Jõuplaadi programmeerimine". Samuti peab jõuplaat olema NXT juhtploki (ja see omakorda arvuti) külge ühendatud, nagu on kirjeldatud alapeatükis "2.3 Jõuplaadi kasutamine".

3.1 Iseenda massi arvutamine

Tase: Lihtne

Eesmärk: Selle ülesande peamiseks eesmärgiks on jõuplaat õigesti arvuti külge ühendada ja saada esmane näit.

Vajalikud vahendid/teadmised: Vajalikud vahendid on arvuti, NXT juhtplokk ja selle külge (Vernier'i sensoriaadapteri abil) ühendatud jõuplaat. Vajalik eelteadmine on massi arvutamine, teades kehale mõjuvat jõudu njuutonites.

Ülesande püstitus: Anna arvab, et tema vannitoakaal valetab, ja tahab jõuplaadi abil oma kaalu kontrollida. Anna teab, et jõuplaat edastab näidu njuutonites, kui Anna jõuplaadile astub. Samas teab Anna ka seda, kuidas talle jõuplaadil seistes mõjuva jõu põhjal leida oma mass kilogrammides. Kuidas saab Anna enda massi jõuplaadi abil leida?

Lahenduse idee: Kõige ilmsem oleks kuidagi saada jõuplaadi näit. Ei tasuks väga keskenduda keeruliste programmide koostamisele, vaid peaks lihtsalt teada saada jõuplaadi hetkenäidu ise jõuplaadil seistes. Vihjeks nii palju, et programm NXT 2.0 Programming edastab reaajas jõuplaadi hetkenäitu, kui jõuplaad on NXT juhtploki abil arvutiga ühendatud.

Üks võimalik lahendus: Üks lihtsamaid variante on kasutada programmi NXT 2.0 Programming, millest on lähemalt kirjutatud punktis “NXT 2.0 Programming abil programmeerimine”. Selleks tuleb avada nimetatud programm ja sisestada alajaotises “Start New Program” loodava programmi nimi. Asjakohane on näiteks “Proov” või võib ka jätta vaikimisi nime (“Untitled-1”), kuna nimi ei ole antud juhul oluline. Seejärel tuleb jõuplaad ühendada NXT juhtploki ja juhtplokk arvutiga ja lülitada NXT juhtplokk sisse. Järgmisena tuleb loodavasse programmi sisestada Vernier’i sensori plokk (joonisel 16 märgendi b) juures oleval joonisel jaotises 3 viimane sensor) ja valida kasutatavaks sensoriks jõuplaad 850 N (eeldusel, et kasutaja ei kaalu üle 91 kilogrammi). Täpsemat kirjeldust vaata punktist “NXT 2.0 Programming abil programmeerimine”.

Kuna jõuplaad on arvutiga ühendatud, kuvatakse NXT 2.0 Programming akna vasakus alumises nurgas (kollasega ümbritsetud kastikeses) jooksvalt jõuplaadi näitu. Joonisel 24 toodud näidisel on jõuplaadi hetkenäiduks 272 N.



Joonis 24. Arvutiga ühendatud jõuplaadi hetkenäit kuvatakse kollasega ümbritsetud kastikeses.

Selleks, et teada saada endale mõjuvat jõudu, tuleb lihtsalt jõuplaadile astuda, paigal olla ja vaadata jõuplaadi näitu. Kui näit on meelde jäetud, võib jõuplaadilt maha astuda ning seejärel tuleb veidi arvutada.

Peatükis “1 Jõud” on kirjeldatud valem $F = m \cdot g$, mille abil saab endale mõjuvat jõudu (njuutonites) teades välja arvutada enda massi (kilogrammides). Selleks tuleb jõuplaadi näit jagada gravitatsioonikonstandiga, mille väärtuseks on $9,8 \text{ m/s}^2$. Jagatis ongi mass kilogrammides. Kui inimene seisab jõuplaadile ning jõuplaat näitab, et talle mõjub jõud suurusega 457 njuutonit, siis järelikult kaalub see inimene $457 \text{ N} / 9,8 \text{ m/s}^2 = 46,63$ kilogrammi.

Tekkida võivad probleemid: Kui juhtub, et programm NXT 2.0 Programming ei kuva jõuplaadi hetkenäitu, siis tuleks kontrollida, et jõuplaat on ikka NXT juhtploki ühendatud ja NXT juhtplokki on arvutiga ühendatud ning sisse lülitatud. Kui ühendus on korras, kuid jõuplaadi hetkenäitu ikka ei kuvata, siis tuleks vajutada nuppu “Download and Run” programmi paremas alaservas olevas nupustikus. Selle tulemusel laetakse pooleliolev programm NXT juhtplokki ning käivitatakse. Kõik see võtab vaid hetke ning seejärel peaks programm NXT 2.0 Programming hakkama kuvama ka jõuplaadi hetkenäitu.

3.2 Ukse lahti lükkamine

Tase: Keskmine

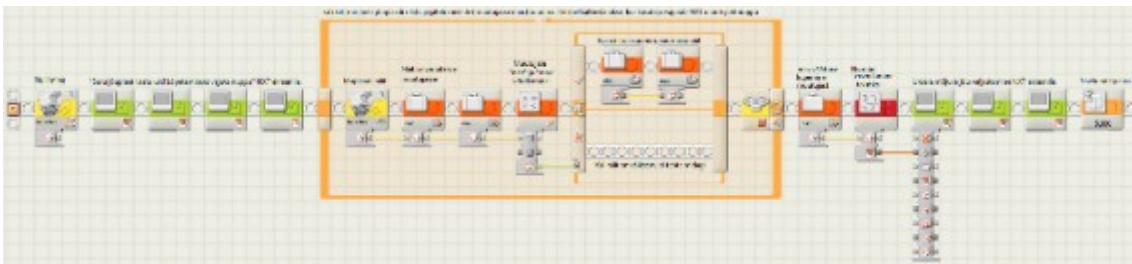
Eesmärk: Eesmärgiks on jõuplaadi kasutamine sangade või riputusaasa abil horisontaalses sihis. Samuti on eesmärgiks NXT 2.0 Programming keskkonnas programmi koostamine.

Vajalikud vahendid/teadmised: Vajalikud vahendid on arvuti, NXT juhtplokki ja selle külge (Vernier’i sensoriaadapteri abil) ühendatud jõuplaat. Kasuks tulevad teadmised NXT 2.0 Programming keskkonnas (NXT-G keeles) programmeerimisest.

Ülesande püstitus: Mari pani tähele, et tema toa uks käib kergemini kui välisuks. Maril tekkis huvi, kui palju jõudu ta peab rakendama, et enda toa uks lahti lükata ja kui palju jõudu peab rakendama välisukse lahti lükkamiseks. Tuleb koostada programm, mis mõõdab ukse lahti lükkamisel kõige suurema mõjuva jõu. Ülesannet võib edasi arendada, riputades ukse külge raskusi ning uurides, kuidas sõltub ukse lahti lükkamiseks vajaliku jõu suurus ukse massi muutusest.

Lahenduse idee: Tuleb kirjutada programm, mis salvestab ukse lahti lükkimise käigus registreeritud kõige suurema jõu. Uksele rakendatav jõud on kõige suurem hetk enne seda, kui uks just avanema hakkab. Võiks kasutada muutujat, millesse salvestatakse jõuplaadi hetkenäit vaid siis, kui hetkenäit on muutuja eelmisest väärtusest suurem. Programmis tuleks kasutada tsüklit.

Üks võimalik lahendus: Üheks võimalikuks lahenduseks on NXT 2.0 Programming keskkonnas luua tsüklit sisaldav programm, mis jätab meelde ukse lahti lükkamisel suurima mõjuva jõu. Joonisel 25 on kujutatud programm “Uks_lahti.rbt”, kuid kuna programm on liialt mahukas, et korraga ekraanile mahtuda, on ka pilt väga väike. Kommenteeritud näidisprogramm “Uks_lahti.rbt” on käesoleva bakalaureusetöoga kaasasoleval CD-l [LISA 1].



Joonis 25. Ukse lahti lükkamise ülesande näidislahenduse ekraanipilt (programm “Uks_lahti.rbt”).

Kõige esimene plokk on jõuplaadi nullimiseks (nüüd ja edaspidi on sulgudes iga veel kasutamata ploki kohta kirjas, millise numbriga märgitud jaotises ta joonisel 16 tähise b) juures olevas menüüs asub, ehk antud juhul jõuplaadi plokk on viimane jaotises 3) ja programmi täitmisel tuleks nullimise hetkel ehk programmi käivitamisel hoida jõuplaati samas asendis, nagu vastu ust surudes, kuid jõuplaati tuleb uksest eemal hoida, et jõuplaadile nullimise hetkel jõudu ei rakendataks. Järgmised plokid programmis on ekraaniplokid, mida on vaja, et kuvada NXT juhtploki ekraanile teade “Suru jõuplaat vastu ust, lõpetamiseks vajuta nuppu” ja on oluline märkida, et neljast kolmel viimasel on märke “Display” (“Ekraan”) juures “Clear” (“Puhasta”) eest linnuke ära võetud selleks, et ekraanile kirjutataks mitu rida eelmiseid ridu kustutamata. Samuti oleks sobiv tähelepanu juhtida sellele, et NXT juhtploki ekraanil ei kuvata eesti keelele omaseid tähti š, ž, õ, ä, ö ja

ü, seega tuleks neile sobivad alternatiivid valida.

Järgneb tsükkel, mis mõõdab uksele mõjuvat jõudu ja salvestab neist suurima muutujasse “max” (muutuja seadistamist on kirjeldatud alapeatükis “2.5.3 Jõuplaati rakendavate programmide kirjutamine NXT 2.0 Programming tarkvara abil”). Jõuplaadi hetkenäit salvestatakse eelnevalt seadistatud arvulisse muutujasse “näit” (eelviimane jaotises 5) ja võrreldakse muutuja “max” väärtusega. Võrdlemine toimub võrdlusploki (kolmas jaotises 5), kus muutuja “näit” on ühendatud operandi A sisendklemmidega ja muutuja “max” operandi B sisendklemmidega. Järgmisena tuleb lüliti ehk *switch*, mis on ühenduses võrdlusploki. See tähendab, et kui võrdlusploki väärtus on “tõene”, siis täidetakse lüliti ülemine haru (muutuja “max” väärtuseks kirjutatakse muutuja “näit” väärtus) ja kui “väär”, siis alumine haru (ei tehta midagi). Tsükli töö katkestatakse, kui kasutaja vajutab NXT juhtploki oranži sisestusnuppu.

Pärast tsükli loetakse muutuja “max” väärtus, muudetakse see teisendusploki (esimene jaotises 6) abil tekstiliseks ning kirjutatakse NXT ekraanile. Kolm NXT ekraani ploki on selleks, et kuvada suurim uksele mõjunud jõud koos selgitava tekstiga (mitmel real). Kõige lõpus on ootamisplakk, mis tekitab viiesekundilise pausi programmi täitmises, et kasutaja saaks NXT juhtploki ekraanilt lugeda programmi täitmise tulemust ehk suurima uksele mõjunud jõu. Nii saab kasutaja teada, kui palju jõudu oli vaja rakendada ukse lahti lükkamiseks.

Tekkida võivad probleemid: Tähele tuleb panna, et jõuplaadi plokil oleks õigesti märgitud, mitmendasse NXT juhtploki porti see ühendatud on. Samuti on oluline jälgida, et plakkidevahelised juhtmed oleks õigete klemmide külge ühendatud. Tasub jälgida juhtmete värvi (täpsemalt on kirjutatud alapeatükis “2.5.3 Jõuplaati rakendavate programmide kirjutamine NXT 2.0 Programming tarkvara abil”). Kui tahta NXT juhtploki ekraanile mitmerealist teksti kirjutada, tuleb kasutada mitut järjestikkust ekraaniplokki ja kõigil peale esimese tuleb veenduda, et ekraani enne uue teksti kirjutamist tühjaks ei tehtaks (Linnuke “Clear” eest ära). Jõuplaadi plakkide juures tuleb veenduda, et sensorina on valitud jõuplaadil õige töörežiimiga, mis ühtib lüliti asendiga jõuplaadil.

3.3 Kiirenduse leidmine üleshüppel

Tase: Keeruline

Eesmärk: Ülesande eesmärgiks on paremini selgitada jõu arvutamise põhivalemit mängulise näite kaudu ja samas õppida moodustama NXT-G'd kasutades keerulisemat programmi.

Vajalikud vahendid/teadmised: Vajalikud vahendid on arvuti, NXT juhtplokk ja selle külge (Vernier'i sensoriadapteri abil) ühendatud jõuplaat. Vajalikuks eelteadmiseks on jõu arvutamise põhivalem, mis on esitatud ka alapeatükis "1.3 Jõu põhivalem". Kasuks tuleb NXT-G programmide koostamise oskus.

Ülesande püstitus: Peetri sõber Priit oli kunagi väitnud, et temal on kõige tugevamad jalad ja ta suudab kõige kiiremini üles hüpata. Nüüd sai Peeter aga sünnipäevaks endale jõuplaadi ning otsustas Priidule ja teistele oma sõpradele väikese võistluse korraldada. Peeter oli füüsika tundides tähelepanelik ja teadis, et kiirendust mõõdetakse m/s^2 ja et kehale mõjuv jõud ja keha kiirendus on seotud. Võistluse eesmärgiks oli seega välja selgitada, kes Peetri sõpradest suudab kõige suurema kiirendusega üles hüpata. Tuleb koostada ühtne programm, mis mõõdaks jõuplaadi abil vajalikud jõud ja arvutaks kiirenduse üleshüppel.

Lahenduse idee: Jõudu saab leida valemi $F = m \cdot a$ abil, millest saab avaldada kiirenduse. Kõigepealt tuleks jõuplaadi abil mõõta paigalseisvale inimesele mõjuv jõud ja arvutada selle põhjal inimese mass. Seejärel on vaja, et inimene hüppaks jõuplaadilt üles ja jõuplaat fikseeriks üleshüppel maksimaalse mõjuva jõu. Programmi on lihtsam koostada, kui kasutaja programmile mingil viisil märku annab, kui jõuplaat peaks kasutaja massi leidmiseks hetkel mõjuva jõu leidma ning kui kasutaja on hüppe sooritanud.

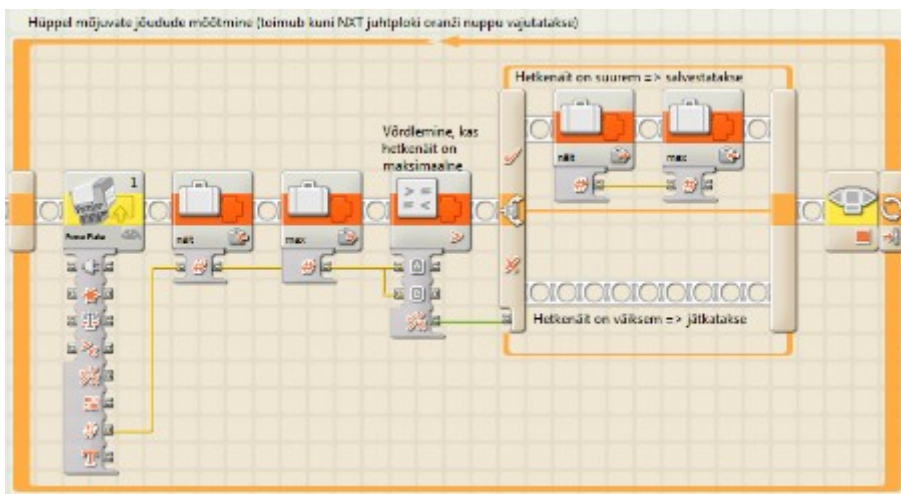
Üks võimalik lahendus: Ülesande lahendamiseks tuleb kirjutada programm keskkonnas NXT 2.0 Programming. Kommenteeritud näidisprogramm “Kiirendus.rbt” on käesoleva bakalaureusetööga kaasasoleval CD-l [LISA 1].

See programm algab jõuplaadi nullimise plokiga (viimane jaotises 2), et järgnevad mõõtmise oleks hetketingimustes võimalikult täpsed. Järgmised kolm plokki (kolmas jaotises 2) kuvavad ekraanile kirja “Astu plaadile ja vajuta nuppu!”. Niimoodi saab NXT juhtplokki ekraani täis kirjutada. Järgmine on n-ö ootamise plokk (esimene jaotises 4), mis sunnib programmi ootama, kuni kasutaja vajutab NXT juhtplokil oranži sisestusnuppu.

Jõuplaadi plokist loetakse jõuplaadi näit ja ühendatakse arvutusploki (teine jaotises 5) operandi A sisendklemmi külge. Arvutusplokis jagatakse jõuplaadi näit gravitatsioonikonstandiga ($9,8 \text{ m/s}^2$) ja saadakse selle tulemusel jõuplaadil seisva inimese mass. See mass salvestatakse arvulisse muutujasse (eelviimane jaotises 5) “mass”, mis on eelnevalt seadistatud (muutuja seadistamist on kirjeldatud alapeatükis “2.5.3 Jõuplaati rakendavate programmide kirjutamine NXT 2.0 Programming tarkvara abil”). Muutujast “mass” võetud näit on muudetud tekstiliseks teisendusploki (esimene jaotises 6) abil ja kuvatud see ekraanile kahe järgmise ekraaniploki abil. Selle võib ka ära jätta, sest tüdrukud näiteks ei taha tavaliselt, et keegi teine nende massi teada saaks. Pärast massi kuvamist on üks ootamisblokk, mis paneb programmi täitmise neljaks sekundiks ootele, et kasutaja jõuaks NXT juhuploki ekraanilt oma massi lugeda (selle võib taas ära jätta). Järgmisena kuvatakse ekraanile informeeriv tekst “-- m66tmine -- Hyppa! L6petamiseks vajuta nuppu”.

Järgneb eelnevalt seadistatud muutuja “max” (andmetüübiks on samuti arvuline ehk “Number”) nullimine. Sellele järgneb tsükkel, mis loeb jõuplaadi näitu, kuni vajutatakse

taas NXT juhploki oranži sisestusnuppu. See tsükkel on kujutatud ka joonisel 26. Tsükli sees loetakse jõuplaadi näit, salvestatakse see eelnevalt seadistatud arvulisse muutujasse nimega “näit”, võrreldakse muutuja “näit” (ühendatud arvutusploki operandi A sisendklemmi külge) väärtust muutuja “max” (ühendatud operandi B sisendklemmi külge) väärtusega ja kui “näit” on suurem, siis salvestatakse “näit” väärtus “max” väärtuseks. Kui “näit” väärtus on väiksem, ei tehta midagi. Selle tsükli täitmise ajal peaks kasutaja jõuplaadilt ennast üles tõukama, nii kõvasti kui saab, ja mitte maanduma jõuplaadile. Tsükli täitmise tulemusena salvestatakse kõige suurem jõuplaadile mõjunud jõud, mis on (juhul kui kasutaja ei maandu jõuplaadile) äratõuke hetkel mõjuv jõud ja selle põhjal saab arvutada kiirenduse äratõuke hetkel ehk üleshüppe kiirenduse ehk täpselt selle, mida Peeter leida ja oma sõpradega võrrelda tahtis.



Joonis 26. Tsükkel kiirenduse ülesande näidislahenduses (“Kiirendus.rbt”).

Pärast tsükli on võetud muutujad “max” ja “mass” ning muutuja “max” (ühendatud arvutusploki operandi A sisendklemmi külge) väärtus on jagatud muutuja “mass” (ühendatud operandi B sisendklemmi külge) väärtusega, sest jõu arvutamise valemi teisendamisel saab kiirenduse leida valemist $a = F / m$ ehk keha kiirendus (m/s^2) on kehale mõjuv jõud (N) jagatud keha massiga (kg). Järgmisena on jagatis kuvatud ka ekraanile. Eelviimase ehk faili juurdepääsu plokiga (neljas jaotises 6) on kiirendus ka faili nimega “Tulemus.txt” salvestatud. See fail salvestatakse samasse kohta, kus on ka NXT 2.0 Data Logging keskkonnas koostatud eksperimentide logifailid, ja seda saab ka sealt sama moodi enda arvutisse salvestada. Faili salvestamise plokil sisulist tähendust pole ja selle võib soovi

korral ka ära jätta. Kõige lõpus on taas ootamisplökk, mis garanteerib (nelja sekundi jooksul), et kasutaja jõuab NXT juhtploki ekraanilt hüppe kiirenduse lugeda.

Tekkida võivad probleemid: Tekkida võivad probleemid on samad, mis eelmises ülesandes.

Kokkuvõte

Käesolev bakalaureusetöö on jagatud kolme peatükki. Esimeses peatükis on tutvustatud vastastikmõju mõistet ning selgitatud, miks jõud on vektoriaalne suurus. Samuti on välja toodud jõu arvutamise põhivalem koos selgitustega ning jõu ühik rahvusvahelises SI-süsteemis. Erinevate jõu liikide puhul on eraldi peatunud raskusjõul ehk gravitatsioonil ning mainimata pole jäetud ka huvitav legend inglise füüsiku Newtoni ja talle pähe kukkunud õuna kohta. Samuti on esimeses peatükis tehtud väike sissejuhatus jõu mõõtmisesse ning nimetatud veel üks jõu mõõtmise vahend lisaks jõuplaadile.

Teises peatükis on käsitletud jõuplaadiga seonduvat. Üles on loetletud olulised tehnilised andmed, näiteks erinevad mõõterežiimid ja füüsilised parameetrid. Samuti on selgitatud, kuidas jõuplaati kasutada saab, sest vaatamata sellele, et jõuplaat on välimuselt (suuruselt) pisut tavalise vannitoakaalu sarnane, pole jõuplaadil (erinevalt vannitoakaalust) mitte mingit visuaalset väljundit. Eraldi alapeatükis on juhitud lugeja tähelepanu olulisematele aspektidele, mida tuleb jõuplaati kasutades kindlasti tähele panna. Lisaks on kirjeldatud, kuidas jõuplaati programmides rakendada.

Kolmandas ja ühtlasi viimases peatükis on kolm ülesannet. Esimese õigesti lahendamine eeldab, et kasutaja oskab jõuplaadi õigesti LEGO MINDSTORMS NXT robotiga ühendada ning seejärel jõuplaadi näidu lugeda, et niimoodi enda mass arvutada. Teine ülesanne nõuab juba veidi programmeerimisoskusi, sest tuleb luua programm, mis võimaldaks mõõta jõuplaati vastu ust surudes jõud, mida tuleb uksele rakendada, et uks avaneks. Samuti on teise ülesande puhul soovitatav kasutada jõuplaadiga kaasas olevaid sangasid ning see õpetab lugejat jõuplaati kasutama vannitoakaalust erineval viisil. Kolmandas ülesandes, mis eeldab juba veidi keerulisema programmi koostamist, tuleb kasutajal jõuplaati kaheks otstarbeks kasutada: esiteks oma massi määramiseks ning seejärel jõuplaadilt üles hüppamisel hüppe kiirenduse määramiseks.

Tööle on lisatud CD tarkvarafailidega [LISA 1]. CD-l on olemas kahe viimase ülesande kommenteeritud lahendused *.rbt* failidena ning samuti videoõpetused programmide koostamise kohta. Lisaks ülesannete lahendustele on CD-le lisatud veel mõni näidisprogramm.

Arvan, et käesolev bakalaureusetöö täitis oma eesmärgi. Loodud on üsna põhjalik kasutusjuhend firma Vernier Software & Technology andurile jõuplaad. Lisaks otseselt jõuplaadi kohta käivale infole on käsitletud ka (füüsikalist suurust) jõudu ning antud vajalikud teadmised, et jõuplaadi toimimist ja rakendusi paremini mõista. Usun, et käesolevast bakalaureusetööst on koolidel jõuplaadi kasutamisel palju abi.

LEGO MINDSTORMS NXT: Force Plate and sample exercises for putting it to use

Bachelor Thesis

Laure Oras

Resumé

This research paper is mainly aimed at school children and the main purpose is to create easily understandable instructions (in Estonian) for using Force Plate. Force Plate is a sensor produced by a company called Vernier Software & Technology. This research focuses on using Force Plate with LEGO MINDSTORMS NXT robot that is increasingly being used in schools all over Estonia to popularise engineering.

This research paper is divided into three chapters. First of them gives all the knowledge about force itself necessary to work with Force Plate. This chapter features counterforce, gravity, force unit newton (in SI system), and (briefly) even the legend about English physicist Isaac Newton (after whom the unit of force was named) and the apple that allegedly fell upon his head.

The second chapter contains basically everything there is to know about the Force Plate. There can be found technical specifications, instructions for using the Force Plate with LEGO MINDSTORMS NXT robots, and details about using Force Plate in programs constructed in NXT-G graphical programming language.

The last chapter is consists of three sample exercises that teach the reader to use Force Plate through practical activity. Near the formulation of each exercise there is a difficulty level, an aim of the exercise, a hint to direct the reader to the right direction, and one correct solution. Two exercises out of three require the reader to construct a program in NXT-G. For each, a correct program (one of all possible solutions) is included on the CD that comes with the current research paper.

I generally believe this research paper fulfilled its aims. The paper is written in simple

language, avoiding specialized terms and, therefore, making it understandable for a larger variety of readers. This research paper is important because it is the first Vernier Software & Technology force plate instruction in Estonian and, therefore, understandable for pupils.

Kasutatud allikad

1. Kooliroboti programm: <http://www.robootika.ee/lego/projekt/> (27.05.2011)
2. Vikipeedia artikkel "Jõud": <http://et.wikipedia.org/wiki/J%C3%B5ud> (27.05.2011)
3. Vikipeedia artikkel "Njuuton": <http://et.wikipedia.org/wiki/Njuuton> (27.05.2011)
4. Vikipeedia artikkel "Gravitatsioon": <http://et.wikipedia.org/wiki/Gravitatsioon> (27.05.2011)
5. Miksike. "Dünamomeeter. Jõu mõõtmine.":
<http://www.miksike.ee/docs/elehed/7klass/5geoloogia/7-5-7-1.htm> (27.05.2011)
6. Wikipedia artikkel "Force Platform": http://en.wikipedia.org/wiki/Force_platform (27.05.2011)
7. Wikipedia artikkel "Load cell": http://en.wikipedia.org/wiki/Load_cell (27.05.2011)
8. Vernier Software & Technology jõuplaadi kasutusjuhend (lisatud ka jõuplaadi pakendisse): <https://docs.google.com/viewer?url=http://www2.vernier.com/booklets/fp-bta.pdf> (27.05.2011)
9. Vernier Software and Technology: <http://www.vernier.com/> (27.05.2011)
10. Vernier Software & Technology, "NXT sensor adapter":
<http://engineering.vernier.com/general/interfaces/bta-nxt/> (27.05.2011)
11. Philippe "Philo" Hurbain, "Custom NXT cables":
<http://www.philohome.com/nxtcables/nxtcable.htm> (27.05.2011)
12. Vikipeedia artikkel "Universaalne järjestiksiin":
http://et.wikipedia.org/wiki/Universaalne_j%C3%A4rjestiksiin (27.05.2011)
13. Steve Hassenplug, "NXT Programming Software":
<http://www.teamhassenplug.org/NXT/NXTSoftware.html> (27.05.2011)
14. Mait Urbanik "LEGO Mindstorms NXT programmeerimine", 2009, bakalaureusetöö: <http://raju.cs.ut.ee/loputood/2009/mait-urbanik/> (27.05.2011)

LISA 1 – CD ülesannete lahendusfailidega

Faili nimi	Kommentaar
Data_Logging.wmv	NXT 2.0 Data Logging keskkonnas eksperimendi loomise video
Ekraanile.wmv	Video programmi koostamisest (NXT 2.0 Programming keskkonnas), mis kuvab jõuplaadi näitu NXT juhtplokki ekraanile
Kiirendus.rbt	Programm lahenduseks ülesandele „3.3 Kiirenduse leidmine üleshüppel“ (NXT 2.0 Programming keskkonnas)
Näidu_lugemine.wmv	Video, mis selgitab ülesande „3.1 Iseenda massi leidmine“ näidislahendust
Programming_tutvustus.wmv	Video, mis tutvustab veidi NXT 2.0 Programming keskkonnas jõuplaadi programmeerimisel olulisi aspekte
Uks_lahti.rbt	Programm lahenduseks ülesandele „3.2 Ukse lahti lükkamine“ (NXT 2.0 Programming keskkonnas)