

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKATEADUSKOND

Arvutiteaduse instituut
Infotehnoloogia eriala

Oliver Meus

**LEGO MINDSTORMS NXT'ga ühilduv
energiamõõdik**
Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendajad: lektor Anne Villems
spetsialist Taavi Duvin

Autor:”” juuni 2011

Juhendaja:”” juuni 2011

Juhendaja:”” juuni 2011

Lubatud kaitsmisele

Professor:”” juuni 2011

TARTU 2011

Sisukord

Sissejuhatus.....	3
1. Elekter.....	5
1.1 Elektri tootmine	5
1.2 Elektri transport ja kasutamine	5
1.3 Elektri omadused	6
1.3.1 Pinge mõiste ja selle olemus.....	7
1.3.2 Voolutugevuse mõiste ja olemus	9
1.3.3 Elektritakistuse mõiste ja olemus	10
1.4 Energiakulu	10
1.5 Ohmi seadus.....	11
2. LEGO MINDSTORMS NXT energiamõõdik.....	12
2.1 Energiamõõdiku tehniline kirjeldus.....	13
2.2 Energiamõõdiku kinnitamine roboti külge	13
2.3 Roboti energiakulu mõõtmine	14
2.4 Energiamõõdiku kasutamine välistes skeemides.....	16
2.5 Energiamõõdiku programmeerimine	16
3. Ülesanded	20
3.1 Taskulambipirni energiakulu määramine	20
3.2 Potentsiomeetri takistuse määramine	23
3.3 Elektrimootori energiakulu sõltuvus koormusest	27
Kokkuvõte.....	30
LEGO MINDSTORMS NXT: Power Meter.....	31
Summary.....	31
Kasutatud kirjandus	32

Sissejuhatus

LEGO MINDSTORMS NXT on Taani mänguasjatootja LEGO poolt toodetav programmeeritav robot. NXT komplekt koosneb ühest juhtploki, mitmetest anduritest, mootoritest ning paljudest väiksematest detailidest. Komplekt on mõeldud alates 8. eluaastast ning võimaldab kasutajal komplekteerida nii välimuselt kui ka otstarbalt väga erinevaid roboteid. NXT robotit on võimalik muuta veelgi mitmekesisemaks lisades komplektille uusi andureid.

NXT komplekti kuuluvad andurid on kõik seotud erinevate füüsikaliste nähtustega. See teeb eriti ahvatlevaks roboti kasutamise koolitundides. Tihti kipubki haridus meie koolides jääma liiga teoreetiliseks. Antud roboti abil on võimalik füüsikatunde muuta senisest märksa praktilisemaks.

Käesolevas bakalaureusetöös vaatleme põhjalikult firma Mindsensors poolt LEGO MINDSTORMS NXT roboti jaoks toodetavat energiamõõdikut, mis on mõeldud elektrienergia kulu mõõtmiseks. Elektrienergia olemuse mõistmiseks tehakse töö esimeses peatükis kokkuvõtte elektrienergiast, seda iseloomustavatest tähtsamatest tunnustest ning selle omadustest. Samuti käsitletakse elektrienergia tootmist, transportimist, kasutamist ning ka sellest tulenevaid ohtusid. Kirjeldatakse ka seoseid erinevate elektrit iseloomustavate tunnuste vahel. Kõiki väiteid ja seoseid illustreeritakse eluliste näidetega, tegemaks sellega töö veelgi lugejasõbralikumaks ning meeldejäavamaks.

Teise peatüki eesmärk on antud anduri jaoks teha lugejasõbralik ja eestikeelne kasutusjuhend. Seepärast on ka siin oluline teksti loetavus ning meeldejäätavus. Juhendi sihtrühmaks on kooliõpilased ning õpetajad, kes ei pruugi antud valdkonnaga väga kursis olla. Töös käsitleme nii anduri kasutamist NXT robotiga kui ka anduri enda tehnilisi omadusi ja näitajaid. Esmakordse energiamõõdiku kasutamise lihtsustamiseks ja energiamõõdiku tööpõhimõtte lihtsamaks arusaamiseks on töös mitmeid jooniseid ning pilte. Samuti pööratakse tähelepanu erinevatele asjaoludele, mida peab uuritava anduri kasutamise juures silmas pidama.

Kolmandas peatükis tuuakse mõned näiteülesanded, mida saab antud anduri abil lahendada. Ülesanded on erinevate raskustasemetega. Need ülesanded peaks hõlbustama õpetajatel näha, kuidas ja milliste asjade õpetamisel antud energiamõõdikut on võimalik kasutada. Samuti peaks need ülesanded andma teatava lähtepunkti uute ülesannete loomisele.

1. Elekter

Tänapäeval ümbritsevad meid kõikjal sellised nähtused ning erinevad seadmed, millest rääkides kasutame sõna elekter. Me võime loetleda lõputul hulgal erinevaid masinaid, mis töötamise käigus tarbivad elektrit. Selles peatükis käsitletakse elektrit ning antakse põgus ülevaade sellega kaasnevatest olulisematest nähtustest.

Sõna *elekter* pärineb kreeka keelest. Nii nimetasid vanad kreeklased kuldse läikega metallisulamit aga ka merevaiku, mis olid mõlemad väliselt väga sarnased. Nad avastasid elektri, kui villase riidega hõõrutud merevaigutükk hakkas kergeid ainekübemeid enda külge tõmbama [1]. Tänapäeval tegeleb elektriga elektroenergeetika teadusharu, mis hõlmab nii elektri tootmist, ülekandmist kui ka kasutamist.

1.1 Elektri tootmine

Elektrit toodetakse elektrijaamades. Elektrijaamades muudetakse mingi osa kütuse põlemisel vabanevast soojushulgast või voolava vee kineetilisest energiast elektrienergiaks. Tänapäeval toodetakse elektrit ka tuumaelektrijaamades aatomituumade seoseenergiast. Samuti levib järjest rohkem elektrienergia tootmiseks alternatiivsete energiaallikate kasutamine nagu näiteks tuule- või päikeseenergia [1].

1.2 Elektri transport ja kasutamine

Elektrienergia on üks lihtsamini transporditav ja kasutatav energialiik. Kui näiteks aurumasina käivitamist tuleb alustada tule süütamisega või bensiinimootoriga muruniidukit on vaja nõõrist tõmmata, siis elektriga töötavate seadmete puhul piisab lüliti vajutamisest. Selle tõttu kasutatakse elektrienergiat igal pool meie ümber. Samuti aitab elektriga seotud seaduspärasuste tundmine meil mõista paljusid loodusnähtusid. Nendel põhjustel on oluline omada algteadmisi elektri toimimisest ja sellega kaasnevatest nähtustest.

Elektri transportimiseks kasutatakse peamiselt elektriliine. Asulates kohtab enamasti madalpingeliine. Madalpingega on tegu, kui pinge jääb alla 1000 voldi. Suurema pinge korral on tegu kõrgepingega. Pinge mõistet täpsustame töö järgmises osas. Koduses

majapidamises kasutatava elektri pinge on 220-230 volti ehk tegu on madalpingega. Veel mõnikümmend aastat tagasi olid madalpingeliinid kõigest postide vahel kõikuvad traadid ning elektri edastamiseks oli neid traate vaja vähemalt kaks: faas ehk vooluga juhe ning maa ehk nulljuhe. Polnud mingi ime, kui suurema tuule korral traadid kokku puutusid ja põhjustasid lühise, mis omakorda võis tekitada tulekahju. Õnneks tänapäeval kasutatakse madalpinge edastamiseks kaablit, mis sisaldab endas kaht kuni viit isoleeritud ja omavahel kokku keeratud juhet. Kui sellisele kaablile peaks puu peale kukkuma või mõni muu õnnetus juhtuma, siis üldiselt lühist ei teki ning tulekahju oht on väike.

Pikemate vahemaade taha elektri transportimiseks kasutatakse kõrgepingeliine. Joonisel 1 on näidatud erinevaid Eestis kasutatavaid kõrgepingeliine.



Joonis 1. Tüüpilised Eestis kasutatavad elektriliinid

Kõik joonisel näha olevad liinid on kõrgepingeliinid. Suuremates kõrgepingeliinides võib pinge olla aga koguni 30 000 kuni 100 000 volti.

1.3 Elektri omadused

Elektriga tegelevaid teadusharusid on kaks: elektrodünaamika ja -staatika. Elektrostaatika käsitleb paigalseisvate elektriliselt laetud osakeste ja kehade vahelist elektrilist vastastikmõju [2]. Elektrostaatika alla läheb ka eelpool toodud näide kübemeid külge tõmbavast merevaigust. Selle töö raames käsitletakse aga rohkem elektrodünaamikat. Elektrodünaamika uurib liikuvaid elektriliselt laetud osakesi. Peamised elektri dünaamilisust iseloomustavad suurused on pinge, voolutugevus ja takistus. Järgnevalt teeme ülevaate neist kõigist.

1.3.1 Pinge mõiste ja selle olemus

Pinge all võib mõista mitmeid erinevaid suurusi, kuid selles töös peame pinge all silmas elektrilist pinget. Pinge on füüsikaline suurus, mis iseloomustab kahe punkti vahelist elektrivälja tugevuse erinevust ning näitab, kui palju tööd on vaja teha laengu ümberpaigutamiseks ühest punktist teise [3].

Pinge mõiste võttis kasutusele inglise füüsik Henry Cavendish 1776. aastal. Ta uuris elektrinähtusi ja elektrilaengute jagunemist. Paraku tema kogutud materjalid jõudsid rahvani alles sajandi jagu hiljem, kui 1879. aastal James Clerk Maxwell need avaldas [4]. Neid materjale loetakse tänapäeval ühtlasi ka elektri ajaloo nurgakiviks.

Pinget märgitakse tähisega **U**. Elektrivälja kahe punkti vaheliseks pingeks nimetatakse suhet

$$U = \frac{A}{q},$$

kus **q** on teatud positiivne punktlaeng ja **A** on töö, mis on tarvis teha selle laengu ümberpaigutamiseks ühest elektrivälja punktist teise [3]. Järelikult on elektriline pinge skalaarsuurus. Skalaarsuurus on mis tahes füüsikaline suurus, mille kirjeldamiseks piisab arväärtusest ning mõõtühikust. See tähendab, et antud suurusele ei saa lisada mõjumise suunda[5]. Mitteskalaarse suuruse näitena võib tuua mis tahes kehale mõjuva jõu, mille puhul on oluline teada ka jõu mõjumise suunda. Näiteks kiirenduse iseloomustamisel on kindlasti vaja märkida, mis suunas see keha mõjutab. Pinge ühikuks rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis (SI-süsteem ehk *Système International d'Unités*) on volt (itaalia füüsiku Alessandro Volta järgi).

Üks volt (tähisega **V**) on nii suur pinge, mille puhul ühe kuloni suuruse laengu ümberpaigutamisel elektrivälja teeb ühe džauli tööd. Kulon (tähis **C**) on ühik, milles mõõdetakse elektrilaengu suurust. Džaul (tähis **J**) on energia ühik SI-süsteemis. Üks džaul energiat kulub ühe kilogrammise keha tõstmiseks maapinnast kümne sentimeetri kõrgusele.

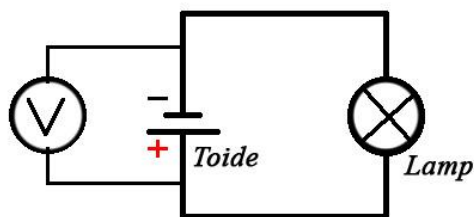
Pinge mõõtmiseks kasutatavat seadet nimetatakse voltmeetriks. Tänapäeval on lihtsalt voltmeetrit poest üsna raske leida. Selle asemel müüakse pinge mõõtmiseks

multimeetreid, millega saab lisaks veel takistust ja voolutugevust mõõta. Kallimatel multimeetritel võib veel muidki funktsioone olla. Joonisel 2 on näidatud multimeeter.



Joonis 2. Multimeeter, mis on seatud pinge mõõtmiseks

Pinge mõõtmiseks tuleb multimeetri pööratav nupp keerata tähise V peale, misjärel hakkab seade toimima voltmeetrina. Voltmeeter tuleb vooluahelasse ühendada rööbiti nagu näidatud joonisel 3.



Joonis 3. Voltmeetri ühendamine vooluahelasse rööbiti

Joonisel 3 on näha voltmeetri korrektne ühendamine vooluahelasse. Voltmeetri tähiseks elektriskeemidel on ringi sisse kirjutatud suur V täht. Erinevaid pirne või lampe tähistatakse üldjuhul ringi sees oleva ristiga nagu antud joonisel. Ning ka toiteallika tähis on erinevatel elektriskeemidel üldjuhul samasugune nagu antud skeemil.

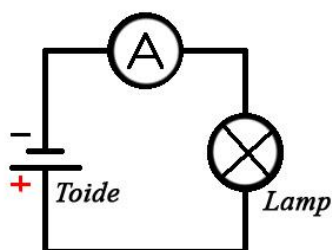
1.3.2 Voolutugevuse mõiste ja olemus

Elektrivoolu tugevus (edaspidi voolutugevus) on füüsikaline suurus, mis kirjeldab elektrijuhi ristlõiget läbinud elektrilaengu hulka teatud ajaühikus. Voolutugevuse mõõtühik rahvusvahelises SI-süsteemis on amper (tähistatakse **A**). Amper on oma nime saanud prantsuse füüsiku ja elektromagnetismi avastaja André-Marie Ampère järgi.

Voolutugevus (tähis **I**) on suhe

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t},$$

kus ΔQ on elektrilaengu hulk, mis läbis elektrijuhti aja Δt jooksul. Muutuva voolutugevuse korral annab toodud valem keskmise voolutugevuse. Voolutugevuse mõõtmiseks kasutatakse ampermeetrit [6]. Tänapäeval kasutatakse selleks enamasti samasugust multimeetrit nagu ka pinge mõõtmiseks. Multimeetri nupp tuleb keerata tähise A peale, mille järel hakkab multimeeter toimima ampermeetrina. Ampermeeter ühendatakse vooluringi jadamisi nagu näidatud joonisel 4.



Joonis 4. Ampermeetri ühendamine vooluahelasse jadamisi

Joonisel 4 on näidatud, kuidas on korrektne ühendada ampermeetrit vooluringi. Ampermeetri tähiseks on ringi sisse kirjutatud A täht. Voolutugevuse mõõtmisel on oluline tähele panna seda, et eeldatav voolutugevus vooluringis ei läheks välja ampermeetri mõõtepiirkonnast. Vastasel juhul võib ampermeetri ülekoormuskaitse vajada vahetust. Kui mõõdetav voolutugevus pole teada, on mõistlik alguses mõõta suurima mõõtepiirkonnaga ning seejärel saadud tulemuse järgi mõõtepiirkond väiksemaks keerata, saamaks soovitud täpsus. Siiski peab olema veendunud, et mõõdetav voolutugevus maksimaalset ampermeetri lubatud voolutugevust ei ületaks.

1.3.3 Elektritakistuse mõiste ja olemus

Elektritakistus (edaspidi takistus, tähis **R**) on elektrijuhi omadus avaldada takistavat mõju elektrilaengute liikumisele. Takistuse mõõtühikuks SI-süsteemis on oom (tähis **Ω**) ja seda saab mõõta oommeetriga. Oomi nimi tuleb saksa füüsiku Georg Simon Ohmi nimest. Takistus põhjustab pingelangu [7]. Pingelang on see, kui elektritarbija juurest mõõdetuna on pinge madalam kui elektiallika juures [8]. Kui takistus vooluallika pluss ja miinus klemmide vahel on väga väike, on tegu lühise ehk lühiühendusega.

1.4 Energiakulu

Käesoleva bakalaureusetöö raames käsitleme erinevatest energialiikidest ainult elektrienergiat. Seepärast peetakse siin töös energiakulu all silmas eelkõige elektrienergia kulu. Elektrienergia kulu (edaspidi energiakulu) on võimalik mitmel moel kirjeldada. Kuna kõige levinum energiakulu defineerimine käib võimsuse kaudu, siis on siin kohal õige teha selgeks ka võimsuse mõiste. Võimsus näitab seda, kui palju tööd teeb elektrivool elektriseadme töötamisel teatud ajaühiku jooksul. Teisisõnu näitab võimsus töö tegemise kiirust. Kui võimsus on suurem, saab sama hulka tööd tehtud lühema aja jooksul. Näiteks suurema võimsusega veekeetjas läheb sama kogus vett kiiremini soojaks kui madalama võimsusega veekeetjas. Võimsuse tähis SI-süsteemis on **N** ja ühik vatt (tähis **W**) [9]. Vatt on oma nime saanud šoti inseneri James Watt järgi, kes pani uut tüüpi aurumasina leiutamisele aluse tööstuslikule pöördele 18. sajandil [10].

Elektrienergia võimsust on võimalik arvutada valemiga

$$N = U \cdot I,$$

kus **I** tähisab voolutugevust ja **U** pinget. Energiakulu kirjeldamiseks kodumajapidamises kasutatakse kilovatt-tundi (tähis **kWh**). Üks kilovatt-tund on täpselt nii suur kogus energiat, mille tarbib ühe tunni jooksul masin, mis töötab ühtlaselt võimsusega üks kilovatt. Üks kilovatt tähistab võimsust tuhat vatti. Tavalise lambipirni võimsus on 60 vatti. Sama palju valgust näitava säästupirni võimsus aga kõigest 13 vatti. Selline erinevus tuleneb sellest, et hõõgniidiga pirnis tehtavast tööst üle 90% kulub sealt eralduva soojuse tootmiseks.

Elektrienergia kulu iseloomustamiseks võib veel kasutada ampertundi (tähis **Ah**). Ühe amprise voolutugevusega tarbija kulutab ühe tunniga täpselt ühe ampertunni jagu

energiat. Kuna ampertund näitab ainult vooluringi läbinud voolu hulka ega sõltu pingest, saab teda kasutada ainult kindla pingega süsteemides. Ampertundi kasutatakse näiteks akude mahtuvuse kirjeldamiseks. Sel juhul pole tegu tarbitud vaid salvestatud energiahulgaga. Üks tavaline mobiiliaku mahutab keskmiselt 0,7 kuni 1,5 ampertundi energiat.

1.5 Ohmi seadus

Üheks elektrivoolu põhiseaduseks on ohmi seadus. Ohmi seaduse sõnastas 1827. aastal saksa füüsik Georg Simon Ohm, kelle järgi see ka nimetati. Tegemine on seadusega, mis seob juba eespool käsitletud suurusi (voolutugevus, pinge ja takistus) omavahel. Lühidalt võib ohmi seaduse sõnastada nõnda: vooluahelat läbiv voolutugevus on võrdeline selle lõigu otste pingega ja pöördvõrdeline lõigu takistusega [11]. Valemina saab ohmi seaduse kokku võtta järgnevalt:

$$I = \frac{U}{R},$$

kus I on voolutugevus, U on pinge ja R on takistus. Vooluringis, mis võib koosneda ka mitmest järjestikku ühendatud toiteallikast või takistist, kehtib oomi seadus sellisel kujul:

$$I = \frac{\sum E}{\sum R + \sum R_0},$$

kus $\sum E$ on elektromotoorjõudude algebraline summa, $\sum R$ on vooluahela takistuste summa ja $\sum R_0$ on vooluahelasse ühendatud toiteallikate sisetakistuse summa [11]. Toiteallika sisetakistuseks on tema elektritakistus. Näites elektrigeneraatori sisetakistus on võrdne mähise takistusega. Siinkohal on sobilik täpsustada ka elektromotoorjõu olemust. Nimelt elektromotoorjõud tekib mehaanilise, keemilise või mingi muu energia toimel ja võrdub vooluallika sisepingelangu ning vooluringi pinge summaga. Seda mõõdetakse voltides [12].

Sellel on omandatud põgus ülevaade elektivoolust ja teda iseloomustavatest füüsikalistest suurustest ning nende koosmõjudest. Järgmises peatükis selgitame LEGO MINDSTORMS NXT robotiga ühilduva energiamõõdiku enda tööpõhimõtteid ning seda, missugust rolli mängivad erinevad elektrit iseloomustavad suurused energiamõõdiku töös.

2. LEGO MINDSTORMS NXT energiamõõdik

Järgnevalt võtame vaatluse alla Mindsensors firma poolt toodetava LEGO MINDSTORMS NXT energiamõõdiku (edaspidi energiamõõdik). Tegemist on anduriga, mis on mõeldud kasutamiseks koos LEGO MINDSTORMS NXT robotiga. Antud peatükis räägime energiamõõdiku võimalustest ning selgitame, kuidas seda kasutada. Joonisel 5 on näidatud energiamõõdik.



Joonis 5. Firma Mindsensors energiamõõdik

NXT juhtplokil on andurite jaoks ettenähtud ühenduspesasid kokku neli. Energiamõõdiku ühendamiseks sobib nendest ükskõik missugune ja piisab standardsest NXT ühenduskaablist nagu näidatud joonisel 6.



Joonis 6. LEGO roboti ühenduskaabel

Erinevaid energialiike on olemas mitmeid, ent LEGO MINDSTORMS NXT energiamõõdik võimaldab mõõta ainult elektrienergia kulu (edaspidi energiakulu). Energiamõõdik võimaldab mõõta nii roboti enda kui ka mõne välise alalisvooluga elektrisüsteemi energiakulu.

2.1 Energiamõõdiku tehniline kirjeldus

Energiamõõdik võimaldab mõõta pinget millivoltides (**mV**) ja voolutugevust milliamprites (**mA**). Tähele tuleb panna seda, et energiamõõdiku maksimaalne mõõdetav pinge on **13,5 volti** ja maksimaalne voolutugevus **3 amprit**. Kui neid väärtusi ületada, on risk energiamõõdik läbi põletada. Energiamõõdiku täpsusklass pinge mõõtmisel on 12 millivolti ja voolutugevuse mõõtmisel 1 milliamper.

Loomulikult saab energiamõõdiku abil mõõta ka kogu kulunud energiakulu. Arvutused selle jaoks, et pingest ja voolutugevusest saada energiakulu, teeb ära energiamõõdik ise. Energiamõõdik peab arvestust energiakulu üle milliampertundides (**mAh**). Samuti saab energiamõõdiku käest otse teada ka tarbitud võimsuse mikrovatt-tundides (**μ Wh**).

Energiamõõdiku küljes on neli kontakti, mille kirjeldus on toodud tabelis 1.

Kontakt	Kirjeldus
G	Maandus (inglise keeles <i>Ground</i>). Vajalik ühendada toiteallika miinusklommiga. Pole vajalik juhul kui energiamõõdikut kasutada roboti enda vooluringi mõõtmiseks.
V	Pinge. Tuleb ühendada toiteallika plussklommiga.
I +	Voolutugevuse plussklomm
I -	Voolutugevuse miinusklomm. Roboti energiakulu mõõtmiseks ühenda roboti toiteallika miinusklommiga.

Tabel 1. Energiamõõdiku ühenduskontaktid

Kindlasti ei tohi segamini ajada kontakte I+ ja I-. Vastasel juhul tagastab energiamõõdik nii pinge kui voolutugevuse kohta vale tulemuse.

2.2 Energiamõõdiku kinnitamine roboti külge

Energiamõõdikul on küljes neli risti kujulist auku, mis on mõeldud selle kinnitamiseks roboti külge. Need augud on disainitud sobima kokku selliste LEGO tihvtidega nagu joonisel 7.



Joonis 7. Energiamõõdiku kinnitamiseks kasutatavad tihvtid

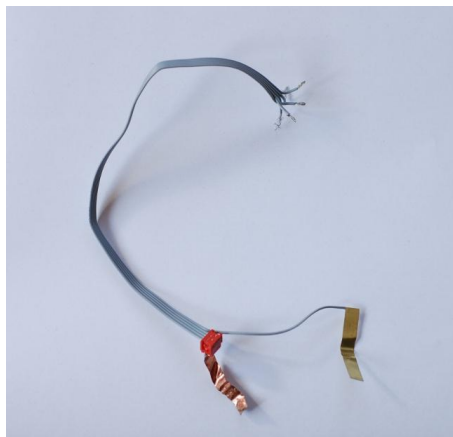
Soovitatav on kasutada joonise vasakul poolel näidatus tumehalle kinnitust. Teise valikuna võib kasutada selliseid siniseid tihvte nagu joonise paremal poolel.

Sellegi poolest tuleb arvestada asjaoluga, et energiamõõdiku kinnitusaugud pole mõeldud korduvaks kinnituste eemaldamiseks ning uuesti külgepanemiseks. Seetõttu on energiamõõdiku eemaldamisel roboti küljest soovitatav kinnitustihvtid jätta anduri külge.

2.3 Roboti energiakulu mõõtmine

Roboti enda energiakulu mõõtmine võimaldab kasutajal jälgida roboti poolt tarbitud elektrienergia hulka ning samuti volutugevust ja roboti toiteallika pinget. Selle põhjal on muuhulgas võimalik teha ka mitmeid järeldusi erinevate seadmete nagu näiteks mootorite või lambikeste mõjust akude kestvusele.

Roboti oma energiakulu mõõtmiseks on energiamõõdikuga kaasas spetsaalsed ühendusjuhtmed (vaata joonis 8).



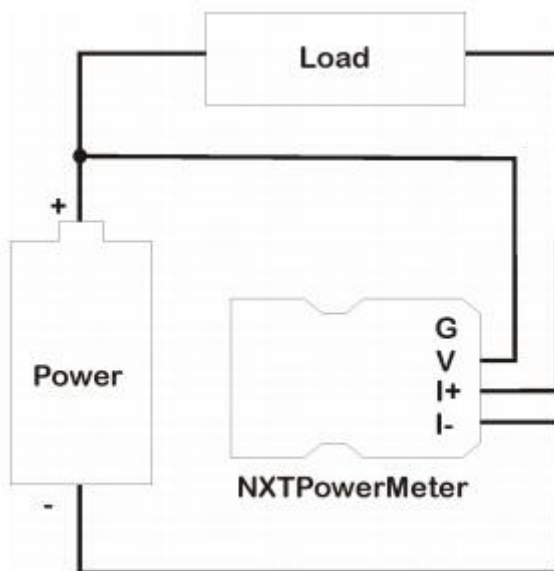
Joonis 8. Energiamõõdiku ühendusjuhtmed

Roboti energiakulu mõõtmiseks ühendatakse need juhtmed NXT patareikarbi külge joonisel 9 näidatud viisil.



Joonis 9. Energiamõõdiku ühendamine robotiga

Joonisel 10 on näidatud, kuidas nende juhtmete teised otsad peavad olema ühendatud energiämõõdikuga.



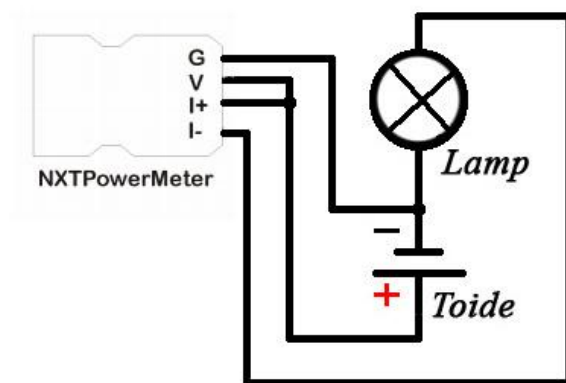
Joonis 10. Energiämõõdiku ühendusskeem roboti energiakulu mõõtmiseks (Load - koormus, antud juhul NXT juhtplokk; Power - NXT juhtploki toiteallikas; NXTPowerMeter - energiämõõdik)

Tasub tähele panna ka energiämõõdikul olevaid märgistusi. Voolutugevuse mõõtmiseks tuleb vooluringi ühendada jadamisi kontaktid **I+** ja **I-**. Teadupoolest on **I** voolutugevuse tähis. Pinge mõõtmiseks on vaja ühendada patareiploki plussklemmilt tulev juhe energiämõõdiku **V** tähisega kontaktile. **V** tähistab volti ehk pinge iseloomustamiseks

kasutatavat mõõtühikut. **G** (inglise keeles *ground*) tähendab maandust. Roboti enda energiakulu mõõtmiseks pole seda tarvis ühendada.

2.4 Energiamõõdiku kasutamine välistes skeemides

Energiamõõdiku abil saab muuta roboti täiesti funktsionaalseks multimeetriks, võimaldades mõõta mõnesse välisesse elektriskeemi ühendatuna nii pinget, voolutugevust kui ka energiakulu. Väline elektriskeem ühendatakse energiämõõdikuga joonisel 11 näidatud viisil.



Joonis 11. Energiämõõdiku kasutamine eraldiseisvas elektriringis

Kui kõik ülejäänud kontaktid tuleb ühendada samamoodi nagu roboti enda energiakulu mõõtmiseks, siis tähele tuleb panna seda, et välise elektriskeemi puhul on vajalik ka kontakti **G** ühendamine. Kuna tegu on maandusega, siis tuleb see ühendada toiteallika miinusklemmidele.

2.5 Energiämõõdiku programmeerimine

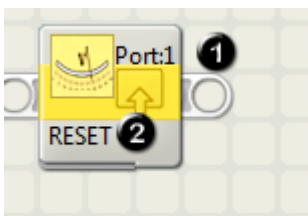
Energiämõõdiku programmeerimine käib sarnaselt kõigile teistele LEGO roboti anduritele NXT-G keskkonnas. Energiämõõdiku tootja Mindsensors koduleheküljelt tuleb selle jaoks alla laadida energiämõõdikuga ühilduv NXT-G plokk. Selle saab alla laadida Mindsensors firma kodulehelt [13].

Pärast energiamõõdiku ploki lisamist NXT-G keskkonda, on võimalik energiamõõdikut oma programmides kasutada. Joonisel 12 on näidatud, kust NXT-G keskkonnas selle ploki üles leiab (Advanced menüüst valida PowerMeter plokk).



Joonis 12. Energiamõõdiku valimine NXT-G keskkonnas

Joonisel 13 on näidatud, milline näeb välja energiamõõdiku plokk NXT-G keskkonnas. Samuti on märgitud juurde numbrid ploki osadele, mille tähendused on all pool ära seletatud.



Joonis 13. Energiamõõdiku NXT-G plokk

1. Näitab pesa, mille külge andur on ühendatud.
2. Näitab, mis operatsioon tehakse selle ploki läbimisel programmi poolt. Seadeid saab muuta eraldi iga konkreetse ploki alt.

Joonisel 14 on selgitatud, millised seadeid saab iga energiamõõdiku ploki jaoks eraldi valida.



Joonis 14. Energiamõõdiku ploki seadistused

1. NXT juhtploki pesa valik
2. Sensori I2C aadressi valik (pole vaja muuta)
3. Antud ploki läbimisel teostatav operatsioon. Valikus on järgnevad operatsioonid:
 - Reset Counters - Võimaldab nullida kogu sensori mälu. Sensori mälus võib olla näiteks tarbitud energia hulk.
 - Read Present Voltage - Loeb just sel hetkel oleva sensori pinget näidu
 - Read Present Current - Loeb hetke voolutugevuse näidu
 - Read Battery Capacity Used - Loeb tarbitud energiahulga milliamperitundides (mAh) alates viimasest nullimisest.
 - Read Total Power Consumed - Loeb tarbitud energiahulga mikrovatt-tundides (μWh) alates viimasest nullimisest.
4. Juhul kui NTX juhtplokk koos energiamõõdikuga on arvuti külge ühendatud, kuvatakse siin sensori id ning versiooninumber.

Joonisel 15 on näidatud numbritega, mis võimalused on energiamõõdiku kasutamisel ning sidumisel ülejäänud programmiga.



Joonis 15. Energiamõõdiku ploki rippmenüü

1. NXT juhtploki ühenduspesa, kuhu ühendada energiamõõdik
2. Energiamõõdiku I2C aadress (vaikimisi 0x12)
3. Operatsioon:
 - 0 - loenduri nullimine
 - 1 - pinge lugemine
 - 2 - voolutugevuse lugemine
 - 3 - tarbitud energiahulga mAh lugemine
 - 4 - tarbitud energiahulga μWh lugemine
4. Andmete lugemine. Kui andurit kasutatakse andmete lugemise operatsiooniks, siis on saadav tulemus väljastatav just sellest kontaktist
5. Kulunud aeg alates eelmisest nullimisest, millisekundites

Joonisel 16 näidatud keskmine nupp võimaldab koostatud programmi NXT juhtploki laadida ja seejärel käivitada. Eelduseks on loomulikult see, et juhtplokki on arvutiga ühendatud USB kaabli või sinihamba abil.



Joonis 16. Programmi installeerimine NXT juhtploki

Sellega on selgitatud energiamõõdiku omadused ning selle tööpõhimõtet. Samuti on kirjeldatud energiamõõdiku kasutamist ja programmeerimisvahendeid. Järgmises peatükis asutakse juba energiamõõdikuga seotud ülesannete lahendamise juurde.

3. Ülesanded

Antud peatükis on toodud mõned näiteülesanded, mida saab lahendada LEGO MINDSTORMS NXT roboti jaoks mõeldud energiamõõdiku abil. Ülesandeid on kokku kolm ja kõik on erinevate raskustasemetega. Need ülesanded peaks hõlbustama õpetajatel näha, kuidas ja milliste nähtuste õpetamisel antud energiamõõdikut on võimalik kasutada. Samuti peaks need ülesanded andma teatava lähtepunkti uute ülesannete loomisele ning energiamõõdiku kasutamisele koolitundides.

3.1 Taskulambipirni energiakulu määramine

Tase: lihtne

Eesmärk:

Antud ülesanne on mõeldud sissejuhatusena LEGO MINDSTORMS NXT energiamõõdiku ühendamise mõistmiseks ning esimeste praktiliste kogemuste omandamiseks elektriskeemi lugemisel.

Ülesande täitmiseks vajalik:

Selle ülesande lahendamiseks pole tarvis eelteadmisi NXT-G keskkonna kasutamise kohta, kuna vajalik programmilõik on energiamõõdiku tootja Mindsensors kodulehelt [13] vabalt kättesaadav kõigile.

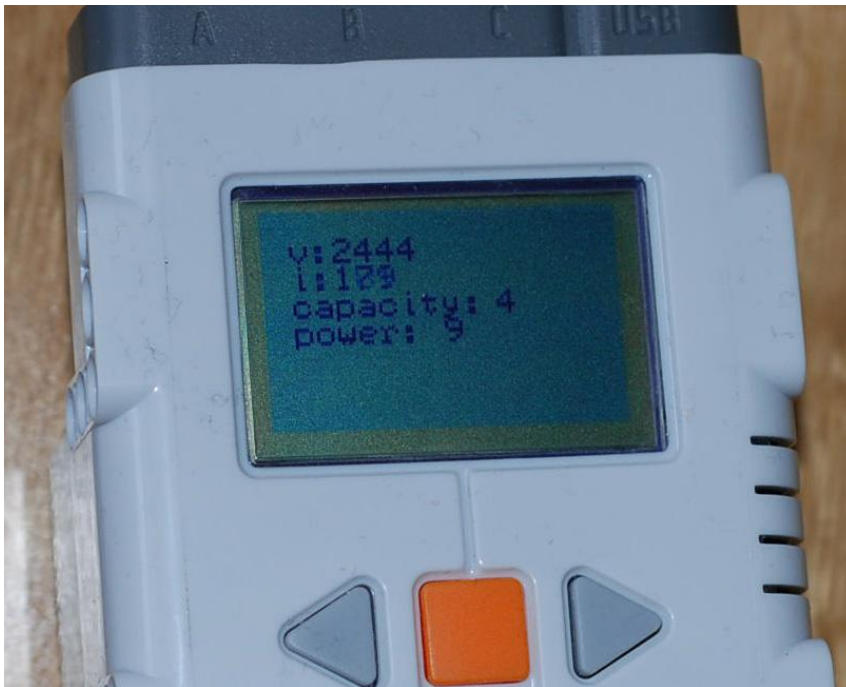
Ülesande püstitus:

Mõõta taskulambipirni energiakulu 15 minuti jooksul. Vastus esitada milliampertundides (mAh). Mitu tundi saaks see pirn põleda enne aku tühjakssaamist juhul, kui kasutada 1500 mAh akut?

Võimalik lahendus:

Peatükis 2.5 viidatud Mindsensors kodulehelt [13] on võimalik lisaks energiamõõdiku NXT-G plokile alla laadida ka juba töötav näidisprogramm, mille saab NXT juhtplokki laadida. See programm kuvab reaajas ekraanil kõiki energiamõõdiku näitusid. Antud ülesande lahendamiseks sobib see programm suurepäraselt.

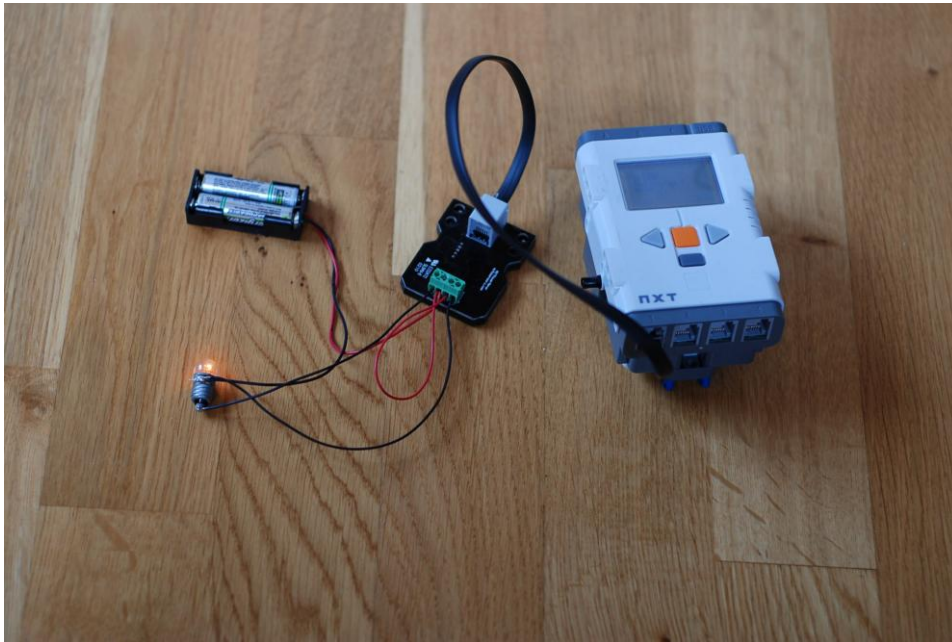
Joonisel 17 on näidatud energiamõõdiku näidisprogramm töötamas. Ekraanile kuvatud näidud uuenevad iga 0,5 sekundi järel.



Joonis 17. NTX juhtplokk koos töötava näidisprogrammiga

Taskulambipirni ühendamiseks sobib peatükis 2.4 joonisel 11 toodud ühendusskeem. Antud skeemil on olemas eraldi toiteallikas ning lambipirn, just nagu antud ülesandes vaja läheb. Kindlasti peab jälgima seda, et toiteallika pinge ei ületaks pirni nominaalpinget (pirni peal kirjas) ega energiamõõdiku maksimaalset lubatud pinget (13,5 volti). Samuti pirni voolutugevus ei tohi ületada energiamõõdiku maksimaalset lubatud voolutugevust (3 amprit). Mõnedel pirnidel on voolutugevus juba peal kirjas, aga mõnedel on peal kirjas võimsus vattides. Sel juhul saab voolutugevuse arvutada valemiga $I = N/U$ (vaata peatükk 1.4).

Joonisel 18 on näidatud, kuidas võib üks lihtsaim antud ülesandeks sobiv süsteem välja näha.



Joonis 18. Lihtsaim viis taskulambipirni ühendamiseks energiamõõdikuga

Kui programm on olemas, kõik vajalikud juhtmed ühendatud ning ka toiteallikas taskulambipirnile järele ühendatud, tuleb energiamõõdiku näidisprogramm NXT juhtploki peal käivitada. Sellest hetkest alates nullitakse andur ja hakatakse energiakulu otsast peale mõõtma. Vaja on vaid oodata ettenähtud aeg ning seejärel vaadata tulemus NXT juhtploki ekraani pealt.

Kui energiakulu on teada, tuleb veel leida võimalik pirni põlemisaeg 1500 mAh aku korral. Selleks tuleb kõigepealt arvutada tarbitav energiahulk ühe tunni jooksul. Kui mõõdetav aeg oli 15 minutit, võib saadud tulemuse korrutada lihtsalt neljaga. Nüüd saab juba leida, kui mitu tundi teoreetiliselt antud pirn põleks. Selleks tuleb jagada aku mahtuvus 1500 mAh tunnis kulutatava energiahulgaga ning saadud vastus näitabki, mitu tundi 1500 mAh aku selle pirniga vastu peaks pidama.

3.2 Potentsiomeetri takistuse määramine

Tase: kerge

Eesmärk:

Ohmi seaduse omandamine läbi praktilise kogemuse.

Ülesande täitmiseks vajalik:

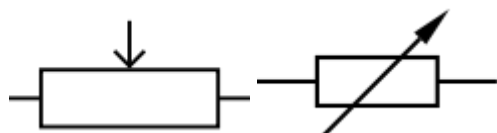
Potentsiomeeter on muuttakisti, mille takistust saab reguleerida astmeliselt või sujuvalt. Selle jaoks on potentsiomeetril kontakt ehk liugur, mis liigub mööda kindla takistusega elektrit juhtivat pinda. Kontakti liigutamisega muutubki potentsiomeetri takistus, mis toob kaasa elektriahela pinge ja voolutugevuse muutumise. Ehituslikult on olemas pöörd- ja lükandtakistid ning reguleer- ja seadetakistid [14].

Joonisel 19 on esitatud mõned erinevad potentsiomeetrid. Tegelikult on neid olemas väga mitme erineva kujuga ning olenevat otstarbest ka erinevate suurustega.



Joonis 19. Erinevad potentsiomeetrid

Elektriskeemil tähistatakse potentsiomeetrit joonisel 20 näidatud viisidel [14].



Joonis 20. Potentsiomeetri tähistamine

Ülesande püstitus:

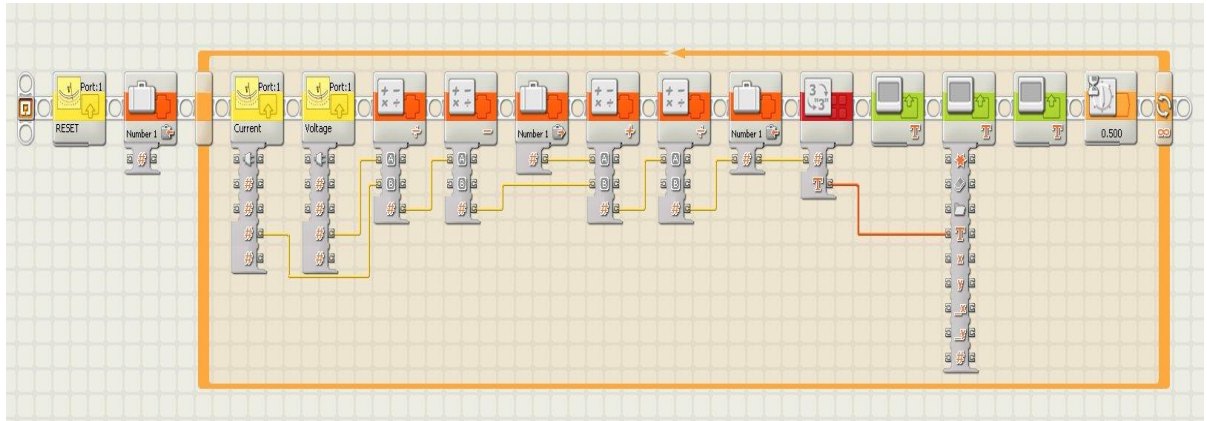
Koostada NXT roboti jaoks programm, mis kasutades energiamõõdikut määrab reaajas ära 0-1000 oomise potentsiomeetri takistuse ja kuvab seda NXT juhtploki ekraanil. Takistuse leidmiseks tutvu ohmi seadusega. Pane tähele, et potentsiomeeter tuleb ühendada jadamisi 30 kuni 60 oomise püsitakistiga, et vältida lühise tekkimist potentsiomeetri algasendis.

Lahenduse idee:

Ohmi seadus seob omavahel pinge, voolutugevuse ja takistuse. Õpilase kasutuses on energiamõõdik, mis võimaldab mõõta neist kahte esimest. Seega takistuse arvutamiseks tuleb teha vastab programm.

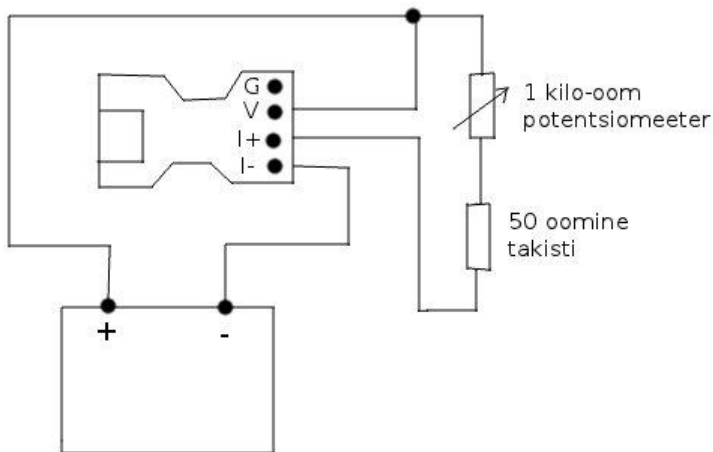
Võimalik lahendus:

Ülesande lahendamiseks tuleb teha programm NXT-G keskkonnas, mis küsib energiamõõdiku käest pinge ja voolutugevuse ning arvutab nende põhjal takistuse. Energiamõõdiku käest andmete küsimiseks tutvu peatükiga 2.5. Saadud tulemus kuvatakse NXT ekraanil. Sama protsessi korratakse iga 0,5 sekundi järel. Valmis programm on saadaval tööga kaasas oleval CD plaadil [15] (vaata joonis 21).



Joonis 21. Programm takistus.rbt NXT-G keskkonnas.

Oluline on ka potentsiomeetri õige ühendamine energiamõõdikuga. Abiks on joonis 22, kus on kõik täpselt ära näidatud.



Joonis 22. Potentsiomeetri ühendamine energiamõõdikuga

Toitepinge võetakse NXT juhtploki toiteallikalt, seega G kontakti võib energiamõõdiku küljes jätta ühendamata. 50 oomise takisti asemel võib kasutada suvalist 30 kuni 60 oomist takistit. Tähtis on aga õige tulemuse saamiseks programmis täpselt sama takistus

maha lahutada pärast ohmi seaduse kasutamist. Potentsiomeeter on reguleeritav vahemikus 0 oomi kuni 1 kilo-oomi.

Joonisel 23 on näha programm takistus.rbt töötamas. Ekraanile on parasjagu kuvatud potentsiomeetri takistuseks 599,71 oomi.



Joonis 23. Energiamõõdik potentsiomeetri takistust mõõtmast

Antud programmi võib näha töötamas ka videona [16].

3.3 Elektrimootori energiakulu sõltuvus koormusest

Tase: raske

Ülesande täitmiseks vajalik:

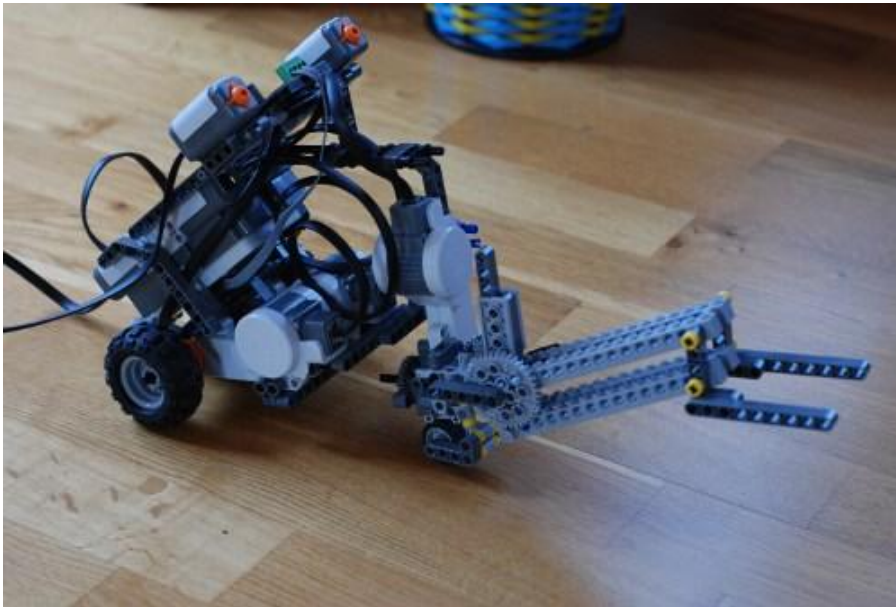
Elektrimootor on seade, mida kasutatakse elektrienergia muundamiseks mehaaniliseks tööks. See saab toimuda tänu magnetväljale, mis paneb pöörlema mootoris oleva rootori. Elektrimootori peamised komponendid ongi rootor ja staator. Enamikes alalisvoolumootorites on staatoriks püsिमagnet, mis asub ümber rootori ning on mootori korpuse küljes kõvasti kinni. Rootoriks on aga elektromagnet, mis on kinnitatud mootori võllile. Elektromagnet on magnet, mis vajab magnetvälja tekitamiseks elektrivoolu. Rootori elektromagnetis tekkiv magnetväli panebki mootori pöörlema [17].

Ülesande püstitus:

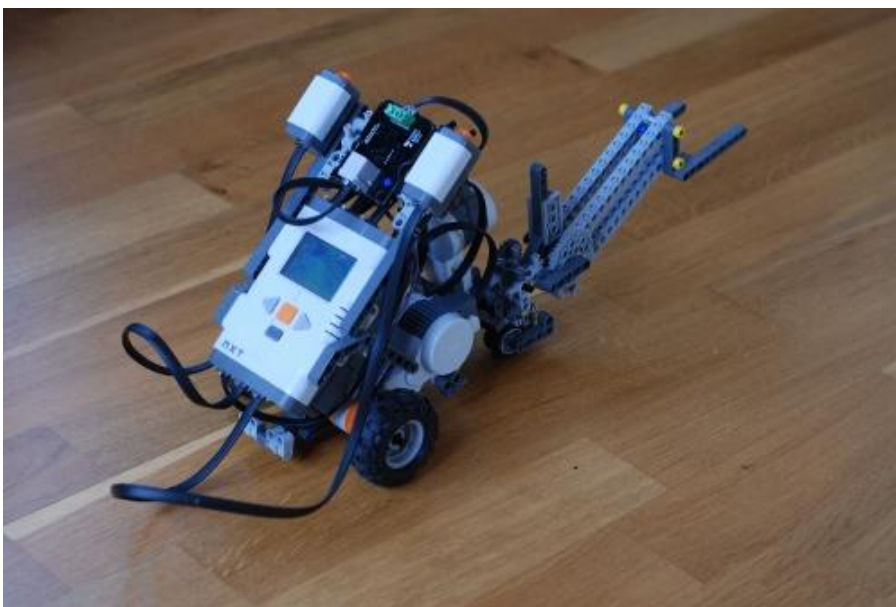
Koostada programm, mis mõõdab roboti enda energiakulu ning samal ajal lülitab sisse vähemalt ühe roboti elektrimootoritest. Elektrimootor peab olema paigaldatud nii, et sellele saaks rakendada erinevat koormust. Kasutatud energia hulka kuvada NXT juhtploki ekraanil. Viia läbi katsetusi ning võrrelda, kui palju võib roboti energiakulu erineda olenevalt elektrimootorite koormusest.

Võimalik lahendus:

Tegu on ülesandega, millel on mõistagi palju erinevaid lahendusi. Selle töö raames sai valmis ehitatud tõstuk (vaata joonis 24 ja 25), mis on võimeline nii sõitma kui asju maast üles tõstma. Robottõstuki küljes on kaks puuteandurit, mida kasutatakse nappudena. Ühele nupule vajutades saab tõstukit liigutada üles või alla ning teisele vajutades viiakse läbi alati ühesugune sõitmismanööver. Iga tegevuse järel kuvatakse NXT juhtploki ekraani peal kulunud energia hulk.

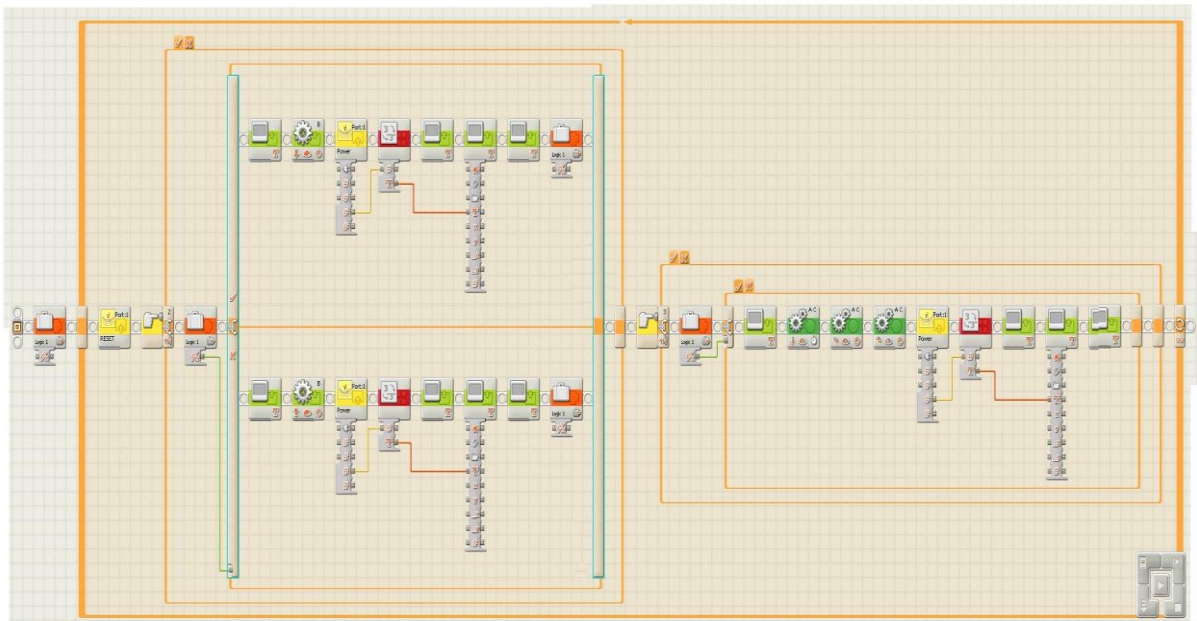


Joonis 24. NXT tõstuk



Joonis 25. NXT tõstuk

Programm tõstuki juhtimiseks on lisatud tööga kaasa [18]. Samuti on joonisel 26 näha, milline näeb see programm välja NXT-G keskkonnas. Algoritmi näol on tegemist lõputu tsükliliga, mis iga 0,5 sekundi järel kontrollib, kas kumbagi roboti peal olevatest nuppudest on vajutatud. Juhul kui on, siis nullib energiamõõdiku ära, teeb vastavad toimingud elektrimootoritega ja seejärel küsib energiamõõdikult uue näidu. Näit kuvatakse alati NXT juhtploki ekraanil.



Joonis 26. Robottõstuki programm NXT-G keskkonnas

Töötavat robottõstukit võib näha ka tööga kaasas oleval videol [19].

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli tutvustada LEGO MINDSTORMS NXT robotiga kokku sobivat firma Mindsensors poolt toodetavat elektrienergia mõõdikut. Samuti luua mõned ülesanded, mida oleks võimalik lahendada kasutades antud energiamõõdikut koos NXT robotiga.

Töös kirjeldati energiamõõdikut, tema tehnilisi omadusi, kasutusvõimalusi ja tööpõhimõtet. Samuti pöörati tähelepanu erinevatele asjaoludele, mida peab silmas pidama energiamõõdikut kasutades. Mõistmaks paremini, mida täpselt energiamõõdik mõõdab, selgitati lugejale elektrienergia tähtsamaid mõisteid, seoseid ja tunnuseid. Ülevaade tehti ka elektrienergia tootmisest, transportimisest ja kasutamisest.

Lisaks teoreetilisele poolele valmis antud töö raames ka juhend energiamõõdiku kasutamiseks, selle ühendamiseks NXT juhtploki ning programmeerimiseks NXT-G keskkonnas. Lisaks valmisid töö ühe osana kolm ülesannet, mis on erinevate raskustasemetega ning mida on võimalik lahendada kasutades Mindsensors energiamõõdikut.

Terve töö kirjutamisel toodi palju näiteid elust enesest ning illustreeriti väiteid mitmete joonistega, et teha uued teadmised võimalikult meeldejäävaks ning lihtsalt mõistetavaks ka nendele inimestele, kes varem antud valdkonnaga kokku puutunud ei ole.

Kogu töö raames järgiti etteantud vormistusjuhendeid, et töö oleks kasutatav ühtse õppematerjaline üldhariduskoolides koos teiste sarnase eesmärgiga töödega.

LEGO MINDSTORMS NXT: Power Meter

Bachelor Thesis

Oliver Meus

Summary

The main purpose of the bachelor thesis was to describe electric power meter made by Mindsensors company for the LEGO MINDSENSORS NXT robot and generate a few sample exercises which could be solved using Mindsensors power meter.

As a result the bachelor thesis gives overview of the power meter, it's technical specifications and using opportunities. This thesis also points out important notes which must be taken into account when using the power meter. The most important terms and laws of the electricity were described to help the reader to get better understanding about electricity and operation of the power meter. Slight overview was given of the creation and transportation of the electricity as well.

In addition to the theoretical part the bachelor thesis also contains instructions about using the power meter, about connectiong it with the NXT main unit and about programming the power meter in NXT-G environment. Also thee exercises were created which can be solved using the Mindsensors power meter. Each of the exercises contains of a small introduction, exercise itself and a solution.

Many real life examples and helpful figures were used in the entire bachelor thesis to make it as easy to understand and remember as possible. Therefore it can be used by persons who are not familiar with the physics of the electricity.

Kasutatud kirjandus

1. Sissejuhatus elektriõpetusse, Elekter ja magnetism, lk 4-7, Kalev Tarkpea, 2003
2. Elektrostaatika, Vikipeedia, 20.04.2010,
<http://et.wikipedia.org/wiki/Elektrostaatika>, vaadatud 20.03.2011
3. Pinge (elekter), Vikipeedia, 8.10.2010,
[http://et.wikipedia.org/wiki/Pinge_\(elekter\)](http://et.wikipedia.org/wiki/Pinge_(elekter)), vaadatud 29.11.2010
4. Henry Cavendish, Wikipedia, 21.12.2010,
http://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Cavendish, vaadatud 19.01.2011
5. Skalaarne suurus, Vikipeedia, 15.03.2009,
http://et.wikipedia.org/wiki/Skalaarne_suurus, vaadatud 29.11.2010
6. Elektrivoolu tugevus, Vikipeedia, 30.03.2010,
http://et.wikipedia.org/wiki/Elektrivoolu_tugevus, vaadatud 29.11.2010
7. Takistus, Vikipeedia, 22.10.2010, <http://et.wikipedia.org/wiki/Takistus>, vaadatud 29.11.2010
8. Pingelang, Vikipeedia, 13.19.2007, <http://et.wikipedia.org/wiki/Pingelang>,
vaadatud 18.12.2010
9. Võimsus, Vikipeedia, 23.10.2010, <http://et.wikipedia.org/wiki/V%C3%B5imsus>,
vaadatud 6.02.2011
10. James Watt, Vikipeedia, 18.02.2011, http://et.wikipedia.org/wiki/James_Watt,
vaadatud 20.03.2011
11. Ohmi seadus, Vikipeedia, 11.11.2010, http://et.wikipedia.org/wiki/Ohmi_seadus,
vaadatud 29.11.2010
12. Elektromotoorjõud, Vikipeedia, 10.09.2010,
<http://et.wikipedia.org/wiki/Elektromotoorj%C3%B5ud>, vaadatud 29.11.2010
13. Mindsensors firma kodulehekül, Energiamõõdik
http://www.mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=125, vaadatud 12.04.2011
14. Potentsiomeeter, Vikipeedia, 17.12.2010,
<http://et.wikipedia.org/wiki/Potentsiomeeter>, Vaadatud 22.04.2011
15. takistus.rbt, Potentsiomeetri ülesande lahendus, asub tööga kaasas oleval CD plaadil

16. Potentsiomeetri ülesande lahendusest video, saadaval lisade CD plaadil failina takisus.wmv ning <http://www.youtube.com/watch?v=-lXejZl-eTg>
17. Elektrimootor, Vikipeedia, 8.01.2011, <http://et.wikipedia.org/wiki/Elektrimootor>, vaadatud 3.05.2011
18. tostuk.rbt, Tõstuki ülesande lahendus, asub tööga kaasas oleval CD plaadil
19. Tõstuki ülesande lahendusest video, saadaval lisade CD plaadil failina tostuk.wmv ning http://www.youtube.com/watch?v=pv-Xgku_Wew