

TARTU ÜLIKOOL  
MATEMAATIKA-INFORMAATIKA TEADUSKOND  
Arvutiteaduse Instituut  
Informaatika eriala

**Raido Raagmaa**

**LEGO Mindstorms NXT-ga ühilduv  
LEGO Taastuenergia komplekt**  
**Bakalaureusetöö (6 EAP)**

Juhendaja: Anne Villems  
Kaasjuhendaja: Taavi Duvin

Autor: ..... "....." mai 2013  
Juhendaja: ..... "....." mai 2013  
Juhendaja: ..... "....." mai 2013

Lubada kaitsmisele  
Professor: ..... "....." mai 2013

TARTU 2013

# Sisukord

Sissejuhatus .....	4
1 Taastuenergia.....	6
1.1 Energia ja energeetika mõiste .....	6
1.2 Energia taastuvuse mõiste ja selle vajalikkus.....	7
1.3 Taastuvate energiaallikate liigid ja nende rakendamine.....	12
1.3.1 Päikeseenergia .....	13
1.3.2 Tuuleenergia .....	17
1.3.3 Vee-energia.....	23
1.3.3.1 Hüdroenergia .....	23
2 LEGO taastuenergia komplekt ja selle kasutamine.....	27
2.1 Taastuenergia mooduli komponentide kirjeldused ja kasutusjuhendid.....	27
2.1.1 Energiamõõtur .....	29
2.1.2 Päikesepaneel.....	33
2.1.3 E-mootor ja LED-lamp.....	34
2.2 Tegevuste paketi ülevaade.....	35
2.3 Taastuenergia mooduli kasutamine koos LEGO Mindstorms NXT-ga .....	36
2.3.1 LEGO Mindstorms NXT .....	36
2.3.2 NXT-G.....	37
2.3.3 Energiamõõturi ploki importimine .....	37
2.3.4 Energiamõõturi ploki kasutamine.....	39
3 Ülesanded .....	43
3.1 Taastuenergia mooduli elementidega tutvumine ja nende testimine.....	43
3.1.1 Päikeseenergial töötava lamp .....	44
3.1.2 Päikeseenergial töötav elektrimootor .....	46
3.1.3 Käsigeneraator.....	48
3.1.4 Dünamolamp .....	51

3.2 Taastuenergia mooduli näitude esitamine NXT ekraanil .....	53
3.2.1 Üks näit NXT ekraanil.....	53
3.2.2 Kõik näidud NXT ekraanil .....	54
Kokkuvõte .....	55
Summary.....	56
LISAD .....	57
LISA 1 Loodete energia .....	57
LISA 2 Laineenergia, hoovused, osmoos ja konvektsioon .....	61
LISA 3 Energiamõõduri laadimine kasutades LEGO Power Functions akuboksi .....	65
LISA 4 Energiamõõduri laadimine kasutades LEGO Power Functions taaslaetavat akuboksi.....	67
LISA 5 Energiamõõduri laadimine kasutades LEGO Mindstorms NXT-d .....	69
Kasutatud materjalid.....	72

# Sissejuhatus

Tänapäeva ühiskond on muutumas järjest enam tehnoloogiakeskseks. Leidub inimesi, kes arvab, et tehnoloogia arengus on toimud eksponentsiaalne kasv, kuid kõik on suhteline.<sup>1</sup> Samas, fakt on, et inimeste igapäevaelu seostub järjest enam tehnoloogiaga. Tehnoloogiaga kaasneb palju hüvesid ning mitmed tööd muutuvad lihtsamaks, kuid tehnoloogial on ka oma varjukülg. Tehnoloogia areng ja selle suhteline kättesaadavus tõmbab õpilasi koolist ja õppimisest eemale ning kool, mis niigi oli paljudele igav, faktide pähetuupimise koht, muutub õpilastele järjest enam vastumeelsemaks. Seetõttu on vaja midagi tehnikavaldkonda kuuluvat, mis tooks õpilased õppimise juurde tagasi ning kallutaks sellega kaalukaasi kooli kasuks. Selleks on arengumeelsed inimesed hakanud otsima tehnoloogiaga seotud võimalusi kooli ja õppimise populariseerimiseks.

Väga heaks näiteks tehnoloogilistest õppevahenditest on LEGO grupi poolt arendatav LEGO Mindstorms NXT robotika komplekt ja selle lisad. NXT komplekt koosneb programmeeritavast juhtploki, kolmest mootorist ja neljast andurist. Robotile on võimalik juurde soetada hulganisti andureid, mida toodavad peale LEGO ka teised firmad, näiteks Vernier<sup>2</sup> ja HiTechnic<sup>3</sup>. LEGO Mindstorms NXT on spetsiaalselt loodud innovaatiline vahend hariduse edendamiseks nii koolis kui kodus ning kindlasti ei tule kahjuks ka see, et komplekti on võimalik kasutada koos LEGO populaarsete mänguklotsidega, andes võimaluse luua huvitavaid ning keerukaid konstruktsioone.

Koos ühiskonna ja tehnoloogia arenguga on üheks väga aktuaalseks teemaks kujunenud energia. Eriti just probleemid fossiilsete energiaallikate vähenemisega ja nende kasutamise kaasaegsaste kahjulikkusega. Seetõttu pööratakse järjest enam tähelepanu taastuvatele energiaallikatele. Seda trendi järgides on LEGO loonud LEGO Mindstorms NXT-le taastuvenergi lisakomplekti.

Eesti koolides tegeleb LEGO Mindstorms NXT abil õppimise populariseerimisega 2007. aastal loodud Koolirobootika projekt<sup>4</sup>. Antud projekti raames otsitakse projektist huvitatuid koole, koolitatakse õpetajaid ja jagatakse neile materjale ning ülesandeid õpilaste õpetamiseks. Hetkel on probleemiks eestikeelsete materjalide ja sobivate ülesannete vähesus. Selle probleemi lahendamiseks on juba mitu aastat Tartu Ülikooli Arvutiteaduse instituudis lõputöödena loodud õppematerjale ja ülesandeid.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on luua praktilised eestikeelsed materjalid tutvustamiseks LEGO taastuenergia komplekti ja andmaks detailseid juhiseid selle kasutamiseks. Samuti, tutvustamiseks võimalusi, kuidas taastuenergia komplekti saab kasutada koos LEGO Mindstorms NXT robotika komplektiga.

Töö jaguneb kolmeks osaks. Esimene osa toob välja taastuvate ressursside kasutusele võtmise vajaduse energeetikas. Lisaks tutvustab lähemalt erinevaid taastuenergia tüüpe ja tehnoloogiate levikut koos nende tehnoloogiate plusside ning miinustega. Peamiselt keskendutakse nendele taastuenergia tüüpidele, mille kasutamist võimaldab ka LEGO taastuenergia komplekt. Teine osa selgitab detailselt taastuenergia komplekti, selle kasutamist ja ühildamist NXT robotiga. Kolmas osa sisaldab endas erinevaid ülesandeid, mille lahendamisel tuleks kasutada taastuenergia komplekti.

# 1 Taastuenergia

## 1.1 Energia ja energeetika mõiste

Enne taastuenergia juurde minemist teeme lühidalt tutvust selliste mõistetega nagu energia ja energeetika. Käesoleva punkti koostamisel on kasutatud materjale [5-12].

**Energia** (kreeka keeles *energeia* 'tegevus') on füüsikaline suurus, mis iseloomustab keha või jõu võimet teha tööd. Energia tähiseks on suur ladina täht *E* ja ühikuks on džaul (J). Füüsikas on defineeritud energia eksisteerimine paljudes eri vormides, nagu soojusenergia, tuumaenergia, mehhaaniline energia (mis omakorda jaguneb potentsiaalseks ja kineetiliseks energiaks) jne. Selles töös käsitleme energiat energeetikatööstuse seisukohalt.

Termini **energeetika** (kreeka keeles *energetikos* 'tegev') all mõistetakse töötleva majanduse haru, mis tegeleb energiaressursside hankimise, muundamise ja inimestele edastamisega. Samuti nimetatakse energeetikaks teadusharu, mis tegeleb energia muundamise, edastamise, tarbimise ja energiavarude uurimisega.

Kõik maailmas toimuv on seotud energiaga. Alates sellest, et me valgustame oma kodud ja kontorid, tänavad ja maanteed elektriliste valgustitega, meie poolt kasutatavad mehaanilised transpordivahendid kasutavad mingit tüüpi energiat ning kõigi meie ostetavate toodete valmistamise ja/või turustamise on kas suuremal või vähemal määral segatud energeetika. Lõpetada võime näiteks inimkehaga, mis samuti vajab ja tarbib energiat (selle teema jätkame siiski antud bakalaureusetöös kõrvale).

Enne jätkamist oleks mõistlik tutvustada põhilisi mõõtühikuid, mida kasutatakse energiast rääkimisel. Juba eelnevalt sai mainitud **džaul** (J) – energia hulk, mis kulub keha liigutamiseks 1 meetri võrra rakendades sellele jõudu 1 njuuton (N). Järgmiseks **vatt** (W) – mõõtühik, millega defineeritakse võimsus, mille korral tehakse ühes sekundis üks džaul tööd. Siit edasi tuleb ka energiaühik **kilovatt-tund** (kWh) - tähistab energiahulka, mille tarbib (või toodab) võimsusel üks kilovatt töötav masin ühe tunni jooksul. Väga väikeste energiahulkade mõõtmiseks kasutatakse mõõtühikut **elektronvolt** (eV) – kineetiline

energia, mille elektron saab läbides vaakumis potentsiaalide vahe 1 volt ( $1\text{ eV}=1,602177\times 10^{-19}$  džauli).

Kuna nimeste valmistatud seadmete mõõtmed – sealhulgas nende energiavajadus – jätkavad kasvamist, on oluline mõista, kui palju energiat maailmas tegelikult kulutatakse. Näiteks CERN-i Suur Hadronite Põrkur (Joonis 1) kulutab aastas umbes 700 GWh (gigavatttundi) jagu energiat<sup>13</sup>, mis on peaaegu kümnendik Eesti aastasest elektritarbimisest (2011)<sup>14</sup>. Eesti ja Balti elektriijaamad (Joonis 1), mis on maailma võimsaimad põlevkivil töötavad elektriijaamad, toodavad kokku umbes 9 TWh (teravatttundi) elektrit<sup>15</sup>.



**Joonis 1: Large Hadron Collider - Suur Hadronite Põrkur (CERN)<sup>17</sup>**

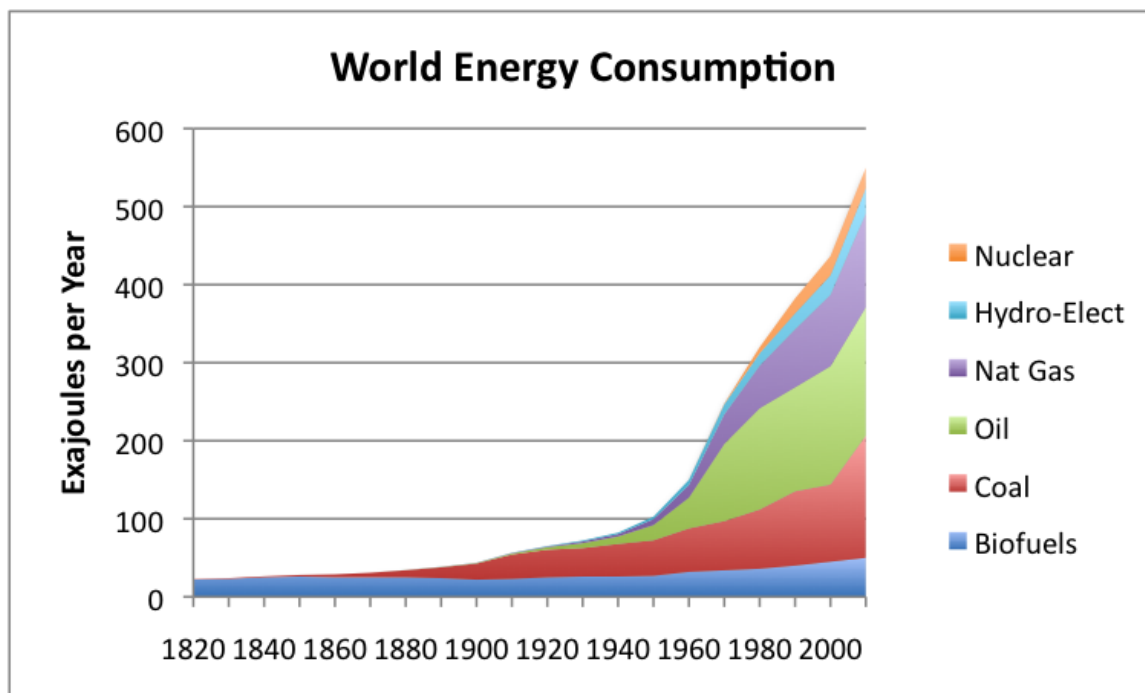
**Joonis 2: Balti soojuselektriijaam<sup>16</sup>**

Nüüd, kus me oleme lühidalt selgitanud energia ja energeetika mõisteid, võtame lähema vaatluse alla taastuva energia mõiste ja selle kasutamise vajalikkuse.

## **1.2 Energia taastuvuse mõiste ja selle vajalikkus**

Kõige esimese asjana vastame küsimusele, „Mis on taastuv energiaallikas?“. Definiitsiooni kohaselt on taastuv energiaressurss ehk taastuv energiaallikas energiaressurss, mida saab kasutada lakkamatult (nt loodete energia, laineenergia, päikeseenergia, tuuleenergia, geotermaalenergia), või mis taastub ökosüsteemi aineringete käigus (biomassi energia ja biokütus – puit, pilliroog, energiavõsa, suhkruroog jne), ilma et nende kogus inimkultuuri eksisteerimise ajamastaapi silmas pidades oluliselt kahaneks.

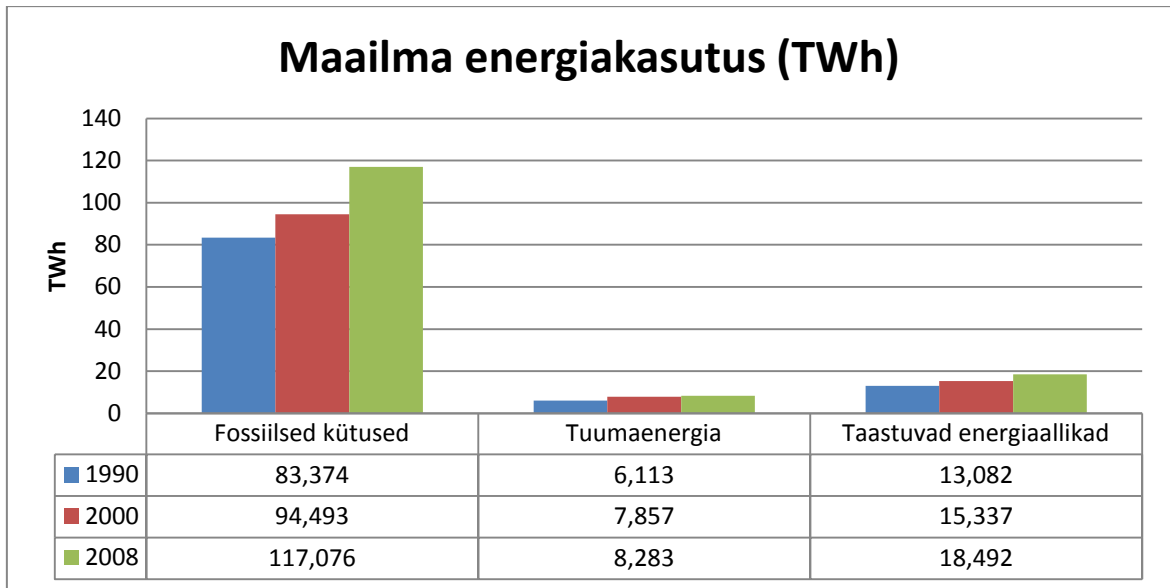
Jätkuvalt kasvava rahvastikuga ning järjest enam suureneva energiavajadusega (Joonis 3) ühiskonna jaoks on eluliselt tähtis leida alternatiiv fossiilsetele energiaallikatele (kivisüsi, nafta, gaas). Põhjuseks pole mitte ainult fakt, et fossiilsete kütuste kasutamine saastab keskkonda, vaid ka lihtne tõdemus, et taastumatute energiaallikate kasutamise kasvuga vähenevad nende varud aina kiiremini.



**Joonis 3: Maailma energiatarbimine eksadžauli(EJ)/aastas - (1 EJ = 277,78 TWh).**

**Nuclear – Tuumaenergia, Hydro-Elect – Hüdroelekter, Nat Gas – Looduslik gaas, Oil – Nafta, Coal – Kivisüsi, Biofuels – Biokütused.**<sup>18</sup>

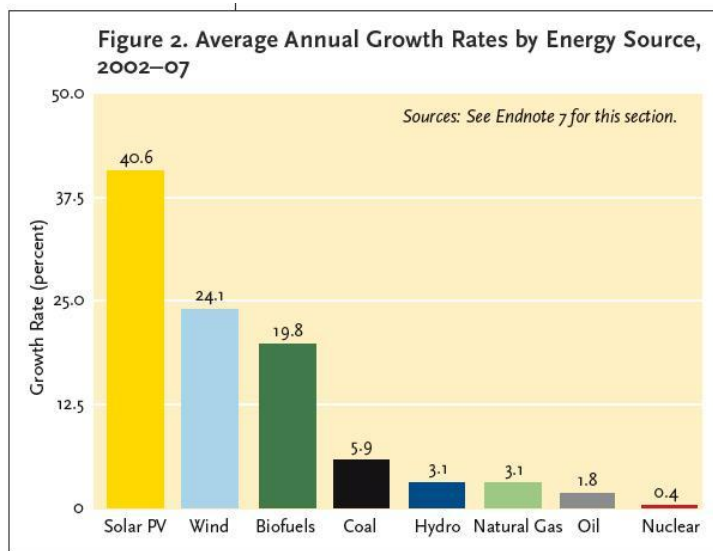
Vaadates viimase 20 aasta andmeid (Joonis 4) on näha, et fossiilsete kütuste tarbimise kasv on tõusnud. Aastatel 1990-2000 oli selleks kasvuks 11 TWh ning aastatel 2000-2008 oli see 22,5 TWh, mis aastate peale jaotatuna teeb vastvalt 1,1 ja 2,8 TWh aastas. See tähendab et fossiilsete kütuste tarbimise kasv tõusis nende kahe perioodi võrdluses 2,5 korda. Samas taastuvatel energiaallikatel on sama tõus kõigest 1,7, vaatamata sellele, et mõningate taastuvenergia liikide kasutamine on viimsel kümnendil kasvanud enam kui kunagi varem.



**Joonis 4: Maailma energiakasutus (TWh).**

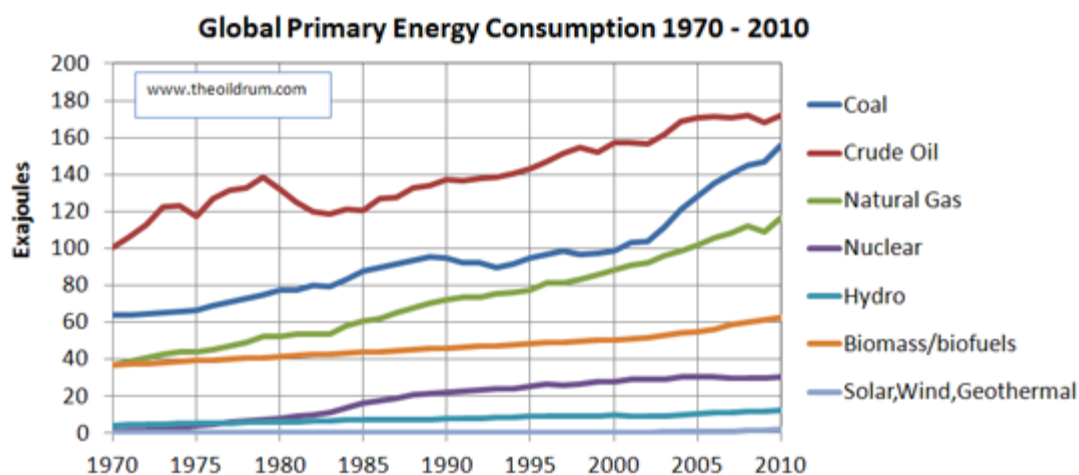
Vaadates graafikut (

Joonis 5) võib jääda mulje, et taastuvenergia on alustamas oma võidukäiku, kuid kui võtame siia kõrvale teise graafiku (Joonis 6) selgub kurb tõsiasi, et ainus taastuv energiaallikas mille tõus on üldises pildis üldse märgatav on biomass/biokütus, mis on aga üks maailma vanimaid energiaallikaid. Tõelist võidukäiku teeb jätkuvalt kivisüsi, mille kõrvale on tõusnud looduslik gaas.



**Joonis 5: Energiaallikate keskmine kasv protsentides 2002-07.**

Solar PV – päikeseenergia (fotogalvaanika); wind – tuuleenergia; biofuels – biokütused; coal – kivisüsi; hydro – hüdroenergia; natural gas – looduslik gaas; oil – nafta; nuclear - tuumaenergia.<sup>19</sup>



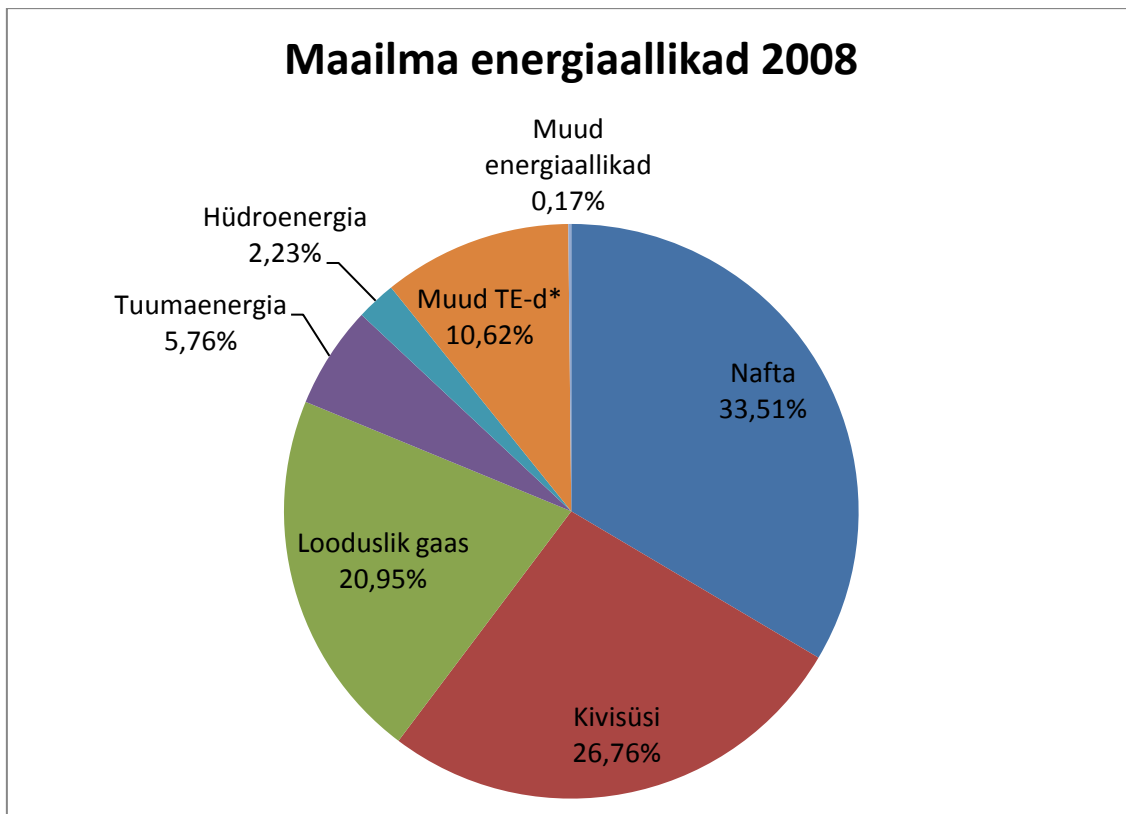
Joonis 6: Globaalne energia tarbimine eksadžaulides 1970-2010.

Coal – kivisüsi; crude oil – toornafta; natural gas – looduslik gaas; nuclear – tuumaenergia; hydro – hüdroenergia; biomass/biofuels – biomass/biokütused; solar, wind, geothermal – päikese-, tuule- ja geotermaalenergia.<sup>20</sup>

Kõigest maailma energiaallikatest moodustasid 2008. aastal fossiilsed kütused 81% (Joonis 7). Neil põhineva energiatootmise kaasproduktiks on mitmed erinevad gaasid, mida peetakse elusloodusele ning atmosfäärile kahjulikeks. Peamisteks õhku saastavateks aineteks on väävli-, lämmastiku- ja süsinikuühendid ning aerosoolid (Tabel 1). Õhu saastumise tagajärjel suureneb niinimetatud kasvuhoone efekt. Maa soojuskiirus, mis muidu hajuks kosmosesse, peegeldub saasteosakestelt tagasi või neeldub saasteosakestes, tõstes sellega atmosfääri ning maapinna temperatuuri ja seeläbi takistades planeedi normaalset jahtumist<sup>21</sup>. Samuti väheneb atmosfääris tekkiva sudu tõttu valguskiirguse jõudmine maapinnale.

Tabel 1: Levinuimad õhusaastega seonduvad gaasid.

Lühend	Nimetus	
CO	Süsinikoksiid e Vingugaas	
CO <sub>2</sub>	Süsinikdioksiid e Süsihappegaas	
CH <sub>4</sub>	Metüülhüdriid e Metaan	
SO <sub>2</sub>	Vääveldioksiid	
N <sub>2</sub> O	Dilämmastikoksiid e Naerugaas	
NO <sub>x</sub>	NO	Naatriumoksiid
	NO <sub>2</sub>	Naatriumdioksiid

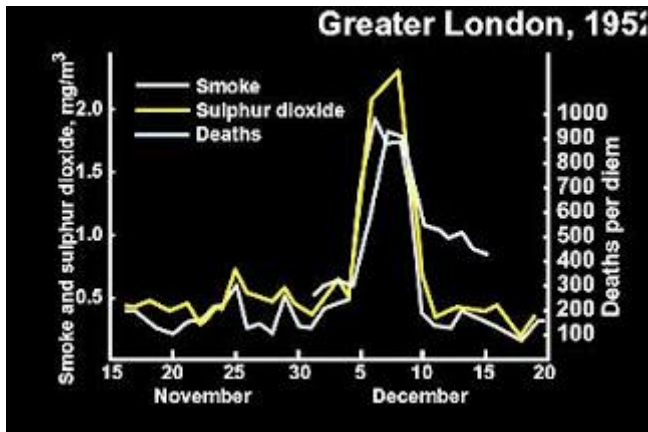


**Joonis 7: Maailma energiaallikad 2008.**

\*TE=taastuvad energiaallikad (päike, tuul, geotermaal ja biokütused)<sup>22</sup>

Erinevate osakeste kõrgendatud sisaldus õhus mõjutab inimeste tervist. Mürgised heitgaasid ja tolm suurendavad hingamiselundite haigusi ja seeläbi ka suremust. OECD (*Organisation for Economic Cooperation and Development* – Majanduskoostöö ja Arengu Organisatsioon) ennustab, et aastaks 2050 kahekordistub õhusaastatuse tõttu enneaegselt surevate inimeste arv, jõudes 3,6 miljoni inimeseni aastas<sup>23</sup>.

Õhusaaste tõttu kasvav suremus ei ole uus nähtus. 1952. aasta detsembris tabas Londonit raske õhusaaste juhtum – „Great Smog“, mille käigus suri umbes 4000 ja haigestus kuni 100 000 inimest. Hilisemad uuringud väidavad, et surmade arv võis ulatuda isegi kuni 12 000 inimeseni ja seda kõigest kaks nädalat kestnud kõrgeõhusaaste tõttu<sup>24</sup>. On leitud ka otsene seos surmade arvu ning suitsu ja vääveldioskiidi suurenenud kontsentratsiooni vahel (Joonis 8).



Joonis 8: Great Smog, London 1952.

Vasakul suitsu (*smoke*) ja väveldioksiidi (*sulphur dioxide*) sisaldus milligrammides kuupmeetri kohta, paremal päevane surmade arv, surmad (*deaths*).<sup>25</sup>

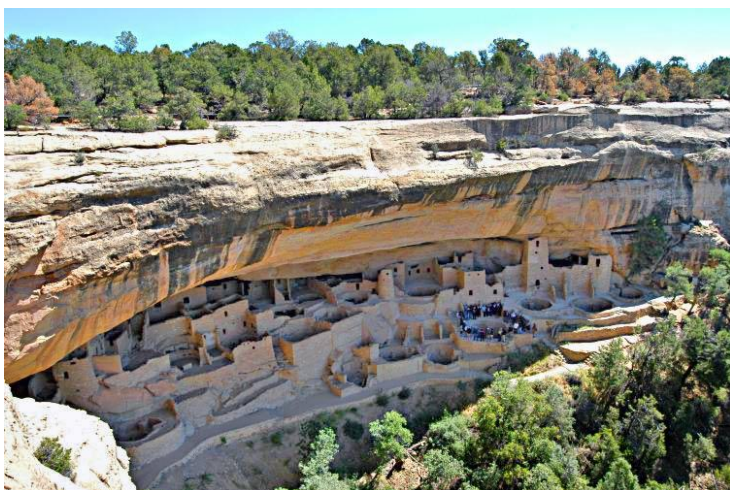
Maailmas, kus üritatakse juurutada arusaama, et iga inimelu on hindamatu väärtusega, paistab irooniline, et niivõrd vähe hoolitakse sellest „sinisest kerast“, mida me kutsume koduks. Eelnevalt toodud graafikud ja näited toovad esile sügava vajaduse parandada planeedi olukorda ja parim viis selleks on asendada saastavad tehnoloogiad ja fossiilsed kütused uute taastuvaid energiaallikaid rakendavate tehnoloogiatega. Paljud teadlased ja ettenägelikud ettevõtjad on seda juba alustanud ning viimaste aastakümnete jooksul on leiutatud või taasleiutatud palju erinevaid taastuvenergiat rakendavaid lahendusi. Järgmises osas võtame mõned neis ka vaatluse alla.

### 1.3 Taastuvate energiaallikate liigid ja nende rakendamine

Selles punktis anname ülevaate nendest taastuvatest energiaallikatest, mida on võimalik kasutada LEGO taastuvenergia komplekti kuuluvate seadmetega. Nendeks on päikeseenergia, tuuleenergia ja üks vee-energia alaliikidest – hüdroenergia. Toome välja erinevate taastuvate ressursside rakenduste eelised ja puudused ning mõningad faktid ajaloost. Esimesena käsitleme suurimat energiaallikat, millega inimkond on kokku puutunud – päikeseenergiat

### 1.3.1 Päikeseenergia

Järgmine punkt on koostatud, toetudes materjalidele [26-44]. Päikese energiat on tunnustatud ja erinevatel viisidel kasutatud juba amusest ajast. Päikesest mõjutatud arhitektuuri kasutamist alustati enam kui 2000 aastat tagasi Kreekas, kus hoonete ja tervete linnade planeerimisel arvestati lõuna suunda, et hooned talvisel ajal paremini valgustada ja soojendada. Kreeklased ei olnud ainsad, ka Hiinas, Egiptuses ja isegi Ameerikas ehitati hooned nii, et palaval suvel oleks rohkem varju ja jahedamal talvel rohkem soojust. Selleks kasutati ära ka looduslikke tingimusi, näiteks Kaljupalee Mesa Verde Rahvusparkis, Colorados (Joonis 9). Vana-Roomas ehitati esimesed algelised kasvuhooned, tootmaks imperaator Tiberiusele aastaringselt kurke. Esimesed moodsad kasvuhooned rajati Euroopas 16. sajandil hoidmaks reisidelt toodud eksootilisi taimi. Esimesed tõelised katsed päikeseenergi potentsiaali ära kasutamiseks valdkondades, mida tänapäeval seostatakse päikeseenergeetikaga, tehti 19. sajandi lõpul ja 20. sajandi alguses.



Joonis 9: Cliff Palace in Mesa Verde National Park, Colorado.<sup>40</sup>

Päikeseenergia tehnoloogiad hõlmavad, lisaks eelmainitud päikese arhitektuurile, fotogalvaanikat ja päikese soojusenergiat. Päikese arhitektuur kuulub passiivsete meetodite hulka, mis sisaldab endas hoonete orienteeritust päikese suhtes, materjalide valimist lähtudes nende soojusmahutavusest ning valguse hajutamise omadustest ja looduslikku õhuringlust soodustavate ruumide disainimist. Aktiivseteks meetoditeks on fotogalvaanika, millega toodetakse elektrit, ja päikese soojusenergiat, mida kasutatakse vee soojendamiseks ning selle abil ka elektri tootmiseks. Kõik need tehnoloogiad on potentsiaalsed maailma energiavajaduse probleemi lahendajad, kuna päikeselt saadav energia hulk on inimkonna energiatootlikusega võrreldes tohutu.

Maale jõuab 174 PW(petavatti) päikesekiirgust, see on võrdne 174\*10 PJ (petadžauliga) igas sekundis. Vaatamata sellele, et umbes 30% päikesekiirgusest peegeldub tagasi, neeldub maas, ookeanides ja atmosfääris 3,850,000 EJ(eksadžauli) päikeseenergiat aastas. See teeb ühes tunnis rohkem energiat kui inimkond kulutas terve 2002. aasta vältel. Tabelis 2 on toodud välja ka mõningad võrdlused, mis annavad aimu päikeseenergia potentsiaalset.

**Tabel 2: Energiahulkade võrdlus**

Aastased energiahulgad eksadžaulides	
Päiksesenergia (mis neeldub maas ja atmosfääris)	3,850,000 EJ
Tuule energia	2,250 EJ
Biomassi energia	3,000 EJ
Inimkonna energiakasutus aastal 2005	487 EJ
Elektritoodang aastal 2005	56.7 EJ
Euroopa Liidu kõigi 27 liikmesriigi elektritoodang aastal 2011	11.22 EJ

Moodsatest tehnoloogiatest ilmselt kõige lihtsam (ja odavam) päikese energia kasutamise meetod, on koduse vee soojendamine. Väikestel laiuskraadidel (alla 40°) 60-70% kodusest soojast veest (kuni 60 °C) on võimalik toota päikesekütte süsteemidega. Aastal 2007 oli päikese soojavee süsteemide koguvõimsus umbes 154 GW (gigavatti), millest veidi alla poole (70 GW) asub Hiinas. Hiina eesmärgiks on 2020. aastaks päikese soojavee süsteemide võimsust suurendada 210 GW-ni. Arvestades Hiina rahvaarvu, moodustab päikeseenergia kasutamine vee soojendamiseks seal siiski väikese osa. Võrdluseks: Iisraelis (Joonis 10) ja Küprosel kasutab enam kui 90% kodudest päikesekütet vee soojendamiseks. Individuaalsetele veesoojendajatele loogiliseks jätkuk oleks suuremõõtmelised päikese soojuselektriijaamad. -

Päikses-soojuselektriijaamad kasutavad kontsentreeritud päikese valgust (*inglise k. CSP-concentrated solar power*) vee või mõne muu vedeliku/gaasi soojendamiseks (*working fluid* – termodünaamilistes süsteemides vedelik või gaas, mis neelab/edastab energiat). CSP süsteemid kasutavad läätsi või peegleid ja jälgimissüsteemi fokuseerimaks päikesevalgust kindlasse punkti. Sellega soojendatakse vedelikku/gaasi (*working fluid*), mida seejärel kasutatakse kas elektri tootmiseks või energia salvestamiseks. Selle tehnoloogia kasutamises on juhtivateks riikideks USA, kus asub suurim päikese-

soojuselektrijaam ja Hispaania, kus on kümnest maailma suurimast päikese-  
soojuselektrijaamast kuus (Joonis 11).



**Joonis 10: Vee soojendajad Iisraeli majakatustel.<sup>41</sup>**



**Joonis 11: päikese-soojuselektrijaam AZ 20 Hispaanias.<sup>42</sup>**

Kui päikese-soojuselektrijaamad kasutavad päikesekiirgust vedeliku, gaasi või spetsiaalse soola soojendamiseks, mille abil saab elektrit toota, siis fotogalvaanilistes süsteemides toodetakse elektrit otse päikesevalgusest, kasutades selleks päikeseelemente ehk fotogalvaanilisi elemente.

Päikeseelementides leiab aset fotogalvaaniline efekt – footonite neeldumine pooljuhtmaterjalis tekitab elektripinget. Esimese eksperimentaalse fotogalvaanilise efekti

demonstratsiooni sooritajaks oli 19 aastane prantsuse füüsik A.E. Becquerel, kes 1839. aastal ehitas esimese fotogalvaanilise elemendi. Siiski alles 1883. aastal ehitas Charles Fritts esimese tahke päikeseelemendi. Tema kasutatud lahendus andis umbes ühe protsendilise efektiivsuse. 1905. aastal seletas Albert Einstein fotoefekti olemust, mille eest anti talle 1921. aastal Nobeli füüsika preemia. 1946. aastal patenteeris Russell Ohl esimese moodsa päikeseelemendi, mille efektiivsus oli jätkuvalt alla 1%. Esimene praktiline päikeseelement arendati 1954. aastal, milles räni kasutamine tõstis efektiivsuse 6%-ni.

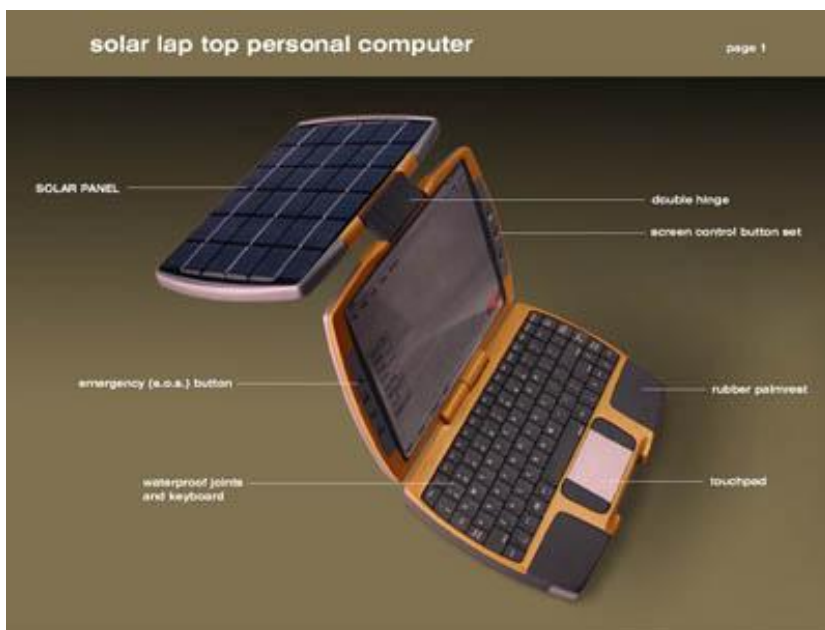
Kuigi 15. Oktoobril 2012 jõuti päikeseelementidega rekordilise 44% efektiivsuseni, on päikese-soojuselektrijaamad siiski soodsamad ja efektiivsemad kui fotogalvaanilisi lahendusi kasutavad elektrijaamad. See siiski ei tähenda, et viimast meetodit ei kasutata aktiivselt, otse vastupidi. Suurimad CSP süsteemidega elektrijaamad jäävad oma elektritoodangult enam kui kahekordselt alla suurimatele fotoefekti kasutavatele elektrijaamadele. Viimastest suurim on 2012. aastal valminud, enam kui 600 megavatine päikeseпаркide kogum Indias. Maailma üks suurimaid arendajaid selles valdkonnas on aga Saksamaa (Joonis 12), kus 31. Oktoobri seisuga (2012) oli elektrivõrku ühendatud 31.62 GW jagu päikesepaneele, millele tuleb veel juurde arvestada elektrivõrku mitte ühendatud mikrotootjad.



**Joonis 12: 40 MW Waldpolenzi päikeseelektrijaam Saksamaal.<sup>43</sup>**

Erinevalt CSP süsteemidest on päikeseelemente võimalik valmistada ka väikeste paneelidena, mistõttu saab neid kasutada eramajade elektriga varustamisel, päikeseenergiaal sõitvates sõidukites ning väikeseadmetes nagu kalkulaatorid, mobiililaadijad,

aialambikesed jne. Näiteks 2001. aastal seadis päikesejõul töötav piloodita lennuk propellerlennukite kõrgusrekordiks 29,525 meetrit. Ka arvutimaailmas on päikesepaneelid kasutust leidnud, nii sülearvutite laadijates kui ka sülearvuteis endis (Joonis 13 **Error! Reference source not found.**).



**Joonis 13: Täielikult päikesejõul töötav sülearvuti.<sup>44</sup>**

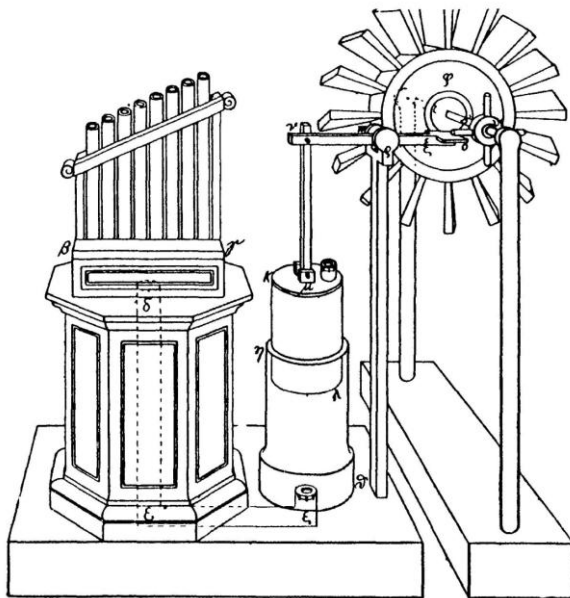
Päikeseenergia potentsiaal alles ootab kasutamist. Päikesepaneelide ja CSP süsteemide efektiivsus tõuseb igal aastal. Järjest enam seadmeid sisaldavad endas päikesepaneele, säästmaks elektrit ja seeläbi ka loodust. Samas päikeseenergia pole ainus alternatiivne energiaallikas fossiilsetele kütustele. Järgmises punktis käsitleme tuuleenergiat, mis on tegelikult seotud päikesega, kuna tuule tekkimine on otseses seoses päikesekiirgusega.

### **1.3.2 Tuuleenergia**

Järgmine punkt on koostatud, toetudes materjalidele [45-62]. Päikse soojendab maad erinevates kohtades erinevalt. See toob kaasa õhu tiheduse ja seega ka õhurõhu muutused, mis omakorda on tuule põhjustajaks. Tuul on taastuv energiaallikas, kuid erinevalt päikese stabiilsest tsüklis on tuul ettearvamatu ja seega on seda keerulisem

produktiivselt kasutada. Vaatamata sellele nähakse tuules potentsiaali ja seda on kasutatud juba aastatuhandeid.

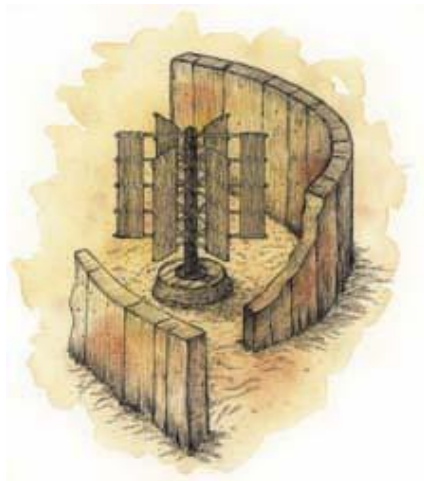
Inimkonna ajaloo omab tuul suurt rolli, seda ka energiaallikana. Juba umbes 4000 aastat eKr olid Egiptuses ja Foiniikias kasutusel riidest purjega kitsad purjekad. Järgnevate tuhandete aastate vältel oli purjelaev praktiliselt ainus vahend pikemateks reisideks ja kaubavedudeks. Esimesed tuulikud olid Pärsias kasutusel juba 200 aastat eKr ning esimese tuule jõul töötava masina, Heroni tuuleratta (Joonis 14), konstrueeris Kreeklane Heron esimesel sajandil pKr.



**Joonis 14: Heroni orel, esimene tuule jõul töötav seade.<sup>51</sup>**

Andmed esimestest praktilistest tuulikuteist pärinevad 9. sajandist (võimalik et isegi 7. sajandist) tänapäeva Iraani ja Afganistani piirilt. Sealsed tuulikud olid 6-12 ristkülikukujulise riidest või pilliroost „purjega“ horisontaalsed seadeldised, mida kasutati jahvatamiseks ja vee pumpamiseks. Sellised tuulikud (Joonis 15) levisid Lähis-Idas ja Kesk-Aasias ning hiljem ka Indias ja Hiinas. 1180-ndate alguses hakati Loode-Euroopas jahu jahvatamiseks kasutama vertikaalsete tiivikutega tuulikuid. Esimene kindel viide tuulikule pärineb aastast 1185 (Weedley, Yorkshire, Inglismaa). Esimesed tuulikud Euroopas olid pukktuulikud (Joonis 16) – tuuleveskid, mille kogu konstruktsioon asub ühe ümara posti otsas ja mida on võimalik pöörata vastavalt tuule suunale. 14. sajandil kasutati Hollandis

tuulikuid Reini jõe delta kuivendamiseks. 1900-ndaks aastaks oli Taanis umbes 2,500 tuulikut (koguvõimsusega umbes 30MW). Ameerika keskläänes ehitati vahemikus 1850-1900 hinnanguliselt 6 miljonit väiketuulikut vee pumpamiseks.

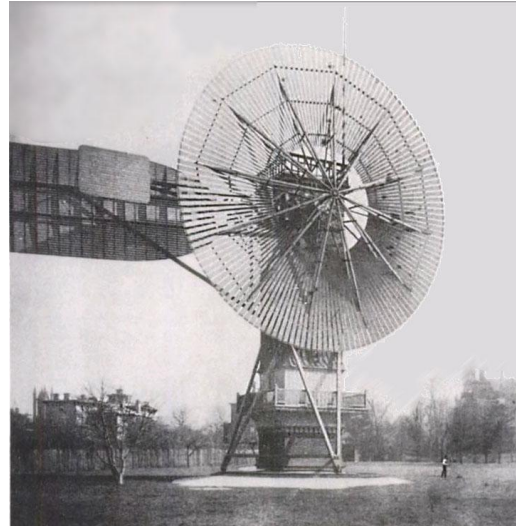
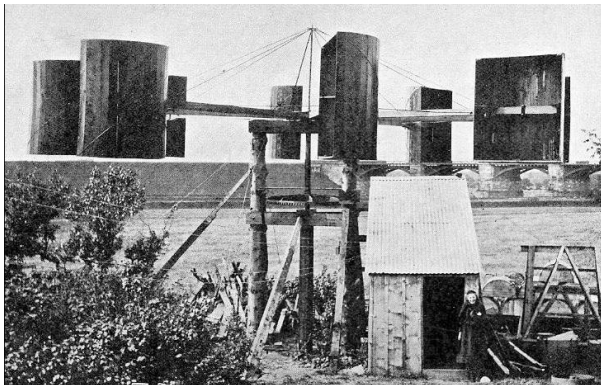


**Joonis 15: Iidne Pärsia tuulik.<sup>54</sup>**



**Joonis 16: Eemu pukktuulik, Muhumaal.<sup>59</sup>**

Esimese elektri tootmiseks kasutatud tuuliku (Joonis 17) ehitas James Blyth 1887. aasta juulis Šotimaal, kasutades seda patareide laadimiseks. Blyth oli ka esimene, kelle kodune valgustus tuli tuuleenergiast. Mõni kuu hiljem ehitas Ameerika leiutaja Charles F. Brush esimese automaatse tuuleturbiini ( Joonis 18). 1890-ndatel konstrueeris Taani teadlane, Poul al Cour tuuleturbiini, mille toodetud elektrit kasutati vesiniku tootmiseks Askovi keskkooli valgustamiseks. Tänapäevaste horisontaalse teljega tuulegeneraatorite eelkäijaks oli Jaltas (NSVL) 1931. aastal 30-meetise torni otsa püstitatud 100 kilovatine tuulegeneraator. Selle aastaseks kasuteguriks öeldi 32%, mis ei erine palju praegustest tuulegeneraatoritest. Maailma esimene mitme-megavatine tuuleturbiin ehitati 1978. aastal Taanis, tuues revolutsiooni tuule-energeetikasse. Umbes samal ajal hakati USA-s jõudsalt tuuleenergeetikat arendama, millest võttis osa ka selline suur tegija nagu NASA(*National Aeronautics and Space Administration* – Riiklik Aeronautika- ja Kosmosevalitsus).



**Joonis 17: James Blyth'i tuuleturbiin (1891).<sup>51</sup> Joonis 18: Charles F. Brush ehitatud turbiin (1887).<sup>51</sup>**

Paljud tuulegeneraatoritele soodsad asukohad maal on hõivatud teiste rajatistega, samuti leidub palju inimesi, kelle arvates on tuuleturbiinid ohtlikud (nt lindudele) või häirivad (nt müra tõttu). Seetõttu otsitakse lahendust merelt, kuhu on rajatud palju avamere tuuleparke (Joonis 19). 21. sajandil on hakatud arendama ka süvavee tuuleparke. Aastal 2009 valmis esimene süvavee tuulik Hywind, mis paigutati Põhjamerre, 10 km kaugusele Norra rannikust. See 220 meetri sügavusse vette paigutatud tuulik on suurim hulpiv tuuleturbiin ja selle ehitamine läks maksma 400 miljonit Norra krooni (54.5 miljonit eurot). Aastal 2011 teatas Jaapan plaanist, rajada Fukushima rannikule 6-st kahe-megavatisest turbiinist koosnev ujuv tuulepark leevendamaks tsunami tõttu kannatanud piirkonna energiavajadust. Aastaks 2020 plaanitakse jõuda 80 ujuva tuuleturbiinini.



**Joonis 19: Sheringham Shoal - avamere tuulepark Inglismaa rannikul.<sup>60</sup>**

Tuuleturbiin on seade, mis muudab tuule kineetilise energia mehaaniliseks energiaks. Teoreetiliselt, saamaks tuulest maksimaalselt energiat, peaks tuule kiirus protsessi käigus vähenema nullini. Reaalsuses on see võimatu, kuna turbiini poolt kinni püütud õhk peab sealt ka lahkuma. Siit tuleneb Betz'i seadus, mille kohaselt maksimaalne turbiini poolt kogutav energia on 59.3% tuule teoreetilisest koguenergiast. Avestades siia juurde ka erinevates komponentides tekkivad energia ülekandmise ning hõõrdumise kaod, jääb tänapäeva tuuletubiinide maksimaalseks kasuteguriks umbes 40-50%.

Tuuleturbiinid jaotatakse reeglina telje asetuse põhjal kaheks – horisontaalse teljega ja vertikaalse teljega turbiinideks. Praegu domineerivad tuuleenergeetikas horisontaalse teljega turbiinid (*HAWT – Horizontal-axis wind turbines*), aga viimase paari aasta jooksul on tehtud mitmeid katseid ja uuringuid, mis väidavad, et vertikaalse teljega turbiinid (*VAWT – Vertical-axis wind turbines*) võivad olla isegi efektiivsemad, kui HAWT tüüpi turbiinid. Erinevalt HAWT tüüpi turbiinidest ei vaja VAWT tüüpi turbiinid suunamist, vaid neile sobib tuul igast suunast ning samuti saab VAWT turbiine tunduvalt tihedamini asetada.

HAWT tüüpi turbiinidel (Joonis 20) asetseb pearootori võll ja generaator torni otsas ja see peab olema suunatud vastutuult. Väiksed turbiinid suunatakse vastutuult kasutades lihtsat tuulelippu, suurematel turbiinidel kasutatakse tuulesensorit koos servomootoriga – tagasisidestatud täpne mootor, mis on laialdaselt kasutuses automaatikas ja robotikas. Enamikel turbiinidel on ka käigukast, mis muudab labade aeglase pöörlemise kiiremaks, elektrigeneraatorile sobivamaks pöörlemiseks. Vältimaks torni poolt tekitatavat turbulentsi asetatakse turbiin torni suhtes ülestuult, kuigi on tehtud ka versioone, kus see asetseb allatuult. Allatuult asetsevate turbiinide eeliseks on, et neil ei pea olema lisaseadet tuulega joondumiseks ja labad võivad olla painduvad, mis vähendab koormust suure tuule korral. Kuid kuna torni poolt tekitatav turbulents võib tekitada konstruktsioonis ohtlikku „väsimumust“, kasutatakse enamikes HAWT tüüpi turbiinides siiski ülestuult disaini.



**Joonis 20: HAWT tüüpi turbiinidega tuule farm (California, USA).<sup>61</sup>**

VAWT tüüpi turbiinides (Joonis 21, Joonis 22) asetseb pearootori võll vertikaalselt. Selle konstruktsiooni põhieeliseks on, et turbiini ei pea efektiivsuse tagamiseks suunama vastutuult. See tuleb kasuks kohtades, kus tuule suund on muutlik. Vertikaalne võlli asetus lubab generaatori ja käigukasti paigutada maa lähedale, muutes hooldustööd mugavamaks (parem kättesaadavus). Asetades turbiini maja katusel õigele kõrgusele, on võimalik tootlikust märgatavalt suurendada, sobivates tingimustes isegi kahekordistada.



**Joonis 21: Suurim VAWT tüüpi turbiin (Quebec, Kanada).<sup>62</sup> Joonis 22: VAWT tüüpi turbiin maja katusel.<sup>51</sup>**

Siiamaani nimetatud HAWT ja VAWT tehnoloogiad on mõlemad kasutatavad ainult maapinnal või vee peal, kus tuul on suhteliselt nõrk ja muutlik. Kuid juba 1833-ndal aastal osati unistada suuritel kõrgustel asuvate konstantsete tuulte kasutamisest tuuleenergeetikas. Hetkel on HAWP (*High-altitude wind power*) tehnoloogia alles arendusjärgus ja seetõttu me sellel pikemalt ei peatu. Selle asemel jätkame vee-energiaga, mis nagu tuuleenergiagi on aine (õhk, vesi) liikumisest tuleneva kineetilise energia rakendamine töö tegemiseks või elektri tootmiseks.

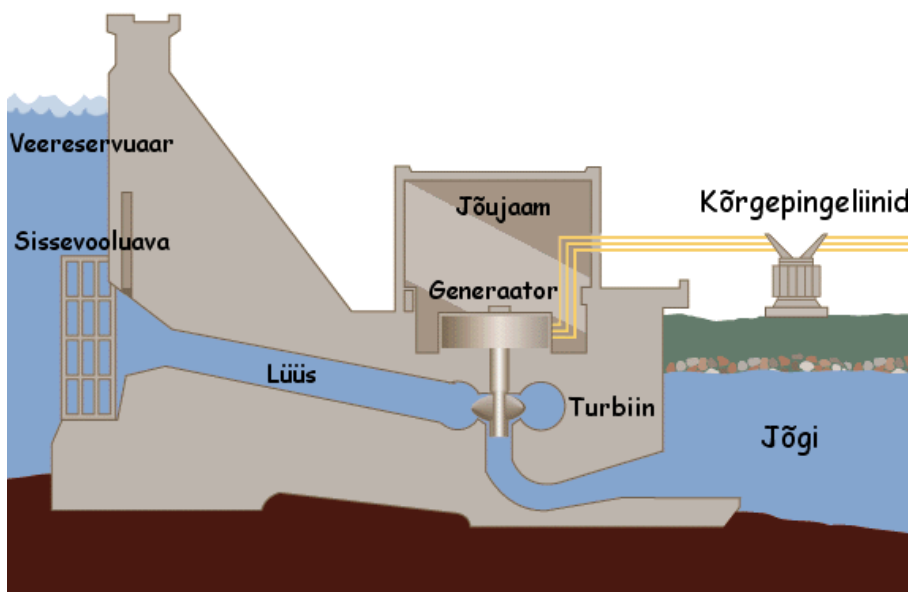
### **1.3.3 Vee-energia**

Selles punktis vaatame vee-energiat. See punkt on koostatud, toetudes materjalidele [63-68]. Vee energia, nagu tuule energiagi, on osakeste liikumises peituv jõud. Erinevalt tuulest, mis tekib päiksesoojusest tingitud temperatuuride muutumisel, on vee liikumises leiduva energia allikateks, lisaks päikesele, ka gravitatsioon. Kusjuures mitte ainult Maa gravitatsioon vaid ka Kuu külgetõmbejõud. Sellest tulenevalt jaguneb vee-energia erinevateks alamliikideks. Kõigepealt käsitleme hüdroenergiat, kuna see on ainus vee-energi liik, mida saab kasutada LEGO taastuenergia komplekti kuuluvate seadmetega.

#### **1.3.3.1 Hüdroenergia**

Esimene inimese poolt kasutusele võetud ja siiani aktiivseimalt kasutatav vee-energia alaliik on hüdroenergia ehk hüdrauliline energia. Hüdroenergia on mehaanilise energia liik, mis vabaneb vee vabal langemisel. Selle algallikateks on päikeseenergia ja Maa gravitatsioon. Päikese soojus võimaldab vee osakestel liikuda punktidesse, kus Maa külgetõmbe mõjul on veel võimalik liikuda allamäge – moodustades jõgesid. Sellise energia rakendamiseks elektritootmises ehitatakse jõgedele hüdroelektrijaamu (Joonis 23) (HEJ) kus vee potentsiaalne energia muundatakse elektrienergiaks.

## Hüdroelektrijaam



Joonis 23: Hüdroelektrijaama tööpõhimõtte joonis.<sup>68</sup>

Eelneval joonisel välja toodud süsteem on seotud tammi ja veereservuaariga, mis võimaldab veel koguneda, andes sellele suurema jõu (kas surve või langu suuruse abil) ja tagab stabiilse veevaru olemasolu. Tammiga HEJ-de kõrval kasutatakse ka ROR (*Run-of-the-river*) tehnoloogiat, kus veereserv kas absoluutselt puudub või eksisteerib suhteliselt väikese tiigi/basseini näol. Seega sõltuvad ROR tüüpi hüdroelektrijaamad suurel määral hetkelisest veevoolust, mis muudab energia tootmise aasta lõikes kõikumaks.

Hüdroelektrijaamadel on teiste energiatootmisviiside ees mitmeid eeliseid, kuid leidub ka puuduseid. Peamisteks eelisteks on madal elektri hind ja sobivus tööstuslikuks tootmiseks (mitmed HEJ-d on ehitatud tootmaks energiat suurtele alumiiniumi elektrolüütamise tehastele). HEJ-de tammid võimaldavad elektri tootmise paindlikkust ning nende taga olevad reservuaarid omavad ka veehoidla eesmärki, võimaldades ümbruskonna inimestele joogi- ning niisutusvett. Puuduste alla läheb looduse ja inimasustuse mõjutamine. Reservuaari loomisel alade üleujutamise ja kaasnevad ökosüsteemi kahjustused ning suure hulga maa vee alla jäämine. Tammide purunemisele võivad järgneda katastroofiliste purustustega üleujutused. HEJ ehitades tuleb kõike seda arvestada, mis tõstab HEJ-de rajamise kulukust märkimisväärselt, pidades silmas rajatava jaama võimsust.

HEJ-d jagatakse võimuse järgi nelja kategooriasse. Väikseimad, kuni 5 KW (kilovatti), kuuluvad kategooriasse piko. Piko HEJ-d on levinud eemalasuvates väikeasundustes, kus neid kasutatakse paari elektripirni ning näiteks televiisori töös hoidmiseks. Reeglina on tegemist ROR tüüpi seadistustega, kus vesi juhitakse toru pidi turbiini ja seejärel suunatakse oja/jõkke tagasi. Isegi väikesed 200-300 W turbiinid suudavad varustada ühte majapidamist vajamineva elektriga. Veidi suuremad, mikro HEJ-d on kuni 100 KW-se võimsusega turbiinid, mida mõningates piirkondades kasutatakse fotoelementide täiendusena, kus nad toovad suurimat kasu eelkõige talvisel ajal, mil päikesevalgust on vähem. Kolmandaks klassiks on väikesed HEJ-d. Selle klassi ülempiir varjeerub piirkonniti, olles 10-st MW-st kuni 30-ne MW-ni või isegi suurem. Piir väikeste ja suurte HEJ-de vahel on hägune, kuna puudub kindel klassifikatsioon. Reeglina arvestatakse jaamad, mille võimsus algab paarisajast MW-st, suurte jaamade hulka. Hetkel suurimad töös olevad HEJ-d, mille võimsus ulatub üle 10 GW, on Venezuelas asuv Guri tamm - 10.2 GW, Brasiilia ja Paraguai piiril asuv Itaipu tamm - 14 GW (Joonis 24) ning Hiinas asuv Kolme Kuru tamm - 22,5 GW. Kolme Kuru tammi aasta keskmine energia tootmine on siiani siiski Itaipu tammile alla jäänud.



**Joonis 24: Itaipu tamm Brasiilia ja Paraguai piiril.<sup>69</sup>**

Eelnevalt mainiti, et hüdroenergia üheks algallikaks on päiksesenergia, mis vee aurustamisega seda üles poole liigutab. See ei pruugi aga alati nii olla. Mõningates

elektrijaamades on päikese töö enda peale võetud ja vett pumbatakse madalamalt kõrgemale. Selle eesmärgiks on elektrijaama koormuse ühtlustamine – madala tarbimise ajal pumbatakse vesi üles ja kõrge tarbimise ajal lastakse veel läbi turbiini alla voolata. Selline teguviis võimaldab kõrge tarbimise ajal, mil elektri hind on kõrgem, rohkem elektrit toota ja müüa.

Hüdroenergia ei ole kaugeltki ainus vee-energia liik. Sellele lisaks on ka loodeteenergia, laineenergia, hoovuste energia, osmoos ja ookeani soojusenergia konvektsioon. Kuna LEGO taastuvenergia komplekt nende kasutamist ei võimalda, me siin nendest rohkem juttu ei tee, kuid huvi korral võib lisaks lugeda lisades. Loodeteenergiast saab lugeda lisas 1, ning lisas 2 on kokku koondatud info laine- ja hoovuste energia ning osmoosi ja konvektsiooni kohta.

Nüüd, olles tutvunud peamiste taastuvate energiaallikatega, mis on kasutatavad LEGO taastuvenergia komplektiga, on mõistlik jätkata teise peatükiga, kus räägime nimetatud komplektist lähemalt.

## **2 LEGO taastuenergia komplekt ja selle kasutamine**

Siiamaani oleme rääkinud erinevatest taastuvatest energiaallikatest ja nende rakendamise võimalustest, nüüd läheme selle bakalaureusetöö peamise eesmärgi juurde – tutvustada LEGO taastuenergia komplekti ja selle kasutamist. Taastuenergia komplekt on üks osa LEGO programmist, mille eesmärgiks on suunata õpilasi tegelema teadusega ning muuta õppimine mängulisemaks. Selles peatükis kirjeldame kõiki komplekti komponente ning nii komplekti iseseisvat kui ka koos LEGO Mindstorms NXT robotika komplektiga kasutamist.

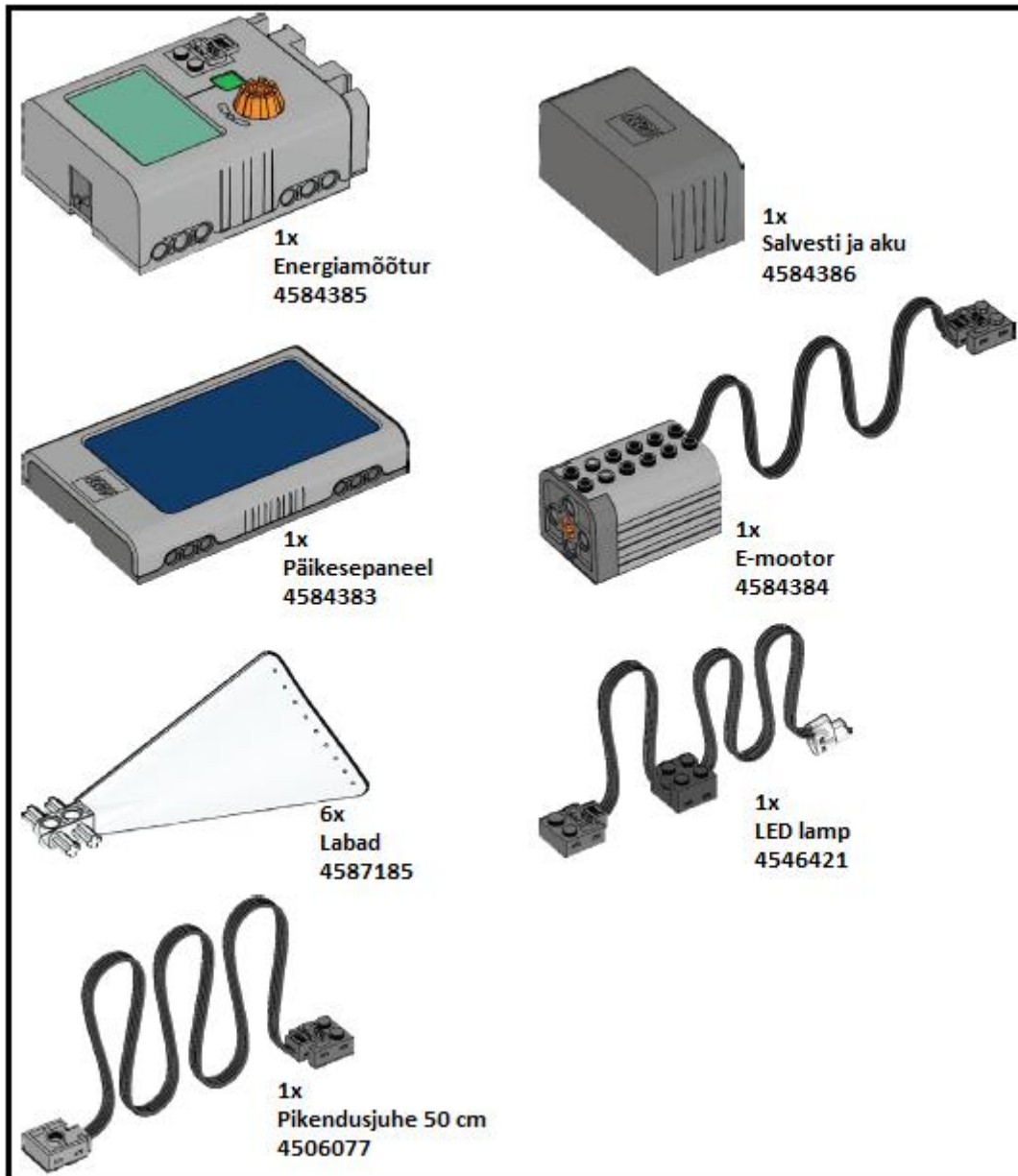
LEGO taastuenergia komplekt koosneb kahest eraldiseisvast osast, mida reeglina kasutatakse koos. Esimese osa moodustab LEGO ehituskomplektiga kasutamiseks mõeldud taastuenergia lisamoodul, mida on võimalik ka iseseisvalt kasutada. Teise osa moodustab CD peal olev tegevuste pakett, mis sisaldab endas mitmeid materjale, juhendeid ja õpetusi. Tegevuste pakett on spetsiaalselt koostatud lisamaterjal õpetajatele taastuenergia mooduli lihtsamaks rakendamiseks õpetamisel. Suur osa selle peatüki materjalidest on koostatud lähtudes tegevuste paketi CD peal olevatest materjalidest. Järgnevalt tutvustame lähemalt taastuenergia mooduli kõiki komponente ja nende kasutamist.

### **2.1 Taastuenergia mooduli komponentide kirjeldused ja kasutusjuhendid.**

Selles punktis teeme lähemalt tutvust taastuenergia mooduliga. Taastuenergia moodul sisaldab endas järgmisi komponente (Joonis 25): energiamõõtur koos akuga, päikesepaneel, e-mootor, labad (tuule- või hüdroturbiini konstrueerimiseks), LED lamp ja 50 cm pikkune pikendusjuhe. Lisaks on komplektis viis ehitusjuhendite voldikut kuue põhimudeli konstrueerimiseks.

Taastuenergia mooduli eesmärgiks on tutvustada õpilastele erinevaid taastuenergiaallikaid ja nende kasutamist. Mooduli põhikomponendi – energiamõõturi abil

saavad õpilased uurida erinevaid energiaallikaid ning teostada mõõtmisi. Päiksepaneel võimaldab püüda päikeseenergiat ja võrrelda, kuivõrd palju erineb päikesevalgus tehisvalgusest. E-mootor annab võimaluse püüda tuule ja vee kineetilist energiat, võrrelda neid inimjõuga (nn kondimootor) ja näidata ülekandemehhanismide olulisust.



**Joonis 25: Taastuenergia mooduli komponendid.**

Järgnevates punktides vaatame detailsemalt energiamõõturit, päikesepaneeli ja e-mootorit.

## 2.1.1 Energiamõõtur

Taastuvenergia mooduli põhikomponendiks on energiamõõtur koos akuga, mis käitub ka salvestina. Energiamõõtuuri salvesti salvestab energia, mis on genereeritud päikesepaneeli või e-mootori abil. Kui aku ei ole mõõtuuri külge ühendatud, võib piisava energiasisendi korral (päikesepaneelist või e-mootorist) mõõtuuri ekraan töötada, kuid edastatav näit ei ole sellisel juhul õige. Ekraanil nädatavad näidud uuendatakse iga 0.5 sekundi tagant. Näidud arvutatakse 0.5 sekundi jooksul võrdsete vahedega tehtud 100 mõõtmise tulemusena. Sõltuvalt sisendist, peaks see andma piisavalt konstantsed ja lihtsalt loetavad mõõtmised. Siin kohal on ilmselt mõistlik esitada ka energiamõõtuuri tehnilised andmed (Tabel 3: Energiamõõtuuri tehnilised andmed Tabel 3).

**Tabel 3: Energiamõõtuuri tehnilised andmed**

Sisendpinge	0,0-9,9 V (volti)
Sisendvool	0,000-0,200 A (amprit)
Sisendvõimsus	$W = V \times A$ (vatti)
Väljundpinge	0,0-9,9 V
Väljundvool	0,000-0,450 A
Väljundvõimsus	$W = V \times I$
Akumuleeritud energia	0-100 J (džauli)
Energiamahutavus	150 mAh (milliamper-tundi)

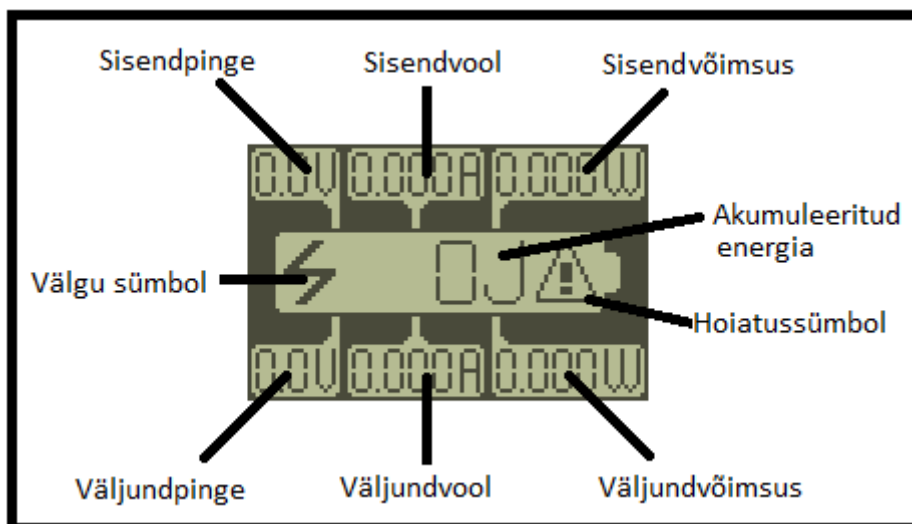
Järgnevalt anname detailse kirjelduse energiamõõtuurist (Joonis 26).



**Joonis 26: Energiamõõtur.**

1. **LEGO Mindstorms väljund port** –, mis võimaldab seadet kasutada koos LEGO Mindstorms'ga (rohkem infot [www.MINDSTORMSeducation.com](http://www.MINDSTORMSeducation.com)).
2. **Ekraan** – näitab sisend- ja väljundandmeid, energia staatust ja veateateid.
3. **Kahesuunaline kontrollüliti** – Võimaldab kontrollida energia väljundi funktsiooni (e-mootori pöörlemise suunda). Keskmises asendis on energia väljund välja lülitatud.
4. **Sisse/Välja lüliti** – Lühike vajutus lülitab seadme sisse või välja. Nupu all hoidmine kaks sekundit lähtestab salvestatud energiahulga (näidatud ekraanil 0-100 J). Nupu all hoidmine kümme sekundit alustab aku tühjaks laadimise protsessi.
5. **Väljundpistik** – Sinna ühendatakse e-mootor või LED lamp, et kasutada salvestatud energiat ja mõõta energiakulu, mis on vajalik nende kasutamiseks. Minimaalselt 1 J jagu energiat peab olema salvestatud, enne kui seda saab väljastada.
6. **Sisendpistik** – Sinna ühendatakse päikesepaneel või e-mootor, mille abil genereeritakse energiat, mis salvestatakse salvestis.

Järgnevalt vaatame lähemalt energiamõõturi ekraanil (Joonis 27) leiduvaid elemente ja nende tähendusi.



Joonis 27: Energiamõõturi ekraani elemendid.

**Akumuleeritud energia** – eksperimentide käigus energia sisendit mõõtes mõõtur salvestab genereeritud energia. Kui salvestatud energis hulk jõuab 100 džaulini:

- Akumuleeritud energia sümbol hakkab ühe-sekundilise intervalliga vilkuma.
- Sisendpinge mõõtmist jätkatakse ja väljastatakse ekraanile.
- Sisendvoolu ja sisendvõimsuse näit kuvatakse nullid (0).

**Energiamõõtuuri aku energiatase on madal** – Pärast mõningast kasutamist hakkab välgu sümbol ühe-sekundilise intervalliga vilkuma. See tähendab, et mõõtuuri akut tuleks laadida. Mõõtuuri kasutamist võib jätkata, kuni välgu sümbol lõpetab vilkumise ja jääb konstantselt põlema (vaata 'Energiamõõtuuri aku on tühi' allpool). Soovituslik on mõõtuurit pärast ekperimendi lõpetamist laadida.

**Energiamõõtuuri aku on tühi** – Kui välgu sümbol jääb konstantselt põlema, näitab see, et mõõtuuri aku on tühi ja seda ei saa enne kasutada enne, kui see on uuesti täis laetud.

**Energiamõõtuuri aku laadimisel** – Mõõtur peab olema sisse lülitatud. Laadimise ajal mõõdetakse ja kuvatakse sisendpinget.

**100 J ja aku laetus** – Näit '100 J' ekraanil ei tähenda, et mõõtuuri aku on täis laetud. Mõõtur lülitab automaatselt välja, kui aku saab täis.

**Energiamõõtuuri aku tühjaks laadimisel** – Kolmnurkne hoiatussümbol vilgub ühe-sekundilise intervalliga näitamaks, et mõõtuuri akut laetakse tühjaks.

**Laadimine on lõppenud** – Ekraan lülitatakse välja

**Väljund ülekoormatud** – Kui akumuleeritud energia näit ja väljundpinge lähevad nulli ning välgu sümbol vilgub ühe-sekundilise intervalliga, siis tähendab see, et väljund on ülekoormatud. Pärast seda on soovituslik mõõtuuri akut laadida. **Väljundit ei tohi üle koormata.**

**Energiamõõtuuri aku viga** – Kui kolmnurkne hoiatussümbol põleb konstantselt, näitab see, et mõõtuuri akuga on mingi probleem. Aku tuleks mõõtuuri küllest lahti ühendada ja kontrollida, et ühendused oleksid puhtad. Kui tagasi ühendamisel hoiatussümbol taas ilmub, tuleks aku välja vahetada.

Järgnevalt ka mõned tekkida võivad probleemid ja nende lahendused.

**Ekraan läheb tühjaks** – Mõõtur on disainitud ennast ise, pärast 15 minutilist aktiivsusetust, välja lülitama. Kui ekraan sisse lülitamisel tühjaks jääb, kontrollige et aku oleks korralikult ühendatud ja täis laetud.

**Energiamõõtur ei lae** – Kontrollige, et energiaallikas oleks korralikult ühendatud (sisendpistiku kaudu). Proovige kasutada teist akut, tegemaks kindaks, kas viga on akus.

**Energiamõõtur ei käivitu** – Eemaldage aku 5 minutiks, ühendage uuesti ja laadige.

**Ühendatud seadmed ei saa energiat** – Kontrollige, et seade on korralikult ühendatud (väljundpistiku kaudu). Tehke kindlaks, et kahe-suunaline kontrolllülitid ei oleks välja lülitatud ja et mõõturis oleks piisavalt energiat salvestatud.

Olulise osa energiamõõtuuri kasutamises, ja mõõtuuri aku maksimaalse eluea tagamisel moodustab laadimine. Enne mõõtuuri esmakordset kasutamist tuleb akut kolm korda laadida, tagamaks suurim võimalik mahutavus. Samuti on kolmekordne laadimine soovitatav pärast pikaaegset mittekasutuse perioodi või pika mittekasutuse perioodi ajal iga kuue kuu tagant, olenevalt kumb enne kätte jõuab. Regulaarsel kasutusel piisab ühekordsest laadimisest. Mõõtuuri akut ei tohiks manuaalselt tühjaks laadida, välja arvatud aku kolmekordsel laadimisel, kus see on vajalik. **Pärast kasutamist tuleks aku alati mõõtuuri küljest lahti ühendada.**

Energiamõõtuuri aku laadimiseks on kolm moodust. Esimene on kasutades seadet "LEGO Power Function akuboks", mille jaoks on vaja kuute AA patareid või akut. Detailset juhendit saab lugeda lisas 3 – „Energiamõõtuuri laadimine kasutades LEGO Power Function akuboksi“. Teine meetod on, kasutades seadet „LEGO Power Functions taaslaetav akuboks“, mille täpsema kasutuse kohta saab lugeda lisas 4 - „Energiamõõtuuri laadimine kasutades LEGO Power Functions taaslaetavat akuboksi“. Kolmandaks laadimise meetodiks on kasutada LEGO Mindstorms NXT-d. Selleks on vajalik spetsiaalne adapter ning tuleb kirjutada üks lühike programm. Sellest täpsemalt lisas 5 – „Energiamõõtuuri laadimine kasutades LEGO Mindstorms NXT-d.“

## 2.1.2 Päikesepaneel

Päikesepaneel (Joonis 28) muundab päikeseenergia elektrienergiaks. Ideaalne valgusallikas oleks looduslik päikesevalgus. Selle võimaluse puudumisel on kasutatavad ka tehis valgusallikad. Kasutades hõõglampi, tuleb olla ettevaatlik, kuna hõõglambid toodavad palju soojust. Lamp tuleks tööle panna ainult lühikesteks perioodideks ning päikesepaneel tuleks asetada lambist mõistlikule kaugusele (vähemalt 8 cm või piisavalt kaugemale, et vältida kuumakahjustusi). Säästupirne ei tasu kasutada, kuna nende tekitatud valgus ei ole piisavalt ere.



**Joonis 28: LEGO taastuenergia komplekti kuuluv päikesepaneel.<sup>70</sup>**

Päikesepaneeli võib ühendada energiamõõturiga või otse e-mootoriga. Piisava valguse korral toodab päikesepaneel piisavalt energiat, et varustada nii energiamõõturit kui ka e-mootorit tööks vajaliku energiahulgaga.

Päikesepaneel koosneb neljateistkümnest päikeseelemendist ja neljast diodist. Paneeli väljundpingeks on umbes 7 V. Päikesepaneel toodab:

- 6.5 V, 100 mA > 100,000 lx juures (päevavalgus õues)
- 6.5 V, 50 mA > 50,000 lx juures (päevavalgus sees)
- 5 V, 4 mA > 2,000 lx juures (60 W hõõglambi pirn 25 cm kaugusel paneelist)
- 5 V, 20 mA > 10,000 lx juures (60 W hõõglambi pirn 8 cm kaugusel paneelist)

**Luks** (tähis **lx**), ladinakeelsest sõnast *lux* 'valgus', on valgustatuse ühik SI-süsteemis. Pinna valgustus on 1 lx, kui pinna 1 ruutmeetrile langeb valgusvoog 1 lumen.

### 2.1.3 E-mootor ja LED-lamp

E-mootor (Joonis 29) on 9 V mootor koos sisseehitatud 9.5:1 hammasülekandega. E-mootorit saab kasutada ka generaatorina, tootmaks elektrienergiat. Sisend-/väljundpistik (koos 20 cm juhtmega) võimaldab nii e-mootori poolt genereeritud elektrienergiat üle kanda energiamõõturisse või LED lampi kui ka päikesepaneeli või energiamõõturi energiaga e-mootorit käiata. Ilma koormuseta on e-mootori pöörete arv umbes 800 pööret minutis ja selle maksimaalseks pöördemomendiks on 4.5 N/cm.



**Joonis 29: LEGO taastuvenergia komplekti kuuluv e-mootor.<sup>71</sup>**

Komplekti kuuluv LED-lamp (Joonis 30) koosneb kahest eraldi juhtme otsas paiknevast LED-pirnist. Eraldi juhtmed on ühendusplokis koondatud üheks juhtmeks, mis on võimalik ühendada energiamõõturi väljundpistikusse või otse päikesepaneeli või e-mootori juhtme külge. Kuna kaks LED-pirni paiknevad eraldi juhtmeotsade külles, annab see hea võimaluse LED-lampi kasutada näiteks roboti silmade või auto tuledena.



**Joonis 30: LEGO taastuenergia komplekti kuuluv LED-lamp.<sup>72</sup>**

Järgmises punktis vaatame mõningaid võimalusi, mida pakub tegevuste pakett, siiani kirjeldatud mooduli elemente rakendamiseks.

## **2.2 Tegevuste paketi ülevaade**

Selles punktis anname ülevaate tegevuste paketi sisust. Tegevuste pakett on ühele CD-le paigutatud materjalide kogumik. Materjalid on kümnes keeles: Briti inglise, Hispaania, Prantsuse, Hollandi, Jaapani, Rootsi, Taani, Norra, Saksa ja Ameerika inglise keeles. Materjalide põhirõhk on kineetilise ja potentsiaalse energia mõiste selgitamine kasutades LEGO taastuenergia moodulile suunatud ülesandeid.

Ülesanded on jaotatud kahte klassi. Esimene klass on probleemõppe tüüpi ülesanded, kus on neli ülesannet: muruniiduk, puhur, liikuv märk, väljaku valgustus. Ülesanded koosnevad „Õpetaja märkmetest“, mis sisaldavad mõningaid abimaterjale õpetajale, ja „Õpilase töölehtedest“, kus on kirjeldatud ülesande püstitus. Teine ülesannete klass koosneb kuuest ülesandest: käsigeneraator, päikeseenergia jaam, tuuleturbiin, hüdro turbiin, päikeseenergia sõiduk ja tõsteplokk. Ülesanded koosnevad kolmest osast. „Õpetaja märkemes“, kus on juhendid õpetajale. „Ehitusjuhised“, kus on detailne LEGO ehitusjuhend, mille järgi saab vastava ülesande jaoks vajaliku seadme ehitada. „Õpilase tööleht“, kus on ülesanded õpilastele, mille lahendamiseks tuleb juhendi järgi ehitada seade

ja seejärel sellega katseid teha. Lisaks ülesannetele sisaldavad materjalid sissejuhatust taastuenergia ning kineetilise ja potentsiaalse energia teemadesse. Samuti on lisatud materjalides kasutatavate terminite seletav sõnastik.

Järgnevalt vaatame taastuenergia mooduli kasutamisele koos LEGO Mindstorms NXT komplektiga, mis lisab palju võimalusi sealhulgas võimaluse kasutada programmeerimist.

## **2.3 Taastuenergia mooduli kasutamine koos LEGO Mindstorms NXT-ga**

Selles punktis vaatame, kuidas on LEGO taastuenergia moodulit võimalik kasutada koos LEGO Mindstorms NXT komplekti ja NXT-G programmeerimiskeskonnaga. Kuid enne, kui me selle juurde läheme, tutvustame lühidalt LEGO Mindstorms NXT-d ja NXT-G keskkonda.

### **2.3.1 LEGO Mindstorms NXT**

Enne, kui asume taastuenergia mooduli kasutamise juurde koos NXT-ga, tuleks endale selgeks teha, mis on LEGO Mindstorms NXT. LEGO Mindstorms NXT on programmeeritav robotka komplekt, mille esmaversion väljastati LEGO poolt 2006. aasta juulis. See asendas esimese generatsiooni LEGO Mindstorms komplekti - *Robotics Invention System* (RIS). Uus versioon, LEGO Mindstorms NXT 2.0, ilmus augustis 2009. Meie keskendume oma materjalides just sellele viimasele. 2013 sügisel peaks välja tulla uus ja veelgi parem – LEGO Mindstorms EV3. Kuna EV3 on ühilduv kõigi NXT 2.0 anduritega, on see ka ühilduv taastuenergia mooduliga. Käesolev ja järgnev - NXT-G tarkvarast rääkiv punkt, kirjutati põhinedes materjalidele [73-75].

### 2.3.2 NXT-G

LEGO Mindstorms NXT-ga on kaasas NXT-G programmeerimise tarkvara. NXT-G (v2.0) on graafiline programmeerimiskeskond, mis on arendatud LEGO Mindstorms'i ja National Instruments'i koostööna. Lisaks sellele eksisteerib palju erinevaid mitteametlikke keeli, nagu NXC, leJOS jne, kuid need jäävad väljapoole selle töö skooopi. Kuigi taastuenergia mooduli kasutamiseks koos NXT-ga on vajalik vähemalt minimaalne NXT-G tundmine, ei hakka me siin seda õpetama, vaid anname mõningad viited sobilikele materjalidele.

Eestikeelseid materjale saab näiteks robotika kodulehelt koolirobootika materjalide hulgast - <http://www.robotika.ee/lego/projekt/index.php/opetajale/materjal/>. Lingi „Programmi EDU NXT õpetus“ alt leiab materjalid, mis annavad hea ettekujutuse, kuidas NXT-G töötab. Kuigi nendes materjalides keskendutakse NXT v1.1-le ei ole erinevused väga suured.

Neil, kellel NXT-G 2.0 puudub või on kaduma läinud, on seda võimalik tasuta alla laadi LEGO kodulehelt - <http://service.lego.com/en-us/help/topics/?questionid=2655>, kus on lisaks allalaadimise lingile ka detailsed juhendid installeerimiseks.

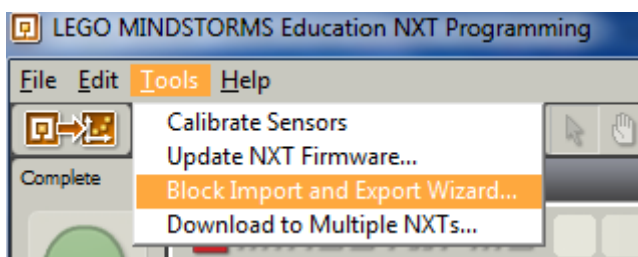
Neil, kes pole NXT-ga ja/või NXT-G-ga varem kokku puutunud, tuleks seda enne järgnevate osade lugemist teha. Need, kes ei soovi taastuenergia moodulit koos NXT komplektiga kasutada, võivad edasi liikuda ülesannete peatükki, mille esimene osa (3.1 Taastuenergia mooduli elementidega tutvumine ja nende testimine) sisaldab lihtsaid ülesandeid, mis on mõeldud taastuenergia komplekti iseseisvaks kasutamiseks. Käesoleva peatüki järgmistes punktides vaatame, kuidas saada mooduli ja NXT koostöökseks vajalikku lisatarkvara ning kuidas seda kasutada.

### 2.3.3 Energiamõõtuuri ploki importimine

Selles punktis käsitleme energiamõõtuuri kasutamiseks vajaliku tarkvaraploki importimist NXT-G keskkonda. Esimese asjana on vaja alla laadida LEGO „Energy Meter Blocks“. Selleks tuleb minna lehele <http://education.lego.com/downloads/>, teha linnuke „Blocks“ kasti ja tulemuste seast leida „Energy Meter Blocks“. Siin on ka otselink zip

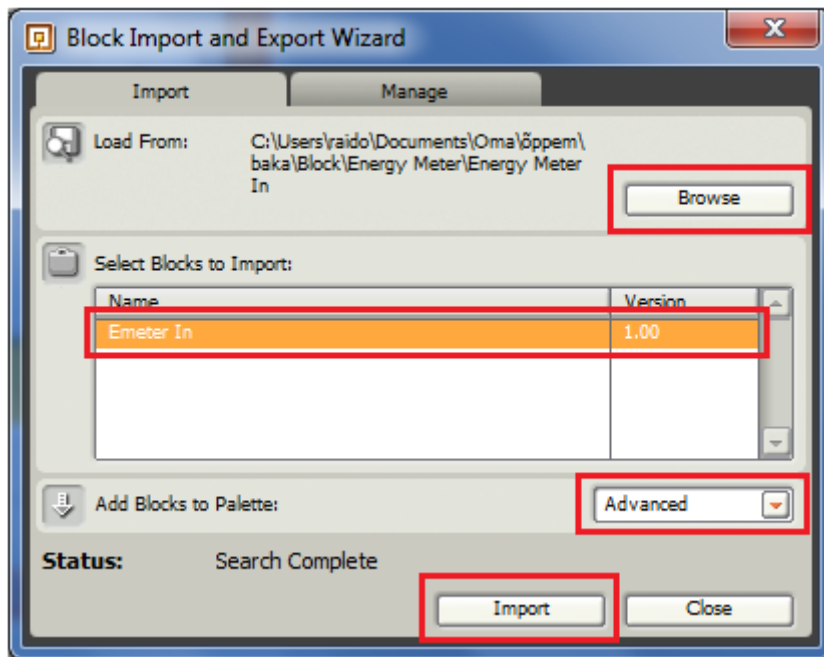
failile: <http://cache.lego.com/r/education/-/media/LEGO%20Education/Home/Downloads/Software/NXT%20Blocks/ts.20101019T124934.EnergyMeter.zip>. Alla laetud zip fail pakkige lahti endale sobivasse kohta (kasutades nt WinRAR või Winzip vms programmi). Selle tulemusena tekib kaust nimega „Energy Meter“.

Järgmiseks tuleb käivitada NXT-G programmeerimis tarkvara „NXT 2.0 Programming“ (selle puudumisel lugeda eelmise punkti viimast lõiku). Menüürealt valida „Tools“ menüü ja sealt „Block Import and Export Wizard...“, nagu näidatud joonisel 31.



**Joonis 31: Tarkvaraploki importimine.**

Nüüd peaks olema avanenud „Block Import and Export Wizard“, nagu kujutatud joonisel 32. „Browse“ nupule vajutades ilmub navigeerimis aken, seal navigeerige kausta „Energy Meter“ ning märgistage kaust „Energy Meter In“ ja vajutage „OK“. Nüüd peaks „Select Blocks to Import:“ seksioonis olema rida „Emeter In | 1.00“ (Joonis 32), märgistage see hiirega klikkides. Järgmiseks tuleb valida paneel, kuhu imporditav plokk paigutada. Selleks valige „Add Blocks to Palette:“ seksiooni rippmenüüst sobilik (nt „Sensor“). Importimiseks tuleb vajutada nuppu „Import“ ning oodata kuni „Status:“ näitab „Import Successful“. Seejärel võib importimise akna „Close“ nupust sulgeda.



Joonis 32: Tarkvaraploki importimine 2.

Nüüd, kus meil on vastav tarkvara olemas, tuleb sellega lähemalt tutvavaks saada, seda me ka järgmises punktis teeme.

### 2.3.4 Energiamõõtuuri ploki kasutamine

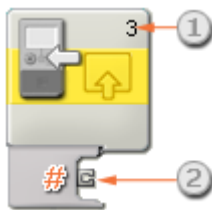
Käesoleva punkti eesmärgiks on detailselt lahti seletada energiamõõtuuri plokk ja selle kasutamise võimalused. Energiamõõtuuri plokk loeb mõõtuuri sisendist vastavalt vajadusele (ükshaaval) järgmiseid andmeid: sisendpinge (V); sisendvool (A); sisendvõimus (W) ja akumulieeritud energia (J). Andmete lugemine käib sama tihti, kui nende energiamõõtuuri ekraanil uuendamine, ehk siis iga 0,5 s tagant. Mõõteandmed saab väljastada arvuliste väärtustena või nende põhjal leitud tõene/väär väärtusena.

Energiamõõtuuri ploki saab kätte täieliku paleti sellest alajaotusest, kuhu see importimisel paigutati. Energiamõõtuuri plokk on teistest NXT-G plokkidest eristatav energiamõõtuuri ikooni järgi (Joonis 34).



**Joonis 33: Energiamõõtuuri ploki ikoon.**

Ploki paigutamisel NXT-G töölauale avaneb selline pilt nagu on kujutatud joonisel Joonis 34.

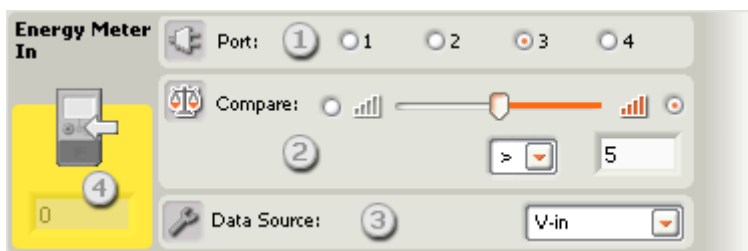


**Joonis 34: Energiamõõtuuri ploki kuvaseaded.**

Joonisel Joonis 34 kujutatud elementide täendused:

1. See number näitab millisesse NXT porti on energiamõõtur ühendatud. Seda numbrit saab vajadusel muuta omadustepaneelilt.
2. Ploki töölauale asetamisel automaatselt avanev ploki infotulba osa. Selle ploki puhul avaneb automaatselt numbrilise väärtuse väljastamise juhtmeport (juhtmeportidest on juttu edaspidi).

Oluline osa energiamõõtuuri ploki kasutamisel on omadustepaneelil, mis on kujutatud joonisel Joonis 35. Konkreetse ploki omadustepaneel avaneb allpool programmeerimisala, kui teha ploki peal hiireklikk. Omadustepaneelilt on võimalik muuta mitmeid seadeid, mida ka järgnevalt tutvustame.



**Joonis 35: Energiamõõtuuri ploki omadustepaneel.**

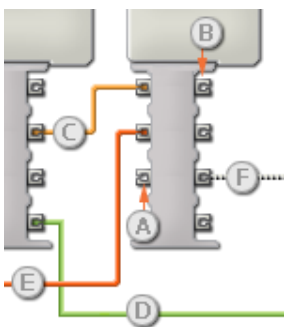
1. Port (*Port*) – Võimaldab valida, millisesse NXT porti on energiamõõtur ühendatud. Vaikimisi on energiamõõturi ühenduspordiks port 3, aga seda saab vajadusel muuta.
2. Võrdlusfunktsioon (*Compare*) – Võimaldab seada piirväärtuse, millest suuremate või väiksemate sisendväärtuste korral edastatakse signaal. Piirväärtuse seadmiseks võib kirjutada väärtuse sisendkasti või kasutada liugurit. Seda, kas signaal edastatakse piirväärtusest suurema või väiksema sisendväärtuse korral, saab määrata raadionupuga või kasutades rippmenüüd.
3. Andmeallikas (*Data Source*) – Võimaldab valida kasutatava andmeallika. Vaikeväärtusena on selleks seatud sisendpinge (V), aga saab kasutada ka sisendvoolu (A), sisendvõimsust (W) või akumuleeritud energia hulka (J).
4. Tagasiside lahter (*Feedback Box*) – Kuvab hetkenäidu vastavalt valitud andmeallikale.

Igal plokil on ka infotulp, mis avaneb, kui klikkida ploki alumise ääre peal (nagu näidatud joonisel Joonis 36).



**Joonis 36: Ploki infotulba avamine.**

Infotulbal, nagu kujutatud joonisel Joonis 37, on paremal ja vasakul juhtmeportid, mille külge saab ühendada juhtmeid andmete edastamiseks. Tuleb meeles pidada, et ühendades kahte juhtmeporti, peab mõlema porti kaudu liikuvad andmed olema sama tüüpi (arvud, tekst, loogika). Andmetüübile vastavalt värvub ka porte ühendav juhe kindlat värvi.









**Joonis 37: NXT-G ploki infotulp ja juhtmed.**

- A. Sissetulevate andmete juhtmeport.
- B. Väljaminevate andmete juhtmeport.
- C. Andmejuhe arvuliste väärtuste edastamiseks (kollane).
- D. Andmejuhe loogiliste väärtuste edastamiseks (roheline).
- E. Andmejuhe tekstiliste väärtuste edastamiseks (oranž).
- F. Katkine andmejuhe, millega ühendatavate portide andmetüübid ei kattu (hall).

Järgnevalt esitame tabeli (Tabel 1 Tabel 4), kus on selgitatud kõik energiamõõtuuri ploki infotulbal olevad juhtmepordid.

**Tabel 4: Energiamõõtuuri ploki infotulba elemendid.**

	Juhtmeport	Andmetüüp	Võimalik vahemik	Väärtuse tähendus
	Port	Numbriline	1 – 4	Pordi number
	Piirväärtus	Numbriline	Sisendpinge: 0.0-10.0 (V) Sisendvool: 0.0-0.3 (A) Sisendvõimsus: 0.0-3.0 (W) Akumuleeritud energia: 0-100 (J)	Väärtus, mille suhtes sisendit võrreldakse
	Suurem / Väiksem	Loogiline	Tõene / Väär	Võrdluses kasutatav loogika: Tõene = Suurem, Väär = Väiksem
	Andmetüüp	Numbriline	0: Sisendpinge 1: Sisendvool 2: Sisendvõimsus 3: Akumuleeritud energia	Number andmeallika tüübi valimiseks
	Jah / Ei	Loogiline	Tõene / Väär	Võrdluse tulemus
	Anduri näit	Numbriline	Sisendpinge: 0.0-10.0 (V) Sisendvool: 0.0-0.3 (A) Sisendvõimsus: 0.0-3.0 (W) Akumuleeritud energia: 0-100 (J)	Andurist loetud väärtus

Sellega oleme lõpetanud energiamõõtuuri ploki ning ühtlasi ka taastuvenergia mooduli tuvustamise. Järgmises, käesoleva töö viimases peatükis vaatame erinevaid ülesandeid, mille lahendamisel saab siiani õpitut rakendada ning kinnistada.

## 3 Ülesanded

Käesolevas peatükis esitatakse ülesanded LEGO taastuenergia mooduli iseseisvaks kasutamiseks ja mooduli koos LEGO Mindstorms NXT-ga kasutamiseks.

Iga ülesanne koosneb järmistest punktidest:

- **Tase** - ülesandele määratud raskusaste (lihtne, keskmine, raske).
- **Eesmärk** - kirjeldatakse, milliseid oskusi ja teadmisi antud ülesandega üritatakse arendada.
- **Ülesande täitmiseks vajalik** - tuuakse välja ülesande lahendamiseks vajalikud eelteadmised ja vahendid.
- **Ülesande püstitus** – kirjeldatakse, mida täpselt oodatakse ülesande lahendusena ja määratakse äraa ülesande tingimused.
- **Lahenduse idee** – pakutakse välja üldine idee, kuidas antud ülesannet lahendada.
- **Võimalikud probleemid** – kirjeldatakse mõningaid probleeme, mis võivad tekkida ülesande lahendamisel, ja pakutakse neile lahendusi.
- **Ideed ülesande muutmiseks** – pakutakse võimalikke modifikatsioone ülesannetele, et neid kergemaks või raskemaks muuta.

### 3.1 Taastuenergia mooduli elementidega tutvumine ja nende testimine.

Selles punktis on kõige lihtsamad ülesanded, mida saab kasutada taastuenergia mooduliga esmase tutvuse tegemiseks. Ülesanded on põhimõttelt sarnased ja osaliselt kattuvad, mistõttu on igati soovitatav nende ülesannete kombineerimine.

### **3.1.1 Päikeseenergiat tootava lamp**

#### **Tase:**

Lihtne, sobib neile, kes alles alustavad mooduliga tutvumist, ei eelda programmeerimisoskust.

#### **Eesmärk:**

Ülesande eesmärgiks on tutvustada taastuvenergia moodulisse kuuluvat energiamõõturit, päikesepaneeli ja LED-lampi ning nende kasutamist.

#### **Ülesande täitmiseks vajalik:**

Energiamõõtur

Päikesepaneel

LED-lamp

60 W hõõglamp

Võimalusel ligipääs otsesele päikesevalgusele

#### **Ülesande püstitus:**

Uurida, kui palju energiat toodab päikesepaneel klassis.

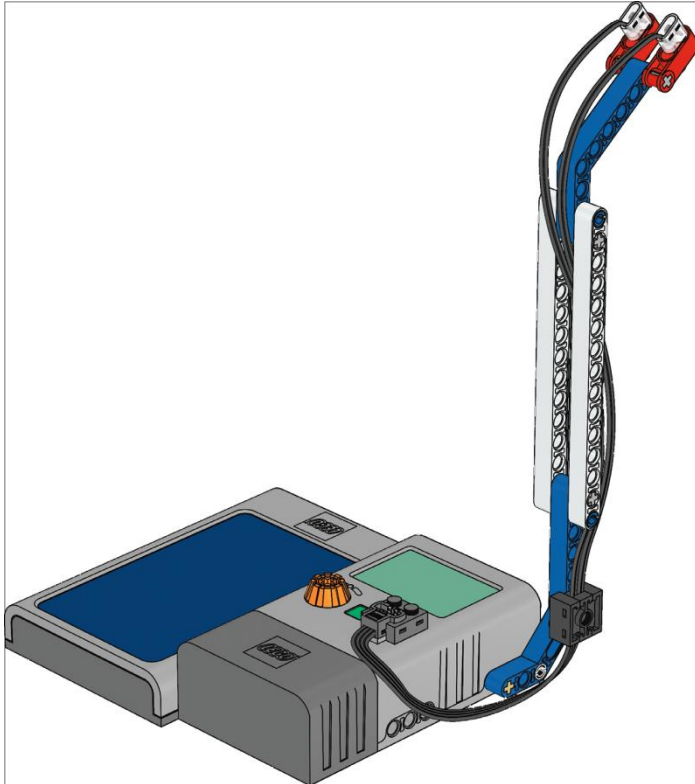
Uurida, kui palju energiat toodab päikesepaneel 60 W hõõglambi valguses - 8cm ja 25 cm kaugusel.

Uurida, kui palju energiat toodab päikesepaneel õues (võimalusel otsese päikesevalguse käes).

Uurida, kui palju energiat kulutab LED-lamp ja kontrollida, millistes tingimustes toodab päikesepaneel LED-lambi tööks piisavalt energiat.

#### **Lahenduse idee:**

Ühendada päikesepaneel energiamõõturi sisendpistikusse ning erinevates valgustingimustes kirja panna energiamõõturi ekraanil kuvatavad näidud. Ühendada LED-lamp arvesti väljundpistikusse ja leida selle kulutatav energiahulk. Võrrelda saadud tulemusi. Üks võimalus päikeseenergiat tootava lambi konstrueerimiseks on kujutatud joonisel Joonis 38.



**Joonis 38: Päikeseenergiat töötav lamp.**

**Võimalikud probleemid:**

Kui energiamõõtur ei tööta või ekraan vilgub - kontrollige, et aku oleks laetud.

Kui energiamõõturi näidud on nullid tehke kindaks, et olete juhtmed korralikult õigetesse pistikutesse ühendanud. Väljundi puhul tuleb pöörata ka kahesuunalist kontrolllülitit.

**Ideed ülesande muutmiseks:**

Jätta energiamõõtur vahelt ära ning ühendada päikesepaneel otse LED-lambiga. Sellisel viisil on lihtsam jälgida, kas LED-lambi tööks on piisavalt valgust.

### **3.1.2 Päikeseenergiaal töötav elektrimootor**

#### **Tase:**

Lihtne, sobib neile, kes alles alustavad mooduliga tutvumist, ei eelda programmeerimisoskust.

#### **Eesmärk:**

Ülesande eesmärgiks on tutvustada taastuvenergia moodulisse kuuluvat energiamõõturit, päikesepaneeli ja e-mootorit ning nende kasutamist.

#### **Ülesande täitmiseks vajalik:**

Energiamõõtur

Päikesepaneel

E-mootor

60 W hõõglamp

Võimalusel ligipääs otsesele päikesevalgusele

#### **Ülesande püstitus:**

Uurida, kui palju energiat toodab päikesepaneel klassis.

Uurida, kui palju energiat toodab päikesepaneel 60 W hõõglambi valguses - 8cm ja 25 cm kaugusel.

Uurida, kui palju energiat toodab päikesepaneel õues (võimalusel otsese päikesevalguse käes).

Uurida, kui palju energiat kulutab e-mootor (ilma takistuseta) ja kontrollida, millistes tingimustes toodab päikesepaneel e-mootori tööks piisavalt energiat.

#### **Lahenduse idee:**

Ühendada päikesepaneel energiamõõturi sisendpistikusse ning erinevates valgustingimustes kirja panna energiamõõturi ekraanil kuvatavad näidud. Ühendada e-mootor mõõturi väljundpistikusse ja leida selle kulutatav energiahulk. Võrrelda saadud tulemusi.

#### **Võimalikud probleemid:**

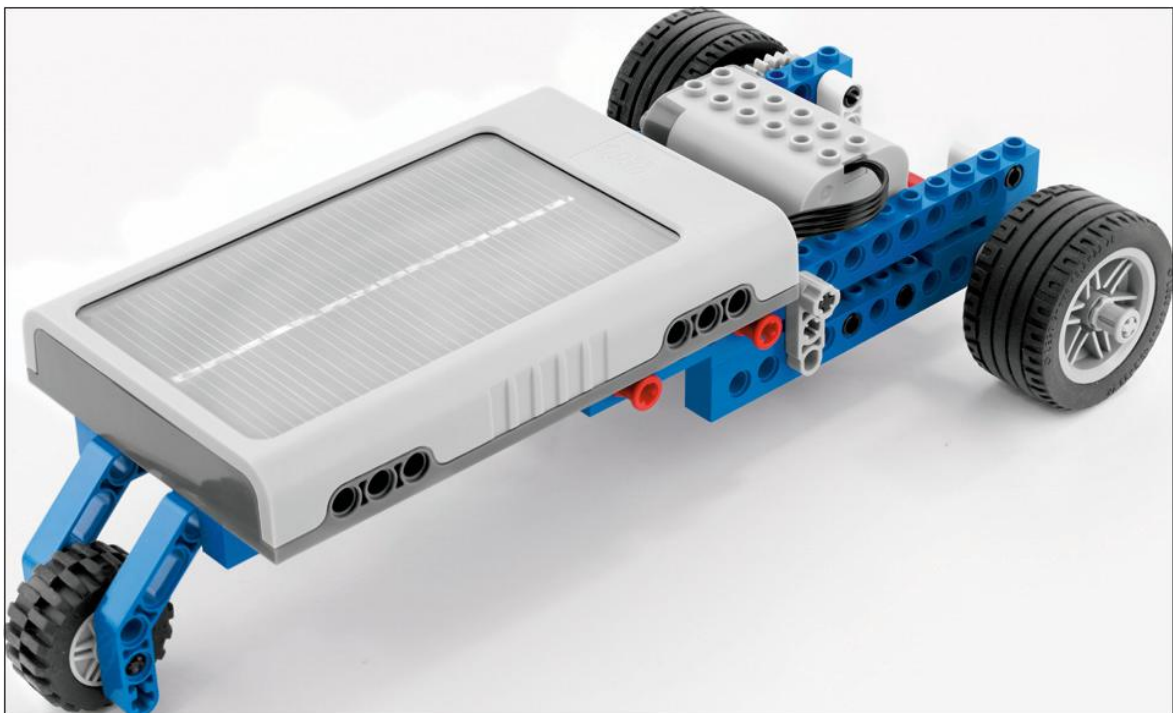
Kui energiamõõtur ei tööta või ekraan vilgub - kontrollige, et aku oleks laetud.

Kui energiamõõduri näidud on nullid tehke kindaks, et olete juhtmed korralikult õigestesse pistikutesse ühendanud. Väljundi puhul tuleb pöörata ka kahesuunalist kontrolllülitit – e-mootori puhul määrab lüliti mootori pöörlemise suuna.

**Ideed ülesande muutmiseks:**

Jätta energiamõõdur vahelt ära ning ühendada päikesepaneel otse e-mootoriga. Sellisel viisil on lihtsam jälgida, kas e-mootori tööks on piisavalt valgust.

**Päikeseauto:** Konstrueerida sõiduk, paigutada neile päikesepaneel ning e-mootor ja kasutada päikeseenergiat sõiduki liigutamiseks. Joonisel Joonis 39 oleva päikeseauto ehitusjuhendi leiab tegevuste paketi materjalide hulgast.



**Joonis 39: Võimalik päikeseauto konseptsioon.**

### **3.1.3 Käsigeneraator**

#### **Tase:**

Lihtne, sobib neile, kes alles alustavad mooduliga tutvumist, ei eelda programmeerimisoskust.

#### **Eesmärk:**

Ülesande eesmärgiks on tutvustada taastuenergia moodulisse kuuluvat energiamõõturit ja e-mootorit ning nende kasutamist.

#### **Ülesande täitmiseks vajalik:**

Energiamõõtur

E-mootor

Ülekandemehhanismi ehitusjuhend

#### **Ülesande püstitus:**

Uurida, kui palju energiat saab genereerida ilma ülekandemehhanismita.

Kasutades juhendit konstrueerida käsigeneraatori ülekandemehhanism ja uurida, kui palju energiat saab selle abil genereerida.

Uurida, kui palju energiat kulutab e-mootor ilma takistuseta.

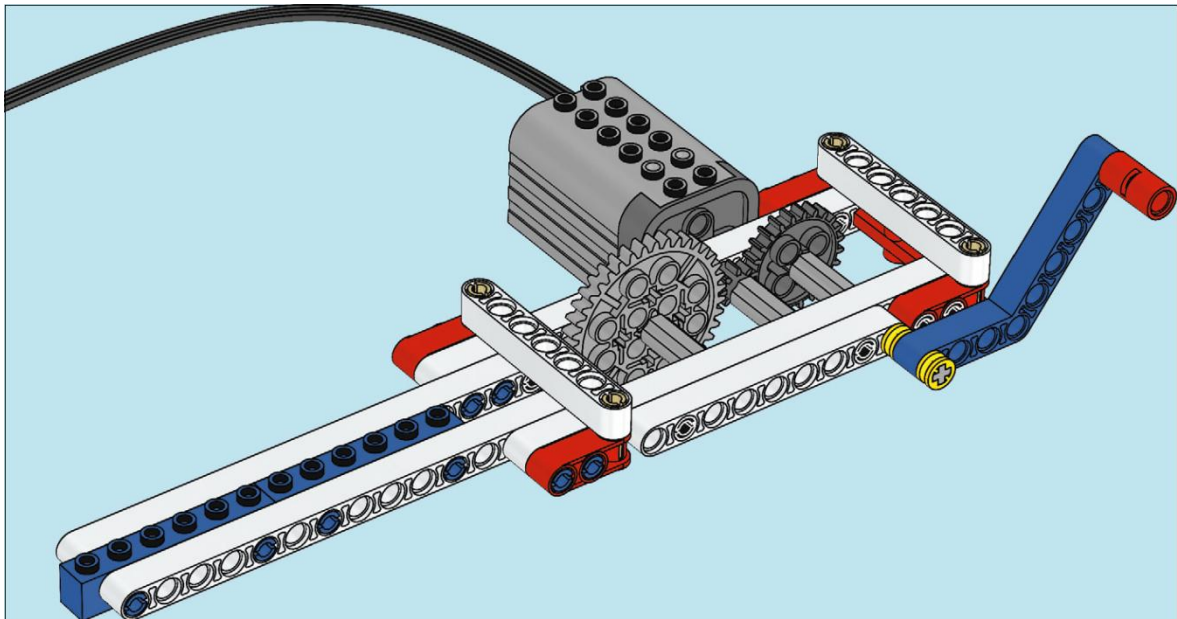
Uurida, kui palju energiat kulutab e-mootor ühendatuna ülekandemehhanismi külge.

#### **Lahenduse idee:**

Ühendada e-mootor energiamõõturi sisendpistikusse, konstrueerida vânt ja selle abil vändates genereerida energiat ning tulemused kirja panna. Korrata tegevust, kasutades vântamisel ülekandemehhanismi.

Ühendada e-mootor energiamõõturi väljundpistikusse ja kirja panna selle tööks kuluv energiahulk, nii takistuseta kui ka ülekandemehhanismi külge ühendatuna.

Ülekandemehhanismi konstrueerimiseks, nagu kujutatud joonisel 40, on tegevuste paketi materjalide juures detailne ehitusjuhend.



**Joonis 40:** Ülekandemehhanism käsigeneraatorile.

### **Võimalikud probleemid:**

Kui energiamõõtur ei tööta või ekraan vilgub - kontrollige, et aku oleks laetud.

Kui energiamõõturi näidud on nullid tehke kindaks, et olete juhtmed korralikult õigetesse pistikutesse ühendanud. Väljundi puhul tuleb pöörata ka kahesuunalist kontrolllülitit – e-mootori puhul määrab lüliti mootori pöörlemise suuna.

Väljundi ülekoormamisel (e-mootori töö olulisel takistamisel) läheb akumuleeritud energia näit ja väljundpinge näit nulli ning mõõturi ekraanil hakkab vilkuma välgu kujutis. Väljundi ülekoormamist tuleks vältida, kuna see võib seadmeid kahustada. Pärast ülekoormust võib olla vajalik aku laadimine.

### **Ideed ülesande muutmiseks:**

**Tuulegeneraator:** Kasutades komplektis kaasatud labasid konstrueerida tuulik, ühendada see e-mootoriga ning lugeda mõõtmisi. Ühe võimaliku tuulegeneraatori (Joonis 41) ehitusjuhised leiab tegevuste paketi materjalidest.



**Joonis 41: Võimalik tuulegeneraatori konseptsioon.**

### **3.1.4 Dünamolamp**

#### **Tase:**

Lihtne, sobib neile, kes alles alustavad mooduliga tutvumist, ei eelda programmeerimisoskust.

#### **Eesmärk:**

Ülesande eesmärgiks on tutvustada taastuenergia moodulisse kuuluvat energiamõõturit e-mootorit ja LED-lampi ning nende kasutamist.

#### **Ülesande täitmiseks vajalik:**

Energiamõõtur

E-mootor

LED-lamp

Ülekandemehhanismi ehitusjuhend

#### **Ülesande püstitus:**

Uurida, kui palju energiat saab e-mootoriga genereerida ilma ülekandemehhanismita.

Kasutades juhendit konstrueerida käsigeneraatori ülekandemehhanism ja uurida, kui palju energiat saab selle abil genereerida.

Uurida, kui palju energiat kulutab LED-lamp. Kas genereeritavast energiast piisaks LED-lambi süttimiseks?

#### **Lahenduse idee:**

Ühendada e-mootor energiamõõturi sisendpistikusse, konstrueerida vânt ja selle abil vändates genereerida energiat ning tulemused kirja panna. Korrata tegevust, kasutades vântamisel ülekandemehhanismi.

Ühendada LED-lamp energiamõõturi väljundpistikusse ja kirja panna selle tööks kuluv energiahulk. Võrrelda andmeid.

#### **Võimalikud probleemid:**

Kui energiamõõtur ei tööta või ekraan vilgub - kontrollige, et aku oleks laetud.

Kui energiamõõturi näidud on nullid tehke kindaks, et olete juhtmed korralikult õigetesse pistikutesse ühendanud.

**Ideed ülesande muutmiseks:**

Jätta energiamõõtur vahelt ära ning ühendada e-mootor otse LED-lambiga. Sellisel viisil on lihtsam jälgida, kui kiiresti tuleb e-mootorit käiata, et LED-lamp süttiks. Kas ilma ülekandemehhanismita on võimalik?

## 3.2 Taastuenergia mooduli näitude esitamine NXT ekraanil.

### 3.2.1 Üks näit NXT ekraanil

#### Tase:

Konstrueerimine lihtne, programmeerimine lihtne.

#### Eesmärk:

Ülesande eesmärgiks on tutvustada taastuenergia moodulit koostöös LEGO Mindstorms NXT juhtploki ekraanil. Väljastada üks energiamõõtu näitudest NXT ekraanil.

#### Ülesande täitmiseks vajalik:

Energiamõõtur

Päikesepaneel või e-mootor

Ühenduskaabel, energiamõõtu ja NXT juhtploki ühendamiseks

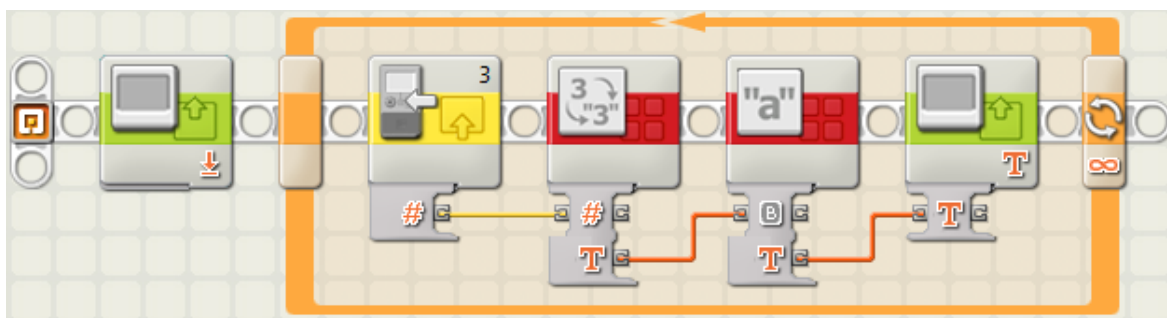
#### Ülesande püstitus:

Väljastada üks energiamõõtu ekraanil kuvatavatest näitudest NXT juhtploki ekraanil. Väljastamiseks võib valide ühe järgnevatest: sisendpinge, sisendvool, sisendvõimsus või akumulereeritud energia hulk.

#### Lahenduse idee:

Näidu saamiseks on vaja genereerida energiat, selleks võib kasutada kas päikesepaneeli või e-mootorit, mis tuleb ühendada mõõtu külge, mis omakorda tuleb ühendada NXT juhtploki külge.

Tuleb koostada programm, mis loeks energiamõõtu näitu, konverteeriks selle tekstilisele kujule ning kuvaks ekraanil. Programm peaks töötama tsüklis, et edastada konstantset näitu. Üks võimalik näidislahendus on kujutatud ka joonisel 42.



Joonis 42: ülesande 2.1 võimalik lahendus.

### **3.2.2 Kõik näidud NXT ekraanil**

#### **Tase:**

Konstrueerimine lihtne, programmeerimine lihtne.

#### **Eesmärk:**

Ülesande eesmärgiks on tutvustada taastuenergia moodulit koostöös LEGO Mindstorms NXT juhtploki. Väljastada energiamõõtu näidud NXT ekraanil.

#### **Ülesande täitmiseks vajalik:**

Energiamõõtur

Päikesepaneel või e-mootor

Ühenduskaabel, energiamõõtu ja NXT juhtploki ühendamiseks

#### **Ülesande püstitus:**

Väljastada energiamõõtu ekraanil kuvatavad näidud NXT juhtploki ekraanil. Väljastada tuleb sisendpinge, sisendvool, sisendvõimsus ja akumuleeritud energia hulk.

#### **Lahenduse idee:**

Näidu saamiseks on vaja genereerida energiat, selleks võib kasutada kas päikesepaneeli või e-mootorit, mis tuleb ühendada mõõtu külge, mis omakorda tuleb ühendada NXT juhtploki külge.

Tuleb koostada programm, mis loeks energiamõõtu näidud ja kuvaks need ekraanil. Programm peaks töötama tsüklis, et edastada konstantset näitu.

Põhimõttelt peaks programm olema analoogne eelmise ülesande (3.2.1) lahendusega, ainult iga näidu jaoks on vaja eraldi korrata tsükli sees olev koodiosa.

## Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli kirjeldada LEGO taastuenergia komplekti. Selleks koostati eestikeelne materjal, milles on juhendid komplekti iseseivaks kasutamiseks kui koos LEGO Mindstorms NXT komplektiga kasutamiseks. Lisatud on ka erineva raskusastmega ülesanded mõlemat tüüpi kasutusjuhtudeks. Antud materjal on edaspidi Kooliroboti projekti raames õppematerjaliks koolides.

Antud lõputöö jaguneb kolmeks osaks. Esimeses osas anti ülevaade erinevatest taastuvatest energiaallikatest ning nende rakendamisest. Pikemalt keskenduti nendele taastuvatele energiaallikatele mis on kasutatavad koos taastuenergia komplektiga. Peamiseks eesmärgiks oli lugejale konkreetse teema kohta alusteadmised anda ning selgitada mõningaid vajalikke nähtusi.

Töö teises osas anti lähem ülevaade taastuenergia komplektist ja selle kasutamise võimalustest. Lisaks komplekti iseseisvale kasutamisele anti juhised ka selle kasutamiseks koos LEGO Mindstorms NXT komplektiga ja NXT-G programmeerimiskeskonnaga.

Lõputöö kolmanda osa moodustavad erineva raskusastmega ülesanded, millele on välja pakutud ka lahendusideed. Lisaks on programmeerimist sisaldavate ülesannete juurde lisatud ka NXT-G keskkonnas koostatud näidislahendused.

Käesoleva lõputöö koostamisel on materjali edaspidise kasutamise lihtsustamiseks lähtunud eelnevalt kindlaks määratud struktuuris. Sama struktuuri on kasutatud ka mitmete teiste LEGO Mindstorms NXT lisaandureid käsitlevate lõputööde koostamisel.

Lõputöö kirjutamiseks seatud eesmärgid said täidetud. Lisaks vajalike ning praktiliste õppematerjalide koostamisele sai töö autor ise uusi teadmisi taastuvate energisaallikate ning taastuenergia kohta. Kõige parem motivatsioon selle bakalaureusetöö kirjutamisel oli teadmine, et töö tulemus leiab reaalset kasutamist Eesti koolides, kus seda hakkavad kasutama õpilaste ning neid õpetatavad õpetajad.

# **LEGO Mindstorms NXT compatible Renewable Energy Add-on Set and Activity Pack**

Bachelor thesis (6 EAP)

Raido Raagmaa

## **Summary**

Technology is evolving with incredible speed and the society needs to adapt to the changes, so do schools. To keep learning interesting and to teach children how to cope in this world of technology, schools need to use new methods. One of these methods is using LEGO Mindstorms NXT robotics kit to teach various subjects.

The main purpose of this bachelor thesis was to create educational material for the Activity Pack and LEGO Renewable Add-on Set that can be used together with the LEGO Mindstorms NXT robotics kit. The material is designed for introducing and teaching the topic of renewable energy using robotics. All created materials are in Estonian. This thesis will be used at schools, as a way of popularizing green lifestyle, science and robotics among Estonian schoolchildren by teaching them programming and logical thinking skills combined with renewable energy.

This thesis consists of three parts. The first part gives the basic background about renewable energy sources and explains how to use them. Mainly focusing on the types of energy sources that can be used with the Renewable Energy Add-on Set. The second part introduces the Renewable Energy Add-on Set and its components. It also gives directions how to use this set with LEGO Mindstorms NXT. The third part of this thesis consists of various exercises for using the knowledge acquired and to make learning more playful and fun.

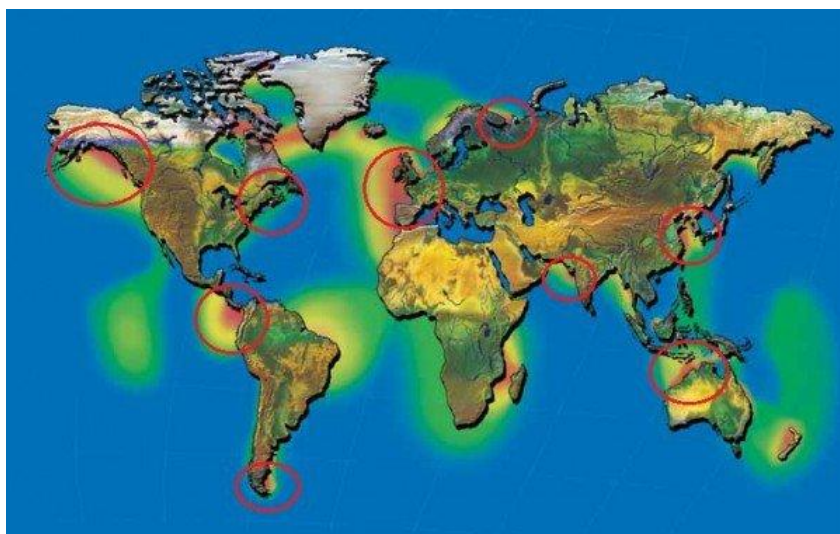
This thesis is part of a series of theses, written during last five years, to create educational materials about LEGO Mindstorms NXT and additional devices for Estonian schools. It is part of the “Koolirobot” project started in 2007.

# LISAD

## LISA 1 Loodete energia

See punkt on vee-energia alla kuuluv lisalugemine, mis keskendub loodete energiale ja selle rakendamisele. Antud punkt on koostatud lähtudes materjalidest [76-86].

Loodete energia ehk tõusu ja mõõna energia on mehaanilise energia liik, mis vabaneb mere taseme muutumisel tõusu ja mõõna ajal. Loodete energiat peetakse üheks potentsiaalseks tulevikuenergiaks (Joonis 43), ehki praegu ei ole see veel väga laialdaselt kasutusel. Tänapäeval muundatakse loodete energia enamjaolt loodeteelektrijaamades elektrienergiaks, kuid tegemist on suhteliselt kaua kasutuses olnud energiaallikaga, mille kasutus ulatub keskaja algusesse. Prantsusmaa, Hispaania ja Inglismaa rannikutel kasutati loodete jõul töötavaid veskeid, mida on dateeritud umbes aastasse 787. Need kujutasid endast kogumistiiki, kuhu koguti tõusuvesi, mis mõõna ajal suunati läbi vesiratta, mis pani pöörlema veskikivid.



**Joonis 43: Potentsiaalsed piirkonnad loodeteenergia tootmiseks, punasega tähistatud efektiivseimad piirkonnad.<sup>83</sup>**

Tänapäevased loodeteelektrijaamad kasutavad enamjaolt sama tehnoloogiat, ainult vesiratas on asendatud elektriturbiiniga. Sobivasse asukohta, reeglina ookeanile avatud lahte või jõesuudmesse, kus tõusu ja mõõna kõrguste vahe ning vooluhulk on piisavalt suur rajatakse tõusu barjäär. Veevoolu kontrollimiseks kasutatakse lüüsiKANaleid ning ka turbiine. Tõusu ajal turbiinide abil tammi taguse veetaseme tõstmine võib end kuni

kuuekordselt ära tasuda. Maailma esimene tõusu ja mõõna jõul töötav elektrijaam, *Usine marémotrice de la Rance* – Rance'i loodete elektrijaam (Joonis 44), avati 26. Septembril 1966 Prantsusmaa looderannikul. See rajati Rance'i suudmelahte, kus tõusu ja mõõna kõrguste vahe on kuni 13,5 meetrit ja vooluhulk kuni 18 000 m<sup>3</sup>/s (kuupmeetrit sekundis). Rance'i elektrijaama võimsuseks on 240 MW, mis teeb sellest maailma suuruselt teise loodetelektrijaama. Suurimaks on aastal 2011 valminud *Sihwa Lake Tidal Power Station* Lõuna-Koreas.



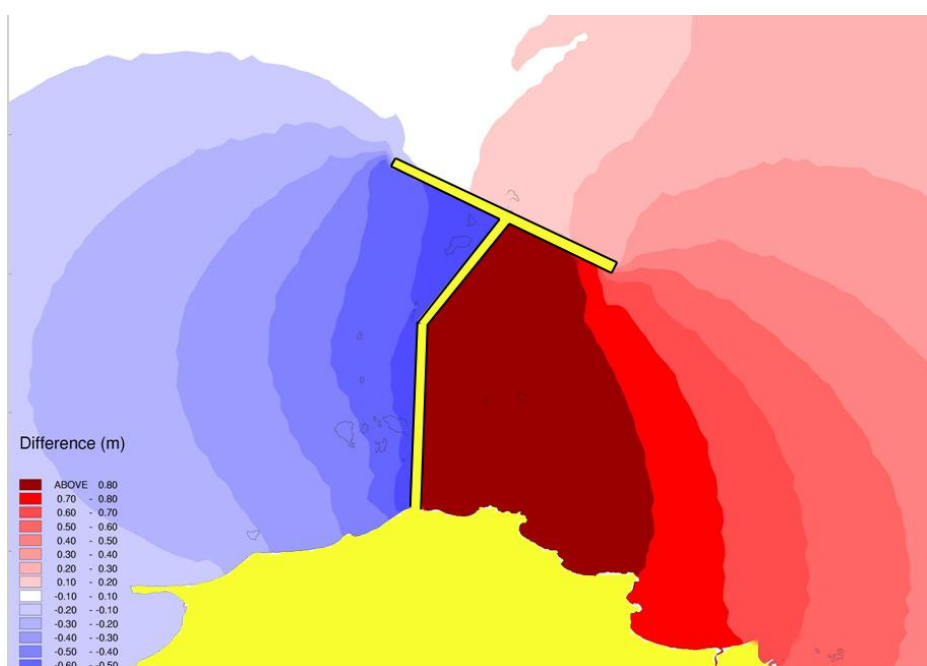
**Joonis 44: Rance'i loodetelektrijaama Prantsusmaal.**<sup>84</sup>

Lisaks barjääriga tehnoloogiale, kasutatakse loodete energia kogumiseks vee alla paigutatud tuuleturbiinide sarnaseid seadmeid ehk nn hoovuste generaatoreid (Joonis 45) (mitte lasta ennast eksitada sõnast hoovused – siin on silmas peetud loodete poolt tekitatud veeliikumist, kuigi sama tehnoloogiat on võimalik kasutada ka hoovuste juures). Hoovuste generaator ehk TSG (*Tidal stream generator*) või TEC (*Tidal energy converter* – loodete energiamuundur) on veealune turbiin vee voolu kineetilise energia salvestamiseks. Esimesed kavandati 1970-ndatel naftakriisi ajal. TSG tehnoloogia on odavaim ja kõige loodussõbralikum loodeteenergia salvestamise meetod. Maailma esimene kommertstasandil ja elektrivõrku ühendatud TSG – SeaGen, paigaldati 2008. aastal Strangfordi ja Portaferry vahelisse Strangford Narrows'-sse Põhja-Iirimaa idarannikul. Samast kohast leiti maailma vanima teada oleva, Nendrumi kloostri loodete veski jäänused (aastast 787).



**Joonis 45: SeaGen generaator - nagu näha, saab rootorid hoolduseks veest välja tõsta.<sup>85</sup>**

Lisaks kahele eelnevale on olemas ka kolmas loodete energia kogumise meetod – dünaamiline hoovuste energia ehk DTP (*Dynamic tidal power*) (Joonis 46), mis leiutati (ja patenditi) 1997. aastal Hollandi inseneride Kees Hulsbergeni ja Rob Steijn'i poolt. Selle tehnoloogia puhul on siiski tegemist puhtalt teoreetilise võimalusega, mille kohaselt piisavalt pika tammi (30-50 km) otse merre ehitamisega, ilma konkreetset ala sulgemata, tekiks kahel pool tammi piisavalt suured loodete faasierinevused. See tooks kaasa suured veetaseme erinevused madalates rannikumeredes, kus esinevad tugevad, rannikuga paralleelsed, vahelduvad loodete hoovused. Sellised tingimised esinevad näiteks Suurbritannia, Hiina ja Korea rannikul.



**Joonis 46: Üldtvaade DTP tammile. Sinine tähistab madalat ja punane kõrget veeseisu.<sup>86</sup>**

Loodeteenergia puhul on tegemist suhteliselt odava ja loodust vähe reostava energiaallikaga, kuid igal heal asjal on omad miinused. Antud juhul on kolm peamist probleemi. Esiteks, soolane vesi põhjustab suhteliselt kiiret metallist detailide korrodeerumit ja nende hooldamine sügavas vees on keeruline. Teiseks võivad loodusesse lekkida reostust põhjustavad määrdeained. Kolmandaks, on teadmata, millist mõju avaldavad sellised struktuurid loodusele. Kuidas mõjutavad tiivikud kalu ja muid mereolendeid (tapavad, hirmutavad) ja millised muudatused ranniku struktuuris toob kaasa tammide ehitamine ning loodetega manipuleerimine. Sellest vaatekohast on loodeteenergiast märksa loodussõbralikum ja ohutum laineenergia, millest tuleb juttu järgmises alapunktis.

## LISA 2 Laineenergia, hoovused, osmoos ja konvektsioon

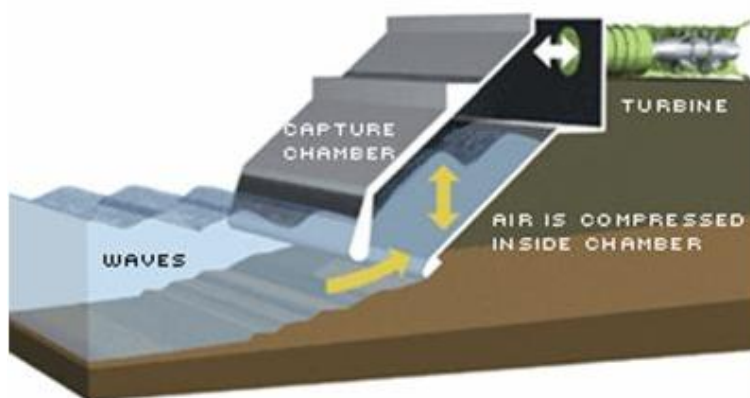
See punkt on vee-energia alla kuuluv lisalugemine, milles on juttu vähem kasutatavatest vee-energia liikidest. Antud punkt on koostatud lähtudes materjalidest [87-99]. Esimesena käsitleme laineenergiat, mis hõlmab endas energia transport ookeani pinnalainete poolt ning selle kinni püüdmine töö tegemiseks. Aastast 1799 pärineb esimene teadaolev laineenergiaga seonduv patent, mille esitajateks olid pariislane Monsieur Girard ja tema poeg. Nende ideeks oli kasutada lainete otsest mehhaanilist energiat pumpade, saekaatrite, veskite ja muude seadmete käitamiseks. Laineenergeetika moodsa teadusliku arenduse pioneeriks oli jaapanlane Yoshio Masuda oma 1940-ndatel teostatud eksperimentidega. Suure tõuke laineenergeetika ja ka teiste taastuvate energiaallikate arengusse andis 1973. aasta naftakriis, mis kestis siiski suhteliselt lühikest aega. Juba 1980-ndatel hakkasid naftahinnad, mis omakorda tõi kaasa laineenergeetika rahastuse drastilise vähendamise.

Viimastel aastatel on hakatud teiste taastuvate energiaallikate kõrval ka laineenergiale taas rohkem tähelepanu pöörama. Lainete energia kogumiseks on viimase 20-ne aasta jooskul loodud palju erinevaid tehnoloogiaid, mis võime jagada kolme põhiklassi. Esiteks ujuk ehk poi süsteem, mis kasutab ookeani lainetust hüdrauliliste pumpade käitamiseks. Seade võib olla paigaldatud ujuva parve külge või kinnitatud ookeanipõhja. Rida ankurdatud poisid tõusevad ja langevad lainete rütmis. See liikumine paneb tööle generaatori, mille toodetud elekter saadetakse merealuse kaabli kaudu kaldale. Sellel põhimõttel töötasid Šoti firma (Pelamis Wave Power) poolt arendatud Pelamis tüüpi seadmed (Joonis 47), mida kasutati maailma esimese laineenergia pargi rajamisel. 23. Septembril 2008 avati Portost põhjas Portugali rannikust 5 km kaugusel maailma esimene laineenergia park, 2.25 MW Aguçadoura Wave Farm. Kahe kuu pärast toodi seadmed probleemi tõttu kaldale. Lahendus probleemile leiti, kuid kuna ettevõtte läks majanduskriisi tõttu pankrotti jäid seadmed merele tagasi viimata. Alates 2010. aastast testib Pelamis uusi optimaalsemaid P2 tüüpi seadmeid Orkney's Šotimaal.



**Joonis 47: Pealmis tüüpi seade meres.**

Teiseks klassiks on vahelduva veesamba seadmed. Need on rannikule ehitatud kambrid, kus sissetulev laine surub kambris oleva õhu kokku, mis omakorda paneb tööle turbiini. Sellel põhimõttel töötab ka maailma esimene kaubanduslik laineenergia jaam Islay LIMPET (*Land Installed Marine Power Energy Transmitter*) (Joonis 48) Islay saarel Šotimaal. Selle 75 kW prototüüp ehitati juba 1991. aastal, millele järgenes 2000. aastal 500 kW seadme ehitamine.



**Joonis 48: LIMPET 500 tööpõhimõte**

Kolmandaks klassiks on kitseneva kanali süsteem ehk *tapchan*. See on rannikule ehitatud kanal, mis konsentreerib laineid ja suunab need merepinnast veidi kõrgemal asuvasse reservuaari. Reservuaarist välja voolavat vett kasutatakse tavalisi hüdroenergia meetodeid kasutades energia tootmiseks. Viimase kahekümne aasta jooksul on erinevaid laineenergia jaamu ehitatud mitmele poole maailmas. Samas energeetikas lainete energia kasutamine olulist rolli veel ei mängi. Tavaliselt kasutatakse seda koos

elektriakumulaatoritega merel või väikesaartel paiknevate väikese võimsusega objektide varustamiseks.

Järgmine, samuti suuresti alles arendusjärgus olev vee-energia tüüp, on hoovuste kineetiline energia. Hoovustel on suur potentsiaal tuleviku elektritootmises, kuna need on paremini ennustatavad kui tuule- ja päikeseenergia. Eelkõige, aga seetõttu, et hoovustes peituv energiahulk on tohutu. Näiteks Golfi hoovuses voolava vee hulk on umbes sama, mis kõigis mageveejõgedes voolava vee hulk korrutatud 50-ga. Selle tohutu veemassi voolamises peituv energia on arvestatud võrdseks 21,000 Niagara joaga. Ameerika Ühendriikides läbi viidud uuringu kohaselt piisaks ühe tuhandiku Golfi hoovuse energia kinni püüdmisest, et katta 35% Florida osariigi elektrivajadusest.

Hoovused on paljude mõjutuste koosmõjus tekkinud veemassi liikumine. Suur osatähtsus on Maa, Kuu ja päikese gravitatsiooniline mõjutus, mis toob kaasa tõusu-mõõna tsüklid, mis omakorda põhjustab terve ookeani voolamist. Lisaks gravitatsioonile mõjutavad hoovuseid ka sellised tegurid nagu erinevused vee temperatuuris, vee soolsus ja maa pöörlemisest tingitud Coriolise jõud. Kuna tehnoloogiast, mida saaks kasutada hoovuste energia püüdmiseks, oli juba juttu loodeteenergia osas (lõik nn hoovuste generaatorite kohta), siis me sellel teemal rohkem ei peatu, vaid jätkame osmoosiga.

Energiat, mida on võimalik saada soolase ja mageda vee kokkupuutel, nimetatakse osmoosiks ehk soolsuse muutumise energiaks. Reeglina kasutatakse selle kogumiseks soolase ookeanivee ja mageda jõevee kokkupuutekohti. Seda tüüpi energia kasutamiseks on kaks meetodit: RED (*reverse electrodialysis*) ja PRO (*pressure-retarded osmosis*). Mõlemad protsessid tuginevad osmoosil koos ioon-spetsiifilise meembraaniga. Just membraani suur hind on olnud peamiseks takistuseks selliste meetodite kasutusele võtmisel.

Hollandis arendatav RED tüüpi tehnoloogia põhineb vastupidisel elektrodialüüsil, kus soolalahus ja magevesi lastakse läbi virna membraanide. Keemilised erinevused soolases ja magedas vees tekitavad pinget igas membraanis ning süsteemi kogupotentsiaal on kõigi membraanide potentsiaalide erinevuste summa. 250 kW võimsusega RED tüüpi kütuseelement oleks umbes laevakonteineri mõõtu. Kuigi tegemist on alles väga varases staadiumis tehnoloogiaga, nähakse selles potentsiaali. Näiteks Hollandis, kus igas sekundis

voolab keskmiselt üle 3,300 kuupmeetri magevett ookeani, on arvestatud, et selle tehnoloogiaga saaks toota 4,5 GW elektrienergiat.

Alternatiivina arendatakse Norras PRO tehnoloogiat. Sellisel juhul kasutakse membraani, mis lubab läbi vee molekulid, aga mitte lahustunud soolasid. Seadme põhimõte seisneb mageda ja soolase vee eraldamises sellise membraaniga, kus vesi hakkab läbi membraani liikuma, põhjustades soolase vee poolel veetaseme tõusu. Sellist rõhuerinevust saab kasutada veevoolu tekitamiseks, mis omakorda paneks tööle turbiini. Selle tehnoloogia leiutas 1973. aastal ameeriklane professor Sidney Loeb, Ben-Guriyyoni Negevi ülikoois Iisraelis. Maailma esimese osmootilise elektriijaama, võimsusega 4 kW, avas Statkraft 24. Novembril 2009 Toftes Norras.

Nüüd anname ülevaate meie viimasest teemast veenergeetikas – konveksioonist. OTEC (*Ocean Thermal Energy Conversion* - Ookeani soojusenergia konversioon) on tehnoloogia, kus kasutatakse ära ookeani sooja pinnavee ja jaheda sügavama vee temperatuuri erinevused soojusmasina käitamiseks. Soojusmasin ehk termodünaamiline mootor on masin, mis muudab soojusenergiat mehaaniliseks tööks või elektrienergiaks. Kuna sellistel seadmetel on oluline võimalikult suur temperatuuri erinevus, on parimad piirkonnad sellise tehnoloogia rakendamiseks troopilised alad. Kuid isegi seal jääb temperatuurierinevus 20-25 °C juurde, mis annab kasuteguriks napid paar protsenti. Protsessi kõrvalsaaduseks on suur hulk külma vett, mida võib kasutada näiteks õhukonditsioneeride ja jahutusseadmete jaoks. Teiseks kõrvalsaaduseks on mereveest destilleeritud magevesi. Näidisjaamu on ehitatud juba 1880-ndatest alates ja on loodud mitmeid variatsioone (nn kinnise ja lahtise tsükliga ning hübriid süsteemid), kuid suuremahulisi kaubanduslikke jaamu hetkel kasutuses ei ole.

## LISA 3 Energiamõõtuuri laadimine kasutades LEGO Power Functions akuboksi<sup>100</sup>

Käesolevas punktis anname detailse 9 sammulise juhendi, kuidas laadida LEGO taastuvenergia mooduli energiamõõturit, kasutades LEGO Power Functions (PF) akuboksi. Sammud 1-4 kehtivad iga laadimise korral, sammud 5-9 tuleb läbida ainult mitmekordsel laadimisel nagu kolmekordne laadimistsükkel esmakordsel kasutamisel.

**Samm 1:** Tehke kindlaks, et PF akuboks on varustatud kuue uue AA patareiga. Võib kasutada ka samaväärseid akusid.

**Samm 2:** Ühendage PF akuboks energiamõõtuuri sisendpistikusse, kasutades PF pikendusjuhet nagu kujutatud joonisel Joonis 49.



Joonis 49: Energiamõõtuuri laadimine PF akuboksiga: 1 - energiamõõtur, 2 - juhe, 3 - PF akuboks.<sup>100</sup>

**Samm 3:** Lülitage sisse PF akuboks liigutades oranži liugur nuppu vasakule või paremale. Akuboks on sisse lülitatud, kui lüliti kõrval asuv roheline tuluuke põleb.

**Samm 4:** Lülitage energiamõõtur sisse. Laadimine algab.

Täielik laadimine võtab tavaliselt umbes 1-3 tundi. Laadimine on lõppenud, kui ekraan lülitub välja. NB! Ekraani näit „100 J“ ei tähenda, et aku on täis.

**Edasised sammud on vajalikud mitmekordses laadimistsükklis.**

**Samm 5:** Energiamõõduri aku tühjaks laadimiseks tuleb kõigepealt lahti ühendada kõik seadmed ja juhtmed.

**Samm 6:** Lülitage energiamõõdur sisse.

**Samm 7:** Vajutage ja hoidke rohelist sisse/välja nuppu 10 sekundit all, kuni ekraanile ilmub vilkuv hoiatussümbol, nagu kujutatud joonisel 50. Tühjakslaadimine algab.



**Joonis 50: Hoiatussümbol.** <sup>100</sup>

Täielik tühjakslaadimine võtab umbes 30-90 minutit. Tühjakslaadimine on lõppenud, kui ekraan lülitub välja. Tühjakslaadimist saab igal ajal katkestada vajutades sisse/välja nuppu.

**Samm 8:** Laadige energiamõõdur uuesti täis ja tühjaks korrates samme 2-7.

**Samm 9:** Lõpuks laadige energiamõõdur täis korrates samme 2-4.

## LISA 4 Energiamõõtuuri laadimine kasutades LEGO Power Functions taaslaetavat akuboksi <sup>100</sup>

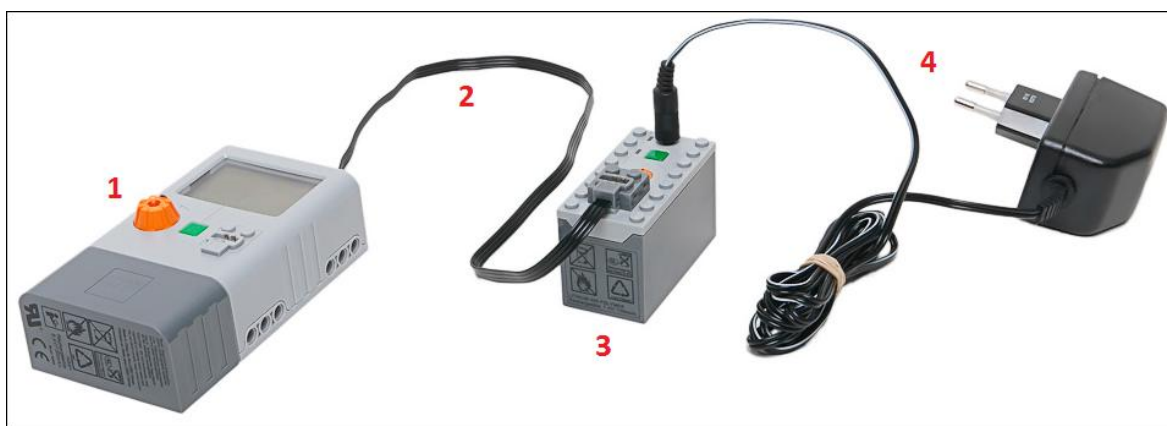
Käesolevas punktis anname detailse 10 sammulise juhendi, kuidas laadida LEGO taastuvenergia mooduli energiamõõturit, kasutades LEGO Power Functions (PF) taaslaetavat akuboksi. Sammud 1-5 kehtivad iga laadimise korral, sammud 6-10 tuleb läbida ainult mitmekordsel laadimisel nagu kolmekordne laadimistsükkel esmakordsel kasutamisel.

**Samm 1:** Enne kasutamist ehke kindlaks, et PF taaslaetav akuboks on täis laetud.

**Samm 2:** Ühendage PF taaslaetav akuboks energiamõõtuuri sisendpistikusse, kasutades PF pikendusjuhet, nagu kujutatud joonisel 51.

Täielikult laetuna võib PF taaslaetav akuboks laadida korraga kuni kolme energiamõõturit.

**Samm 3:** Ühendage PF taaslaetav akuboks energiaallikaga, kasutades LEGO trafot, nagu kujutatud joonisel 48.



**Joonis 51:** Energiamõõtuuri laadimine PF taaslaetava akuboksiga: 1 - energiamõõtur, 2 - juhe, 3 - PF akuboks, 4 - trafo. <sup>100</sup>

**Samm 4:** Lülitage sisse PF taaslaetav akuboks vajutades rohelist nuppu. Akuboks on sisse lülitatud, kui lüliti kõrval asuv roheline tuluke põleb. Lülitage sisse väljundvõimsus keerates oranži lüliti kas paremale või vasakule.

**Samm 5:** Lülitage energiamõõtur sisse. Laadimine algab.

Täielik laadimine võtab tavaliselt umbes 1-3 tundi. Laadimine on lõppenud, kui ekraan lülitub välja. NB! Ekraani näit „100 J“ ei tähenda, et aku on täis.

**Edasised sammud on vajalikud mitmekordses laadimistsükklis.**

**Samm 6:** Energiamõõduri aku tühjaks laadimiseks tuleb kõigepealt lahti ühendada kõik seadmed ja juhtmed.

**Samm 7:** Lülitage energiamõõdur sisse.

**Samm 8:** Vajutage ja hoidke rohelist sisse/välja nuppu 10 sekundit all, kuni ekraanile ilmub vilkuv hoiatussümbol, nagu kujutatud joonisel 52. Tühjakslaadimine algab.



**Joonis 52: Hoiatussümbol.** <sup>100</sup>

Täielik tühjakslaadimine võtab umbes 30-90 minutit. Tühjakslaadimine on lõppenud, kui ekraan lülitub välja. Tühjakslaadimist saab igal ajal katkestada vajutades sisse/välja nuppu.

**Samm 9:** Laadige energiamõõdur uuesti täis ja tühjaks korrates samme 2-8.

**Samm 10:** Lõpuks laadige energiamõõdur täis korrates samme 2-5.

## LISA 5 Energiamõõtori laadimine kasutades LEGO Mindstorms NXT-d

100

Käesolevas punktis anname detailse 12 sammulise juhendi, kuidas laadida LEGO taastuvenergia mooduli energiamõõturit, kasutades LEGO Mindstorms NXT juhtplokki. Sammud 1-7 kehtivad iga laadimise korral, sammud 8-12 tuleb läbida ainult mitmekordsel laadimisel nagu kolmekordne laadimistsükkel esmakordsel kasutamisel.

**Samm 1:** Tehke kindlaks, et teil on kõik vajalikud seadmed: LEGO muundur kaabel, Power Functions (PF) pikendusjuhe, LEGO trafo, energiamõõtur ja NXT.

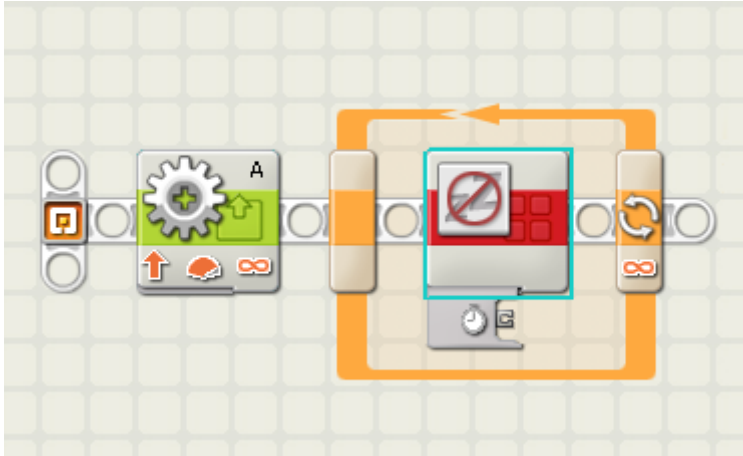
**Samm 2:** Ühendage muundur kaabel NXT porti A ja seejärel ühendage muundur kaabel PF juhtme helehalli otsaga. Ühendage PF juhtme tume ots energiamõõtori sisendpistikusse. Viimaks ühendage NXT energiaallikaga, kasutades trafot, nagu kujutatud joonisel 53.



Joonis 53: Energiamõõtori laadimine NXT-ga: 1 - energiamõõtur, 2 - PF pikendusjuhe, 3 - LEGO muundur kaabel, 4 - NXT juhtplokk, 5 - trafo. <sup>100</sup>

**Samm 3:** Kasutades Mindstorms NXT tarkvara konstrueerige programm, nagu kujutatud joonisel 54.

- Seadistage liikumiplokk (*Move*) piiramatu kestusega ja võimsusega 100.
- Seadistage lõpmatult jooksev tsükkel (*Loop*).
- Asetage *Keep Alive* plokk tsüklisse, et takistada laadimise ajal NXT välja lülitumist.



**Joonis 54: Laadimisprogramm.**

**Samm 4:** Lülitage sisse NXT juhtplokk.

**Samm 5:** Ühendage NXT arvutiga kasutades kas USB kaablit või Sinihammast (*Bluetooth*).

**Samm 6:** Avage loodud laadimisprogramm Mindstorm NXT tarkvaraga ning vajutage „Download and run“.

**Samm 7:** Lülitage energiamõõtur sisse. Laadimine algab.

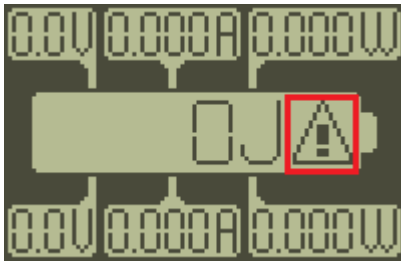
Täielik laadimine võtab tavaliselt umbes 1-3 tundi. Laadimine on lõppenud, kui ekraan lülitub välja. NB! Ekraani näit „100 J“ ei tähenda, et aku on täis.

**Edasised sammud on vajalikud mitmekordses laadimistsükli.**

**Samm 8:** Energiamõõturi aku tühjaks laadimiseks tuleb kõigepealt lahti ühendada kõik seadmed ja juhtmed.

**Samm 9:** Lülitage energiamõõtur sisse.

**Samm 10:** Vajutage ja hoidke rohelist sisse/välja nuppu 10 sekundit all, kuni ekraanile ilmub vilkuv hoiatussümbol, nagu kujutatud joonisel 55. Tühjakslaadimine algab.



**Joonis 55: Hoiatussümbol.** <sup>100</sup>

Täielik tühjakslaadimine võtab umbes 30-90 minutit. Tühjakslaadimine on lõppenud, kui ekraan lülitub välja. Tühjakslaadimist saab igal ajal katkestada vajutades sisse/välja nuppu.

**Samm 11:** Laadige energiamõõtur uuesti täis ja tühjaks korrates samme 2-10.

**Samm 12:** Lõpuks laadige energiamõõtur täis korrates samme 2-7.

# Kasutatud materjalid

- <sup>1</sup> Tony Barlow. *Technology and Exponential Growth*, 8. September 2012. <http://tonybarlow.net/technology-and-exponential-growth/> - viimati vaadatud 24.12.2013.
- <sup>2</sup> Vernier <http://www.vernier.com/> - viimati vaadatud 01.12.2012.
- <sup>3</sup> HiTechnic <http://www.hitechnic.com/> - viimati vaadatud 01.12.2012.
- <sup>4</sup> Koolirobootika projekt <http://www.robootika.ee/lego/projekt/> - viimati vaadatud 01.12.2012.
- <sup>5</sup> Eesti Nõukogude Entsüklopeedia, 2 köide. Tallinn. Valgus, 1987.
- <sup>6</sup> Energia. <http://et.wikipedia.org/wiki/Energia> - viimati vaadatud 24.12.2013.
- <sup>7</sup> Energy. <http://en.wikipedia.org/wiki/Energy> - viimati vaadatud 24.12.2013.
- <sup>8</sup> Elektrienergia. <http://et.wikipedia.org/wiki/Elektrienergia> - viimati vaadatud 24.12.2013.
- <sup>9</sup> Electric potential energy. [http://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_potential\\_energy](http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_potential_energy) - viimati vaadatud 24.12.2013.
- <sup>10</sup> Energeetika. <http://et.wikipedia.org/wiki/Energeetika> - viimati vaadatud 24.12.2013.
- <sup>11</sup> Energy industry. [http://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_industry](http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_industry) - viimati vaadatud 24.12.2013.
- <sup>12</sup> Energetics. <http://en.wikipedia.org/wiki/Energetics> - viimati vaadatud 24.12.2013.
- <sup>13</sup> LHC Energy consumption, Juuli 2007. <http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/faq/lhc-energy-consumption.htm> - viimati vaadatud 01.12.2012.
- <sup>14</sup> Eesti elektrisüsteemi varustuskindluse aruanne 2012 2012 [http://elering.ee/public/Infokeskus/Aruanded/Elering\\_Varustuskindluse\\_aruanne\\_2012.pdf](http://elering.ee/public/Infokeskus/Aruanded/Elering_Varustuskindluse_aruanne_2012.pdf) - viimati vaadatud 01.12.2012.
- <sup>15</sup> Põlevkivist elektri tootmine. <https://www.energia.ee/et/polevkivist-elektri-tootmine> - viimati vaadatud 24.12.2013.
- <sup>16</sup> Balti Soojuselektrijaam. <http://www.taevapiltnik.ee/blog/tag/balti-soojuselektrijaam/> - viimati vaadatud 24.12.2013.
- <sup>17</sup> CERN Document Server. <http://cdsweb.cern.ch/record/905939> - viimati vaadatud 24.12.2013.
- <sup>18</sup> Gail Tverberg. *The Long-Term Tie Between Energy Supply, Population, and the Economy*, 29. August 2012. <http://ourfiniteworld.com/2012/08/29/the-long-term-tie-between-energy-supply-population-and-the-economy/> - viimati vaadatud 01.12.2012.
- <sup>19</sup> Christopher Flavin. *Low-carbon energy: a roadmap (Worldwatch Institute Report 178)*, 2008 [http://www.worldwatch.org/system/files/EWP178\\_0.pdf](http://www.worldwatch.org/system/files/EWP178_0.pdf) - viimati vaadatud 05.12.2012.
- <sup>20</sup> *World Energy Consumption – Beyond 500 Exajoules*, 16. Veebruar 2012. <http://www.theoil drum.com/node/8936> - viimati vaadatud 01.12.2012.
- <sup>21</sup> Siim Kornel. *Õhk ja inimtegevus*, 2007. [http://www.miksike.ee/docs/referaadid2007/ohk\\_siimkornel.htm](http://www.miksike.ee/docs/referaadid2007/ohk_siimkornel.htm) - viimati vaadatud 02.12.2012
- <sup>22</sup> *World energy consumption*. [http://en.wikipedia.org/wiki/World\\_energy\\_consumption](http://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption) - viimati vaadatud 02.12.2012. (Andmete päritolu: IEA – International Energy Agency (Rahvusvaheline Energiaagentuur).)
- <sup>23</sup> *Environment: Act now or face costly consequences, warns OECD*, 15. Märts 2012. <http://www.oecd.org/newsroom/environmentactnoworfacecostlyconsequenceswarnsoecd.htm> - viimati vaadatud 02.12.2012.
- <sup>24</sup> *Great Smog*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Great\\_Smog](http://en.wikipedia.org/wiki/Great_Smog) - viimati vaadatud 02.12.2012.
- <sup>25</sup> Brian Wang. *Lifetime deaths and life expectancy impact from air pollution*, 31. Jaanuar 2012. <http://nextbigfuture.com/2012/01/lifetime-deaths-and-life-expectancy.html> - viimati vaadatud 02.12.2012.
- <sup>26</sup> *Solar cell*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell) - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>27</sup> *Working fluid*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Working\\_fluid](http://en.wikipedia.org/wiki/Working_fluid) - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>28</sup> *Solar heating*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_heating](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_heating) - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>29</sup> *Solar photovoltaics*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_photovoltaics](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_photovoltaics) - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>30</sup> *Solar thermal electricity*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_thermal\\_electricity](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_electricity) - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>31</sup> *Päikeseelement*. <http://et.wikipedia.org/wiki/P%C3%A4ikeseelement> - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>32</sup> *Solar notebook charger*. <http://ireview.com/solar-products/solar-powered-gadgets/solar-notebook-charger/> - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>33</sup> *Solar lamp*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_lamp](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_lamp) - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>34</sup> *Solar cell phone charger*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell\\_phone\\_charger](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell_phone_charger) - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>35</sup> *Päikeseenergia*. <http://copower.ee/alternatiiv/paikeseenergia/> - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>36</sup> *Solar power*. <http://cleantechnica.com/solar-power/> - viimati vaadatud 06.12.2012.

- 
- <sup>37</sup> Christopher Flavian. *Worldwatch report 178 - Low-Carbon Energy: A Roadmap*, 2008. [http://www.worldwatch.org/system/files/EWP178\\_0.pdf](http://www.worldwatch.org/system/files/EWP178_0.pdf) - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>38</sup> *7 Ancient Wonders of Green Design & Technology*. <http://webecoist.momtastic.com/2009/01/25/ancient-green-architecture-alternative-energy-design/> - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>39</sup> *Concentrated solar power*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Concentrated\\_solar\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Concentrated_solar_power) - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>40</sup> *Cliff Palace*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Cliff\\_Palace](http://en.wikipedia.org/wiki/Cliff_Palace) - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>41</sup> <http://www.ecofriend.com/almost-the-whole-of-israel-heats-water-with-sun-s-energy-only.html> - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>42</sup> *Solar energy*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_energy](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy) - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>43</sup> *Lieberose solar farm becomes Germany's biggest, world's second-biggest*, 22. August 2009. <http://www.astroman.com.pl/?mod=magazine&a=read&id=562> - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>44</sup> *Solar powered notebook concept*. <http://www.tuvie.com/solar-powered-notebook-concept/> - viimati vaadatud 06.12.2012.
- <sup>45</sup> *Wind power*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power) - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>46</sup> *Wind turbine*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine) - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>47</sup> *Vertical-axis wind turbine*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical-axis\\_wind\\_turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical-axis_wind_turbine) - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>48</sup> *Servomootor*. <http://et.wikipedia.org/wiki/Servomootor> - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>49</sup> *Tuuleenergia*. <http://et.wikipedia.org/wiki/Tuuleenergia> - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>50</sup> <http://www.telosnet.com/wind/early.html> - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>51</sup> *History of wind power*. [http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_wind\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_wind_power) - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>52</sup> *Post mill*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Post\\_mill](http://en.wikipedia.org/wiki/Post_mill) - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>53</sup> *Tuul*. <http://et.wikipedia.org/wiki/Tuul> - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>54</sup> Stefanos Sakellaridis. *Wind Energy is available to anybody*, Veebruar 2008. <http://holyltrinity.faithweb.com/p-on-Ecology/w01-aioliki.htm> - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>55</sup> *Wind Turbines*. <http://www.energysolve.ie/index.php/sustainable-world-1/domestic-application/wind-turbines/> - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>56</sup> *Vertical or Horizontal Axis Wind Turbines (VAWT or HAWT)?* <http://www.eng.src-vertical.com/information/beginners/vawt-or-hawt/> - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>57</sup> Megan Treacy. *Caltech Study Says Vertical Axis Turbines 10X More Efficient Than Horizontal Axis Turbines*, 13. Juuli 2011. <http://www.ecogeek.org/wind-power/3555-caltech-study-says-vertical-axis-wind-turbines-10x> - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>58</sup> *High-altitude wind power*. [http://en.wikipedia.org/wiki/High-altitude\\_wind\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/High-altitude_wind_power) - viimati vaadatud 13.12.2012.
- <sup>59</sup> <http://reido.bellust.ee/reisid/suvi2005/imagepages/image12.html> - viimati vaadatud 10.04.2013.
- <sup>60</sup> *Photos: Stunning aerial views of Sheringham Shoal Offshore Wind Farm*. [http://www.edp24.co.uk/news/environment/photos\\_stunning\\_aerial\\_views\\_of\\_sheringham\\_shoal\\_offshore\\_wind\\_farm\\_1\\_1465534](http://www.edp24.co.uk/news/environment/photos_stunning_aerial_views_of_sheringham_shoal_offshore_wind_farm_1_1465534) - viimati vaadatud 10.04.2013.
- <sup>61</sup> *Colorado's Wind Power could Triple by 2007*, 14. August 2004. [http://alt-e.blogspot.com/2004\\_08\\_01\\_archive.html](http://alt-e.blogspot.com/2004_08_01_archive.html) - viimati vaadatud 10.04.2013.
- <sup>62</sup> <http://www.flickr.com/photos/archer10/4980285566/> - viimati vaadatud 10.04.2013.
- <sup>63</sup> *Hydropower*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydropower> - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>64</sup> *Hüdroenergia*. <http://et.wikipedia.org/wiki/H%C3%BCdroenergia> - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>65</sup> *Hydroelectricity*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydroelectricity> - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>66</sup> *Pumped-storage hydroelectricity*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage\\_hydroelectricity](http://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage_hydroelectricity) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>67</sup> *Run-of-the-river hydroelectricity*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Run-of-the-river\\_hydroelectricity](http://en.wikipedia.org/wiki/Run-of-the-river_hydroelectricity) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>68</sup> *Hüdroelektrijaam*. <http://et.wikipedia.org/wiki/H%C3%BCdroelektrijaam> - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>69</sup> Brian Davis. *Triple Frontera*, 9. Oktoober 2011. <http://faslanyc.blogspot.com/2011/10/triple-frontera.html> - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>70</sup> *LEGO solar panel*. <http://education.lego.com/en-gb/lego-education-product-database/machines-and-mechanisms/9667-lego-solar-panel/> - viimati vaadatud 10.05.2013.
- <sup>71</sup> *E-motor*. <http://education.lego.com/en-gb/lego-education-product-database/machines-and-mechanisms/9670-e-motor/> - viimati vaadatud 10.05.2013.

- <sup>72</sup> *Power Function light*. <http://education.lego.com/en-gb/lego-education-product-database/machines-and-mechanisms/8870-power-functions-light/> - viimati vaadatud 10.05.2013.
- <sup>73</sup> *LEGO Mindstorms NXT*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Lego\\_Mindstorms\\_NXT](http://en.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms_NXT) - viimati vaadatud 28.04.2013.
- <sup>74</sup> *LEGO Mindstorms*. [http://en.wikipedia.org/wiki/LEGO\\_Mindstorms](http://en.wikipedia.org/wiki/LEGO_Mindstorms) - viimati vaadatud 28.04.2013.
- <sup>75</sup> *LEGO Mindstorms NXT 2.0*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Lego\\_Mindstorms\\_NXT\\_2.0](http://en.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms_NXT_2.0) - viimati vaadatud 28.04.2013.
- <sup>76</sup> *Loodete energia*. [http://et.wikipedia.org/wiki/Loodete\\_energia](http://et.wikipedia.org/wiki/Loodete_energia) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>77</sup> *Tidal power*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_power) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>78</sup> *Sihwa Lake Tidal Power Plant*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Sihwa\\_Lake\\_Tidal\\_Power\\_Plant](http://en.wikipedia.org/wiki/Sihwa_Lake_Tidal_Power_Plant) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>79</sup> *Rance Tidal Power Station*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Rance\\_Tidal\\_Power\\_Station](http://en.wikipedia.org/wiki/Rance_Tidal_Power_Station) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>80</sup> *Tidal stream generator*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal\\_stream\\_generator](http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_stream_generator) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>81</sup> *Tidal barrage*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal\\_barrage](http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_barrage) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>82</sup> *Tidal energy*. <http://www.oceanenergycouncil.com/index.php/Tidal-Energy/Tidal-Energy.html> - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>83</sup> Deepraj Sarmah. *A tidal wave of electricity: role of tidal turbines*. <http://www.ektitli.org/2012/08/21/a-tidal-wave-of-electricity-role-of-tidal-turbines/#axzz2MUkZ0lwW> - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>84</sup> Jan Oliver Löffken. *Energy question of the week: How much electrical power can be harnessed from tides?*, 22. Veebruar 2010. [http://www.dlr.de/blogs/en/desktopdefault.aspx/tabid-6192/10184\\_read-49/](http://www.dlr.de/blogs/en/desktopdefault.aspx/tabid-6192/10184_read-49/) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>85</sup> *SeaGen*. <http://en.wikipedia.org/wiki/SeaGen> - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>86</sup> *Dynamic tidal power*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic\\_tidal\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_tidal_power) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>87</sup> *Laineenergia*. <http://et.wikipedia.org/wiki/Laineenergia> - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>88</sup> *Wave power*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Wave\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_power) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>89</sup> *Islay LIMPET*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Islay\\_LIMPET](http://en.wikipedia.org/wiki/Islay_LIMPET) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>90</sup> *Wave energy*. <http://www.oceanenergycouncil.com/index.php/Wave-Energy/Wave-Energy.html> - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>91</sup> *Marine energy*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Ocean\\_energy](http://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_energy) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>92</sup> *Marine current power*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Marine\\_current\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Marine_current_power) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>93</sup> *Osmotic power*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Osmotic\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Osmotic_power) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>94</sup> *Pressure Retarded Osmosis*. <http://ergpower.info/Pressure-Retarded-Osmosis.php> - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>95</sup> *Reverse electrodialysis*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Reverse\\_electrodialysis](http://en.wikipedia.org/wiki/Reverse_electrodialysis) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>96</sup> *Pressure-retarded osmosis*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Pressure-retarded\\_osmosis](http://en.wikipedia.org/wiki/Pressure-retarded_osmosis) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>97</sup> *Ocean thermal energy conversion*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Ocean\\_thermal\\_energy](http://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_thermal_energy) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>98</sup> *Aguçadoura Wave Farm*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Agu%C3%A7adoura\\_Wave\\_Park](http://en.wikipedia.org/wiki/Agu%C3%A7adoura_Wave_Park) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>99</sup> *Wave Power Case Study. The Limpet 500; Islay*. [http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites/01-02/RE\\_info/wavecase.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/01-02/RE_info/wavecase.htm) - viimati vaadatud 24.04.2013.
- <sup>100</sup> *Renewable Energy Quick Start Guide*. [http://www.google.ee/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0CG8QFjAH&url=http%3A%2F%2Fcache.lego.com%2Fr%2Feducation%2F-%2Fmedia%2FLEGO%2520Education%2FHome%2FDownloads%2FUser%2520Guides%2FGlobal%2FMain%2Fchines%2520and%2520Mechanisms%2Fts.20110508T194103.Renewable%2520Energy%2520Quick%2520Start%2520Guide.pdf&ei=rSNpUvvyJ4WR4ATmnIHACQ&usq=AFQjCNGIYG4Tzsi0s34Y9\\_HXEMCDYWyLUw&sig2=TcQ9iOJv-BffetpBP2V2MQ&bvm=bv.45175338,d.bGE](http://www.google.ee/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0CG8QFjAH&url=http%3A%2F%2Fcache.lego.com%2Fr%2Feducation%2F-%2Fmedia%2FLEGO%2520Education%2FHome%2FDownloads%2FUser%2520Guides%2FGlobal%2FMain%2Fchines%2520and%2520Mechanisms%2Fts.20110508T194103.Renewable%2520Energy%2520Quick%2520Start%2520Guide.pdf&ei=rSNpUvvyJ4WR4ATmnIHACQ&usq=AFQjCNGIYG4Tzsi0s34Y9_HXEMCDYWyLUw&sig2=TcQ9iOJv-BffetpBP2V2MQ&bvm=bv.45175338,d.bGE) - viimati vaadatud 10.05.2013.

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina Raido Raagmaa

(sünnikuupäev: 01. Jaanuar 1990)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „LEGO Mindstorms NXT-ga ühilduv LEGO taastuenergia komplekt“, mille juhendajad on Anne Villems ja Taavi Duvin,
  - 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus **10.05.2013**