

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKATEADUSKOND
Arvutiteaduse instituut
Informaatika eriala

Anton Adamenkov

**Lego MINDSTORMS NXT'ga ühilduv
õhurõhuandur ja pneumokomplekt**
Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendajad: lektor Anne Villems
Kaasjuhendaja: spetsialist Taavi Duvin

Autor: “.....“ juuni 2010

Juhendaja: “.....“ juuni 2010

Professor Lubada kaitsmisele
“.....“ juuni 2010

Sisukord

Sissejuhatus.....	2
1.1. Pneumaatika ja pneumaatika seadmed	5
1.2. LEGO pneumatikakomplekt	8
2. Õhurõhuandur	15
2.1. Õhurõhk	15
2.2. Anduri tööpõhimõte	16
2.3. Anduri programmeerimine	18
3. Ülesanded	20
3.1. Ülesanne 1. Tere Maailm.....	21
3.2. Ülesanne 2. Õhureservuaar	23
3.3. Ülesanne 3. Õhukompressori ehitus	24
3.4. Ülesanne 4. Õhurõhu graafiku joonistamine	25
3.5. Ülesanne 5. Digitaalne manomeeter	28
3.6. Ülesanne 6. Pneumomootori ehitus	29
Kokkuvõte.....	31
Kasutatud materjalid.....	34
Lisad	37
Lisa 1 - Ülesannete lahendused	37

Sissejuhatus

Iga kooli eesmärgiks on kasvatada uut põlvkonda, kes tulevikus on võimelised realiseerima ennast oma isiklike moraalsete ja intellektuaalste väärtuste põhjal. Koolides antakse meile baasteadmised, mis saavad vajalikuks igapäevaelus. Iga aine on omamoodi tarvilik ja iga õpetaja peaks suutma äratada huvi oma tundide vastu. Eriti raske on äratada huvi oma aine vastu reaalinete õpetajatel. Õpikutes on palju teooriat, kuid tavaliselt paremini jäävad meelde need osad, kus teooria on seotud praktikaga.

Üheks raskemaks füüsika teemaks on "pneumaatika". Pneumaatika on populaarne vahend tööstuses, kuid seda käsitletakse füüsikatundides vähe. Pneumaatika teema edendamist võiks aidata LEGO MINDSTORMS NXT komplekt.

Sõna "PNEUMO" on pärit kreeka keelest ning see tähendab hingamist, tuult. Sellest sõnast tulenebki sõna "PNEUMAATIKA" kui teadus õhu liikumisest ja kasutamisest, kaasajal suruõhu kasutamisest energiaülekanDES.

Suruõhk on tõenäoliselt üks vanimaid inimese poolt kasutusele võetud füüsilise jõu suurendamiseks kasutatavaid energiakandjaid. Juba aastatuhandeid tagasi osati suruõhku kasutada oma huvides.

Suruõhu kasutamine sai populaarseks, sest seda on lihtne kätte saada ja transportida. Suruõhu kasutamisel puudub plahvatus- ja süttimisoht, seega puudub vajadus kasutada spetsiaalseid turvavahendeid. Suruõhk on puhas energiakandja; lekkivad torustikud ei saasta keskkonda, mis on eriti oluline toiduainete-, puidu-, tekstiili- ja galanteriitööstuses.

LEGO pneumaatika komplekt on loodud selleks, et õppida ja katsetada pneumaatika põhimõtteid. LEGO pneumaatika komplekt on mõeldud LEGO standardkomplektiga kasutamiseks. Standardkomplekt koosneb juhtploki, mootoritest, erinevatest anduritest (heliandurist, puuteandurist, valguse ja kauguse andurist) ja ehitusklotsidest. Õpetajad koolides, kus on olemas LEGO komplektid, saavad kasutada seda erinevates õppeainetes. LEGO komplekt on hea võimalus arendada mõtlemise, arutlemise ja kokkuvõtte tegemise võimet. LEGO robotit juba kasutatakse nii algkoolis, põhikoolis kui ka gümnaasiumis. Algkoolis õpetatakse õpilasi mänguliselt täitma erinevaid ülesandeid, mis põhikoolis ja

gümnaasiumis saab edasi arendada reaallainetes. LEGO robotid on nii uus vahend õpilastele, et nagu näitab praktika mitmes koolis, saab õppimine nende läbi nii õpilastele kui õpetajatele huvitavamaks ja mängulisemaks, ülesandeid hakatakse täitma suure innuga. Täites emotsionaalseid praktilisi ülesandeid jääb ka õppematerjal paremini meelde.

Selles bakalaureusetöös tutvustatakse pneumaatilist LEGO komplekti. Maailmas on palju ehitisi, kus kasutatakse pneumaatikat ja selle teema detailsem käsitlemine koolides võiks tekitada huvi tehnika vastu, tuua rohkem koolilõpetajaid tehnilistele erialadele ülikoolides. Kuna LEGO MINDSTORMS NXT standardkomplekt on ca 60 Eesti koolis juba tuttav, siis on edasijõudnutele vaja tutvustada lisaandurite võimalusi. Selles töös tutvustataksegi ühte sellist lisaandurit: õhurõhuandurit ja vastavat pneumaatika komplekti. Pneumaatika komplekti lühikirjeldus on esitatud Kooliroboti projekti materjalides [4]. Käesolevas töös anname detailsema pneumaatika komplekti kirjelduse: selgitame, mis on pneumaatika, kuidas töötab LEGO pneumaatika komplekt ja õhurõhuandur.

LEGO pneumaatika komplekti tutvustamine koolides on oluline, kuna loodusaine ja füüsika nutavad õpilaste õpitulemused õppekava järgi on (järgnev lõik on kirjutatud kasutades allikat [5]):

- omandab teadmisi energia saamisest, muundumisest ja kasutamisest;
- teab inimese kasutatavaid energiallike;
- oskab püstitada hüpoteese ja kontrollida neid katseandmete põhjal;
- oskab mõõta;
- oskab võrrelda ja võrdlemistulemuste põhjal objekte rühmitada, järjestada jne.

Selle bakalaureusetöö eesmärk on:

- koostada LEGO MINDSTORMS NXT pneumaatikakomplekti detailsem kirjeldus eesti keeles;
- õhurõhuanduri töö uurimine ja selle kirjeldamine ka eesti keeles; ülesannete koostamine, mille kaudu õpilased saaksid praktilise kogemuse töötamiseks suruõhu seadmetega;
- ülesannete lahendused õpetajate jaoks.

Antud bakalaureusetöö koosneb kolmest osast:

- Töö esimeses osas tutvustatakse detailselt pneumaatikat ja pneumaatika seadmeid. Vaadatakse läbi erinevaid pneumaatika komponente, kirjeldatakse, kuidas ja mille abil need töötavad. Samas tutvustatakse õhurõhu mõistega. Kuna töö teema on LEGO komplekt, siis ka detailselt kirjeldatakse LEGO pneumaatika komplekti.
- Töö teises osas antakse ülevaade õhurõhuanduri töö põhimõttest, selle kasutamisest ja programmeerimisest.
- Töö kolmandas osas esitatakse ülesandeid koos lahenduste ideedega ja vastavate programmidega.

Selle töö kirjutamiseks kasutati inglisekeelseid LEGO ja LEGO pneumaatikakomplekti kirjeldusi [2, 3], "Pneumaatika ja pneumaatika seadmed: õppematerjal" koostatud Tallinna Tehnika Ülikoolis [7], Kooliroboti projekti koduleht [4] ja erinevad portaalid, kus on antud informatsioon LEGO komplektist ja pneumaatikast [1, 6].

1. LEGO pneumaatikakomplekt

Selles peatükis kirjeldatakse pneumaatika põhimõtteid ja seadmed, et oleks kergem ja arusaadavam LEGO pneumaatika komplektiga töötada. Edasi esitatakse LEGO pneumaatika komplekti detailne kirjeldus, kuna see on olemas ainult inglise keeles [25], eesti keeles on olemas ainult komplekti lühikirjeldus [1,14].

1.1. Pneumaatika ja pneumaatika seadmed

Pneumaatika on rakendusteadus, mis tegeleb gaaside mehaaniliste omadustega ning nende rakendamise ga [12].

Järgnev lõik baseerub allikal [7, lk. 4]. Pneumaatilisi mehhanisme kasutatakse laialt tootmises, paljudes ettevõtetes on loodud suruõhu või muu gaasi jaotamise süsteemid. Kaasajal leiab seadmete pneumojuhtimine kasutamist vaid lihtsate juhtimisprotsesside korral, kus juhtivaid jaotureid on vähe. Samal ajal on pneumaatilised täiturseadmed kujunenud kaasaegse mehatronilise süsteemi "käteks" ja "jalgadeks", mida juhib elektrooniline "aju" – kompuuter või kontroller.

Pneumaatilised seadmed, milledest mõned on ka LEGO komplektis (need seadmed, mille abil on võimalik saada vajalikke kooliteadmisi pneumaatikas), on järgmised: kompressorid, pneumosilinder, jaotid, suruõhu reservuaar, manomeeter, ja pneumomootor. Allpool on iga seade detailselt kirjeldatud.

Kuna ükski koostatud pneumosüsteem ei saa töötada ilma sururõhuta, siis alguses peatume sellel definitsioonil, mis on kirjutatud allika [7, lk.4] põhjal. Pneumaatilised transpordisüsteemid ja pneumaatilised robotid, mille energia kandjaks on suruõhk, on levinud laialt. Suruõhk on õhk, mis on kokku pressitud kõrgema rõhu alla kui ümbritseva õhu rõhk (üldjuhul atmosfäärirõhk). Suruõhk on paljude tehniliste protsesside energia kandja, suruõhku kasutavad paljud seadmed ja masinad. Suruõhku kasutatakse pneumoseadmetes, kus tema potentsiaalne energia muundatakse mehhaaniliseks tööks. Suruõhku kasutatakse laialdaselt tööstuses suruõhutööriistade toiteks, sõidukitel, rehvides, pidurisüsteemides ja mujal. Tavaliselt kasutatakse pneumoseadmetes kokkusurutuna meid

ümbritsevat õhku, aga on ka seadmeid, kus kasutatakse muudetud koostisega suruõhku, näiteks akvalangides.

Suruõhk on suhteliselt kallis energiakandja [1] võrreldes näiteks elektriga, kuna suruõhu tootmisel toimub energia kaotus, näiteks pumpamisel vaja energia kulutada kolvi liikumiseks. Samas on pneumokomponendid efektiivsed, töökindlad ning suhteliselt odavad, mis enamikel juhtudel kompenseerib suruõhu kõrge hinna.

Rõhu põhimõõtühikuks on paskal (Pa). Paskal on rõhuühik. 1 Pa on rõhk, mille tekitab 1 m² suurusele pinnale ühtlaselt jaotunud 1 N suurune jõud [15]. Paskal on väga väikene ühik, mis ei ole sobiv tavarõhkude mõõtmiseks. Saadakse suured ja sageli ebaülevaatlikud rõhu arvvaartused, näiteks atmosfäärõhurõhku väljendatakse tavaliselt millimeetrites elavhõbedasammast. Sellest asjaolust tingituna kasutab praktika paskalist tuletatud ühikuid:

megapaskal: 1MPa = 10⁶ Pa, ja baar: 1 bar = 10⁵ Pa

Seadmetes kasutatava suruõhu rõhk on tavaliselt [10] 0,3...0,6 MPa. Suruõhu kogumiseks ja säilitamiseks kasutatakse gaasiballoone, kus rõhk võib olla 20 MPa ja rohkemgi. Suruõhu saamiseks kasutatakse kompressoreid.

Kompressorid on seadmed, mis on mõeldud gaaside kokkusurumiseks, sealhulgas suruõhu tootmiseks; gaasi kokkusurumisel tehakse mehhaanilist tööd, mille tulemusel gaasi ruumala väheneb ja rõhk suureneb [7, lk.19].

Liikumist gaasi rõhu jõul võimaldab pneumosilinder [7]. Pneumosilindrid võivad olla ühepoolse ja kahepoolse toimega. Ühepoolse toimega silindris toimib suruõhurõhk vaid ühes silindri pooles, teine silindri pool on ühendatud atmosfääriga. Neid kasutatakse, kui silindri töötamisel on tarvis teha tööd vaid ühes suunas. Kahepoolse toimega silindrite tööpõhimõtte on sarnane ühepoolse toimega, vahe on vaid selles, et kolvi liikumine mõlemas suunas toimub suruõhu toimel. See võimaldab silindrile rakendada koormust liikumistel mõlemas suunas.

Pneumosilindri eeliseks võrreldes hüdrosilindriga (ehk seadmega, mille ülesandeks on vedeliku hüdraulilise energia muutmise kolvi sirgjoonelise liikumise energiaks [8]) on suur

töökiirus ja tavalisema töögaasi, suruõhu laialdane kättesaadavus ja puuduseks, võrrelduna hüdrosilindriga, on tänu madalamale töö rõhule samade mõõtmete juures nõrgem jõud [9].

Järgmiseks kirjeldame allika [7] abil terminit jaotid, mis on pneumosüsteemis kasutusel juhtimisseadmena. Jaotitel on pneumosüsteemi töös kaks funktsiooni: juhtimisfunktsioon ja kraani funktsioon. Juhtimisfunktsioon – täituri, s.o. pneumosilindri või -mootori töö juhtimine. Lülitil abil tagatakse täiturilt saadava liikumise alustamine ja lõpetamine ning jaoti lülitusasend määrab liikumise suuna. Kraani funktsioon – jaoti abil avatakse või suletakse suruõhu läbivool torustikus või selle harudes.

Suruõhu reservuaari ülesandeks on moodustada suruõhu tagavara õhu ebaühtlase kasutamise korral (akumulaatori funktsioon) ja ühtlustada survet pneumosüsteemis; reservuaarile paigaldatakse manomeeter suruõhu rõhu kontrollimiseks [7, lk.26].

Järgnev lõik on kirjutatud kasutades allikat [11]. Manomeeter ehk rõhumõõtur on rõhu mõõteriist, mis on mõeldud ülerõhu mõõtmiseks. Mehaaniliste manomeetrite töö põhineb rõhu poolt tekitatud deformatsiooni mõõtmisel. Mida suurem on rõhk, seda suurem on tema poolt tekitatud deformatsioon. Selline manomeeter mõõdab rõhku kaudselt. See tekitab mõõtmisvigasid, mis on tingitud näidiku ebatäpsusest, deformeeritava elemendi väsimusest. Vastutusrikastel seadmetel töötavaid mehaanilisi manomeetreid tuleb perioodiliselt kontrollida. Erinevates diapsoonides on vaja kasutada erinevaid mehaanilisi manomeetreid, sest manomeetri elastne element peab olema erineva jäikusega. Vedrumanomeeter võimaldab mõõta rõhku 0,5...10000 baari, membraanmanomeeter rõhku kuni 25 baari. Mehaaniliste manomeetrite eeliseks on töökindlus, väikesed gabariidid, mõõdavad suuri rõhkusi ja manomeetri lihtne paigaldus.

Sisuliselt on pneumosilinder edasi-tagasi liikumist võimaldav pneumomootor [9]. Pneumomootor on mootor, mis muudab gaasi rõhuenergiat mehaaniliseks tööks, selle eeliseks on suur liikumiskiirus, puuduseks aga väike arendatav pöördemoment ja jõud [13]. Pneumomootorid võimaldavad muuta suruõhuenergia ühesuunalise pöörleva liikumise mehaaniliseks energiaks [7, lk. 57].

Järgmises peatükis on kirjeldatud LEGO pneumaatikakomplekti komponendid, kuidas need töötavad ja toodud on ka joonised, et näidata, kuidas nad välja näevad.

1.2. LEGO pneumaatikakomplekt

LEGO Mindstorms NXT on LEGO väljatöötatud õppevahend (programmeeritav robootikakomplekt). Eestis kasutavad uuemal andmeil LEGO Mindstorms NXT komplekte juba 60 kooli [20]. Koolidesse robootikakompletide muretsemist toetab Tiigrihüppe Sihtasutus. Kooliroboti projekt sai alguse 2007. aasta kevadel, kui otsustati edendada inseneriteadust Eesti koolides [21]. Selle projekti raames koostatakse eestikeelseid juhendeid robotite programmeerimiseks. Täpsemalt projektist saab lugeda M. Seileri bakalaureuse töös : "Ülesannete kogu LEGO Mindstorms NXT roboti anduritele" [26].

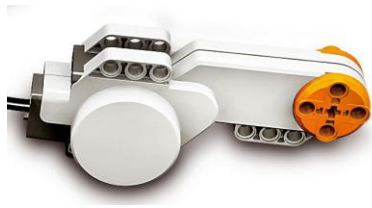
Käesolevas töös kirjeldakse LEGO pneumaatika komplekti, millest saab kokku panna erinevaid süsteeme, kasutades LEGO Mindstorm NXT robootikakomplekti detaile, juhtploki (joonis 1) ja mootorit (joonis 2).

NXT Intelligent Brick ehk juhtplokk on risttahuka-kujuline arvuti [24]. Selle mustvalgel LCD-ekraanil on neli nuppu, mida saab kasutada navigeerimiseks hierarhilises menüüs. Tekstsõnumid NXT ekraanil kuvatakse inglise keeles. NXT on varustatud kolme väljundpordiga A, B ja C, et seda saaks ühendada mootoritega. Iga roboti konstruktsioonis kasutatav mootor tuleb ühendada ühe pordiga (kas A, B või C). Juhtplokil on olemas ka neli sisendiporti anduritega ühendamiseks. Täpsemalt saab juhtblokist lugeda M. Urbaniku bakalaureusetööst [24].



Joonis 1. NXT Intelligent Brick (juhtplokk) [27]

LEGO komplektis on kolm mootorit. Need töötavad juhtploki aku abil. Juhtploki abil saab programmeerida mootori pöörlemiskiirust ja tööaja kestust.



Joonis 2. LEGO NXT mootor [28]

Kooliroboti projekt lõi ka LEGO pneumaatika lühitutvustuse [14]. Selle töö ülesanne on luua detailsem LEGO pneumaatikakomplekti kirjeldus, näidata, kuidas see töötab ja koostada praktilisi ülesandeid LEGO pneumaatika komplektile.

LEGO pneumaatikakomplekt koosneb erinevatest komponentidest, mille abil on võimalik kokku panna erinevaid pneumaatikasüsteeme. Kui elektrimootorite puhul on liigutuste tegemiseks vaja elektrivoolu, siis LEGO pneumaatikasüsteemides kasutatakse tavaliselt suruõhku või mõnda muud gaasi [14].

LEGO pneumaatikakomplekti komponentideks on:

Pneumaatiline pump (ehk õhupump)

Pump on seadeldis vedeliku, gaasi või liiva ülepumpamiseks välisenergia edasiandmise tagajärjel. Kuna selles töös käsitletakse pneumaatikat, kirjeldatakse edaspidi pneumaatilist pumpa. Pneumaatilised pumbad, on tänu oma omadustele (paigalduse ja hoolduse lihtsusele, komponentide madalale hinnale) leidnud kasutuse eri valdkondades: naftakeemiatööstuses, tselluloosi- ja paberitööstuses, keraamatööstuses, keemia- ja toiduainete töötlemises, fotolaboratuurimites, laevaehituses jne. Pneumaatiline pump kujutab endast torustikega ühendatud kinnist anumad.

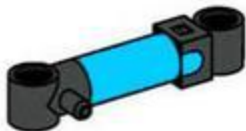
Pneumaatilist pumpa kasutatakse suruõhu tekitamiseks [14]. LEGO komplektis on kasutusel kaks versiooni pumpasid: suur kolvipump, nimetakse ka vedrupumbaks (joonis 3) ja väike kolvipump (joonis 4). Suuremal vedrupumbal on nupp ja seda on võimalik mugavalt ka käsitsi kasutada. Selle kasutamine on väga lihtne: et pumbata õhku on vaja vajutada nupule mitu korda. Suur õhupump võimaldab küllaltki lühikese aja jooksul

tekitada piisaval kogusel suruõhku. Mõeldud käsitsi kasutamiseks, aga on võimalik ühendada ka mootoriga.

Väike õhupump on mõeldud spetsiaalselt LEGO mootoriga kasutamiseks. Võrreldes käsipumbaga, võtab sama suure rõhu tekitamine kauem aega, kuna pumba ruumala on väiksem.



Joonis 3. LEGO suur pneumaatiline pump [29]



Joonis 4. LEGO väike pneumaatiline pump [29]

Pneumosilinder

Järgnev lõik on kirjutatud allika [16] põhjal. Silindrid (joonised 5 ja 6) on välimuselt sarnased pumpadega, kuid omavad ühe väljundi asemel kahte. Kinnise silindri oluliseks komponendiks on liikuv kolb, mille asendit saab suruõhu abil muuta. Kolb on mehhanismi osa, mis asub ja liigub reeglina silindris ning millele avaldatakse erineval moel (käsitsi, vajudes nupule või mootori abil) jõudu, et see annaks sellest saadud energia edasi masinale või seadmele.

Silindreid saab kasutada mootorite asendajatena, et mingit kindlat liigutust või tegevust teha. Silindrid on võrdlemisi tugevad, aga samas kerged, mistõttu on neid hea kasutada olukordades, kus kaal on kriitiline. Erinevalt mootoritest, mis liiguvad pöörlevalt, liiguvad silindrid lineaarselt. Kui mootorite reageerimisega võib pidada koheseks, siis pneumaatikasilindritele on omane teatav ooteaeg, mis sõltub õhuvoolikute pikkusest, süsteemi rõhust ja konstruktsioonist. Mida suurem on rõhk, seda kiiremini silindrid reageerivad.

Sarnaselt pumpadele on ka silindreid kahte tüüpi [14]. Suur silinder on suure ruumalaga ja pikema kolvikäiguga. Võimaldab lineaarset liikumist 2,8 cm ulatuses. Väike silinder on väiksema ruumala ja kolvikäiguga kui suurem silinder. Võimaldab lineaarset liikumist 1,5 cm ulatuses.



Joonis 5. LEGO suur pneumosilinder [31]

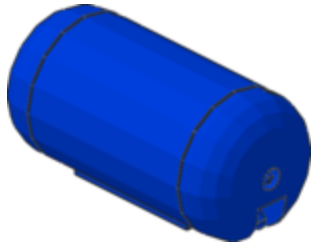


Joonis 6. LEGO väike pneumosilinder [31]

Õhureservuaar (ehk õhupaak)

Edasine lõik on kirjutatud kasutades allikat [14]. Õhureservuaar (joonis 7) on paljude pneumaatiliste konstruktsioonide oluline osa, kuna need võimaldavad säilitada kogutud suruõhku hilisemaks kasutamiseks. See ei ole kriitiline komponent, sest silindrite kolbe

saab liigutada suruõhu abil, mis on eelnevalt voolikutesse pumbatud. Samas annab õhupaak süsteemile suurema õhu tagavara, mistõttu ei pea kogu aeg õhku juurde pumpama. Pumba võib käivitada vastavalt vajadusele, kui rõhk on langenud liiga madalale.

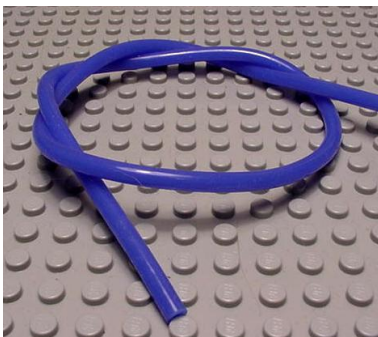


Joonis 7. LEGO õhureservuaar [29]

Õhuvoolikud

Õhuvoolikuid (joonis 8) kasutatakse pneumaatikakomponentide omavaheliseks ühendamiseks. Need on kolme värvi: sinised, mustad ja hallid. Värvide abil on võimalik süsteemist paremini aru saada, sest ühte tüüpi voolikud on ühte värvi. Traditsiooniliselt on sinised voolikud toiteõhu tarbeks. Halle ja musti voolikuid kasutatakse silindrite ühendamiseks.

Voolikud võib ühendada lülitisse, õhupaagi T-ühendusse, silindritesse, pumba, jaotisse, manomeetri või rõhuandurisse (kõik terminid on edaspidi täpsemalt selgitatud).



Joonis 8. LEGO õhuvoolik [31]

Pneumaatiline lüliti

Järgmine tekstiosa on kirjutatud allika [14] põhjal. Pneumaatilist lüliti kasutatakse õhu ümbersuunamiseks, mis võimaldab muuta kolvi asendit silindris. Lüliti on kolm ventiili. Keskmine ventiil on sissetuleva õhu jaoks. Äärmised ventiilid on väljuva õhu jaoks ja sõltuvalt lüliti asendist on nad kas avatud või suletud. Lüliti asendeid on kolm, keskmises asendis on mõlemad väljuvad ventiilid suletud. Parempoolses asendis on vasakpoolne ventiil avatud ja vastupidi.



Joonis 9. Pneumaatiline lüliti [31]

Pneumaatiline T-ühendus

T-ühendus on (joonis 10) kõige väiksem osa LEGO pneumaatilises komplektis, mis võimaldab kolm voolikut omavahel ühendada.

T-ühendused võimaldavad ühte voolikut mitmeks jagada või mitut voolikut üheks kokku ühendada. Kindlasti on T-ühendused vajalikud, kui süsteemiga on ühendatud rohkem kui üks silinder.



Joonis 10. Pneumaatiline T-ühendus [31]

Pneumaatiline manomeeter

Manomeeter (joonis 11) ehk rõhumõõtur on rõhu mõõteriist, mis on mõeldud ülerõhu mõõtmiseks. Mehaaniliste manomeetrite töö põhineb rõhu poolt tekitatud deformatsiooni mõõtmisel. Mida suurem on rõhk, seda suurem on tema poolt tekitatud deformatsioon. Manomeeter mõõdab rõhku kaudselt, mõnikord tekib ka mõõtmisvigasid, mis on tingitud näidiku ebatäpsusest, deformeeritava elemendi väsimusest. Vastutusrikastel seadmetel töötavaid mehaanilisi manomeetreid tuleb perioodiliselt kontrollida.

Järgnev lõik baseerub allikal [14]. LEGO manomeeter on analoognäidik, mille abil on võimalik süsteemis oleva õhu rõhku jälgida. Analooonäidikutel on suurimaks puuduseks väljundi puudumine, mistõttu LEGO manomeetrit ei ole võimalik otse NXT juhtplokiiga ühendada. LEGO pneumaatilise komplekti manomeetri mõõtevahemik on 0-4 baari või 0-60 psi on USA mõõtuühik, mis tähendab *pound-force per square inch* (üks nael ruuttolli kohta):

(1 psi) võrdub 6895 kPa (kilopaskal), 1 nael/ruuttoll



Joonis 11. Pneumaatiline manomeeter

2. Õhurõhuandur

Selles peatükis räägitakse õhurõhuandurist, mille abil saab mõõta rõhku, selle anduri tööpõhimõtetest ja programmeerimisest. Samuti kirjeldatakse õhurõhku, kuna teadmised selle omadustest on vajalikud õhurõhuanduri programmeerimiseks.

2.1. Õhurõhk

Kuna edasi hakatakse rääkima õhurõhuandurist, siis on mõtet alguses rääkida õhurõhust, selle omadustest ja rakendamise alast.

Õhurõhk on õhu rõhk mingis kindlas kohas Maa atmosfääris [17]. Õhu liikumine mõjutab õhurõhku enamasti väga vähe, mistõttu võib enamasti kasutada mudelit, milles õhk on liikumatu ning õhurõhk võrdub kõrgemal asuva õhu kaalust tingitud hüdrostaatilise rõhuga. Hüdrostaatiline rõhk ehk hüdrostaatiline pinge on rõhk, mis mõjub tasakaalus vedelikus.

Rõhk on füüsikaline suurus, mis võrdub pinnale risti mõjuva jõu ja pindala suhtega:

$$p = \frac{F}{S},$$

kus

p = rõhk

F = jõud

S = pindala.

Kui välisjõud mõjub tahkele kehale, siis annab keha rõhu edasi mõjuva jõu suunas. Vedelikud ja gaasid alluvad Pascali seadusele [18]. Pascali seaduse ehk hüdrostaatika põhiseaduse kohaselt kandub rõhk vedelikus või gaasis edasi igas suunas ühteviisi [23].

Kõik asjad, millel on kaal, avaldavad rõhku enda all asuvatele esemetele. Näiteks selleks, et kustukumm kustutaks, on vaja avaldada survet kummile, siis surub kumm omakorda paberile. Maad ümbritseb igast küljest paks õhukiht. Õhukihi survet Maale nimetatakse õhurõhuks. Me ei tunne õhusurvet, sest me oleme sellega harjunud ja õhk rõhub meid ühtlaselt igas suunas.

Õhurõhu suurus oleneb mõõtmise kohast maapinna suhtes. Mida kõrgemal mägedes õhurõhku mõõta, seda väiksem on õhumassi rõhk, sest mägede kohal on õhusamm väiksem ja õhk hõredam. Õhurõhk oleneb ka õhutemperatuurist. Sooja õhu rõhk on väiksem (õhk on hõredam) ja külma õhu rõhk on suurem. Erisuguse õhurõhuga piirkondi nimetatakse kõrgrõhkkondadeks ja madalrõhkkondadeks.

Kooliprogrammis pööratakse tähelepanu teemadele pneumaatika ja õhurõhk 7. klassis loodusõpetuse teemas "aine ehitus" ja gümnaasiumis füüsika ainekavas, kui õpitakse soojusõpetust [5]. Ka vaadetakse pneumaatika tööpõhimõtteid töö- ja tehnoloogiaõpetuses. Võime teha järelduse, et õhurõhu ja pneumaatika teemad on õpilastele tuttavad ja töö LEGO pneumaatika komplektiga saab veelgi rohkem huvitada õpilasi.

Nüüd, kui on selge, mis on õhurõhk, saame edasi rääkida LEGO NXT õhurõhuandurist.

2.2. Anduri tööpõhimõte

Õhu pumpamisel pneumaatikasüsteemi tuleb jälgida, et rõhk liiga suureks või liiga väikseks ei lähe. Kui rõhk on liiga suur, siis võib voolik ventiili küljest ära tulla; kui rõhk on liiga madal, siis ei saa silindrite kolbe liigutada, kuna ei ole piisavalt õhku. Selleks, et oleks piisavalt rõhku süsteemis, on vaja reguleerida rõhku ja parim variant selleks on õhurõhuandur.

PPS35-Nx-v2 (joonis 12) on õhurõhuandur, mis on mõeldud LEGO NXT komplektile. Andur ühendatakse pneumaatikasüsteemi sama moodi nagu komplektiga kaasas olev manomeeter. LEGO õhurõhuanduril on üks ventiil, mille abil see ühendatakse pneumosüsteemi voolikutega. Juhtploki ühendatakse andur LEGO standardjuhtmete abil. Seda saab kasutada LEGO NXT pneumosüsteemis (või mistahes muu pneumosüsteemis), et mõõta kuni 35 PSI suurust rõhku. Alljärgnevatel punktides on toodud anduri andmed ja spetsifikatsioon:

- Rõhupiirid - 0-35 PSI või 0-2,4 kg / cm².
- Ühildub mitte ainult standartkeelega NXT-G, vaid ka RobotC ja NXC / NBC keeltega. Lühidalt saab nendest programmeerimiskeeltest lugeda Mirjam Rauba bakalaureusetööst [22].

- Maksimaalne energiatarve: 2,5mA, 4.7V
- Anduril on olemas oma skaala ja andur mõõdab rõhku selle skaala järgi. Selle skaalaväärtust (mida nimetatakse töötlemataks väärtuseks) saab arvestada ümber PSI mõõtuühikusse järgmise valemi järgi:

$$P(\text{psi}) = 0.043 * (\text{töötlemata väärtus}) - 38$$

või

$$P(\text{psi}) = 0.27 * (\% \text{ väärtus}) + 8$$



Joonis 12. Õhu rõhu andur PPS35-Nx-v2 [3]

Õhurõhuandur annab digitaalse tagasiside (näitab juhtploki, milline on õhurõhk käesolevas süsteemis) pneumaatikasüsteemis oleva rõhu kohta. Andur on tehase poolt eelkalibreeritud ja täiendavat seadistamist ei vaja.

NXT juhtploki ja õhurõhuanduri ühendamiseks kasutatakse NXT standardjuhet, mis kasutab digitaalset I2C kommunikatsiooni protokollit. I2C liidese abil saadetakse andurist NXT juhtploki keskkonnast saadud ja anduris juba töödeldud andmed. Sama liidese abil toimub ka juhtploki andurisse kalibreerimisinfo saatmine. Täpsemalt saab I2C liidest lugeda Martin Loginovi bakalaureusetööst [19].

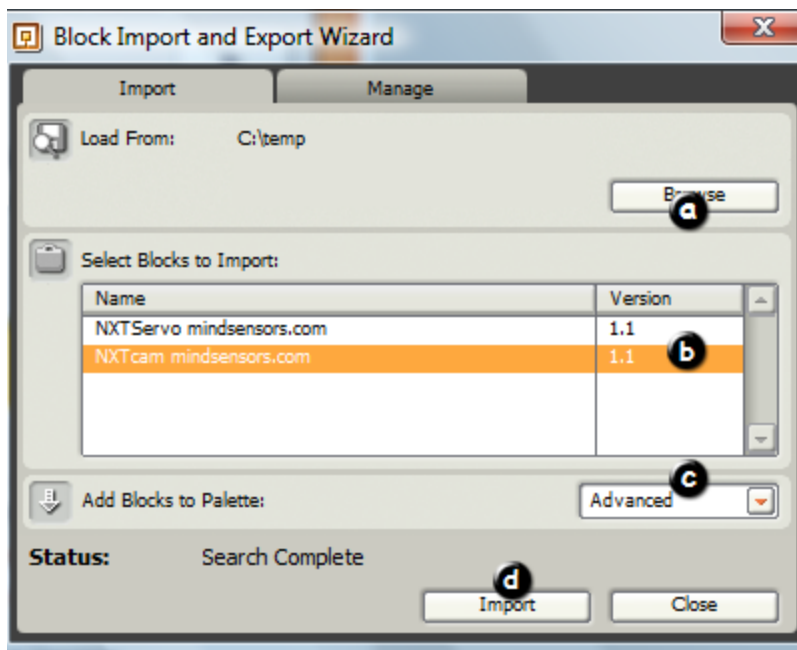
2.3. Anduri programmeerimine

Selles osas kirjeldatakse õhurõhuanduri programmeerimist. Anduri kasutamiseks on vaja alguses üles laadida ja installeerida LEGO programmeerimiskeskonna NXT-G õhurõhuanduri plokk. Ploki saab üles laadida lingi [34] põhjal.

Järgnevalt on esitatud ploki installeerimise juhend, mis on koostatud andurite tootjajuhendi ja anduriga töötamisel saadud kogemuse põhjal.

Ploki installeerimise juhend:

1. Lae plokk.
2. Veendu, et allalaaditud fail on zip laiendiga. Kui ei, siis nimeta ümber fail zip laiendiga.
3. Paki fail lahti oma arvutisse (pidage meeles kaust, kuhu fail lahti pakiti).
4. Käivita NXT-G tarkvara ja ava NXT-G "*Block Import and Export Wizard ...*" menüüst "*Tools*"(joonis 13).
 - a. Klõpsa nuppu *Browse* ja vali kaust, kuhu archiveeris faile lahti ja klõpsa OK.
 - b. Vali plokk, mida pead installeerima.
 - c. Vali *Advanced Palette*.
 - d. Klõpsa *Import* nuppu.
5. Vasta "*Yes*" kõikidele "*Replace ...*" popup-idele, mis võiksid näidata üles.



Joonis 13. Õhurõhu anduri NXT-G ploki impordi aken

Kui plokk on üles laaditud ja installeeritud, siis vaatame, kuidas ta LEGO Education NXT programmis välja näeb (joonis 14). Igal õhurõhuanduri programmeerimisploki isendil on olemas järgmised sisendid ja väljundid (vastavalt joonisel 6 esitatud numbritele):

1. Pordi number, milisesse NXT porti on õhurõhuandur ühendatud (vaikimisi 3).
2. Võrdluspunkti sisend.
3. Võrdlustehe, mida sooritatakse:
Suurem kui: 0
Väiksem kui: 1
4. Väljastab võrdluse tulemuse loogilise väärtusena: tõene või väär.
5. Anduri loetud arvuline väärtus.
6. Rõhu töötlemata väärtus.



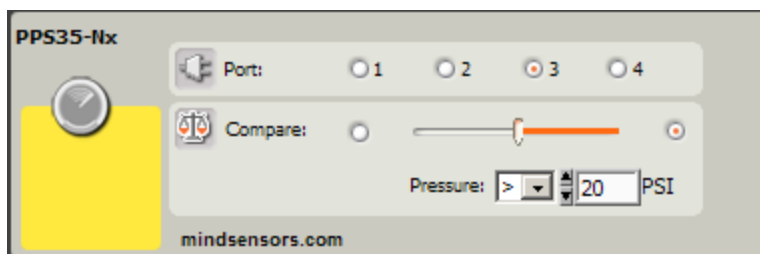
Joonis 14. Õhurõhuanduri infotulp

Edasi vaatame õhurõhuanduri omaduste paneeli väljade selgitusi (joonis 15):

Port (*Port*) – võimaldab valida pordi, millega andur ühendatakse NXT ajuga. Plokk on määratud vaikimisi pordile 3. Seda valikut on vajadusel võimalik muuta.

Võrdlemine (*Compare*) – väärtuse valimiseks võib kasutada liugurit. Valides parema või vasaku raadionupu, saab võrrelda võrdluspunkti vastavalt suuremaid või väiksemaid väärtusi.

Rõhk (*Pressure*) – võrdlustehte ja -punkti seadistamine numbriliselt.



Joonis 15. Õhurõhuanduri omaduste paneel

PPS35-Nx-v2 õhurõhuandur on eelnevalt kalibreeritud määratud tundlikkusele 0.045 PSI/töötlemata väärtus.

3. Ülesanded

Käesolevas peatükis esitatakse ülesanded LEGO pneumaatika komplekti ja õhurõhuanduri teema kinnistamiseks. Töös antakse viis ülesannet koos lahendusega ja üks ülesanne ilma lahendusega. Ülesanded on tehtud erineva tasemega: algtase, madalam kesktase, keskmine ja raske. Neid saab kasutada erinevates õppeastmetes. Põhikoolis saab anda algtaseme ja madalama kesktaseme ülesandeid. Gümnaasiumis saab anda kõik ülesanded selles järjekorras, mis on antud selles töös — kerged kordamiseks ja ülejäänud edasiarendamiseks.

Iga ülesanne koosneb järgnevatest punktidest:

- **Tase** - ülesandele määratud raskusaste (lihtne, keskmine, raske).
- **Eesmärk** - kirjeldatakse, milliseid oskusi ja teadmisi arendab koostatud ülesanne.
- **Ülesande täitmiseks vajalikud oskused** - kirjeldatakse, millised oskused ja vahendid on ülesande lahendamiseks vajalikud.
- **Ülesande püstitus** - õpilastele huvitavate ülesannete kirjeldus.
- **Lahendus** - kirjeldatakse töö autori poolt koostatud ülesande lahendust. Õpetajad ja õpilased võivad pakkuda ka teisi lahendusi. Mõnede ülesannete puhul antakse ka erinevaid suunavaid küsimusi õpetajale, võimaldamaks õpilasetel pneumaatikakomplekti tööpõhimõtete paremat omandamist.
- **Tekkida võivad probleemid** - kirjeldatakse ülesande lahendamisel tekkida võivaid probleeme selleks, et õpetaja teaks, mis võib olla raske õpilastele.

3.1. Ülesanne 1. Tere Maailm

Tase:

Algtase. Ülesanne sobib õpilastele, kes seni ei ole kokku puutunud LEGO pneumaatika komplektiga.

Eesmärk:

Ülesande eesmärk on tutvustada õpilastele LEGO pneumaatika komplekti ja anda algteadmised pneumaatikas.

Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid ja oskused:

Ülesande lahendusel tuleb ühendada LEGO pneumaatika komponente erinevates kombinatsioonides. See tutvustab õpilastele LEGO pneumaatilisi seadmeid ja näitab, kuidas töötavad pumbad, silindrid, lülitid jne.

Ülesande püstitus:

Juku on äärmiselt uudishimulik. Kui ta sai teada, et laevaehituses kasutatakse pneumaatikat, otsustas ta jõuda selgusele, kuidas töötab pneumaatika. Ta proovis ise panna kokku erinevaid pneumaatika süsteeme. Aita teda ja pane sinagi kokku viis erinevat joonisel 16 kujutatud süsteemi.

Lahendus ja erinevad suunavad küsimused õpetajale, et õpilased omandaksid paremini pneumaatikakomplekti tööpõhimõtteid:

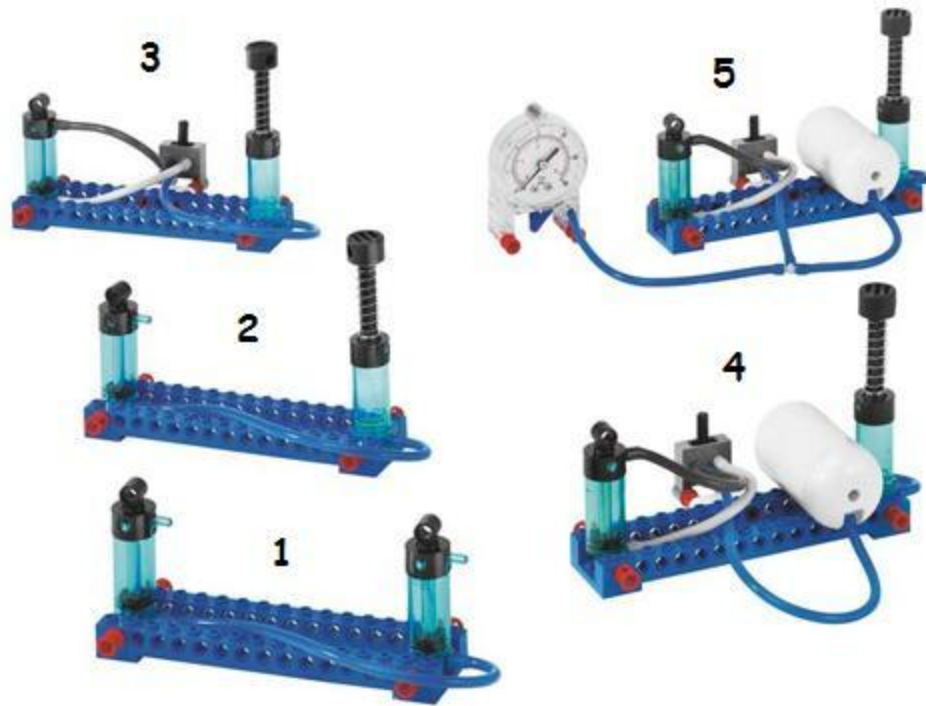
Süsteem 1: Ühenda kaks silindrit (joonis 16)

Süsteem 2: Ühenda üks suur käsipumbaga silinder pehme toruga (joonis 16). Järgnevalt proovi mitu korda pumbale vajutada. Mis toimub silindriga?

Süsteem 3: Ühenda pump lülitiga tema keskmisse otsikusse (joonis 16). Ühenda ka üks suur jaotiga silinder kahe pehme toruga. Pane jaoti lüliti keskmisse asendisse. Nüüd proovi mitu korda pumbale vajutada. Peale seda aseta lüliti ümber keskmisest asendist ühele poole ja vaata, mis juhtub. Seejärel vajuta veelkord pumbale ja aseta lüliti ümber teisele poole. Kirjelda, mis toimub silindriga.

Süsteem 4. Ühenda pump ühe õhureservuaari otsikuga (joonis 16). Teine õhureservuaari otsik ühenda lüliti keskmisse otsikusse. Ühenda üks suur jaotiga silinder kahe pehme toruga. Pane jaoti lüliti keskmisse asendisse. Järgmisena vajuta paar korda pumbale (selle süsteemi korral võiks pumbale vajutada üle 10 korra). Peale seda aseta lüliti ümber keskmisest asendist ühele poole ja vaata, mis juhtub, seejärel korda tegevust, vajutades lüliti teisele poole. Kirjelda, mis toimub silindriga ning mis vahe on eelmise süsteemiga?

Süsteem 5: Ühenda pump ühe õhureservuaari otsikuga (joonis 16). Kolmiku ja pehmete torude abil ühenda teine õhureservuaari otsik, jaoti keskmine otsik ja manomeeter. Ühenda ka üks suur jaotiga silinder kahe pehme toruga. Pane jaoti lüliti keskmisse asendisse. Nüüd proovi vajutada pumbale ja vaata manomeetri rõhku (vajuta seni, kui manomeeter näitab 20 PSI). Peale seda aseta jaoti lüliti keskmisest asendist ühele poole ja vaata, mis juhtub. Seejärel lülita jaoti lüliti ümber teisele poole. Jälgides manomeetrit, kirjelda, mis toimub silindriga.



Joonis 16. Ülesanne 1. Ülesandes 1 pneumaatika süsteemid [30]

3.2. Ülesanne 2. Õhureservuaar

Tase:

Madalam kesktase. See ülesanne sobib õpilastele, kes on juba tuttavad LEGO pneumaatika komplektiga.

Eesmärk:

Saada teadmisi õhureservuaari kohta.

Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid ja oskused:

Ülesande täitmiseks tuleb ühendada kõik LEGO pneumaatika komponendid erinevates kombinatsioonides nagu eelmise ülesande täitmisel. Lisandub ka õhureservuaar.

Ülesande püstitus:

Juku sai teada, et pneumaatika süsteem töötab kauem juhul, kui süsteemi ühendada õhureservuaar. Nüüd ta proovib, kui kaua ja kuidas töötab süsteem ühe või kahe

õhureservuaariga. Proovi ka sina koostada õhureservuaariga süsteem ja aru saada reservuaari suuruse ning õhurõhu suhtest.

Lahendus ja erinevad suunavad küsimused õpetajale, et õpilased omandaksid paremini pneumaatikakomplekti tööpõhimõtteid:

Võta eelmise ülesande viimane valmis töö ja aeta lüliti keskmisse asendisse. Nüüd pumpa seni, kuni süsteemis on rõhk 20 PSI. Loe, mitu korda on vaja pumbata 20 PSI saavutamiseks?

Nüüd vaheta lüliti asendit selliselt, et silinder hakkaks töötama. Mitu täiskäiku teeb kolb enne, kui rõhk süsteemis langeb alla 10 PSI?

Järgneval lase rõhk välja ja lisa süsteemi veel üks reservuaar. Korda mõõtmist sarnaselt ühe reservuaariga ülesandele. Millise järelduse võid teha?

3.3. Ülesanne 3. Õhukompressori ehitus

Tase:

Kesktaase. Selle ülesande tase on kesktase ehk see sobib õpilastele, kes on omandanud LEGO Mindstorm NXT komplekti põhiteadmised ja saavad aru, mis on kompressor ja kuidas see toimib.

Eesmärk:

Ülesande eesmärk on tutvumine õhurõhuanduriga.

Ülesande täitmiseks vajalikud oskused:

Peamine oskus selle ülesande lahendamiseks on oskus programmeerida LEGO Education NXT programmis. Selleks on vajalikud LEGO pneumaatika komponendid, õhurõhu andur, arvuti, kus on installeeritud LEGO Education NXT tarkvara.

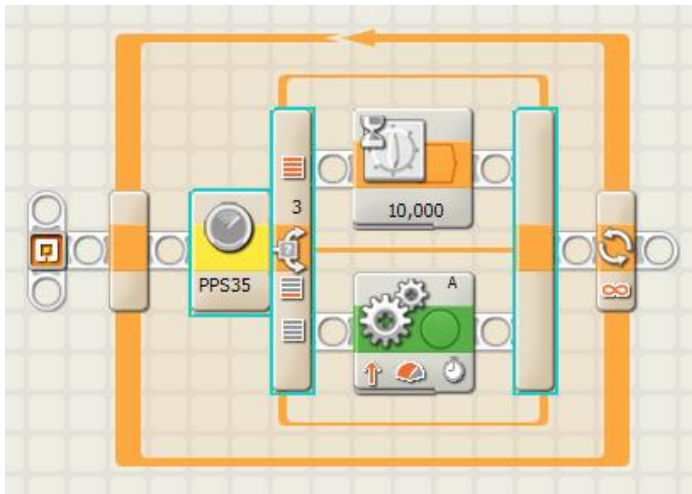
Ülesande püstitus:

Olles teada saanud, kuidas pneumaatikasüsteem ja õhureservuaar töötab, sai Juku isalt kingituseks õhurõhuanduri. Isa õpetas Jukule ka anduri tööpõhimõtet ning selle programmeerimist. Sulle rääkis õhurõhuanduri programmeerimisest õpetaja, nüüd on aeg proovida seda enda tegevuses. Pane kokku LEGO komplekti seadmetest kompressor ja programmeeri LEGO Education NXT programmis süsteem, et kompressor töötaks. On vaja välja ehitada pneumaatika süsteem, milles luuakse ja hoitakse õhurõhku ühel tasemel.

Esiteks ühenda mootor ja pump selliselt, et töötava mootoriga töötaks ka pump. Lisa sellele õhupaak, õhurõhuandur, lüliti ja manomeeter. Ühenda mootor ja õhurõhuandur juhtploki. Siis on vaja LEGO NXT-G tarkvara abil koostada programm, mille abil töötab mootor seni, kuni õhurõhk ahelas ei ületa etteantud piiri. Kui rõhk ületab selle piiri, siis mootor jääb seisma ja hakkab jälle töötama, kui rõhk langeb määratud piirini.

Lahendus:

Programmeerimine: Kuna kõik tööprotsessid korduvad (mootor töötab ning seejärel mõõdab andur rõhku), siis kasutame tsüklit. Tsükliks on vaja luua rõhu mõõtmise plokk tingimusega, milles näitame rõhu ülemise piiri, mille korral mootor lülitatakse välja ja rõhu alumine piir, mille korral mootor lülitub käima. Kui rõhk ahelas on alla piiri, siis rõhu mõõtmise plokkis on vaja luua mootori töötamise plokk. Määrame suvalise tööaja (3-10 sek). Kui õhurõhu mõõtmise ajal rõhk ületab selle piiri, siis on rõhu mõõtmise plokkis vaja luua ootamise plokk ja määrata sellele ootamise aeg (3-10 sek). Sel viisil töötab mootor seni kuni rõhk ületab piiri. Näide, kuidas lahendus võiks välja näha, on antud joonisel 17. Antud lahendus compressor.rbt ka olemas töö kaasas oleval CD-plaadil (Lisa 1).



Joonis 17. LEGO Education NXT kompressori programmeerimine (compressor.rbt)

3.4. Ülesanne 4. Õhurõhu graafiku joonistamine

Tase:

Kõrgtase. See ülesanne sobib edasijõudnutele, kes omavad LEGO Mindstorm NXT komplekti teadmisi ja oskavad selle komplektiga vabalt töötada.

Eesmärk:

Ülesande eesmärk on õppida, kuidas joonistada graafikut NXT juhtplokis.

Ülesande täitmiseks vajalikud oskused ja vahendid:

Peamiseks vajalikuks oskuseks ülesande lahendamisel on oskus programmeerida LEGO NXT-G programmis. Lisaks tuleb tunda koordinaatsüsteemi. Vahenditeks on LEGO pneumaatika komponendid, juhtplokki ja arvuti, koos NXT-G tarkvaraga.

Ülesande püstitus:

Juku sai matemaatikatunnis teada, mis on koordinaatsüsteem. Juku soovib mõõta süsteemis olevat rõhku ja joonistada juhtplokki ekraanile rõhu muutumise graafikut. Aita Jukul see ülesanne lahendada.

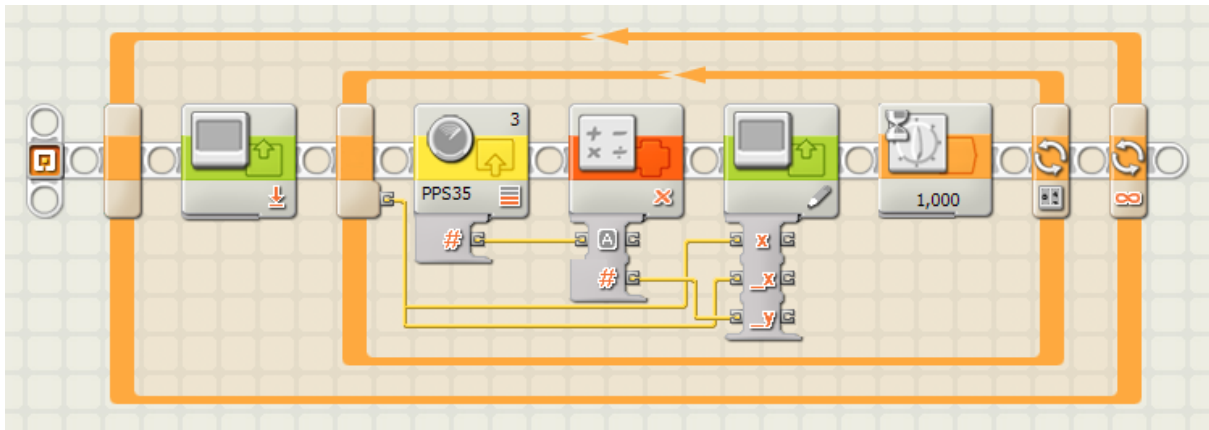
Lahendus:

Selle ülesande lahenduseks on vaja ehitada süsteem, mis mõõdab perioodiliselt süsteemis olevat rõhku, ja joonistada juhtplokki ekraanile lõigud ja lõik, mille pikkus arvuliselt võrdub rõhu andmetega. Ülesande lahendusel tuleb LEGO komplekti seadmetest ja õhurõhuandurist panna kokku, mõõta õhurõhk süsteemis ja joonistada nende andmete põhjal graafik (joonis 18). Üht võimalikku lahendust saab vaadata joonisel 19.

Antud lahendus graph.rbt ka olemas töö kaasas oleval CD-plaadil (Lisa 1).



Joonis 18. Õhurõhu mõõtmise graafik juhtplokki ekraanil [32]



Joonis 19. Ülesande 4 võimalik lahendus (graph.rbt)

Paneme esmalt kokku süsteemi. See peab sisaldama NXT juhtplokki, õhurõhuandurit, õhupaaki ja õhupumpa. Nad peavad üksteisega ühendatud olema. Selleks, et jälgida, süsteemi toimimist, ning rõhu olemasolu kontrolliks on soovitatav süsteemi sisse ehitada ka manomeeter.

Programmeerimise käik:

Alguses puhastame juhtploki ekraani vanast infost.

Seejärel tuleb koostada tsükkel, mille sees hakatakse rõhku mõõtma ja jooni joonistama.

Rõhu info on vaja ekraanile saata, aga enne, kui saata andmed ekraanile, tuleb rõhu väärtus korrutada kahega. Seda on vaja teha selleks, et suurendada graafiku mastaapi. Kuna võimalik on saada rõhu väärtus saada kuni 35 PSI, siis maksimaalne graafiku kõrgus saab olla 35 punkti. Juhtploki ekraani resolutsioon on 60*100, seega mastaabi suurendamiseks on vaja 1 PSI ekraanil näidata 2 punktiga.

Juhul kui joone pikkus on leitud tuleb joonistada vertikaalne joon alt ülesse, nii et see algaks alumise serva juurest. Kuna see on esimene joon, siis selle algpunkt on (0,0) ja lõpp-punkt on (0, PSI*2). Edasi on vaja alg-ja lõpp-punkti koordinaadid sellesse plokki üle anda. Algpunkt X on tsükli number, Y on alati 0. Lõpp-punkt X on ka tsükli number ja Y on rõhu väärtus.

Peale joone joonistamist teha paus, 1-2 sekundit, selleks, et õhurõhk saaks muutuda enne järgmist mõõtmist.

Selleks, et lõpptulemusena saada graafik, on vaja iga järgnev joon joonistada eelneva kõrvale. Selleks on vaja teada mõõtmise järjekorra numbrit. Kui joonistada järgmisi jooni, siis selle joone algpunkt on (1, 0) ja lõpp-punkt (1, PCI*2). Joonistada niimoodi 100 vertikaalset joont (ekraanile mahub ainult 100 punkti) – korrata tsüklit 100 korda.

Seejärel on vaja taaskord ekraan puhastada ja kõik ülejäänud kordub. Siin on vaja teha tsükkel, mille sisse on kirjutatud kogu eelnev programm.

Tekkida võivad probleemid:

Vahetades ära X ja Y lõigu ei saa joonistamise käigus õiget graafikut. Nende andmete õiguse kontroll on vajalik.

3.5. Ülesanne 5. Digitaalne manomeeter

Tase:

Kesktaase. See ülesanne sobib edasijõudnutele, kes on juba tuttavad LEGO Mindstorm NXT ja LEGO pneumaatika komplektiga.

Eesmärk:

LEGO Mindstorm NXT juhtploki abil välja ehitada digitaalne manomeeter.

Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid ja oskused:

Peamiseks oskuseks selle ülesande lahenduses on oskus programmeerida LEGO NXT-G programmis. Vahenditeks on pneumoseadmed, juhtplokk ja arvuti, kuhu on paigaldatud LEGO NXT-G tarkvara.

Ülesande püstitus:

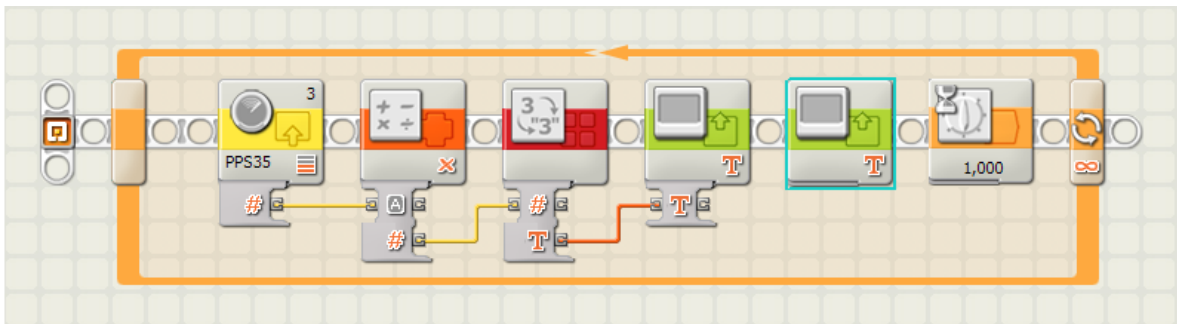
Jukul läks manomeeter katki. Ta luges Internetist, et LEGO pneumaatika komplekti abil saab kokku panna digitaalse manomeetri.

Kas sina oskad seda teha? Ehita süsteem, mis mõõdab perioodiliselt süsteemis olevat rõhku, ja väljastab juhtploki ekraanile numbrid, mis võrduvad rõhu andmetega.

Lahendus

Alguses tuleb ühte süsteemi ühendada juhtplokk, rõhu andur ja pump. Seejärel tuleb avada LEGO NXT-G programm. Kuna ekraanil olevat infot tuleb pidevalt värskendada, tee kõik tegevused tsüklis.

Esimesena mõõda õhurõhk anduriga. Teiseks, sõltub sellest, kuidas me tahame lõpus rõhku avaldada, kas PSI või BAR, vastavalt tuleb tulemus korrutada, kas 0,068947 või 1. Järgmisena, muuda saadud arv tekstiks. Lisame ekraanile ka mõõtmisühikud (PSI/BAR). Kui rõhk on väljastatud ekraanil, tuleb mingi aja pärast kogu tegevust korrata. Selleks ootame 1 sekundi ja tagastame tsükli algusesse. Võimalik lahendus on antud joonisel 20. Antud lahendus dig_manomeeter.rbt ka olemas töö kaasas oleval CD-plaadil (Lisa 1).



Joonis 20. LEGO Education NXT digitaalse manomeetri programmeerimine (dig_manomeeter.rbt)

Tekkida võivad probleemid:

Saadud rõhk ja mõõtmisühikud on vaja kirjutada ühele joonele.

3.6. Ülesanne 6. Pneumomootori ehitus

Seda ülesannet töö autor kahjuks ei saanud ise lahendada, kuid kooliõpilased võiksid siiski üritada lahenduse leida.

Tase:

Kõrgtase. See ülesanne sobib edasijõudnutele, kes suudavad vabalt töötada LEGO Mindstorm NXT ja LEGO pneumaatika komplektidega.

Eesmärk:

LEGO Mindstorm NXT juhtploki ja LEGO pneumokomplekti abil välja ehitada pneumomootor ühe või kahe silindriga.

Ülesande täitmiseks vajalikud vahendid ja oskused:

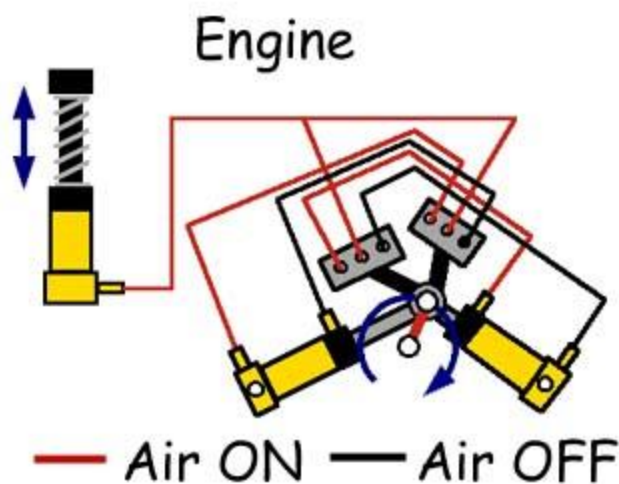
Peamiseks oskuseks selle ülesande lahenduses on oskus programmeerida LEGO Education NXT programmis. Vahenditeks on pneumoseadmed, juhtplokk ja arvuti, kus on paigaldatud LEGO Education NXT tarkvara.

Ülesande püstitus:

Juku oskab kokku panna erinevaid pneumaatika süsteeme, oskab teha digitaalset manomeetrit, oskab joonistada graafikut juhtploki, kuid seda ülesannet ei õnnestunud tal lahendada. Aita teda ja näita, kuidas saab ehitada pneumomootorit, mis on antud joonisel 21.

Lahenduse idee:

On vaja ehitada süsteem (joonis 21), mis suruõhuenergiast teeb pöörlemisliiklused, nt. ratastel, propelleritel jne.



Joonis 21. LEGO Pneumomootori lahenduse idee [33]

Järgnevatest linkidest saab vaadata, kuidas see töötab [35], [36].

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli LEGO MINDSTORMS NXT pneumaatikakomplekti detailsema kirjelduse koostamine ja õhurõhuanduri töö uurimine ning selle kirjeldamine. Selleks kasutasime põhjalikult LEGO pneumaatikakomplekti ingliskeelset juhendit ja Kooliroboti projekti raames koostatud lühikest eestikeelset juhendit ning katsetasime pneumaatikakomplekti tööd koos LEGO MINDSTORMS NXT robotikakomplektiga.

Töö kirjutamise käigus analüüsi LEGO pneumaatika komplekti võimalusi, vaadati videoid erinevate pneumaatika näidissüsteemide töötamisest, loeti kirjandust pneumaatikast jne. Töö alguses kirjeldati pneumaatika põhimõtteid ja pneumaatika seadmed. Seejärel on koostatud detailne juhend LEGO pneumaatikakomplekti kasutamiseks. Komplekt koosneb kompressorist, pneumosilindritest, jaotitest, suruõhu reservuaaridest, manomeetrist ja pneumomootorist.

Pärast pneumaatika seadmete kirjeldamist anti töös antud ülevaade õhurõhuanduri tööpõhimõttest, selle kasutamisest ja programmeerimisest. Kuna LEGO pneumaatika komplektid on loodud koolidele, siis oli käesoleva töö üheks eesmärgiks ülesannete ja nende lahenduste koostamine. Bakalaureusetöö autor proovis kokku panna erinevaid pneumaatika süsteeme LEGO pneumaatika komplekti abil ja selle põhjal koostas viis ülesannet koos lahendustega. Lisatud on üks ülesanne ühe ilma lahenduseta. Kõik ülesanded olid detailselt lahti seletatud ja varustatud joonistega. Iga ülesanne oli kirjeldatud järgmisel malli järgi:

- ülesande tase,
- ülesande eesmärk,
- ülesande täitmiseks vajalikud oskused,
- ülesande püstitus,
- ülesande lahendus,
- tekkida võivad probleemid.

Selle töö põhjal saavad õpetajad ise koostada erinevaid ülesandeid oma õpilastele. Tulevikus saab seda ülesannete komplekti laiendada uute raskemate ülesannetega. Huvitav oleks koolides korraldada võistlus pneumaatikasüsteemide kokkupanekuks.

Lego MINDSTORMS NXT air pressure sensor and LEGO pneumatics kit – overview and programming exercises

Bachelor Thesis

Anton Adamenkov

Summary

The aim of this bachelor thesis is to introduce the LEGO pneumatic set. The LEGO MINDSTORMS NXT set is a standard set for schools. For advanced students, however, the introduction to additional efficient sensors and advanced options is required. In this research we would like to introduce one of these air pressure sensors and the pneumatic set accordingly. The work presents a detailed description of the set of pneumatics, including the explanation what is the pneumatics, how a set of LEGO pneumatics and air pressure sensor work.

Aims of the work are:

- to create LEGO MINDSTORMS NXT pneumatics detailed description in the Estonian language;
- to investigate an air pressure sensor and describe it in the Estonian language;
- to prepare the tasks for students in order to develop their skills in operating an air pressure sensor as well as to prepare task solutions for teachers;

This thesis consists three parts:

The first part presents in detail the pneumatics and pneumatic equipment. The various pneumatic components with their operating descriptions are reviewed. The concept of air pressure sensor is introduced. According to the subject of Lego set, a set of LEGO pneumatics is also described in more details.

The second part provides an overview of the air pressure sensor operation and its usage in programming.

In the third part there are tasks and solutions combined together with ideas how to solve them and solution programs.

This work contains the references to the English Lego pneumatics set descriptions from [2, 3], "Pneumatics and pneumatic devices: learning material" prepared by the Tallinn University of Technology [7], *Kooliroboti project* website [4] and the various portals which provide the information about LEGO pneumatic set [1, 6].

The set of options of LEGO pneumatic set are thoughtfully analyzed by the author with the help of videos about various model pneumatic systems, literature about pneumatic etc. In the beginning of the work the principles of pneumatics and pneumatic equipment are described. Afterwards, the details on the LEGO pneumatic set are provided.

An overview of the pneumatic equipment and air pressure sensor operations are given. The work has also a special emphasis on the tasks and their solutions. The author presents a sample pneumatic system, programs to control it and gives instructions throughout the thesis. All the tasks are explained in detail and many diagrams are given for better visualisation.

Teachers who might use this degree thesis would have an opportunity to create tasks for the pupils on their own. In the future, this work can be extended to other major tasks. It would be also of great interest to organize competitions in schools with an attempt to put the major pneumatics systems together.

Kasutatud materjalid

1. Tallinna Tööstushariduskeskus, "Pneumatika üldkursus", <http://www.tthk.ee/Kodu/Brindfeldt/>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
2. FindTarget, "Lego Pneumatics Information", <http://reference.findtarget.com/search/Lego%20pneumatics/>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
3. Mindstorms, "Pneumatic Pressure Sensor v2 for NXT (PPS35-Nx-v2)", http://www.mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=60, (viimati vaadatud 29.05.2010)
4. "Kooliroboti projekt", <http://www.robotika.ee/lego/joomla/>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
5. "Põhikooli ja gümnaasiumi riiklik õppekava", <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=1008388>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
6. Mindstorms, "NXT-G Blocks Repository", http://www.mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=81, (viimati vaadatud 29.05.2010)
7. Soots, Rein. Pneumaatika ja pneumoseadmed : õppematerjal / Rein Soots ; Tallinna Tehnikakõrgkool Tallinna Tehnikakõrgkool, 2007
8. Wikipedia, "Hüdrocilinder", <http://et.wikipedia.org/wiki/H%C3%BCdrocilinder>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
9. Wikipedia, "Pneumosilinder", <http://et.wikipedia.org/wiki/Pneumosilinder>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
10. Wikipedia, "Suruõhk", <http://et.wikipedia.org/wiki/Suru%C3%B5hk>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
11. Wikipedia, "Manomeeter", <http://et.wikipedia.org/wiki/Manomeeter>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
12. Wikipedia, "Pneumaatika", <http://et.wikipedia.org/wiki/Pneumaatika>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
13. Wikipedia, "Pneumomootor", <http://et.wikipedia.org/wiki/Pneumomootor>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
14. "LEGO pneumaatika lühitutvustus" http://www.robotika.ee/lego/failid/pneumaatika_opetus.pdf, (viimati vaadatud 29.05.2010)

15. Wikipedia, "Paskal", <http://et.wikipedia.org/wiki/Paskal>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
16. Wikipedia, "Kolb", <http://et.wikipedia.org/wiki/Kolb>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
17. Wikipedia, "Hüdrastaatiline rõhk", http://et.wikipedia.org/wiki/H%C3%BCdrostaatiline_r%C3%B5hk, (viimati vaadatud 29.05.2010)
18. Wikipedia, "Rõhk", <http://et.wikipedia.org/wiki/R%C3%B5hk>, (viimati vaadatud 29.05.2010)
19. Martin Loginov (2010), bakalaureusetöö "Lego MINDSTORMS NTX' ga ühilduva anduri NXTCam tutvustus ja ülesanded "
20. Robootika, "Kooloroboti projekt", http://www.robootika.ee/lego/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=66, (viimati vaadatud 31.05.2010)
21. Robootika, "Kooloroboti projekt", <http://www.robootika.ee/lego/joomla/>, (viimati vaadatud 31.05.2010)
22. Mirjam Rauba (2010), bakalaureusetöö "LEGO MINDSTORMS NXT'ga ühilduvate andurite - kompass ja güroskoop - tutvustus ja ülesanded"
23. Wikipedia, "Pascali seadus", http://et.wikipedia.org/wiki/Pascali_seadus, (viimati vaadatud 31.05.2010)
24. Mait Urbanik (2009), bakalaureusetöö "LEGO Mindstorms NXT programmeerimine"
25. LEGO, "Pneumatics guide for beginners", <http://mindstorms.lego.com/en-us/Community/NXTLog/DisplayProject.aspx?id=bb5efac2-403d-4f0d-aa9e-50d8e074b54a>, (viimati vaadatud 03.06.2010)
26. Martin Seiler (2009), bakalaureusetöö "Ülesannete kogu LEGO Mindstorms NXT roboti anduritele"
27. "Controlling Lego NXT Robots with Matlab", <http://www.huginn.com/knuth/blog/2007/03/30/controlling-lego-nxt-robots-with-matlab/>, (viimati vaadatud 03.06.2010)
28. "legnews", <http://lego.brandls.info/legnews.htm>, (viimati vaadatud 03.06.2010)
29. LEGO, "LEGO Education: store", <http://www.legoeducation.us/store/default.aspx?pt=9&by=7&c=0&t=1&l=0>, (viimati vaadatud 03.06.2010)
30. Active Robots, "LEGO EDUCATION Pneumatics", <http://www.active-robots.com/products/mindstorms4schools/pneumatics.shtml>, (viimati vaadatud 03.06.2010)

31. "Universal Pneumatic Set", <http://www.peeron.com/inv/sets/8042-1>, (viimati vaadatud 03.06.2010)
32. "Pneumatic LEGO air compressor", <http://www.techbricks.nl/My-pneumatic-LEGO-projects/pneumatic-compressor.html>, (viimati vaadatud 03.06.2010)
33. "LEGO pneumatic engine", http://www21.ocn.ne.jp/~glass-cg/e_engine.htm, (viimati vaadatud 03.06.2010)
34. Mindstorms, "NXT-G Blocks Repository", http://www.mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=81, (viimati vaadatud 03.06.2010)
35. Youtube, "Lego pneumatic engine (one cylinder)", <http://www.youtube.com/watch?v=JCHWUtzxdVw&feature=related>, (viimati vaadatud 03.06.2010)
36. Youtube, "LEGO Pneumatic engine test", <http://www.youtube.com/watch?v=KXatSPXqOQU&feature=related>, (viimati vaadatud 03.06.2010)

Lisad

Lisa 1 - Ülesannete lahendused

CD'l olevad ülesannete lahendusfailid ning nendele vastavad ülesanded on toodud tabelis 1.

Faili nimi	Ülesande number ja nimi
compressor.rbt	Ülesanne 3 - Õhukompressori ehitus
graph.rbt	Ülesanne 4 - Õhurõhugraafiku joonistamine
dig_manomeeter.rbt	Ülesanne 5 - Digitaalne manomeeter

Tabel 1. Nimekiri CD'l olevatest lahendusfailidest.