

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKATEADUSKOND
Arvutiteaduse Instituut
Informaatika eriala

Rain Aavisto

LEGO Mindstorms NXT'ga
ühilduv WiFi sensor
Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendaja: Anne Villems
Kaasjuhendaja: Taavi Duvin

TARTU 2014

LEGO Mindstorms NXT'ga ühilduv WiFi sensor

Lühikokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on koostada õppematerjal ettevõtte Dexter Industries poolt loodud WiFi sensorist ning selle ühildamisest LEGO Mindstorms NXT robotiga. Töö sisu on jaotatud kolme peatükki. Esimesena antakse ülevaade WiFi päritolust ja selle levikust. Teises peatükis heidetakse pilk WiFi sensori tehnilistele detailidele ning selle NXT'le paigaldamise protsessile. Viimaks vaadeldakse, milliseid ülesandeid ja protseduure mainitud sensori ja NXT roboti koostöös sooritada saab.

Märksõnad: LEGO, Mindstorms, NXT, Dexter, Industries, WiFi, sensor, andur, robotika

LEGO Mindstorms NXT compatible WiFi Sensor

Abstract

The purpose of this bachelor thesis is to assemble learning materials in Estonian about the WiFi sensor created by Dexter Industries and making it compatible with the LEGO Mindstorms NXT robot. The thesis is divided into three chapters. Firstly, an overview of the history and spread of WiFi is given. The second chapter is dedicated to taking a closer look at the technical details of the WiFi sensor and its assembly process to the NXT. The final chapter lists various tasks and procedures that can be carried out using the WiFi sensor together with the NXT.

Keywords: LEGO, Mindstorms, NXT, Dexter, Industries, WiFi, sensor, robotics

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. WiFi ülevaade	5
1.1 WiFi päritolu ja nimetus	5
1.2 Wi-Fi Alliance	5
1.3 WiFi globaalne levik.....	7
1.4 WiFi lokaalne leviala	9
2. LEGO NXT ühendamine WiFi sensoriga.....	10
2.1 Dexter Industries WiFi sensor	10
2.2 Dexter Industries WiFi sensori paigaldamine.....	11
2.3 Programmeerimiskeele valik	12
2.3.1 RobotC ülevaade.....	12
2.3.2 NXC ülevaade.....	12
2.3 RobotC seadistamine tööks LEGO NXT robotiga.....	12
2.3.1 RobotC 2.26.1 paigaldamine.....	13
2.3.2 RobotC 2.26.1 seadistamine	13
2.3.3 WiFi sensori testimine RobotC abil.....	16
2.4 BricxCC seadistamine tööks LEGO NXT robotiga.....	22
2.4.1 BricxCC paigaldamine.....	22
2.4.2 BricxCC seadistamine.....	22
2.4.3 WiFi sensori testimine NXC abil.....	24
3. LEGO NXT roboti juhtimine WiFi sensori abil	26
3.1 Arvutist info saatmine NXT robotisse	26
3.1.1 TCP serveri ülesseadmine.....	26
3.1.2 Arvuti abil NXT TCP serverisse ühendumine	27
3.1.2 Andmete edastus arvuti ja NXT vahel	29
3.2 WiFi sensoriga veebisaidi pingimine.....	31
3.3 LEGO NXT roboti kaugjuhtimine	33
Kokkuvõte.....	37
Kasutatud kirjandus	38
Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	40

Sissejuhatus

Eesti vajab spetsialistide ja oskustöölise juurdekasvu igas valdkonnas. Hetkel on aga eriti silmatorkav noorte madal huvi reaalalade omandamisel. Selline tähelepanek on ärgitanud mitmeid tehnoloogia ja reaalainete õppimist propageerivaid initsiatiive. Üheks selliseks ettevõtmiseks on 2007. aastal inseneriteaduse edendamiseks loodud koolirobootika projekt. Projekti eesmärgiks on koolitada õpetajaid ning pakkuda õppematerjale, et koolidel oleks võimalus õpilastele pakkuda kaasahaaravat õppetööd roboteid ehitades ning programmeerides. Tänapäevaks on projektist osa võtnud ligi 150 kooli üle Eesti, kes kasutavad roboteid reaalainete õpetamiseks, huviringide läbiviimiseks või lausa osalemiseks üleriigilistel robootikavõistlustel.

2013. aastal tuli LEGO välja uue põlvkonna robotiga LEGO Mindstorms EV3. Uus robot on mitmete lisavõimalustega, kuid senini on enamikes koolides kasutusel varasem LEGO Mindstorms NXT robot. Mainitud robot pärineb aastast 2006 ning viimase 8 aasta jooksul on sellele loodud suures koguses juhendeid ja tugimaterjale. Siiski on suur osa nendest materjalidest inglise keeles, mis kujuneb takistuseks nii noorematele lastele kui mitmetele õpetajatele. Seetõttu on selge, et lastes robootikahuvi jätkuvaks sütitamiseks on tarvis pakkuda õppematerjale õpilaste ja õpetajate emakeeles.

Käesolev bakalaureusetöö on panus koolirobootika projekti, luues juhendi LEGO Mindstorms NXT roboti ning ettevõtte Dexter Industries poolt loodud WiFi sensori käsitlemiseks ja edukaks kasutamiseks õppetöös.

Bakalaureusetöö koosneb kolmest osast. Esmalt antakse ülevaade WiFi kohta, selle tekkest ja arengust. Vaadeldakse WiFi levikut tänapäeval ning antakse nõu, kuidas WiFi oma tarbeks efektiivselt kasutada. Teises peatükis analüüsitakse Dexter Industries WiFi sensorit. Uuritakse sensori tehnilist spetsifikatsiooni, selle komponente ning täielikku paigaldusprotsessi. Tutvutakse lähemalt sensori programmeerimiseks kasutatava tarkvaraga ning käiakse läbi kõik sammud nimetatud tarkvara paigaldamiseks, seadistamiseks ja ühildamiseks tööks LEGO NXT robotiga. Töö viimases peatükis uuritakse lähemalt mõningaid WiFi sensori kasutusviise ja rakendusi.

1. WiFi ülevaade

LEGO NXT roboti juhtimiseks WiFi sensori abil vaatame esmalt, mida WiFi endast kujutab ning kuidas saame seda kasutada roboti manipuleerimiseks.

1.1 WiFi päritolu ja nimetus

Käesolev alampeatükk põhineb allikal [1]. Traadita võrguseadmeid tootvate firmade ühendus Wi-Fi Alliance defineerib mõiste WiFi kui iga traadita kohtvõrgu seade, mis tugineb IEEE 802.11 standarditele. Tihtipeale kasutatakse väljendit WiFi üleüldiselt IEEE 802.11 tehnoloogia sünonüümina.

Mainitud tehnoloogia juured ulatuvad aastasse 1985, kui lubati tööstuslike, teaduslike ja meditsiiniliste raadiosageduste litsenseerimata kasutus. Tekkinud vabadust kasutasid ära korporatsioonid NCR ning AT&T, luues 802.11 tehnoloogia eelkäija kassasüsteemides kasutamiseks. Nende poolt loodud juhtmevabade seadmete perekond kandis nime WaveLan, mis püsis turul 1990-ndate keskpaigani.

"WiFi isaks" kutsutakse Hollandi inseneri Vic Hayes'i, kellel oli oluline roll IEEE 802.11 esialgsete standardite läbirääkimistel.

Aastal 1999 loodi ühendus Wi-Fi Alliance, kellele kuulub joonisel 1 kujutatud WiFi kaubamärk, mille all enamik juhtmevabasid seadmeid müüakse.



Joonis 1. WiFi kaubamärk[4]

Nimetus WiFi on kasutuses olnud 2000. aasta augustist. Nime loomise taga on brändikonsultatsiooniga tegelev firma Interbrand Corporation, kes palgati ühenduse Wi-Fi Alliance poolt tehnoloogiale "IEEE 802.11b Direct Sequence" jaoks parema nime määramiseks. Valituks osutunud nimetuse WiFi inspiratsiooniks oli asjaosaliste sõnul tehnoloogia *High Fidelity* lühend Hi-Fi. Ehkki sõnaühendit Wireless Fidelity kasutati WiFi turundamisel, ei ole lühendil WiFi tegelikku tähendust.

1.2 Wi-Fi Alliance

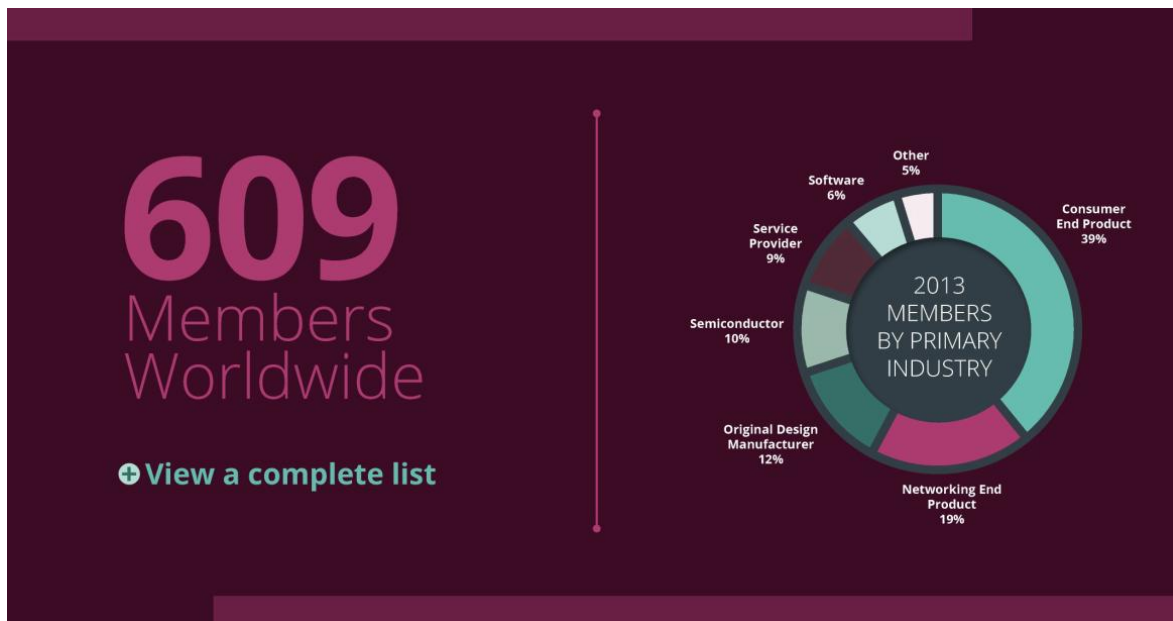
Ühenduse Wi-Fi Alliance eelkäijaks oli Wireless Ethernet Compatibility Alliance ehk WECA, kelle hulka kuulusid firmad 3Com, Aironet, Harris Semiconductor, Lucent, Nokia ja

Symbol Technologies. Selle sõltumatu liidu eesmärgiks oli IEEE 802.11 kiirema variandi - 802.11b - tehnoloogia testimine, seadmete sertifitseerimine ning reklaamimine. Aastal 2002 võttis WECA üle nime Wi-Fi Alliance [2]. Nende logo on kujutatud joonisel 2.



Joonis 2. Wi-Fi Alliance logo[5]

Enamik 802.11 tehnoloogia seadmete tootjatest on ühendusega liitunud ning 2012. aasta seisuga hõlmas Wi-Fi Alliance 609 firmat. Joonisel 3 on kujutatud ühenduse liikmete jaotus sõltuvalt põhilisest tööstusharust. Liikmete täielik nimekiri on esitatud liidu 2013. aasta raportis [6].



Joonis 3. Ühenduse Wi-Fi Alliance liikmete jaotus põhilise tööstusharu järgi [6]

Wi-Fi Alliance on oma missiooniks võtnud järgnevad ideed:

- Tõhusa koostööfoorumi pakkumine
- Kasvatada WiFi tööstust
- Juhtida tööstuse kasvu uute tehnoloogiate ning programmidega
- Toetada kokkulepituid standardeid
- Pakkuda suurepärasest seadmete ühenduvust testimise ja sertifitseerimise kaudu

Tänaseks on Wi-Fi Alliance sertifitseerinud ligi 18000 seadet. Sertifitseeritakse laia seadmete valikut, sealhulgas nutitelefone, arvuteid ja nende lisaseadmeid, võrguriistvara, tarbeelektronikat ning kodumasinaid. Sertifikaadi saamise peamised kriteeriumid on ühilduvus teiste sertifitseeritud seadmetega, vastavus standarditele ning tehniline võimekus [3]. Sertifikaadi omandanud seadme looja saab õiguse toote turundamisel kasutada WiFi Certified logo, mis on näha joonisel 4.

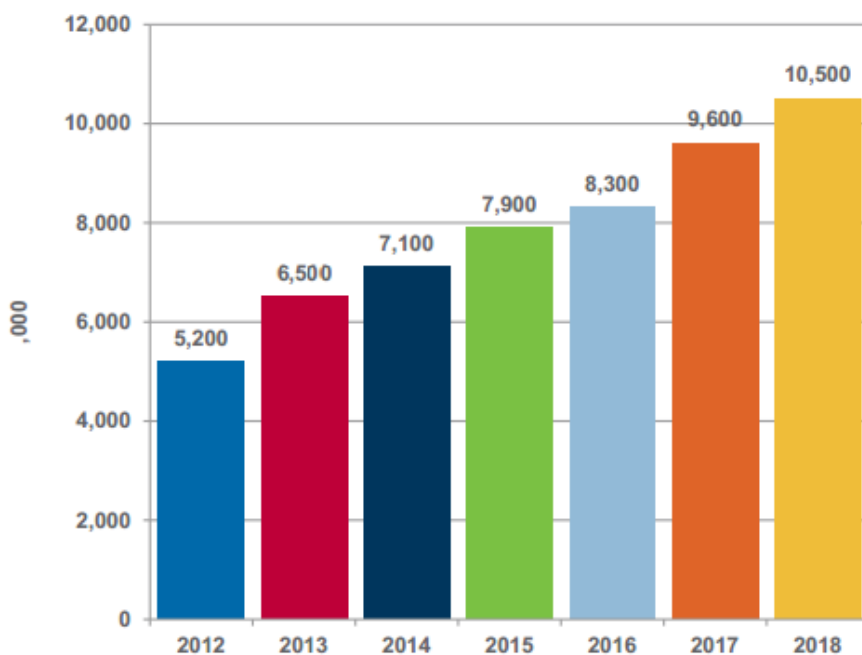


Joonis 4. WiFi Certified logo[7]

Järgmisena vaatame, kui laialdaselt on WiFi kasutusel.

1.3 WiFi globaalne levik

Avalike WiFi punktide hulk on viimastel aastatel jõudsalt kasvanud. Kui 2011. aastal ennustas ärianalüütikaettevõtte Informa, et 2013. aasta lõpuks on maailmas 3,3 miljonit avalikku WiFi võrku, siis tegelikuks näitajaks osutus 6,5 miljonit. Järgmise viie aasta jooksul kasvab see number eeldatavalt 10,5 miljoni võrguni [8]. Täpsem prognoos avalike WiFi punktide arvu kasvu kohta on kujutatud joonisel 5.

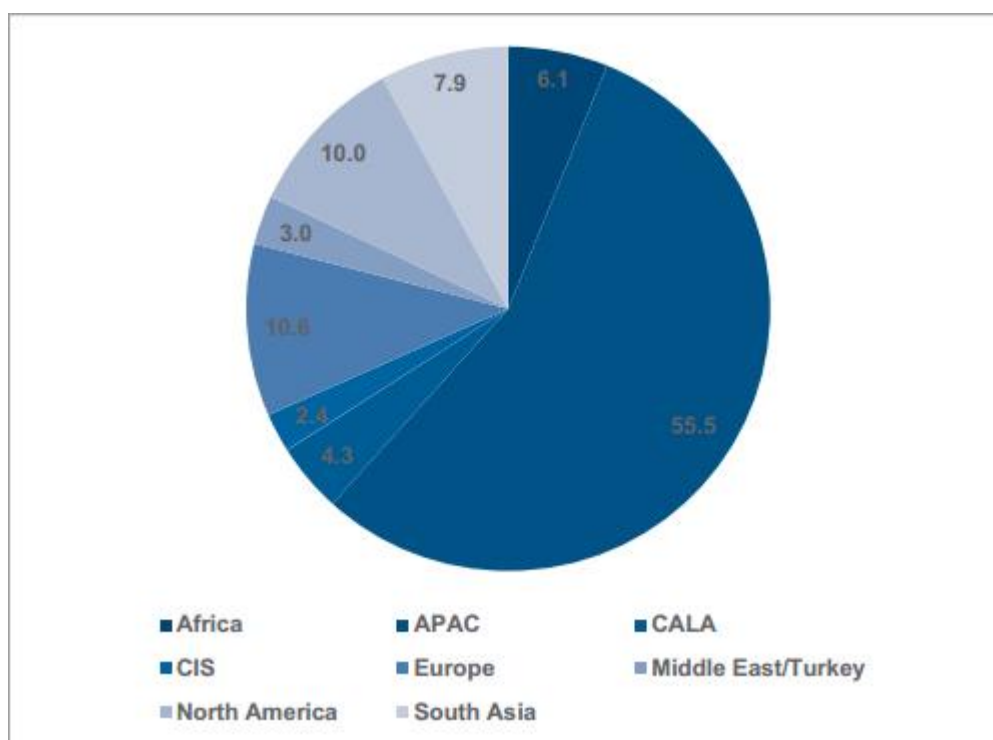


Joonis 5. Aastase avalike WiFi punktide kasvu prognoos aastani 2018 [8]

Absoluutnäitajate järgi toimub suurim kasv Kagu-Aasias, vedades avalike WiFi punktide kasvu ka lähitulevikus. 2012. aastal avatud uutest avalikest WiFi võrkudest asusid ligi kaks kolmandikku just Kagu-Aasias. Veel 2018. aastalgi võib oodata pea iga teise avaliku WiFi võrgu avamist just Kagu-Aasia regioonis, kuna riigid nagu Indoneesia jõuavad selleks ajaks WiFi ulatusliku võrgustiku rajamise valmiduseni.

Suhteliselt toimub aga suurim kasv Aafrikas, kus avalike WiFi punktide keskmine lisandumine aastas on 45%. Veel hiljuti oli selles regioonis WiFi kättesaadavus äärmiselt puudulik, kuid aina kasvava nõudluse tõttu on kohalikud operaatorid hakanud enam panustama taskukohase WiFi pakkumisse.

Kõikidest 2018. aastaks avatud WiFi punktidest hakkab 55% paiknema Kagu-Aasias, nagu näha joonisel 6. Nii Euroopas kui Põhja-Ameerikas on see näitaja ligi 10%. Lõuna-Aasiasse, eeskätt Indiasse, kuulub 8% kõikidest avalikest WiFi võrkudest.



Joonis 6. Eeldatav avalike WiFi võrkude suhteline regionaalne jaotus aastal 2018 [8]

Eestis on 2014. aasta jaanuari seisuga 1006 avalikuks kasutuseks mõeldud WiFi võrku [31].

1.4 WiFi lokaalne leviala

Üldjuhul levib WiFi siseruumides kuni 50 meetrit ning vabas õhus kuni 300 meetrit. Küll aga on võimalik WiFi leviala oluliselt suurendada suundantennide kasutamisega, võimaldades signaali kätte saada ka kuni 20 km kauguselt. Teine võimalus signaali raadiuse suurendamiseks on paralleelselt mitme tugijaama kasutamine. [9]

Silmas tuleb pidada, et WiFi leviala mõjutavad väga mitmed faktorid. Halvendavat mõju võivad omada näiteks saatja ja vastuvõtja vahele jääv kivivill, kiviseinad, aknaklaasid, metallkonstruktsioonid, puud ja muud sarnased takistused. Kvaliteetse signaali aluseks on seadmetevaheline otsenähtavus.

Probleemid võivad tekkida, kui ühes kohas on mitmeid traadita võrke. Sellisel juhul võivad seadmed kaotada ligipääsu soovitud võrku või kannatada ühenduse oluliselt vähenenud kiiruse ja stabiilsuse all. 802.11 b, g ja n standardiga WiFi töötab sagedusel 2.4 GHz, seega võivad tõrkeid tekitada ka teised samal raadiosagedusel toimivad seadmed nagu mikrolaineahjud, turvakaamerad, traadita telefonid ning mõnel pool ka amatöörraadid.

2. LEGO NXT ühendamine WiFi sensoriga

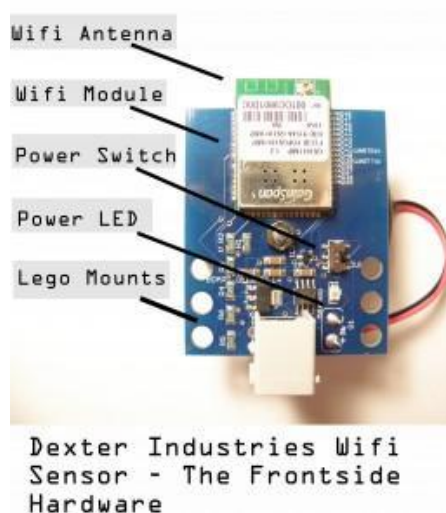
2.1 Dexter Industries WiFi sensor

Ettevõtte Dexter Industries (edasipidi DI) poolt loodud WiFi sensor võimaldab LEGO NXT robotil ühenduda internetti, andmeid saata ja vastu võtta. Sensor ühendub internetti läbi kohaliku WiFi võrgu. Toetatud on nii HTTP, TCP kui UDP protokollid ning ühendumine on võimalik nii WPA, WPA2-PSK kui WEP krüpteeringuga võrkudesse. Ühenduda saab ka *ad hoc* võrkudesse LEGO NXT roboti ja mingi WiFi toega seadme vahel, nagu nutitelefoni või arvuti. [10]

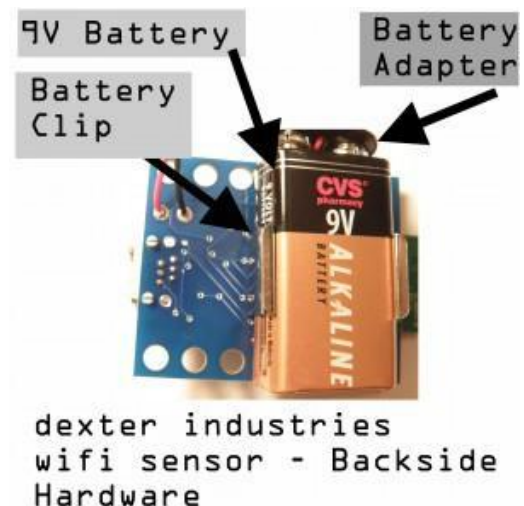
DI WiFi sensor töötab 802.11 b/g/n WiFi standarditel. Sensor ühendub vaid NXT neljandasse pesasse, teistesse pesadesse ühendades sensori ja NXT vahel suhtlust ei toimu. Voolu saab sensor välistest 9V patareist. Sensor ei ole programmeeritav populaarseima NXT-G programmeerimiskeelega, kuid toetatud on RobotC ja NXC keeled. [11]

WiFi sensor koosneb järgnevatest osadest, mis on kujutatud ka joonistel 7 ja 8:

- WiFi moodul (Wifi Module)
- WiFi antenn (Wifi Antenna)
- Voolulüliti (Power Switch)
- LED pirn (Power LED)
- Kinnitused (Lego Mounts)
- Patarei hoidik (Battery Clip)
- Patarei adapter (Battery Adapter)



Joonis 7. WiFi sensori esikülg [12]

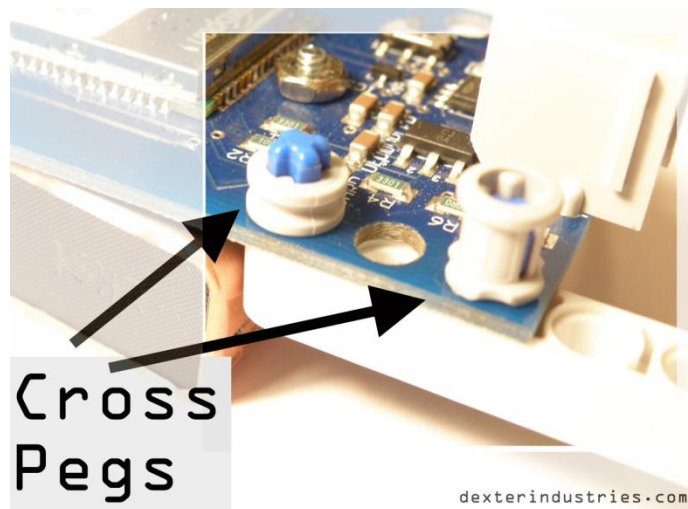


Joonis 8. WiFi sensori tagakülg [13]

Edasi vaatame, kuidas sensor LEGO NXT robotile paigaldada.

2.2 Dexter Industries WiFi sensori paigaldamine

Enne sensori kinnitamist NXT roboti külge peab sensori varustama 9V patareiga. Patarei tuleks paigutada selleks ettenähtud hoidjasse ning ühendada adapter. Joonisel 8 on näha anduriga korrektselt ühendatud patareid. Seejärel võib sensori ühendada roboti külge ristikujulise läbilõikega kinnitusi kasutades, nagu kujutatud joonisel 9.



Joonis 9. Sensori ühendamine roboti külge [14]

NXT robotiga kommunikamiseks tuleb robotiga kaasatuleva RS485 kaabli üks ots ühendada NXT juhtploki neljandasse porti ning teine ots WiFi sensoril asuvasse pesasse, nagu näidatud joonisel 10.



Joonis 10. LEGO NXT juhtploki ühendatud WiFi sensor [15]

Sensori töövalmidust saab kontrollida lüliti asendit vahetades. Töökorras ning vooluvõrku ühendatud sensori sisselülitamisel süttib eresinine LED pirn.

2.3 Programmeerimiskeele valik

DI WiFi sensorile ei saa paraku programme kirjutada populaarseima programmeerimisvahendiga NXT-G. Selle asemel toimub koodi kirjutamine RobotC ja NXC keeltes. Mõlemaga on võimalik NXT robotile funktsionaalset koodi luua ning neid jooksutada. Programmeerimiskeele valimise lihtsustamiseks järgneb lühike kirjeldus mõlemast ning ülevaade nende plussidest ja miinustest.

2.3.1 RobotC ülevaade

RobotC on spetsiaalselt robotite programmeerimiseks loodud C-sarnane programmeerimiskeel. RobotC programmeerimiseks on kasutusel samanimeline arenduskeskkond. Programmeerimist hõlbustab intuiitiivne kasutajaliides ning integreeritud silur (i.k *debugger*). RobotC toetab tööd LEGO Mindstorms robotitega MATRIX, NXT, EV3 ja TETRIX, aga ka VEX Roboticsi ja Arduino toodetega [16]. RobotC kasuks räägib aktiivne arenduskommuun ja kasutajatugi. Suurima miinusena haridustöök on aga tõsiasi, et tegu on tasulise tarkvaraga. Ühe litsentsi maksumus aastaks on 49 dollarit, 30-pealise klassi võtme üheks aastaks saab 299 dollari eest [17].

2.3.2 NXC ülevaade

NXC (Not eXactly C) on samuti C-le sarnanev programmeerimiskeel. NXC kasutab Next Byte Codes (NBC) kompilaatorit [18]. NBC ise on käsurealt käivitatav tööriist, graafiline kasutajaliides puudub täielikult. Seetõttu tasub NXC programmeerimisel kaaluda BricxCC tarkvara paigaldamist. BricxCC ehk Bricx Command Center on LEGO Mindstorms robotite programmeerimiseks loodud arenduskeskkond, mis toetab NXC, NBC ja NPG keeli [19]. Võttes kasutusele BricxCC, muutub NXT jaoks programmide kirjutamine, haldamine ja käivitamine oluliselt mugavamaks. Nii NXC kui BricxCC näol on tegu piiranguteta vabavaraga, kuid nende kasutajaskond on väiksem kui RobotC puhul ning abi saamine võib olla keerulisem.

Sõltumata valitud keelest on tegemist üsna komplekssete töövahenditega, mis loodud eelkõige edasijõudnuile. Seetõttu vaatame järgnevalt, kuidas RobotC ja BricxCC üles seada LEGO NXT roboti juhtimiseks.

2.3 RobotC seadistamine tööks LEGO NXT robotiga

RobotC juures käib aktiivne arendustöö ning uuendusi lisatakse pidevalt. Käesoleva töö kirjutamise hetkel on uusim versioon RobotC platvormist numbriga 4.09. Siiski, DI WiFi sensor pärineb aastast 2011 ning aktiivset arendust peale 2012. aastat selle kallal toimunud ei ole. See tähendab, et sensori tarkvara ning kõik DI poolt pakutavad koodinäidised on kirjutatud tollasele RobotC versioonile. Autori katsetest selgus, et alates RobotC versioonist 3.0 kuvatakse näidisprogrammide kompileerimisel hulganisti veateateid ning programmid ei käivitu.

Ühildumisprobleemide vältimiseks kasutame seetõttu RobotC teise põlvkonna viimast versiooni 2.26.1.

2.3.1 RobotC 2.26.1 paigaldamine

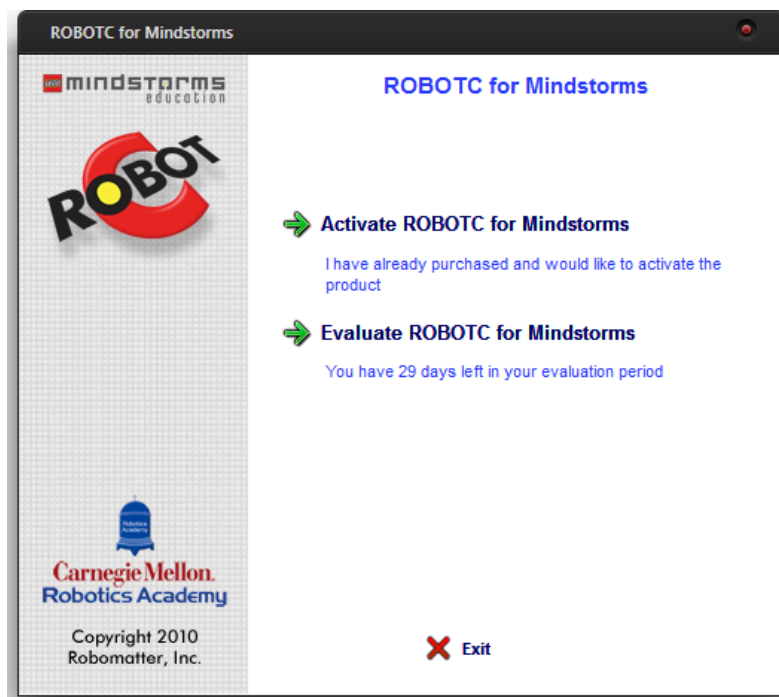
Versiooni 2.26.1 RobotC arenduskeskkonnast saab alla laadida RobotC kodulehe alla-laadimiste sektsioonist "ROBOTC for MINDSTORMS" [20]. Kui allalaadimine on valmis, avada fail ROBOTCforMindstorms_226_1.exe. Avaneb InstallShield paigaldusviisard. Tarkvara paigaldamiseks toimida järgnevalt:

1. Viisard teavitab paigaldusprotsessi alustamisest. Jätkamiseks vajutada "Next".
2. Peale kasutustingimuste lugemist nõustuda nendega, valides variandi "I accept the terms in the license agreement". Jätkamiseks vajutada nupule "Next".
3. Valida programmi paigalduskoht. Kui vaikimisi pakutav asukoht ei sobi, saab seda muuta nupu "Change" abil. Sobiva asukoha määramisel liikuda nupuga "Next" järgmise sammu juurde.
4. Vajutada "Install" paigalduse käivitamiseks.
5. Paigaldus on edukalt lõppenud, valime "Finish" viisardi sulgemiseks.

Tarkvara on paigaldatud. Vaatame, kuidas seda seadistada edukaks tööks.

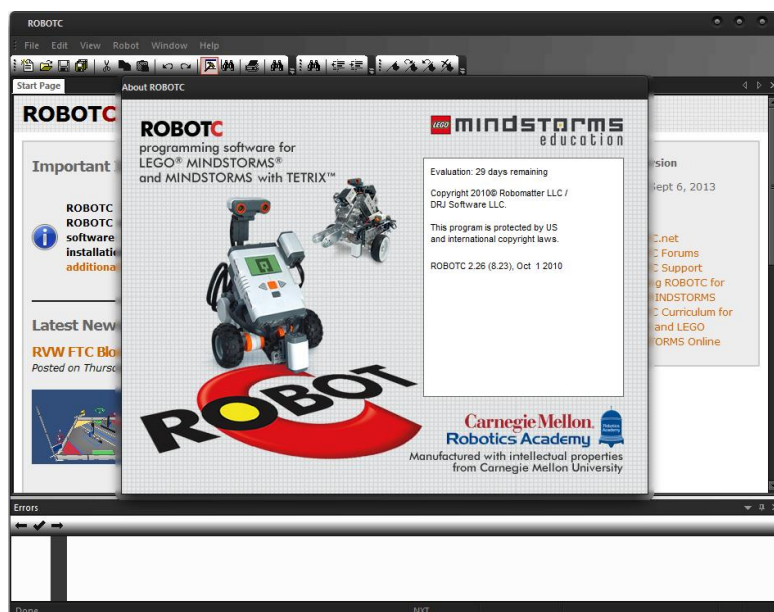
2.3.2 RobotC 2.26.1 seadistamine

Navigeerida failihalduris RobotC tarkvara paigalduskohta ning käivitada faili RobotC.exe. Esmalt tervitab meid joonisel 11 kujutatud aken, kus palutakse valida programmi kasutusviis. Litsentsi olemasolul valida variant "Activate ROBOTC for Mindstorms". Soovides tarkvara vaid proovida, tuleb valida alumine võimalus "Evaluate ROBOTC for Mindstorms". Nimetatud valiku all on näha ka allesolevate proovipäevade arv.



Joonis 11. RobotC kasutusviisi valimine programmi käivitumisel

Olles valinud sobiva variandi, kuvatakse RobotC algleht, nagu näha joonisel 12.



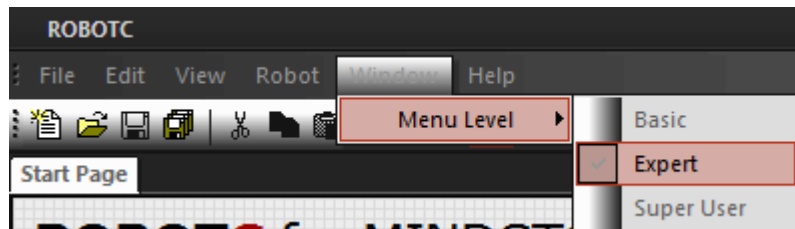
Joonis 12. RobotC algleht

Selleks, et kõik valikud oleksid koheselt nähtavad, tuleks muuta menüü taset. Menüü tasemeid on kolm:

- “Basic” ehk tavakasutaja režiim. See on vaikimisi valitud tase, kust on mitmed seaded peidetud

- “Expert” ehk eksperdi tase. Asudes eksperdi tasemel, pääseb ligi mitmetele edasijõudnuile suunatud valikutele
- “Super User” tase, millega pääseb ligi kõikidele RobotC võimalustele

Vaadeldavate ülesannete jaoks on sobivaim valik eksperdi tase. Menüütaseme muutmiseks tuleb menüüribalt valida "Window" ning "Menu level" väärtuseks määrata "Expert", nagu näidatud joonisel 13.



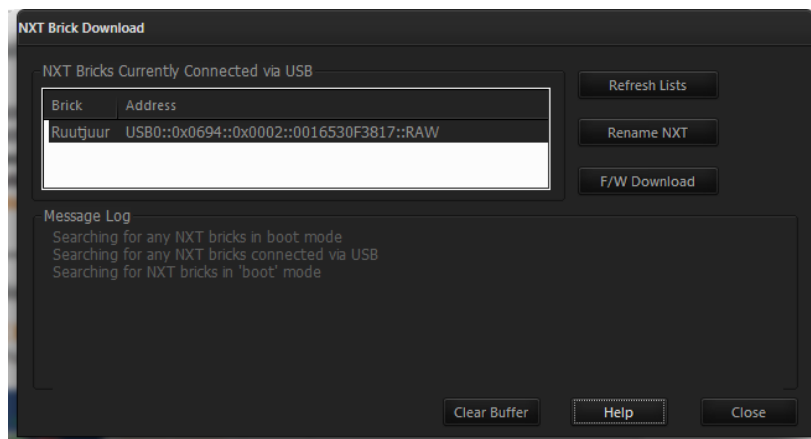
Joonis 13. Menüütaseme muutmine RobotC keskkonnas

Järgmise sammuna peab veenduma, et LEGO NXT robotil on RobotC ühenduseks sobilik püsivara (i.k. *firmware*). Selleks tuleb NXT juhtplokk USB kaabli abil arvutiga ühendada ning see sisse lülitada. Seejärel avada menüüribalt valik "Robot", avanenud alammenüüst "Download Firmware" ning lõpuks "Standard File", nagu näidatud joonisel 14.



Joonis 14. RobotC püsivara laadimise dialoogiakna avamine

Avaneb joonisel 15 nähtav dialoogiaken, kus kuvatakse kõik arvutiga ühendatud NXT robotid. Kui roboteid valikusse ei ilmu, tuleb üle kontrollida juhtploki ühendus arvutiga. Olles valinud sobiva roboti, saab püsivara paigaldust alustada nupust "F/W Download".



Joonis 15. Püsivara laadimine robotile

Edukal paigaldusel taaskäivitab robot end. Nüüd võib dialoogiakna sulgeda ning liikuda tagasi programmi peaknasse. Vajadusel saab esialgse püsivara igal ajal taastada LEGO Mindstorms NXT tarkvara NXT-G abil, valides selle menüüribalt “Tools” ning “Update NXT Firmware”.

RobotC tarkvara on edukalt paigaldatud ja seadistatud tööks LEGO NXT robotiga. Järgmise sammuna peab veenduma, et on võimalik DI WiFi sensoriga kommunikeeruda ning luua side kohaliku võrguga.

2.3.3 WiFi sensori testimine RobotC abil

WiFi võrku ühendumiseks tuleb esmalt selgeks teha kohaliku võrgu nimetus, parool ning turvameetod. WiFi sensor suudab ühenduda WPA, WPA2-PSK ja WEP turvaprotokollidega võrkudesse.

Ühenduse testimiseks pakub DI näidisprogramme, mis on kättesaadavad nende veebisaidilt [21]. Failid tuleks salvestada kohta, kust need lihtsasti üles leiab. Seejärel tuleb RobotC keskkonnas menüüribalt avada valik "File" ning "Open and Compile". Sama protseduur on võimalik sooritada programmiaknas klahvikombinatsiooni Ctrl ja O kasutades. Vastavalt ühendutava võrgu turvaprotokollile avada WEP korral fail DIWIFI-Connect_WEP.c või WPA ja WPA2 puhul DIWIFI-Connect_WPA.c. Järgneb õpetus kummagi turvaprotokolliga võrku ühendumiseks.

2.3.3.1 WEP turvaprotokolliga võrgu ühenduse seadistamine

Olles avanud faili DIWIFI-Connect_WEP.c, tuleb seda konfigureerida kohaliku võrguga ühenduse loomiseks.

Esimene muudatus tuleb sooritada programmi 25. real. Järjendis "ssid" hoitakse kohaliku WiFi võrgu nime. Iga sümbol on järjendis üks element, mis on asetatud ülakomade vahele ning teistest komaga eraldatud. Vaikimisi on näidisfailis järjendi "ssid" väärtus {'D', 'E', 'X', 'T', 'E', 'R', '_', 'W', 'A', 'N'}, mis tähendab, et üritatakse ühenduda võrku nimega "DEXTER_WAN". Mainitud rida tuleb muuta vastavaks eelnevalt selgeks tehtud kohaliku võrgu nimetusega. Oletades, et soovitakse ühenduda võrku nimega "Test", muudaksime 25. rida sedasi:

```
ubyte ssid[] = {'T','e','s','t'};
```

Sarnaselt tuleb toimida programmi 29. reaga, kus järjendis "wep_key" määratakse soovitud WiFi võrgu parool. Olgu kohaliku võrgu parool "testparool". Sellisel juhul tuleb antud rida muuta järgnevaiks:

```
ubyte wep_key[] = {'t','e','s','t','p','a','r','o','o','l'};
```

Järgmise sammuna on tarvis muuta rida numbriga 39, mille sisu on vaikimisi järgnev:

```
wifi_auth_mode(1);
```

Selle käsklusega määratakse võrgu autentimisviis. Vaikimisi antud parameeter 1 sobib turvamata võrkude jaoks. WEP autentimise korral asendame sulgudes antud funktsiooni parameetri 1 numbriga 2, saades tulemuseks:

```
wifi_auth_mode(2);
```

Viimase sammuna kustutame või kommenteerime sümboleid "//" kasutades välja 31. real oleva käskluse

```
#include "drivers/common.h"
```

Vastasel korral oleks päisefail "common.h" vaja lisaks alla laadida, kuid tööks DI WiFi sensoriga nimetatud faili tarvis ei lähe.

2.3.3.2 WPA turvaprotokolliga võrgu ühenduse seadistamine

Olles avanud faili DIWIFI-Connect_WPA.c, tuleb seda konfigureerida kohaliku võrguga ühenduse loomiseks.

Esimene muudatus tuleb sooritada programmi 22. real. Järjendis "ssid" hoitakse kohaliku WiFi võrgu nime. Iga sümbol on järjendis üks element, mis on asetatud ülakomade vahele ning teistest komaga eraldatud. Vaikimisi on näidisfailis järjendi "ssid" väärtus {'d', 'e', 'x', 't', 'r'}, mis tähendab, et üritatakse ühenduda võrku nimega "dextr". Mainitud rida tuleb muuta vastavaks eelnevalt selgeks tehtud kohaliku võrgu nimetusega. Oletades, et soovitakse ühenduda võrku nimega "Test", muudaksime 22. rida sedasi:

```
ubyte ssid[] = {'T','e','s','t'};
```

Sarnaselt tuleb toimida programmi 23. reaga, kus järjendis "wpa-psk" määratakse soovitud WiFi võrgu parool. Olgu kohaliku võrgu parool "testparool". Sellisel juhul tuleb antud rida muuta järgnevalt:

```
ubyte wpa-psk[] = {'t','e','s','t','p','a','r','o','o','l'};
```

Järgmise sammuna on tarvis muuta rida numbriga 31, mille sisu on vaikimisi järgnev:

```
wifi_auth_mode(2);
```

Selle käsklusega määratakse võrgu autentimisviis. WEP autentimise korral asendame sulgudes antud funktsiooni parameetri 2 numbriga 0, saades tulemuseks:

```
wifi_auth_mode(0);
```

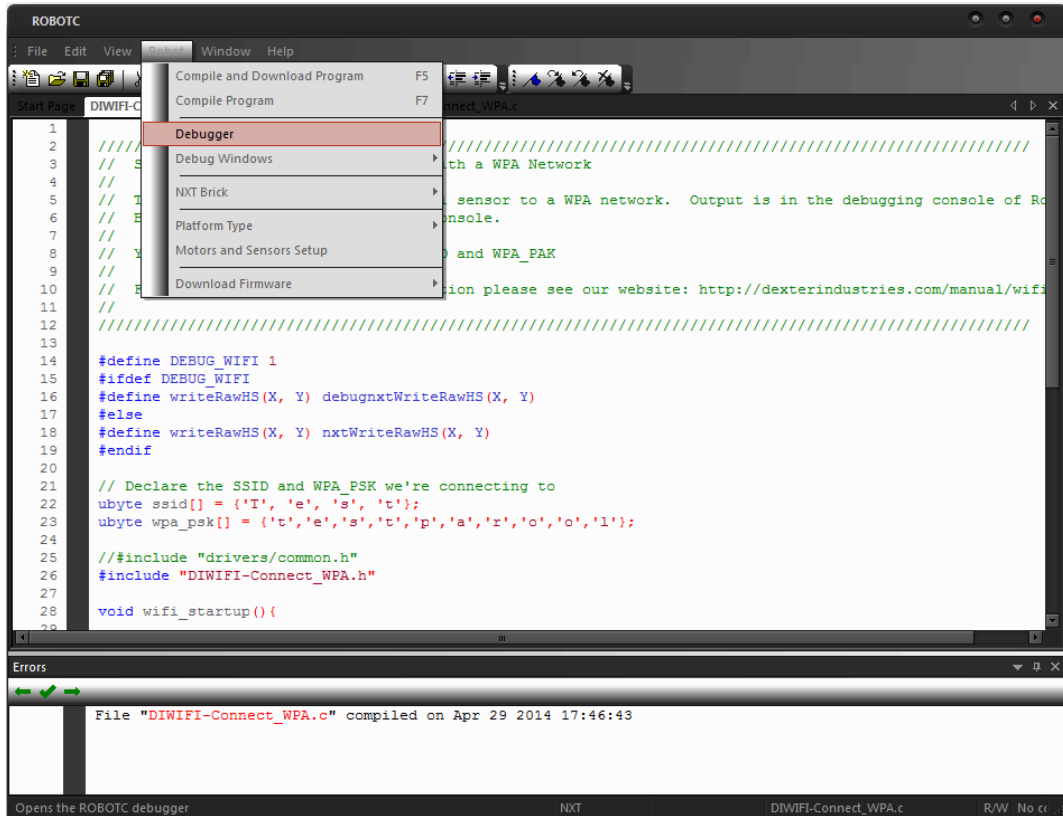
Viimase sammuna kustutame või kommenteerime sümboleid "///" kasutades välja 25. real oleva käskluse

```
#include "drivers/common.h"
```

Vastasel korral oleks päisefail "common.h" vaja lisaks alla laadida, kuid tööks DI WiFi sensoriga nimetatud faili tarvis ei lähe.

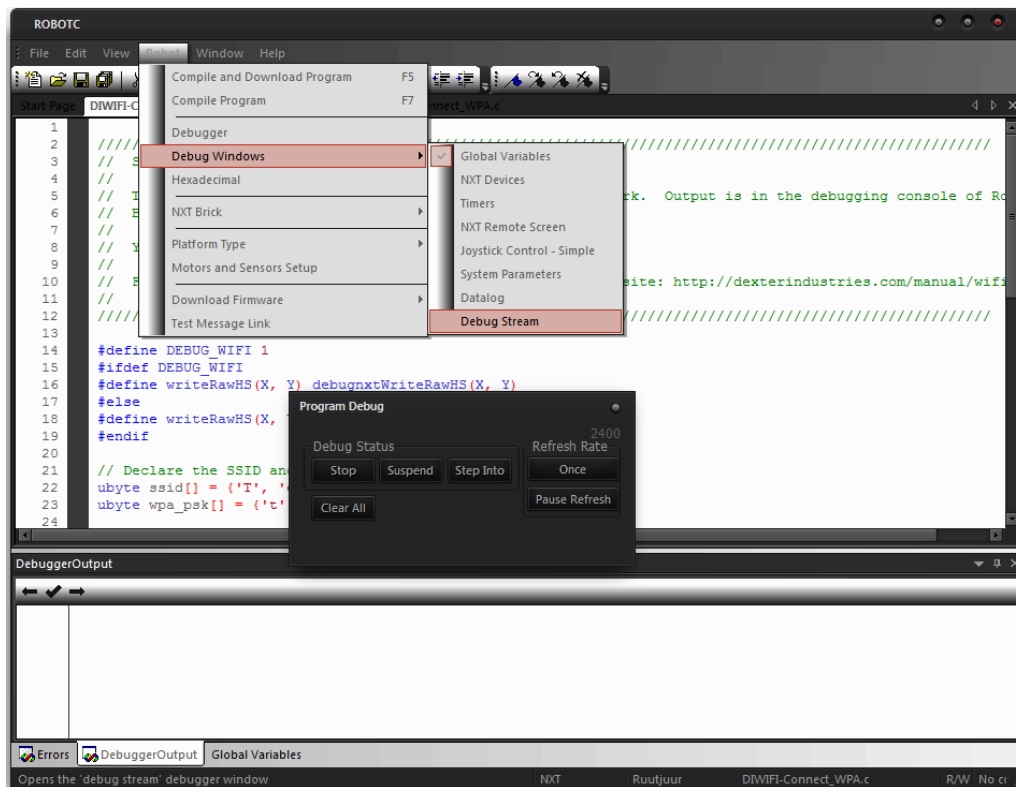
2.3.3.3 Võrku ühendumise

Peale turvaprotokollile vastava programmifaili konfigureerimist on võimalik WiFi sensor kohalikku võrku ühendada. Esmalt peaks tulemuste nägemiseks avama siluriakna, aktiveerides allammenüüst "Robot" valiku "Debugger", nagu osutatud joonisel 16.



Joonis 16. Siluri avamine

Lisaks on tarvis avada siluri väljundi aken, navigeerides "Robot", "Debugger Windows" ning "Debug Stream". Toiming on illustreeritud joonisel 17.



Joonis 17. Siluri väljundi akna kuvamine

Seejärel võib RobotC peaknas nupule F5 vajutades programmi kompileerida ja LEGO NXT robotisse laadida. Vajutades nüüd siluriaknas "Start", proovib NXT ühenduda meie võrku. Eduka ühenduse korral kostub NXT poolt helisignaal ning siluri väljund on sarnane joonisel 18 nähtavaga.

```
Controller Debug Stream

echo_all_input_off
ate0
PUT
ate0

OK
sfwr_flw_cntrl
at&k1

OK
set_verbose
atv1

OK
wifi_infra_mode.
at+wm=0

OK
discon_frm_networksat+wd

OK
ATS1=1000

OK
AT+PSPOLLINTRL=1200
OK
Set Max Xmit Power
at+WP=7

OK
wifi_auth_mode
at+wauth=0

OK
setDHCP
at+NDHCP=1

OK
AT+WPAPSK=Test,test
Computing PSK from SSID and PassPhrase...

OK
discon_frm_networksat+wd

OK
AT+WA=Test
      IP           SubNet       Gateway
      192.168.0.12: 255.255.255.0: 192.168.0.1
OK
```

Joonis 18. Siluri väljund

Probleemide korral tuleks üle vaadata programmi seadistus ning proovida uuesti. Edasi vaatame, kuidas toimida, kui valida RobotC asemel tööks BricxCC keskkond ja NXC programmeerimiskeel.

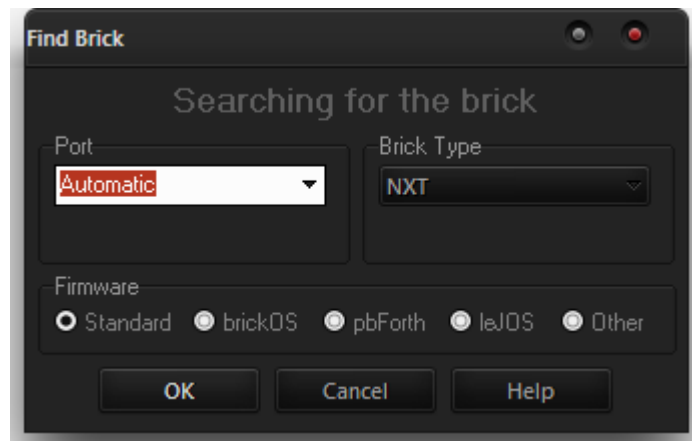
2.4 BricxCC seadistamine tööks LEGO NXT robotiga

2.4.1 BricxCC paigaldamine

Erinevalt RobotC arenduskeskkonnast, võib BricxCC puhul paigaldada kõige viimase versiooni, mis on kättesaadav Sourceforge keskkonnast [22]. Viimane väljalase pärineb aastast 2011 ning kannab versiooninumbrit 3.3.8.9. Olles alla laadinud faili bricxcc_setup_3389.exe, tuleb see käivitada ning järgida viisardi juhiseid. Hilisema töö hõlbustamiseks võib kohe alla laadida NXC püsivara [23] ning selle lahti pakkida.

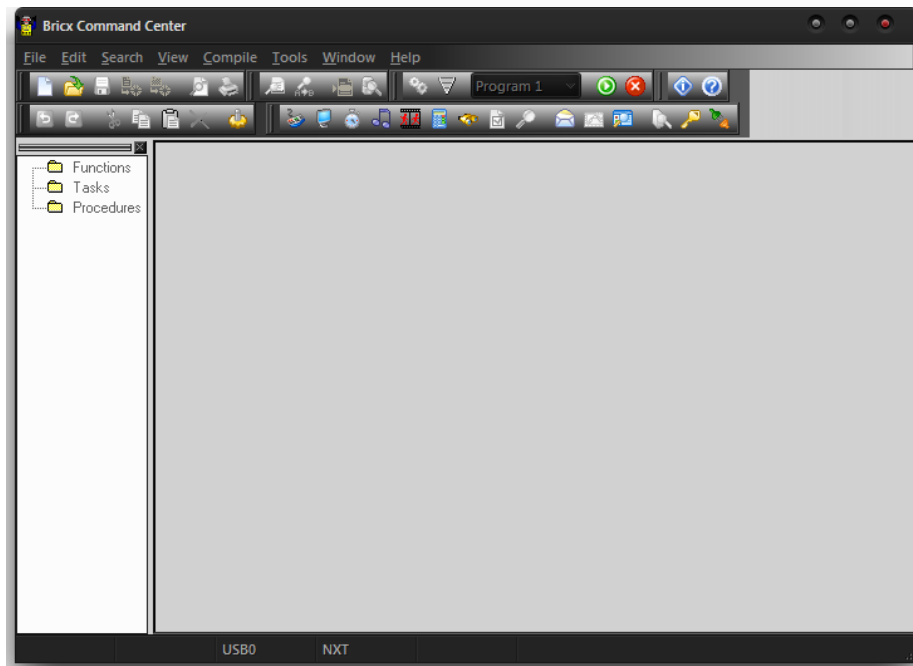
2.4.2 BricxCC seadistamine

Enne töö alustamist tuleb veenduda, et LEGO NXT robot on arvutiga USB kaabli abil ühendatud. Seejärel võib BricxCC käivitada failist BricxCC.exe. Avamisel palutakse näidata, kuhu on NXT ühendatud. Vaid ühe seadme puhul võib valida "Automatic", nagu näha joonisel 19, ning lasta BricxCC programmil ühendatud NXT üles otsida.



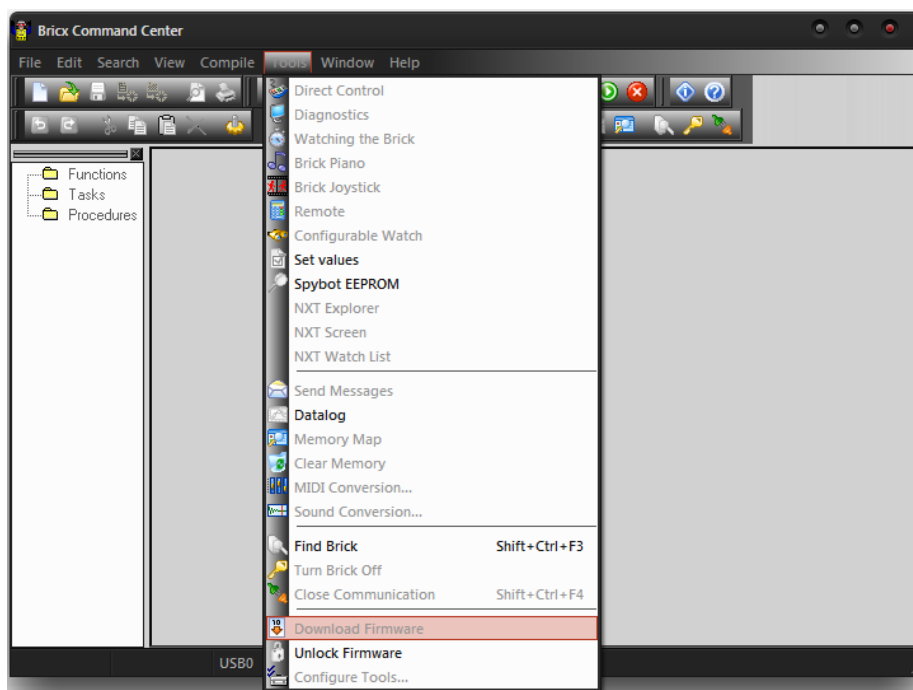
Joonis 19. Juhtploki tuvastamine BricxCC keskkonnas

Edu korral avatakse programmi peaken, mis on kujutatud joonisel 20.



Joonis 20. BricxCC peaken

Järgmise sammuna tuleb robotile paigaldada NXC püsivara. Selleks tuleb menüüribalt valida "Tools" ning seejärel "Download firmware", nagu näidatud joonisel 21.



Joonis 21. Püsivara laadimine BricxCC keskkonnas

Järgnevalt tuleb navigeerida eelnevalt alla laetud ning lahti pakitud püsivarafaili lms_arm_nbcnxc_132.rfw juurde ning see valida. Püsivara laetakse NXT robotile ning protsessi lõppedes saab jätkata programmide kirjutamisega.

2.4.3 WiFi sensori testimine NXC abil

WiFi võrku ühendumiseks tuleb välja selgitada võrgu nimetus ja parool. Käesolevas juhendis olgu võrgunimi "Test" ning parool "testparool". Testimiseks tasub alla laadida Matthew Richardsoni poolt kirjutatud teek ning näidisprogrammid [24]. Need failid on kättesaadavad ka lisast 3. Salvestanud failid arvutisse, saab asuda WiFi võrku ühendumist testima. Tasub arvestada, et näidisprogramm töötab vaid WPA ja WPA2 turvaprotokollide korral. Esmalt tuleb avada fail "DIWIFI Setup Connect Save profile.nxc". Programm on peaaegu töövalmis, muudatus tuleb vaid sisse viia real 21, kus asendame funktsiooni DIWIFI_Startup_And_Connect esimese argumendi meie võrgunimega ning teise argumendi võrgu parooliga. Tulemus peaks olema järgnev:

```
result = DIWIFI_Startup_And_Connect("Test", "testparool", HS_BAUD_460800);
```

Klahvikombinatsiooniga Ctrl ja F5 kompileeritakse programm ning laetakse NXT robotile. Roboti ekraanile ilmub mõneks ajaks tekst "Initializing and connecting, may take 30 seconds." Käesoleva töö autoril võttis ühendumine mainitud 30 sekundi asemel ligi poolteist minutit, seega tuleb arvestada väikese ooteajaga. Eduka ühenduse korral kostub robotist helisignaali ning ekraani väljund on identne joonisel 22 nähtavaga.



Joonis 22. Väljund LEGO NXT ekraanil eduka ühenduse korral

Vigade tekkimisel tuleks üle vaadata võrgu nimetuse ja parooli määramine. Probleemide püsimisel võiks teha taaskäivituse nii ruuterile, WiFi sensorile kui NXT robotile ning seejärel uuesti proovida.

3. LEGO NXT roboti juhtimine WiFi sensori abil

Olles edukalt võrku ühendunud ja meelepärase programmeerimiskeele valinud, saame lähemalt vaadata, mida DI WiFi sensoriga teha annab. Uurime kolme WiFi sensoriga sooritavat tegevust. Nendeks on arvutist robotisse info saatmine, veebilehele ühendumise kontrollimine ning NXT kaugjuhtimine interneti abil. Mainitud protseduuride läbi tegemine annab hea ülevaate WiFi sensori võimekusest ning on heaks baasiks sarnase sisuga ülesannete loomiseks õppetöö tarbeks. Käesoleva töö raames keskendun põhiliselt RobotC abil kirjutatud programmidele. RobotC kasuks räägib lihtsam kasutajaliides ning parema kasutajatoe olemasolu. Äärmiselt kasulikuks oma programmide koostamisel kujuneb integreeritud silur. Sellegipoolest on sarnased ülesanded võimalik lahendada ka NXC keele abil.

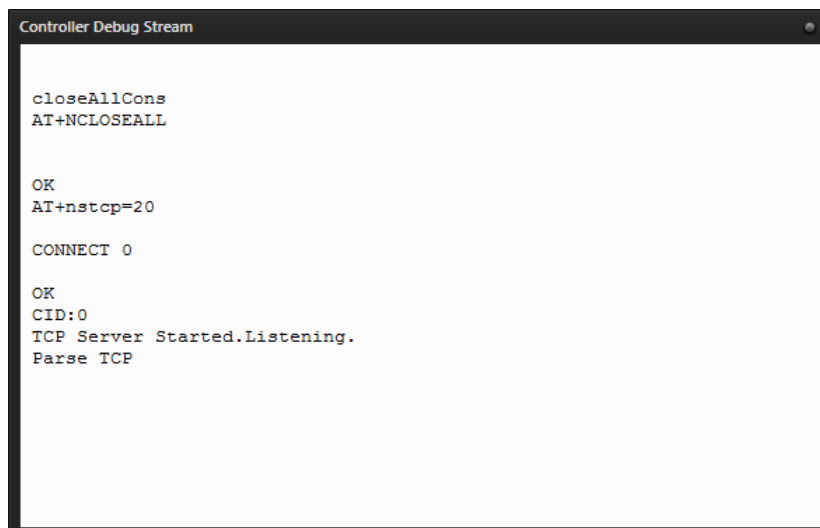
3.1 Arvutist info saatmine NXT robotisse

Teatavasti on WiFi peamine funktsioon andmete edastamine seadmete vahel juhtmeid kasutamata. Vaatame, kuidas on võimalik arvutist või muust võrku ühendunud seadmest infot LEGO NXT robotisse saata. Kasutame seadmetevaheliseks suhtluseks TCP ühendust. Protseduur on järgnev:

1. Seada NXT robotil üles TCP server, mis kuulab sissetulevaid sõnumeid
2. Ühenduda arvutist TCP serverisse
3. Saata infot arvutist NXT robotisse

3.1.1 TCP serveri ülesseadmine

Seame NXT peal üles TCP serveri, millesse saame arvutist ühenduda. Jätkamiseks on tarvilik, et robot oleks eelmises peatükis toodud juhiste abil võrku ühendatud. TCP serveri seadistamiseks kasutame juba eelnevalt alla laetud DI loodud näidisprogrammi DIWIFI-TCP_Server.c. Programm loob robotisse TCP serveri ning tagastab ühenduse identifikaatori. Identifikaator on viit loodud ühendusele, mis võimaldab ühendust katkestada või muuta. Ühendus toimub vaikimisi läbi pordi number 20, kuid see on programmi koodis kergesti muudetav. Programmi võib muutmata kujul kompileerida, NXT peale laadida ning käivitada. Õnnestumise korral kuvatakse RobotC siluri väljundiaknas joonisel 23 nähtav tekst.



```
Controller Debug Stream

closeAllCons
AT+NCLOSEALL

OK
AT+nstcp=20

CONNECT 0

OK
CID:0
TCP Server Started.Listening.
Parse TCP
```

Joonis 23. NXT peal jooksva TCP serveri väljund siluris

Peale serveri ülesseadmist võib sellesse ühenduda teisest seadmest. Vaatame, kuidas ühenduda serverisse arvuti abil.

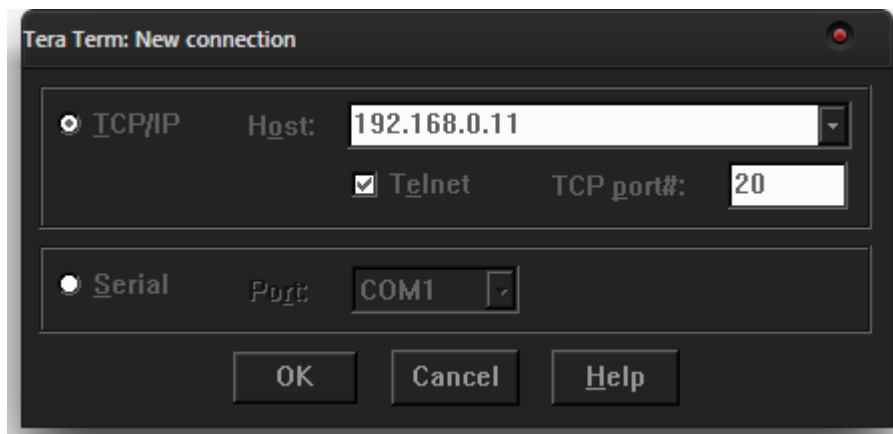
3.1.2 Arvuti abil NXT TCP serverisse ühendumine

TCP serverisse saab ühenduda mitmetel eri viisidel. Käesolevas ülesandes on vaja kõigest saata teksti ühest seadmest teise, seega sobib väga lihtne ühendus. Kasutame telneti protokoll. Telnet on võrguprotokoll, mis pakub kahesuunalist tekstipõhist suhtlust virtuaalse terminali kaudu [32].

Telneti kasutamiseks on mitmeid vabavaralisi programme. Ühendumine NXT TCP serverisse toimib kõigiga neist, kuid põhjalikum juhis järgneb neist kahe jaoks. Nendeks on PuTTY [25] ja Tera Term [26].

Tera Term programmi abil NXT TCP serverisse ühendumine

Paigaldame Tera Term versiooni 2.3 arvutisse. Tarkvara saab alla laadida programmi kodulehelt [27]. Tähelepanu tuleb pöörata asjaolule, et uue tarkvara paigaldamiseks peavad kasutajal olema arvutis administraatoriõigused. Peale tarkvara paigaldamist on programm käivitatav failist ttermpro.exe. Koheselt küsitakse uue ühenduse informatsiooni.

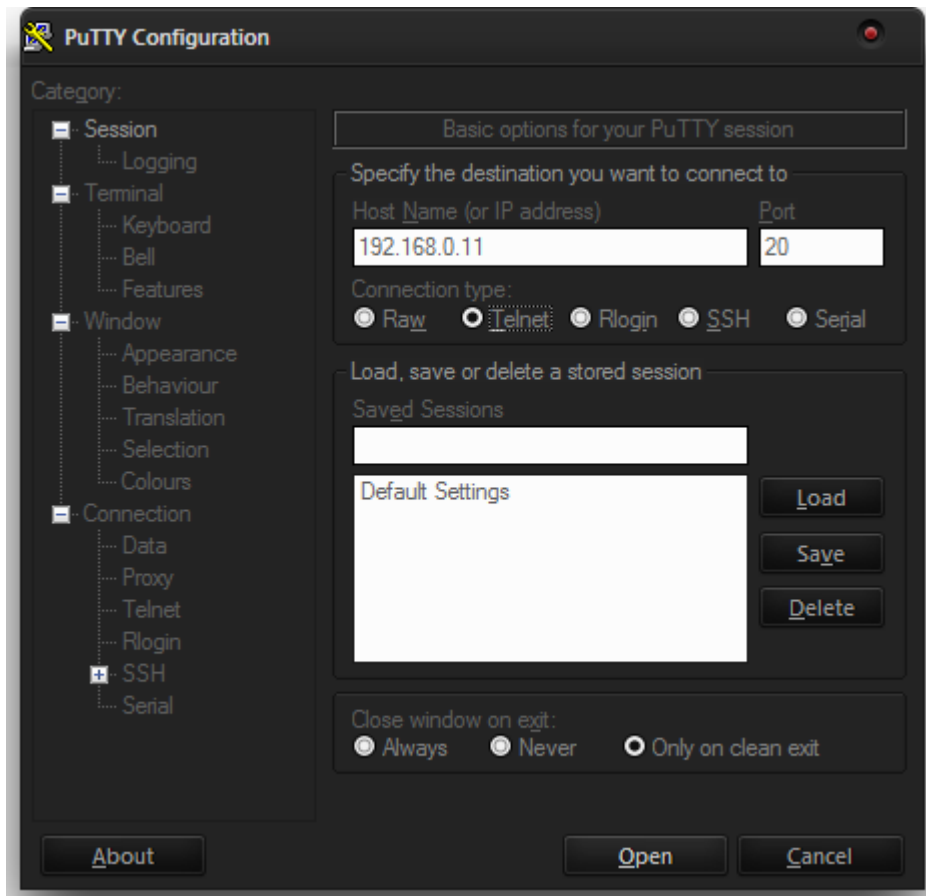


Joonis 24. Tera Term ühenduse korrektne konfiguratsioon

IP aadressiks tuleb sisestada aadress, mille määras NXT robotile ruuter kohtvõrku ühendumisel. Ununemise korral leiab IP aadressi RobotC siluri väljundist. Käesolevas näites on IP aadressiks 192.168.0.11. Eeldusel, et programmi koodis ei muudetud porti numbrit, sobib "TCP port#" väärtuseks 20. Nuppu "OK" vajutades avatakse ühendus.

PuTTY programmi abil NXT TCP serverisse ühendumine

Programmi PuTTY on võimalik tasuta alla laadida selle kodulehelt [28]. Salvestatud faili käivitamisel avaneb programmi seadistamise aken.

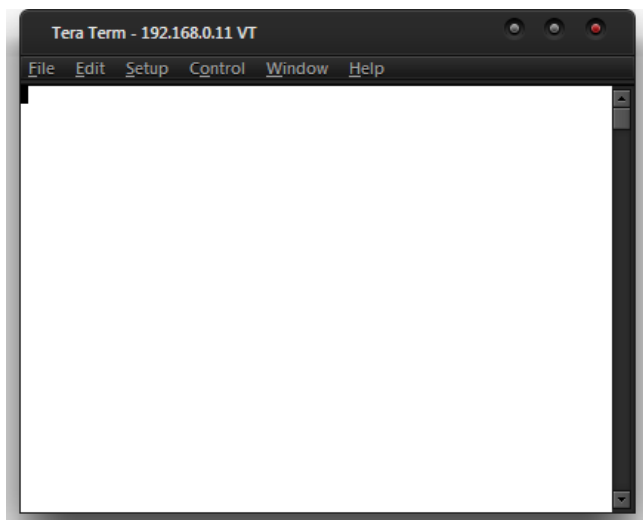


Joonis 25. Programmi PuTTY ühenduse seadistamine

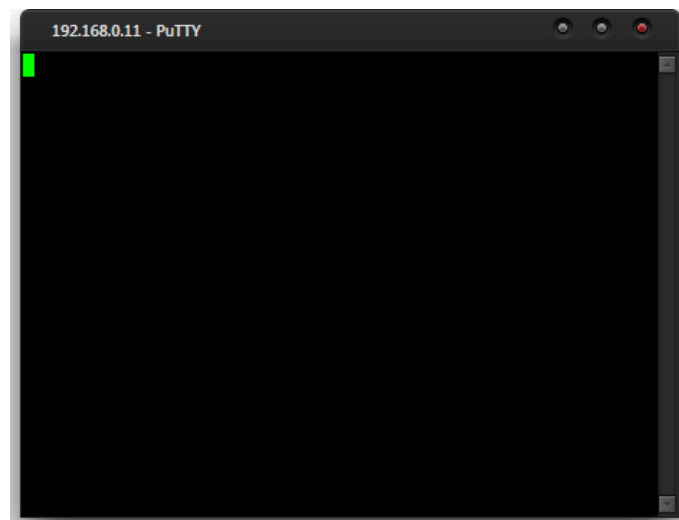
Väljale "Host Name (or IP address)" tuleb sisestada eelnevalt selgeks tehtud IP aadress, millel jookseb NXT TCP server. "Port" väärtuseks sobib 20. Kindlasti tuleb "Connection type" valiku alt aktiivseks teha "Telnet" raadionupp. Seadistus on valmis ning võib nupule "Open" vajutades avada ühenduse.

3.1.2 Andmete edastus arvuti ja NXT vahel

Sõltumata eelmises etapis valitud programmist avaneb ühenduse loomise järel terminaliaken. Tera Termi ja PuTTY terminaliaknad on näidatud vastavalt joonistel 26 ja 27.

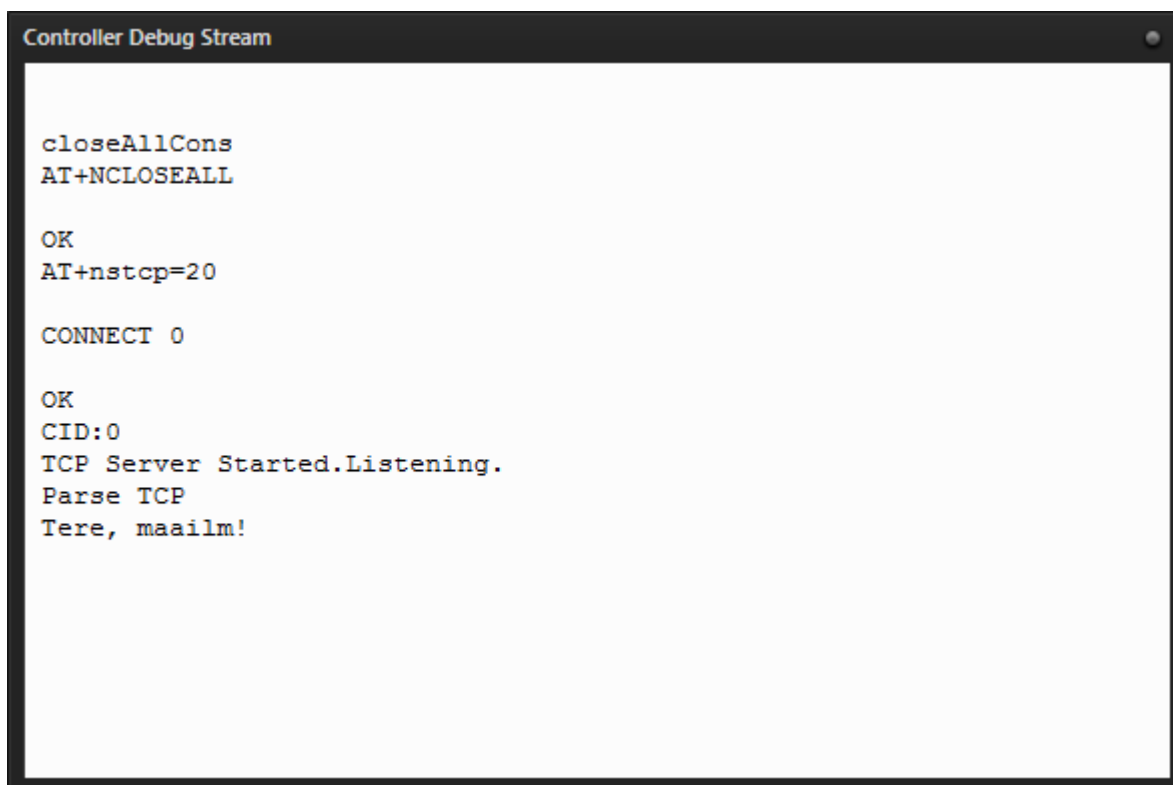


Joonis 26. Tera Term terminaliaken



Joonis 27. PuTTY terminaliaken

Terminaliaknasse sümboleid sisestades kostub helisignaal NXT poolt, mis annab märku, et andmed on edukalt vastu võetud. Kui Tera Term programmi puhul saadetakse iga sümbol otsekohe robotisse, siis PuTTY kasutamisel saadetakse sümboleid jada korraga peale "Enter" klahvile vajutamist. Sisestatud info kuvatakse nii RobotC siluri väljundvoos kui NXT ekraanil, nagu näidatud vastavalt joonistel 28 ja 29.



Joonis 28. RobotC siluris nähtav TCP kaudu saadetud info



Joonis 29. NXT ekraanil nähtav üle TCP saadetud info

Probleemide tekkimisel tuleks üle kontrollida, et NXT oleks võrku ühendunud ning veenduda IP aadressi korrektsuses terminali ühendumisel. Vajadusel võib WiFi sensorile teha taaskäivituse ning luua uus võrguühendus.

Nüüd oskame WiFi sensori abil arvutist NXT robotisse teateid saata. Järgmise sammuna vaatame, kuidas saame roboti panna meie heaks tööle. Näiteülesandena laseme robotil Tartu Ülikooli veebilehte pingida.

3.2 WiFi sensoriga veebisaidi pingimine

Pingimine ehk kajataotluse saatmine on kasulik meetod veebisaidi kättesaadavuse testimiseks. Lisaks ühenduse kontrollimisele tagastab WiFi sensor infot vastuse saamiseks kulunud aja kohta. Seekord võib aluseks võtta Dexter Industries poolt kirjutatud näidisprogrammi DIWIFI-Ping.c.

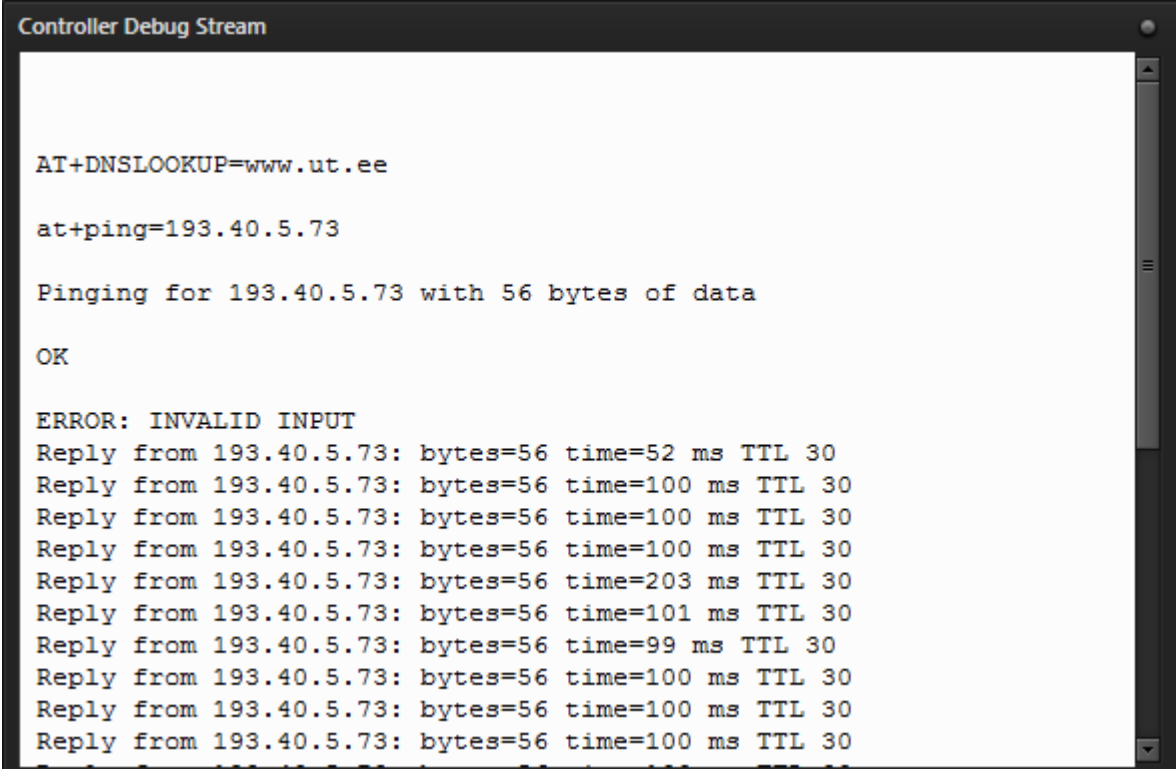
Faili DIWIFI-Ping.c avades tuleks navigeerida koheselt esimese väljakommenteerimata programmireani, mille sisuks on:

```
ubyte DNS_Name[] = {'w','w','w',',','d','e','x','t','e','r','i','n','d','u','s','t','r','i','e','s',',','c','o','m'};
```

Järgendi sisuks on pingimise sihtmärgiks olev veebisait, kus iga tähemärk on eraldi element. Soovides aga teada saada Tartu Ülikooli kodulehe kättesaadavust, muudame mainitud rea järgnevas:

```
ubyte DNS_Name[] = {'w','w','w',',','u','t',',','e','e'};
```

Programmi käivitamisel antakse sensorile käsuga "AT+DNSLOOKUP=" esmalt ülesandeks viidale vastav IP aadress kindlaks teha. Olles sellega lõpule jõudnud, jooksutatakse korduvalt käsku "at+ping=", mis testib saidi kättesaadavust ning kui sait maas ei ole, siis tagastab kulunud aja. Tulemusi on võimalik jälgida siluri aknast. Nagu näha jooniselt 30, oli testimise hetkel www.ut.ee keskkond kättesaadav ning sealt vastuse saamine võttis keskeltläbi 100 millisekundit.



```
Controller Debug Stream

AT+DNSLOOKUP=www.ut.ee

at+ping=193.40.5.73

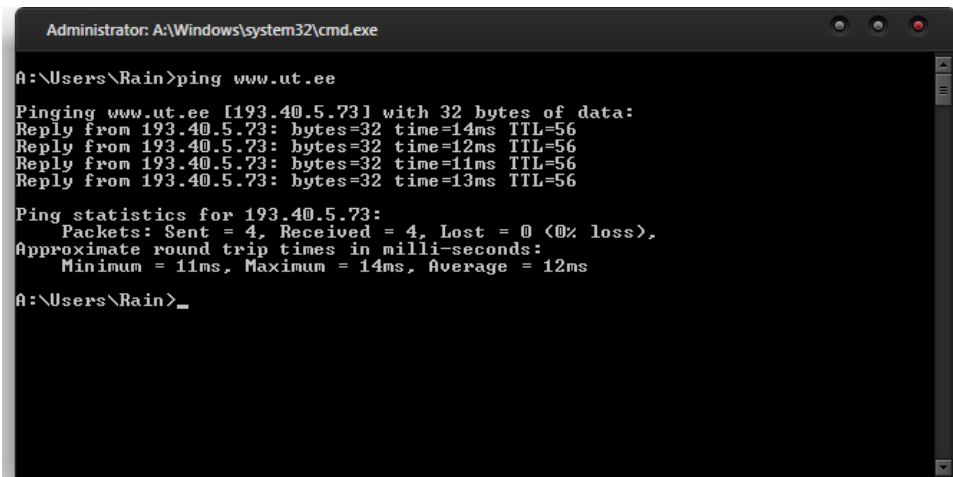
Pinging for 193.40.5.73 with 56 bytes of data

OK

ERROR: INVALID INPUT
Reply from 193.40.5.73: bytes=56 time=52 ms TTL 30
Reply from 193.40.5.73: bytes=56 time=100 ms TTL 30
Reply from 193.40.5.73: bytes=56 time=100 ms TTL 30
Reply from 193.40.5.73: bytes=56 time=100 ms TTL 30
Reply from 193.40.5.73: bytes=56 time=203 ms TTL 30
Reply from 193.40.5.73: bytes=56 time=101 ms TTL 30
Reply from 193.40.5.73: bytes=56 time=99 ms TTL 30
Reply from 193.40.5.73: bytes=56 time=100 ms TTL 30
Reply from 193.40.5.73: bytes=56 time=100 ms TTL 30
Reply from 193.40.5.73: bytes=56 time=100 ms TTL 30
```

Joonis 30. Pingimise tulemus siluri väljundis

Väärrib märkimist, et samas võrgus asuvalt sülearvutilt kulus samalt veebisaidilt vastuse saamiseks keskmiselt vaid 12 millisekundit, nagu näeme jooniselt 31.



```
Administrator: A:\Windows\system32\cmd.exe

A:\Users\Rain>ping www.ut.ee

Pinging www.ut.ee [193.40.5.73] with 32 bytes of data:
Reply from 193.40.5.73: bytes=32 time=14ms TTL=56
Reply from 193.40.5.73: bytes=32 time=12ms TTL=56
Reply from 193.40.5.73: bytes=32 time=11ms TTL=56
Reply from 193.40.5.73: bytes=32 time=13ms TTL=56

Ping statistics for 193.40.5.73:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 11ms, Maximum = 14ms, Average = 12ms

A:\Users\Rain>_
```

Joonis 31. Kajataotluse tulemus sülearvuti käsurealt

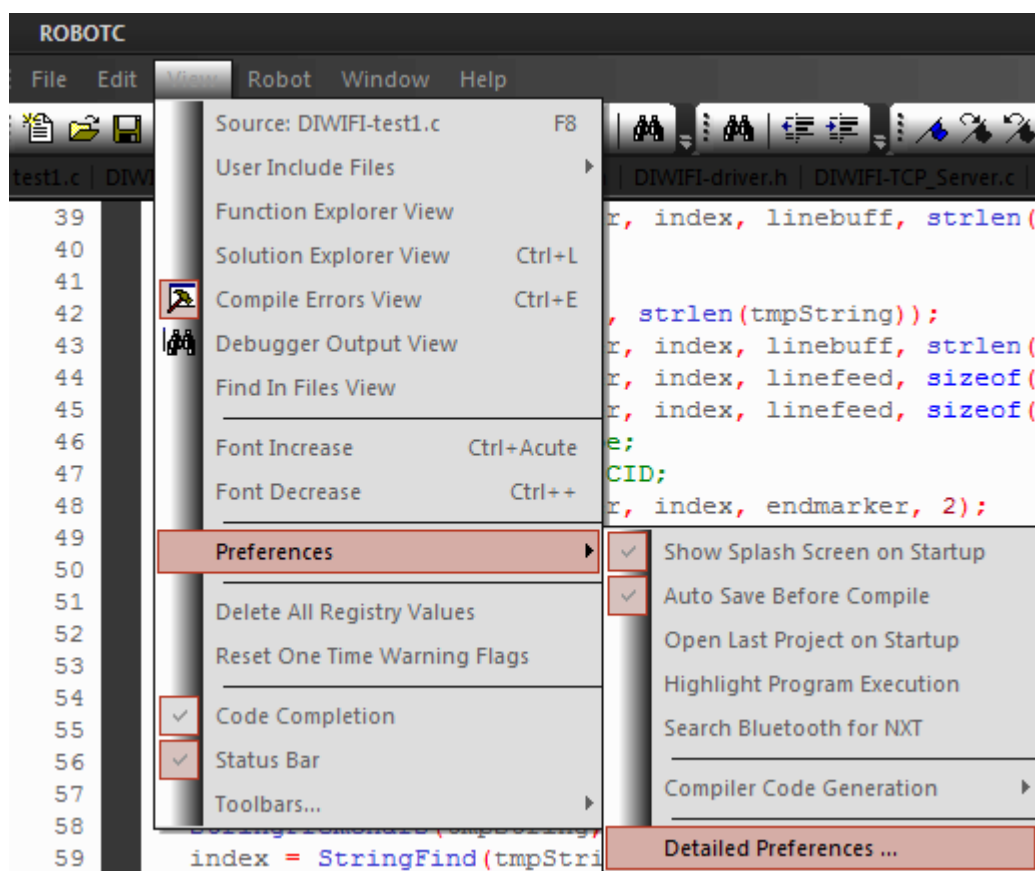
Selline tulemuste erinevus annab mõista, et ehkki DI WiFi sensor pääseb veebilehtedele ligi, teeb ta seda mõnevõrra aeglasemalt kui võimekamad võrgukaardid.

Oleme näinud, kuidas robotile informatsiooni üle võrgu saata ning kuidas NXT ise võrku ühendub. Edasi uurime, kuidas saame robotit üle interneti liikuma panna.

3.3 LEGO NXT roboti kaugjuhtimine

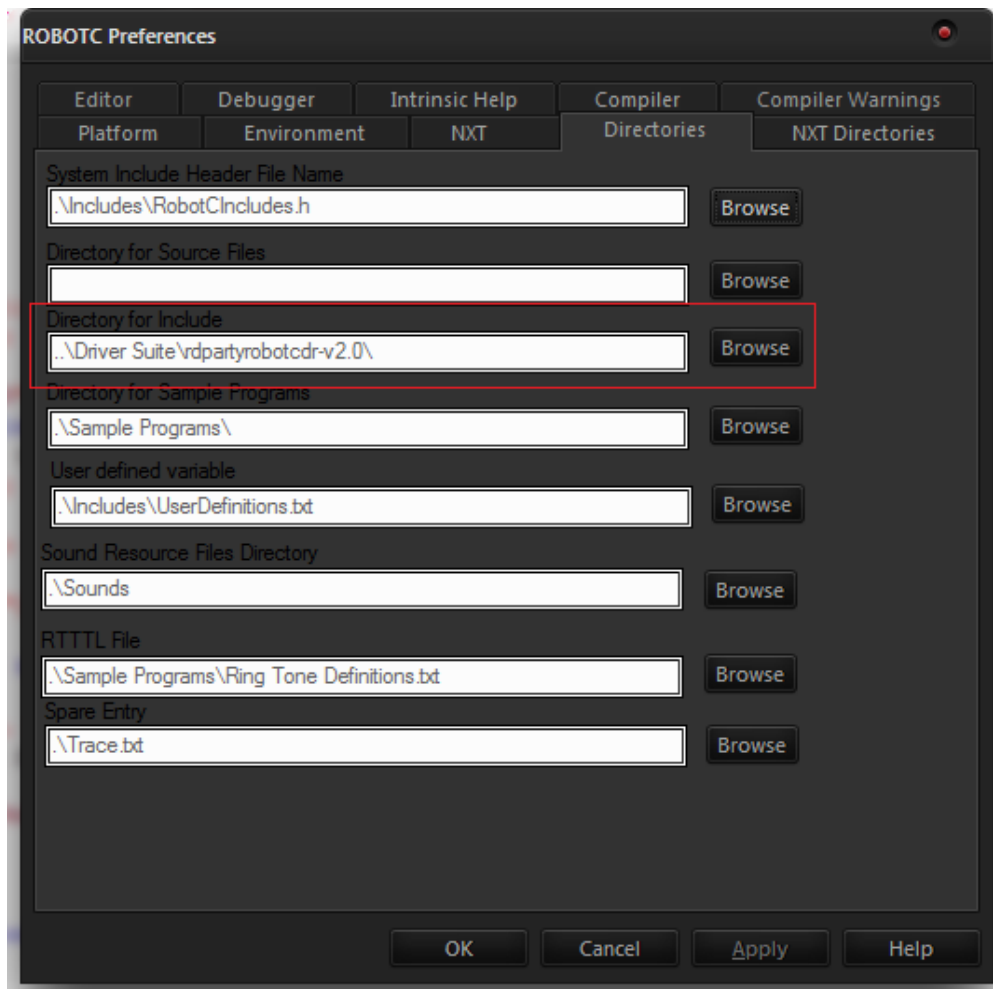
Üks huvitavamaid DI WiFi sensori kasutusvaldkondi on NXT roboti kaugjuhtimine. Seda on võimalik sooritada mis tahes kauguselt roboti asukohast, piisab vaid ligipääsust internetti. Järgnev programm on töötav prototüüp [29], mille autoriks on Xander Soldaat. Programm demonstreerib, kuidas peale NXT võrku ühendamist saab sellele GET päringu parameetritega käsklusi saata. Käesolev näide muudab NXT pesasse A ühendatud mootori töökiirust vahemikus -100 kuni 100.

Enne jätkamist tuleb RobotC jaoks alla laadida Xander Soldaat'i koostatud lisadraiverite paketi versioon 2.0, mis on kättesaadav SourceForge keskkonnast [30]. Olles faili salvestanud ja lahti pakkinud, tuleb draiveritele RobotC seadistustes viidata. Selleks avada menüüribalt "View" alt valik "Preferences" ning seejärel "Detailed Preferences ...".



Joonis 32. RobotC põhjalikumate seadete dialoogiakna avamine

Avanenedu dialoogiaknas navigeerida "Directories" kategooriasse. "Directory for Include" kõrval asuval nupul "Browse" vajutades tuleb valida lahtipakitud draiverite kaust ning vajutada "OK".



Joonis 33. Lisadraiverite paketi lisamine RobotC keskkonna seadetes

Taas "OK" vajutades salvestub valitud kaust.

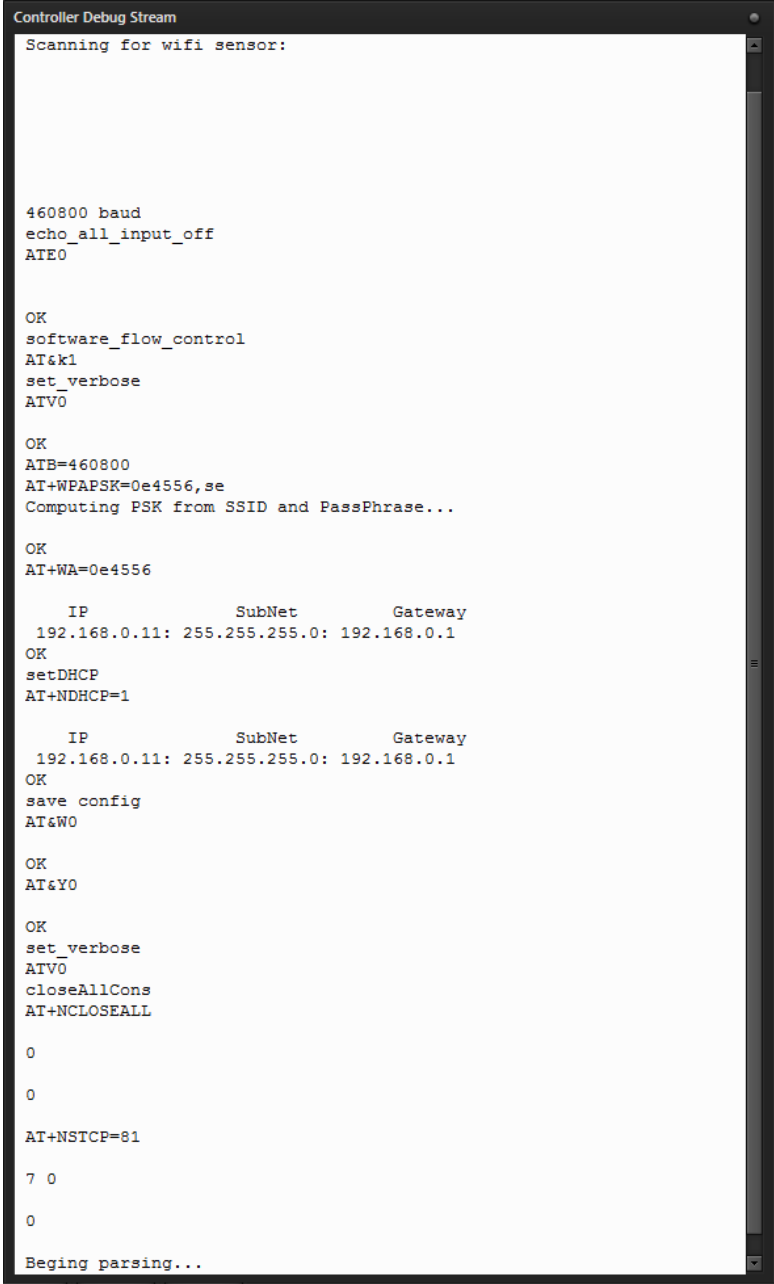
Fail DIWIFI-test1.c on muudatusteta kasutusvalmis. Küll aga tuleb paar parandust teha kaasatulevas "DIWIFI-driver.h" failis. Real 33 asuvasse järjendisse ssid[] tuleb sümbolhaaval sisestada kohaliku võrgu nimi, kuhu NXT robot ühendub. Sarnaselt tuleb ära muuta ka rida 37, kui ühenduda WEP turvaprotokolliga võrku. Mainitud real asuva järjendi wep[10] väärtuseks tuleb sisestada võrgu parool. WPA või WPA2 turvaprotokolliga võrgu korral peab muutma 38. real asuvat järjendit wpa_psk[], mille sisuks peaks samuti saama võrgu parool. Võrguühenduse testimisel kasutatud andmete korral saaks 33. ja 38. rea sisuks vastavalt

```
ubyte ssid[] = {'T', 'e', 's', 't'};
```

ja

```
ubyte wpa_psk[] = {'t','e','s','t','p','a','r','o','o','l'};
```

Viinud muudatused ellu, võib programmi kompileerida ja NXT peal käivitada. Eduka ühenduse korral kuvatakse siluri väljundis muuhulgas robotile eraldatud IP aadress ning tekst "Begin parsing", mis annab märku roboti valmisolekust andmete vastuvõtuks.



```
Controller Debug Stream
Scanning for wifi sensor:

460800 baud
echo_all_input_off
ATE0

OK
software_flow_control
AT&k1
set_verbose
ATV0

OK
ATB=460800
AT+WPAPSK=0e4556,se
Computing PSK from SSID and PassPhrase...

OK
AT+WA=0e4556

      IP           SubNet       Gateway
192.168.0.11: 255.255.255.0: 192.168.0.1
OK
setDHCP
AT+NDHCP=1

      IP           SubNet       Gateway
192.168.0.11: 255.255.255.0: 192.168.0.1
OK
save config
AT&W0

OK
AT&Y0

OK
set_verbose
ATV0
closeAllCons
AT+NCLOSEALL

0

0

AT+NSTCP=81

7 0

0

Begin parsing...
```

Joonis 34. Siluri väljund NXT edukal ühendusel kohtvõrku

Nagu eelpool mainitud, siis kiiruse muutmine on võimalik vahemikus -100 kuni 100. Kiirus 0 tähendab paigalseisu ja ka pidurdamist. Käskluste andmine toimub veebibrauseri aadressiribalt, kasutades süntaksit "<IP>:81/MOTA=<kiirus>", kus <IP> on NXT IP aadress kohalikus võrgus ning <kiirus> soovitud mootori kiirus. IP aadressile järgnev number 81 on ühenduse port, mis on fikseeritud rakenduse koodis. Soovi korral võib seda programmis vabalt muuta, kuid sel juhul sooritada vastav muudatus ka veebibrauseri aadressiribal päringu

kirjutamisel. Oletades, et NXT IP aadress on 192.168.0.11, nagu varasemates näidetes, sobivad päringuteks muuhulgas järgnevad variandid:

- <http://192.168.0.11:81/MOTA=50>
- <http://192.168.0.11:81/MOTA=-50>
- <http://192.168.0.11:81/MOTA=0>
- <http://192.168.0.11:81/MOTA=100>

Õnnestunud päringu korral kostub robotist helisignaal. Rakendunud kiirus kuvatakse nii NXT ekraanil kui veebibrauseris. Käesolevas programmis on konfigureeritud vaid ühe mootori kiiruse muutmine, seega hakkab robot sõitma kohapeal ringiratast. Sealjuures toimub liikumine positiivsete kiiruse väärtuste korral kellaosuti liikumise suunas, negatiivse väärtuse korral vastupäeva. Programmi on võimalik modifitseerida mitut mootorit kontrollima, kuid sel juhul tuleb arvestada, et roboti peatamine on võimalik vaid siis, kui ta on võrku ühendatud. Sirgjoonelise liikumise korral võib NXT liikuda WiFi ulatusest välja ning peatumismärguannet robot kätte ei saaks.

Viimane katse demonstreerib hästi WiFi sensori võimekust NXT juhtimisel. Õppetöö käigus võib lasta õpilastel toodud programmi laiendada, näiteks lisada ka teise mootori kiiruse muutmine. Ka esimesed kaks näidet, veebisaidi pingimine ja robotisse teksti saatmine on vaid sissejuhatus edasiseks tegutsemiseks. Toodud koodi analüüsimisel peaks tekkima piisav pinnas iseseisvalt kood kirjutamiseks.

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli koostada õppematerjal Dexter Industries WiFi sensori kohta. Vaadeldi, kuidas nimetatud sensorit paigaldada, seadistada ning millisel moel saab seda õppetöös rakendada.

Teistel sarnastel teemadel kirjutatud bakalaureusetöödel on kolmas peatükk reeglina pühendatud õppetööks kasutatavate ülesannete kirjeldamiseks. Neid ülesandeid saaksid hiljem õpetajad kasutusse võtta tundide läbiviimisel. Käesoleva töö puhul jäi aga autorile mulje, et koheselt ülesannete lahendamise juurde pöördumine võib kooliõpilastel käia üle jõu. Põhjuseks on asjaolu, et sensori programmeerimine toimub RobotC või NXC keeli kasutades, mis on mõlemad eelkõige mõeldud edasijõudnutele. Seepärast on ülesannete loetelu asemel toodud mitu WiFi sensori näidisrakendust koos juhiste ja lähtekoodiga. Koodi analüüsimine ja selle laiendamine peaks olema parem sissejuhatuse edukaks tööks sensoriga. Sellegipoolest on lihtsa vaevaga võimalik töös välja toodud rakenduste ümber luua ülesandeid. Sõltuvalt koolituse tasemest võib nendeks ülesanneteks olla olemasolevatele programmidele funktsionaalsuse lisamine või muutmine. Edasijõudnutel võib lasta mõne kolmandas peatükis mainitud otstarbe ise oma programmiga luua.

Autori jaoks oli antud teemal bakalaureusetöö kirjutamine äärmiselt hariv, kuna eelnev robotikaalane kogemus oli minimaalne. Lisaks hangitud teadmistele väärivad mainimist oluliselt suurenenud huvi valdkonna vastu, mis tuli positiivse üllatusena. Loodetavasti suudab töö kaasa aidata ka Eesti koolilastel sama efekti tekkimisele.

Kasutatud kirjandus

1. Wi-Fi. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Wifi> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
2. Wi-Fi Alliance. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_Alliance (Viimati vaadatud 10.05.2014)
3. Who We Are. *Wi-Fi Alliance*. <http://www.wi-fi.org/who-we-are> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
4. Wi-Fi logo. *Wikimedia*. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/32/Wi-Fi_Logo.svg/304px-Wi-Fi_Logo.svg.png (Viimati vaadatud 10.05.2014)
5. Wi-Fi Alliance Logo. *Wikimedia*. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fe/Wi-Fi_Alliance_Logo.svg/648px-Wi-Fi_Alliance_Logo.svg.png (Viimati vaadatud 10.05.2014)
6. Wi-Fi Alliance Annual Report 2013. *Wi-Fi Alliance*. http://www.nxtbook.com/nxtbooks/wifi/annualreport2013_public/index.php (Viimati vaadatud 10.05.2014)
7. Our Brands. *Wi-Fi Alliance*. <http://www.wi-fi.org/who-we-are/our-brands> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
8. WBA Industry Report 2013. *Wireless Broadband Alliance*. <http://www.wballiance.com/wba/wp-content/uploads/downloads/2013/11/WBA-Industry-Report-2013.pdf> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
9. WiFi. *WiFi - Traadita Wiki by Jan & Co*. <http://wiki.wifi.ee/index.php/WiFi> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
10. WIFI for LEGO MINDSTORMS NXT. *Dexter Industries*. <http://www.dexterindustries.com/wifi.html> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
11. Wifi Sensor. *Dexter Industries User Manual Wiki*. <http://dexterindustries.com/manual/wifi/> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
12. Wifi Sensor Frontside. *Dexter Industries User Manual Wiki*. <http://dexterindustries.com/manual/wp-content/uploads/2011/05/Wifi-Frontside-copy-255x300.jpg> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
13. Wifi Sensor Backside. *Dexter Industries User Manual Wiki*. <http://dexterindustries.com/manual/wp-content/uploads/2011/05/Wifi-Backside-copy-300x300.jpg> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
14. Mounting Holes for Lego Crosses. *Dexter Industries User Manual Wiki*. <http://dexterindustries.com/manual/wp-content/uploads/2011/05/Lego-Mounting-copy-300x225.jpg> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
15. Installed Wifi Sensor. *Dexter Industries User Manual Wiki*. <http://dexterindustries.com/manual/wp-content/uploads/2011/05/Wifi-From-Dexter-Industries-300x248.gif> (Viimati vaadatud 10.05.2014)

16. About RobotC. *ROBOTC.net*. <http://www.robotc.net/download/> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
17. Purchase RobotC. *ROBOTC.net*. <http://www.robotc.net/purchase/lego/> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
18. NBC - NeXT Byte Codes, Not eXactly C and SuperPro C. <http://bricxcc.sourceforge.net/nbc/> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
19. Brick Command Center. *BricxCC*. <http://bricxcc.sourceforge.net/> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
20. RobotC for MINDSTORMS. *ROBOTC.net*. <http://www.robotc.net/download/nxt/> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
21. RobotC Examples. *Dexter Industries*. http://www.dexterindustries.com/files/DI-WIFI_Examples_RobotC.zip (Viimati vaadatud 10.05.2014)
22. Brick Command Center. *Sourceforge*. <http://sourceforge.net/projects/bricxcc/files/bricxcc/> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
23. NXC Enhanced Library. *Sourceforge*. http://bricxcc.sourceforge.net/lms_arm_nbcnxc.zip (Viimati vaadatud 10.05.2014)
24. NXC Wifi Library. *Dexter Industries*. http://www.dexterindustries.com/files/DIWIWI_NXC.zip (Viimati vaadatud 10.05.2014)
25. PuTTY. *PuTTY: A Free Telnet Client*. <http://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
26. Tera Term Home Page. *Tera Term*. <http://hp.vector.co.jp/authors/VA002416/teraterm.html> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
27. Download tterm23.zip. *Tera Term*. <http://hp.vector.co.jp/authors/VA002416/tterm23.zip> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
28. Download PuTTY for Windows on Intel x86. *PuTTY: A Free Telnet Client*. <http://the.earth.li/~sgtatham/putty/latest/x86/putty.exe> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
29. Want to Play with my NXT?. *BotBench.com*. <http://botbench.com/blog/2011/05/09/want-to-play-with-my-nxt/> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
30. RobotC Driver Suite v2.0. *Sourceforge*. <http://sourceforge.net/projects/rdpartyrobotcdr/files/3rdpartyrobotcdr/V2.0%20Final/rdpartyrobotcdr-v2.0.zip/download> (Viimati vaadatud 10.05.2014)
31. LEGO EV3 WiFi kasutamine. *Tartu Ülikooli bakalaureusetöö. Marjo Toomik, 2014.*
32. Telnet. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Telnet> (Viimati vaadatud 10.05.2014)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Rain Aavisto
(sünnikuupäev: 14.01.1992)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose “LEGO Mindstorms NXT’ga ühilduv WiFi sensor”, mille juhendajad on Anne Villems ja Taavi Duvini,

- 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, **13.05.2014**