

<b>Sissejuhatus</b> .....	<b>2</b>
<b>1. Nõuded</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Roboti projekteerimine</b> .....	<b>4</b>
2.1. Üldist .....	4
2.2. Veermik .....	5
2.3. Löögimehhanism ( <i>coilgun</i> ) .....	6
2.4. Palli manipuleerimissüsteem ( <i>dribbler</i> ) .....	6
2.5. Korpus .....	8
2.6. Nutitelefone hoidja .....	9
2.7. Elektroonika moodul .....	10
<b>Kokkuvõte</b> .....	<b>11</b>

## SISSEJUHATUS

Käesoleva robotikaprojekti eesmärgiks oli valmistada jalgpalliroboti N9-bot mehhaanika.

Toimiva roboti ehitamiseks tuli osa mehhanikast valmistada juba üpris varakul, et oleks võimalik hakata katsetama riistvara koostoitimist ning alustada tarkvara kirjutamisega. Viimane asjaolu jätnuks liiga vähe aega hästi toimiva mehhanika projekteerimiseks ning valmistamiseks. Sellest tulenevalt sai töö jaotatud etappidesse, millest mõningad etapi osad sai hiljem uuesti üle vaadatud ning täiustatud.

Käesoleva robotikaprojekti mehhaanika valmimine koosnes järgmistest ülesannetest ning etappidest:

- 1) ülevaade olemasolevatest robotitest;
- 2) olemasolevate robotite tehnikataseme analüüs (põhiliste probleemide esile toomine);
- 3) võimalike konstruktiivsete lahenduste otsing, valik ja hindamine;
- 4) roboti projekteerimine CAD keskkonnas
- 5) roboti etapiline valmimine;
- 6) valminud seadme analüüs ning soovitusel.

Tegelikkuses ei ole mõistlik hakata seadet enne valmistama, kui selle projekteerimine on täielikult lõppenud, sest üldjuhul tähendab see kõvasti topelttööd, kus detailid, mis hiljem omandavad projekteerimise käigus teise kuju, tuleb uuesti teha jne. Kuna antud projekti raames ei oleks mehhaanikul pärast mehhaanika täielikku valmimist nagunii erilist tööd jäänud, siis võis teha erandi.

Jalgpalliroboti projekteerimiseks on korralikke eeskujusid palju. Tehniliste lahenduste poolest ei erine suuresti ka Robocup'i (ülemaailmne robotite võistlus) jaoks ehitatud robotid. Eelmistel aastatel Tartus ehitatud robotite mehhaaniliste lahenduste hulgast leiab samuti palju häid näiteid. Selleks, et leida korralikke läbi arvatud ning kirjeldatud näiteid, tasub sirvida Robocupil osalenud robotite aruandeid.

## 1. NÕUDED

Jalgpalli mängiva roboti ehitamisel tuleb arvestada erinevate reeglitest tulenevate ning eelmiste aastate kogemuste põhiste nõuetega. Käesolevale projektile esitatavate nõuete nimekiri on järgmine:

- 1) robot peab suutma palli lüüa;
- 2) pallini jõudnud robot, peab suutma palliga manipuleerida nii, et see püsib liikumise ajal löögimehhanismi ees;
- 3) robot ei tohi võistlusväljakul keerates nurka kinni takerduda;
- 4) roboti elektroonika modulaarsus;
- 5) robot peaks sõitma mootorite võrdsel pöörlemissagedusel ilma tagasisideta võimalikult sirgjooneliselt;
- 6) madal kliirens;
- 7) pikim sirgjooneliselt läbitav vahemaa roboti opereerimise ajal on  $l_{max} = 5,4$  m;
- 8) võistlusväljaku pinnas on ühtlane ning kõva;
- 9) robot peab mahtuma terve võistluse jooksul mängusituatsioonis püstisesse silindrisse, mille diameeter on 350 mm ja kõrgus on 350 mm;
- 10) roboti mass ei tohi olla suurem kui 8 kg;
- 11) robot ei tohi jäljendada väljaku osasid;
- 12) roboti väliskujunduses ei tohi kasutada värvavate värvi sinist (värvivahemik) ega kollast (värvivahemik);
- 13) roboti väliskujunduses ei tohi kasutada pallide värvi oranži (värvivahemik);
- 14) roboti väliskujunduses ei tohi kasutada väljaku värvi rohelist (värvivahemik);
- 15) robot ei tohi mängu jooksul katta pallist rohkem kui on palli raadius (21,5 mm).;
- 16) robotit üles tõstes ei tohi ükski pall roboti külge jääda;
- 17) robot ei tohi võistluse ajal tahtlikult eraldada endast osasid väljakule;
- 18) robot on täielikult autonoomne masin, mis kannab oma energiaallikat, liikumismehhanisme ja oma juhtimis- ning kontrollsüsteeme;
- 19) roboti täielikuks valmimiseks on aega vähem kui kolm kuud!
- 20) *KISS* printsiip.

Need ja veel mõningad mainimat nõuded olid roboti N9-bot valmimise aluseks. Muidugi oli ka muid huvitavaid ideid robotile esitatavate nõuete kohaselt, mis on kajastatud telliskivi blogis.

Lähtudes robotile esitatud nõuetest on võimalik välja tuua palju erinevaid konstruktiivseid lahendusi. Lahenduste hulka piirab põhiliselt kaks viimast olulist nõuet, milleks on väga lühike aeg roboti valmistamiseks ning KISS printsiip.

Esimese koosoleku jooksul saigi paika roboti üldine kontseptsioon ning sellest tulenevalt ka mitmete sõlmede konstruktiivsed lahendused, millest täpsemalt edaspidi. Siiski, põhiliseks teguriks roboti konstruktsiooni kujundamisel oli nutitelefoni N9 kasutamine juhtarvuti rollis. Kuigi roboti esmane disain sai kujundatud selline, et kui mingil põhjusel nutitelefoni ei peaks sobima juhtarvuti rolli, siis oleks võimalik robotile paigaldada ka väiksemat sorti sülearvuti. Tänu katsetustele Lego robotika süsteemil, sai varakult kinnitust fakt, et nutitelefoni saab edukalt roboti „ajuks“ kasutada. Viimastest lähtuvalt saigi kogu roboti mõõtmeid oluliselt vähendatud ning põhiohk pandi küllaltki väikse ning kiire roboti valmistamisele.

Nõuetest lähtudes võib roboti mehhaanika jagada järgmisteks sõlmedeks:

- 1) veermik;
- 2) löögimehhanism (*coilgun*);
- 3) palli manipuleerimissüsteem (*dribbler*);
- 4) roboti korpus;
- 5) nutitelefoni hoidja;
- 6) elektroonika moodul;

## **2. ROBOTI PROJEKTEERIMINE**

### **2.1. Üldist**

Kogu roboti mehhaanika on projekteeritud kasutades inseneritarkvara SolidWorks. Kuna viimast programmi valdasid meeskonnast kaks liiget, siis sujus selles keskkonnas koostöö kõige paremini.

Projekteerimisel olid suureks abiks Robocup'i võistkondade aruanded. Viimastes olid paljud sõlmed väga põhjalikult lahti kirjutatud, mis muutis loomingulise osa protsessis oluliselt lihtsamaks.

Paljude sõlmede projekteerimisel lähtuti aja kokkuhoiu mõttes suuresti eelmiste aastate kogemusest ja tundus, et tihti oli teatud sõlm tugevasti üle dimensioneeritud, mis arvutuste sooritamisel võinuks olla palju väiksemad, nõrgemad jne.

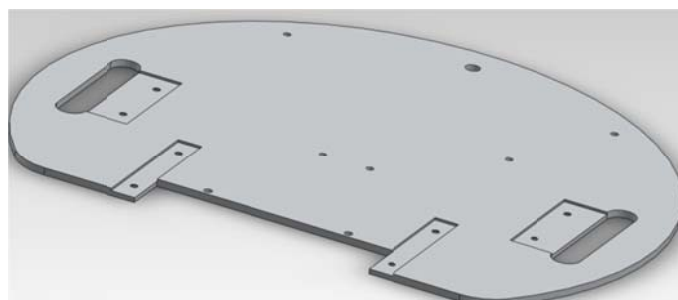
## 2.2. Veermik

Roboti veermik koosnes neljast põhilisest detailist: põhi, rattad, mootorikinnitused, mootorid. Veermiku projekteerimise juures oli kolm põhilist teemat, mis vajasisid konkreetseid ning täpseid lahendusi:

- 1) mootorite valik;
- 2) rataste paralleelsus ning ristiseis põhjaga;
- 3) rataste kinnitusviis mootoriga.

Alalisvoolu mootorid valiti Pololu tootekataloogist. Viimane omas piisavalt laia mootorite valikut ning küllaltki mõistlikku hinna ja kvaliteedi suhet. Ülekandemehhanismiga alalisvoolumootorite valik antud projekti jaoks vajalikus väändemomendi klassis on üllatavalt väike. Sobilike mootorite valikuks peab teada olema roboti mass. Seda teades on võimalik arvutada välja sobilik mootori väändemoment, saavutades oodatud maksimumkiiruse etteantud soovitud kiirendusega.

Rataste paralleelsuse ning ristiseisu tagamiseks oli kaks põhilist võimalust. Esimeseks võimaluseks oli kasutada mootorikinnituste ning roboti põhja ühendamisel lisaks poltliitele tiftliidet, mis tagab piisava asetustäpsuse. Teiseks võimaluseks on mootorikinnituste istamine põhjale projekteeritud taskutesse, mis freesitakse põhjale CNC freespingis, tagades nii küllaldase täpsuse. Valituks osutus viimane variant. Mootori kinnitus istati põhjale asetsevasse taskusse keskmises täpsusklassis tolerantsiga H9/h9. Sarnast taskuistamist kasutati ka *dribbleri* kinnitamiseks.

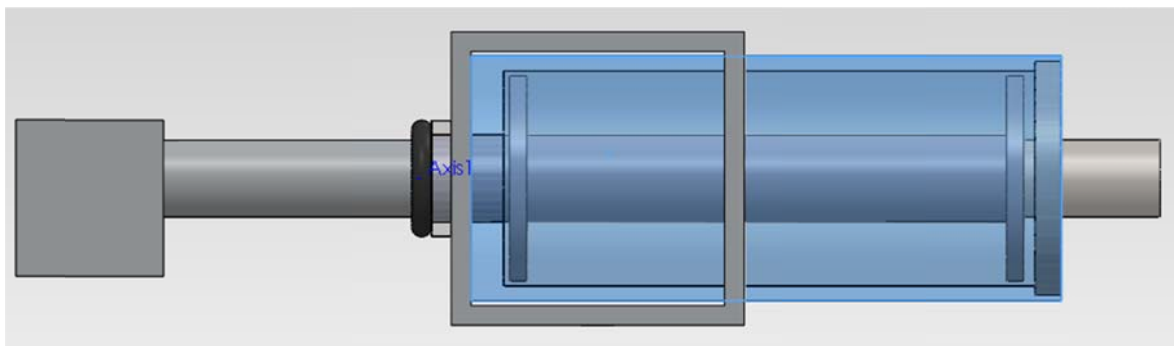


Rattad kinnitati mootoritega otse mootori väljundvõllile. Kahjuks puudusid mootori tehnilistest andmetest mootori väljundvõlli tugilaagrite koormustaluvus, mistõttu lihtsalt eeldati, et laagrid peavad koormusele vastu. Teiseks võimaluseks oleks olnud rataste kinnitamine eraldi võllile ning seejärel oleks rattavõll liidetud mootori võlliga. Viimane lahendus eeldab rattavõlli ja mootori võlli väga täpset joondamist, vastasel juhul hakkab selline konstruktsioonilahendus mootori tööd takistama.

### 2.3. Löögimehhanism (*coilgun*)

Löögimehhanismi disainimisel oli kaks põhilist kontseptsiooni. Esimene põhines auto kesklukustuse pöörsolenoidi kasutamisel ning teine oli nõ klassikaline *coilgun*. Kuigi esimene kontseptsioon toimis katsete tulemusena rahuldavalt, valiti viimane variant, kuna mainitud pöörsolenoid omas küllaltki suurt massi ning selle realiseerimiseks tulnuks projekteerida oluliselt keerulisem löögiraua osa.

Roboti N9-bot löögimehhanism valmistati ühest tundmatust vanast solenoidist. Selleks projekteeriti mainitud solenoidi korpusele lisaks uus kronstein, millega *coilgun* kinnitus põhja külge, ja uus löögisüdamik.



Kaks peamist nüanssi *coilguni* valmistamisel on korralikult keritud mähis ning täpselt valmistatud löögisüdamik. Mida korrapärasemalt on mähis mähitud, seda tugevam elektromagnetväli tekib ja seda tugevam on löök. Täpselt valmistatud südamik omab head liikuvust ning ei takista seeläbi *coilguni* lööki.

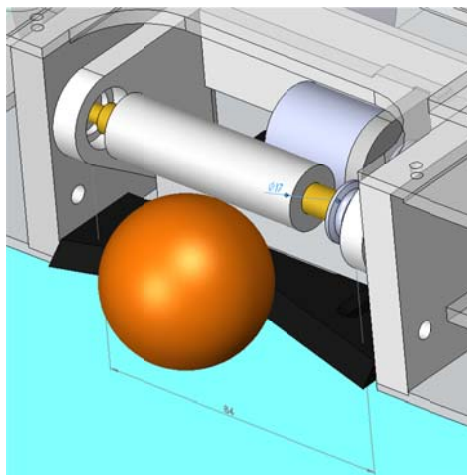
### 2.4. Palli manipuleerimissüsteem (*dribbler*)

Palli manipuleerimissüsteemi ehk *dribbleri* projekteerimiseks oli neli põhilist tegurit, mis fikseerisid kogu süsteemi kontseptsiooni:

- 1) laia või kitsa rulliga *dribbler*;
- 2) tsentreeriv või mitte;
- 3) fikseeritud või liikuv;
- 4) ülekande tüüp.

Laia ja kitsa *dribbleri* põhiline erinevus seisnes selles, kui täpselt robot hiljem pallini pidi sõitma, vastavalt kitsa puhul täpsemalt ja vastupidi. Ühest küljest võib laia *dribbleri* kontseptsiooni pidada mehhaaniliselt tarkvara vigade parandamise võimaluseks. Laia *dribbleri* puuduseks võib lugeda võimalust reeglitega vastuollu minna, kus lai *dribbler* on võimeline manipuleerima rohkem kui ühe palliga korraga.

Kogemuste puudumise tõttu sai projekteeritud keskmise laiusega *dribbler*, kus laia ja kitsa *dribbleri* skaala algas Nasty *dribbleri* laiusega ning lõppes nii laiaga, kui seda oli Sidi ja Team Spiriti *dribbler*.



Teine oluline tegur palli manipuleerimise juures oli V-kujulise alustera kasutamine palli tsentreerimiseks. Mainitud kontseptsioonil on mitu eelist: palli sattumisel *driblerisse* joondub pall keskele, mis muudab palli sihtimise vääramiselt täpsemaks; kahe palli sattumisel *driblerisse* ei hakka *dribbleri* rullik teist palli ringi ajama, kuna tera V-kujuline konstruktsioon ei lase teisel pallil rullikuni ulatuda.

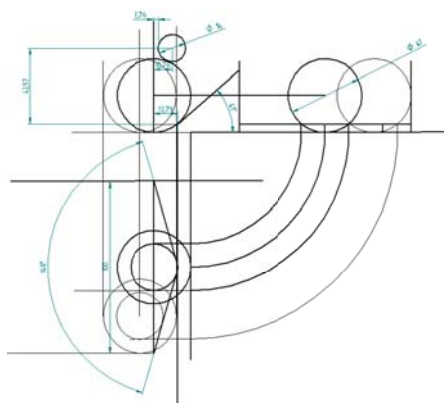
Telliskivi robotile projekteeriti nii fikseeritud, kui liikuv *dribbler*. Fikseeritud *dribbleri* puuduseks on V-kujulise alustera kasutamise juures see, et *dribbleri* rullik ei ulatu pallini kogu laiuses, mis tähendab, et sama hästi võiks kogu *dribbler* oluliselt kitsam olla. Ühtlasi ei ole fikseeritud *dribbleriga* palli omastamine ja *dribbleris* püsimine nii head. Sellepärast valmiski N9-bot'le vastalt enne võistlust ka liikuv *dribbler*, mis oli omadustelt palju

parem. Roboti palliga koos keeramisel kadus pall *dribblerist* vähem kui üheksal korral kümnest mootorite  $\frac{3}{4}$  pöörlemissageduse juures (võistluse ajal ei juhtunud seda kordagi).

Ülekande tüübi valimisel tuleb lähtuda olemasolevatest võimalustest, ülekande suhtest, dribbleri rulliku soovitud pöörlemissagedusest jne. Kindlasti on hammasülekanne rihmülekande suhtes suurema kasuteguriga ja töökindlam, kuid eeldab palju täpsemat valmistamist ning on kallim.

Robotile N9-bot projekteeriti mõlemad ülekandetüübid erinevate ülekandesuhetega. Esialgu kasutati laborist pärit hammasrattaid, mis töötamisel tegid tugevat müra ning langesid kasutusest välja. Järgmiseks projekteeriti robotile nii rihm-, kui ka hammasülekanne, kasutusse läks esimene, kuna laserlõikusest väljunud hammasrattad ei olnud piisavalt täpsed ning ei tekitandu suuremat usaldust. Rihmülekande kasutamine osutus küllaltki ohtlikuks, kuna katsetamisel purunes korra rihm ja see võinuks vabalt juhtuda ka keset võistlust. Edaspidi peaks ülekanne olema kindlasti selleks ettenähtud detailidest (spetsiaalne ülekanderihm või ostetud hammasülekanne) ja eelistatult hammasülekanne.

Üks äärmiselt oluline aspekt *dribbleri* projekteerimisel on rulliku liikumise geomeetria. Selleks on mõistlik CAD keskkonnas või kasvõi paberil joonistada üles mõõtkavas pall asetatuna *dribblerisse*, et saaks teada *dribbleri* sobiliku asukoha.



## 2.5. Korpused

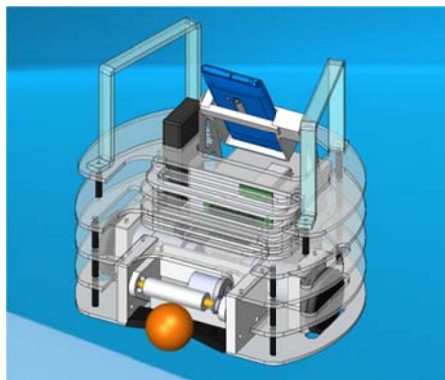
Roboti korpused omab järgmisi põhilisi funktsioone:

- 1) kaitseb roboti elektroonikat ja muud riistvara;



- 2) ei lase pallil roboti sisemusse sattuda (palli sattumine robotisse on reeglitega vastuolus);
- 3) disaini element;
- 4) moodustab põhilise osa roboti ergonoomikast;

Korpust projekteerides tuleb kõiki mainitud tegureid arvestada. Kuna lihtne kest roboti ümber tundus disaini seisukohalt kole, siis sai N9-bot projekteeritud korruselise korpusega, mis omab piisavat kaitsefunktsiooni (korruste vahe oli kitsam palli läbimõõdust) ning nägi ilus välja. Lisaks sellele tuli korpuse projekteerimisel arvestada aku asetusega, roboti sees olevate komponentide paigutusega ning kokkuvõttes kogu roboti kontseptsiooniga. Oluline on, et aku oleks võimalik kiiresti ja kerge vaevaga vahetada, ühtlasi peaks ligipääs elektroonikale olema võimalikult lihtne, olulised detailid/osad peaksid olema kaitstud ning robotit peaks olema lihtne tõsta. Eelnevast tulenevalt näeb N9-bot korpus välja järgmine

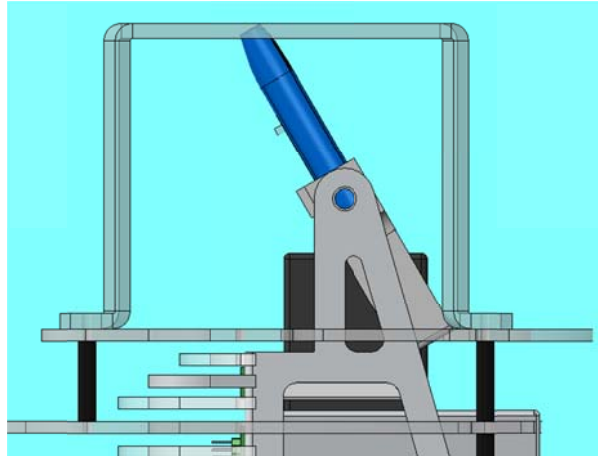


Nagu jooniselt on näha, siis on roboti aku asetatud püstiselt läbi korruste, mis võimaldab selle kiiret vahetamist. Robotil on kaks sanga, mis ühest küljest kaitsevad nutitelefoniga värava ülemise lati eest ning teisest küljest võimaldavad roboti lihtsat tõstmist.

Käesoleva roboti korpuse disaini miinuseks võib lugeda võimetust saada palle nurgast kätte. Selleks tuleks konstrueerida väiksema läbimõõduga robot või teravam nina, mis ulatuks nurgas asetsevate pallideni. Teisest küljest läheb terava ninaga lahendus jällegi vastuollu nõuetega, mis sätestavad roboti kinnijäämist pööramisel.

## 2.6. Nutitelefoniga hoidja

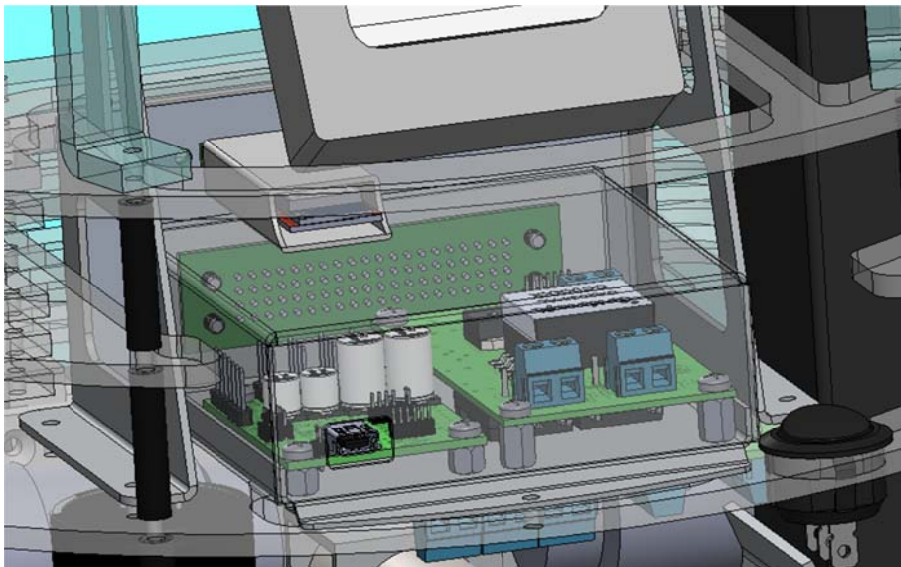
Kuna N9-bot'i aju (nutitelefoni) on ühtlasi roboti üheks põhilisteks sensoriks (kaamera silm), siis oli oluline selle täpne ning seadistatav asetuse



Sellest tulenevalt on projekteeritud jalg, mille vahele kinnitub telefoni hoidja ja mis on horisontaaltelje ümber pööratav. Nii on võimalik seadistada kaamera vaatenurka. Nutitelefoni hoidja on projekteeritud vastavalt sellise istuga, et telefoni oleks võimalik lihtsa vaevaga sellest välja võtta, aga samas oleks võistluse ajal kindlalt fikseeritud.

## 2.7. Elektroonika moodul

Elektroonika moodul juba iseenesest tähendab elektroonika modulaarsust ning eraldatavust roboti korpusest. Selline lahendus on hea ning vajalik selleks, kui elektroonikat on vaja kiiresti *debuggida*. Teiseks elektroonika mooduli/korpuse funktsiooniks on elektroonika varjestamine näiteks *coilgunis* jooksvate voolude eest. Projekteeritud moodul on esitatud joonisel...



Nagu jooniselt on näha, siis asetseb kogu plaanitud elektroonika alumiiniumkarbis, mis on kaetud alumiiniumkaanega. Nii on elektroonika kindlalt kaitstud ning vajadusel kiiresti eraldatav robotist.

## KOKKUVÕTE

Projekteeritud roboti mehhaanika toimis võistlusel hästi. Kerge hirm oli *dribbleri* ülekanderihma võimaliku purunemise ees, kuid õnneks seda võistluse ajal ei juhtunud. Hoolimata sellest, et kogu mehhaanika sai hoolikalt CAD keskkonnas projekteeritud, tekkis valmistamisel probleeme just siis, kui tekkis mõte mingigi väike nüanss mudelist erinevalt teha. Sellest ka soovitus, et tasub püsima jääda esialgse disaini juurde ja kui tõesti on midagi vaja muuta, siis tuleks selleks esmalt joonised teha. Läbitud robotikaprojekti kohta võib välja tuua mõningad järeldused ning soovitused.

1. Arvestada juba enne projekteerimise alustamist valmistamise tehnoloogilisi võimalusi ja sellest lähtuvalt projekteerida nii keerukad detailid, kui tehnoloogia lubab. Vastasel juhul võib tekkida olukord, kus tuleb palju tööd uuesti teha detailide lihtsamaks muutmiseks jne.
2. Väide, „ mida suurema pöörlemissagedusega *dribbler*, seda parem“, ei pea paika. Katsetused näitasid, et madalam pöörlemissagedus hoidis palli oluliselt stabiilsemalt dribbleris, kui suurem.
3. Roboti põhjale kinnitatud detailid liita kindlasti peitpeapoltidega, eesmärk on hoida põhi sile. N9-bot oli üks madalamaid roboteid, põhja kõrgusega 5mm, ning probleem, mis paljudel tekkis uue võistlusplatsi pehmema vaiba tõttu, meil ei esinenud.
4. Ei ole mõistlik kasutada erinevaid *omniwheeles* ja *omnivisionit*, kui just ei omata mitmeaastast robotite ehitamise kogemust ning roboti ehitamiseks aega üle aasta. Üksnes omni rataste kasutamine teeb roboti mehaaniliselt rohkem keerukaks kui neist ilmselt kasu on. Robot näeb ikka ainult kaamera vaatevälja ulatuses. Sellest tulenevalt tuleb pallide leidmiseks robotit mingis suunas teatud trajektoori pidi pöörata ja seejärel pallini sõita. Erinevalt mõlema lahenduse koostoimisest, kus pallini saab pöörata selleni sõitmise ajal jne.
5. Erinevad seadistatavad lahendused on head, sest kui peaks selguma, et valmistamisel teatud asi ei valminud piisavalt täpselt või jäid juba projekteerimisel teatud nüansid arvestamata, siis ei pea sugugi otsast pihta alustama, vaid saab teha

väikese seadistuse ning asi toimib. Pealegi on asju, mida on projekteerimisel üpris keeruline ning lausa mõttetu arvestada, näiteks *dribbleri* rulliku deformatsiooni ulatus ning sellest tulenevalt palli asukoha muutus *dribbleris*, võrreldes geomeetriliselt läbi proovitud variandiga.

6. Labori nurgast leitud tundmatutele mootoritele ei tasu loota. Soovitus on kõik mootorid valida täpselt oma soovide ning arvutuste põhjal usaldusväärsest allikast.

Üks peamisi nõuandeid roboti ehitamiseks on KISS printsiibi järgimine. Seda peab tuletama meelde iga lahenduse leiutamise juures, sest see võib päästa roboti ehitaja väga suurest hulgast kasutust tööst!