



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonika instituut

MHK õppetool

MHK40LT

Rainer Lepik

**Rehvitemperatuuri mõõtesüsteem võistlusautole
FEST14**

Bakalaureusetöö

Autor taotleb
tehnikateaduste bakalaureuse
akadeemilist kraadi

Tallinn

2014

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis juhendamisel.

„.....“201....a

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitavatele nõuetele.

„.....“201....a

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

„.....“201....a

..... allkiri

BAKALAUREUSETÖÖÜLESANNE

2014. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Rainer Lepik, 113053

Õppekava MAHB 02/09

Eriala Mehharoonika

Juhendaja: Teadur, Maido Hiiemaa

Konsultandid:

.....

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

EST: Infrapuna rehvitemperatuuri sensorite väljaarendamine võistlusautole FEST14

ENG: Developing IR tire temperature monitors for FEST14

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Kontaktivabade andurite valik ja andurite tüübile vastav mehaaniline kinnitus (esirataste puhul peavad mõõtmised toimuma ka siis, kui rattad välja pööratud)	10.04.2014
2.	Elektroonika disain, komponentide valiku põhjendused	10.04.2014
3.	Andmevahetus sensorite ja mikrokontrolleri vahel	25.04.2014
4.	Andmevahetus mikrokontrolleri ja pardaarvuti vahel	01.05.2014
5.	Testimine, hinnangud	10.05.2014

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Taolisi lahendusi on võimalik ka osta, kuid taolised komplektid, et oleks võimalik mõõta vähemalt 2 ratast korraga maksavad ~1000€ Lisaks, kuna võistlusautod on kõik erinevad, siis pole olemas universaalset lahendust, mis suudaks mõõtmisi võtta ka kurvide läbimise ajal.

Täiendavad märkused ja nõuded:.....

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 22.05.2014

Töö esitamise tähtaeg: 22.05.2014

Üliõpilane: Rainer Lepik. /allkiri/

kuupäev 28.03.14

Juhendaja: Maido Hiiemaa /allkiri/

kuupäev 28.03.14

SISUKORD

<i>BAKALAUREUSETÖÖÜLESANNE</i>	3
SISUKORD.....	4
EESSÕNA.....	6
SISSEJUHATUS	7
Lühendid	8
1 REHVIDE TEMPERATUURIDE MÕÕTMISE OLULISUS	9
2 VÕIMALIKUD LAHENDUSED.....	11
2.1 Näiteid tippsarjadest.....	11
2.2 Turu-uuring	13
3 EELDUSED.....	17
3.1 Andmete täpsus ning mõõtmiste sagedus.....	17
3.2 Töötingimused.....	18
4 MEHAANIKA.....	20
4.1 Kinnitusmehhanism.....	20
4.1.1 Materjalide ja tootmistehnoloogia valik	20
4.1.2 Disain	22
4.2 Korpus.....	25
4.2.1 Materjalide ja tootmistehnoloogia valik	25
4.2.2 Disain	27
5 ELEKTROONIKA	30
5.1 Komponentide valik	30
5.1.1 Sensorite valik.....	30
5.1.2 Mikrokontrolleri valik.....	31
5.1.3 RF mooduli valik	32
5.1.4 Ülejäänud komponentide valik	33

5.2	Skeem.....	34
5.3	Trükkplaadi disain.....	36
6	TARKVARA	37
6.1	I ² C / SMBus protokoll.....	37
6.2	UART suhtlus mikrokontrolleri ja Xbee vahel.	39
6.3	Raadioside seadistus.....	40
	KOKKUVÕTE	42
	SUMMARY	43
	KASUTATUD KIRJANDUS.....	44
	LISAD.....	46
	Lisa 1: Üldkoostu joonis ja kõigi andurite paiknemine autol	46
	Lisa 2: Andurite koostu paiknemine käänmiku küljes.....	47
	Lisa 2: Andurite koostu plahvatatud vaade.....	48
	Lisa 3: Andurite esmase analüüsi ekraanitõmmis – pinged.....	49
	Lisa 4: Andurite esmase analüüsi ekraanitõmmis – deformatsioonid	50
	Lisa 5: Anduri kinnituse lõpliku analüüsi ekraanitõmmis – pinged	51
	Lisa 6: Anduri kinnituse lõpliku analüüsi ekraanitõmmis – deformaatsioonid	52
	Lisa 7: Elektroonika komponentide nimekiri (BOM).....	53
	Lisa 8: Väljavõte andurite andmelehest.....	54
	Lisa 9: Väljavõte mikrokontrolleri lühendatud andmelehest.....	55
	Lisa 10: Väljavõte XBee raadioside mooduli andmelehest	56
	Lisa 11: Formula Student Team Tallinna <i>Design Spec Sheet</i> 'i leht 1	57
	Lisa 12: Formula Student Team Tallinna <i>Design Spec Sheet</i> 'i leht 2	58

EESSÖNA

Käesoleva lõputöö teema sai valitud koostöös Formula Student Team Tallinnaga. Töö kirjutaja hindab meeskonda kõrgelt ning kogu töö vältel on kollektiiv olnud abiks erinevate töö käigus tekkinud teemaväliste küsimuste lahendamisel. Eelkõige vajati abi just vedrustuse toimimise mõistmisel.

Autor tahab eraldi välja tuua meeskonna liikmete Siim Nõmme ja Sander Suursalu abi konsulteerimisel.

SISSEJUHATUS

Bakalaureusetöö eesmärgiks on valmistada võistlusautole FEST14 kontaktivabade infrapuna andurite baasil rehvi temperatuuride mõõtmise võimalus. Vastavalt meeskonna soovile kasutada andureid eelkõige kurvides saavutatava sidestuse analüüsil, peavad andurid pidevalt säilitama oma positsiooni rataste suhtes – esirataste puhul tähendab see, et andurid peavad koos rehvi kaasa pöörama.

Seni on Formula Student Team Tallinna poolt rehvi temperatuure mõõdetud termopaaril põhineva nõelpeaga, mis surutakse rehvi sisse. Selliste mõõtmiste võtmine on võimalik vaid siis, kui vormel on tagasi boksisalal. Kahjuks aga selleni jõudmine võtab aega, mille jooksul rehvide pind jõuab jõudsalt jahtuda – seepärast ka mõõdetakse sisemisi kihte, kuna need nii kiiresti ei jahtu. Samas sisemistes kihtides jõuab temperatuur rajal sõites rohkem ühtlustada ning taaskord ei saada otseseid andmeid rehvi toimimise kohta rajal.

Ainukese võimaliku valikuna nähti kontaktivabasid andureid ning eelkõige infrapuna tehnoloogial põhinevaid. Neid kasutatakse väga mitmel otstarbel ning saavutatavad täpsused mõõtmistel on suured. Näiteks autotööstuses levinumad kohad, kus infrapuna andureid kasutatakse on tähtsuse järjekorras järgnevad [1]:

- Pidurisüsteem ja vedrustus (rehvid)
- Kliimakontrolli töö verifitseerimiseks
- Jahutussüsteemi diagnostika
- Veoosa vigade otsimisel (eelkõige katalüsaatorid ja turbod)
- Värvimisel monitooritakse pinnatemperatuure, kuna sellest oleneb hiljem pinnakvaliteet

Mehaanilises osas seisnes töö kompleksus õige kinnitusmehhanismi lahenduse leidmises ning lihtsate analüüside läbiviimises. Elektroonikas peamised probleemid tulenesid kirjutaja põhiliste disaini põhimõtete vähesest teadmisesest. Viimase osana tutvuti erinevate suhtlusprotokollidega ning õpiti seadistama ühte raadioside moodulit. Katsetusi tehti eelkõige anduri ja mikrokontrolleri suhtlemisel ning andurite verifitseerimiseks, kuid lõpliku valmislahenduse katsetamine jääb juba selle bakalaureusetöö raamidest välja.

Taolise anduri kasutamine pole välistatud ka tulevikus valmistatavatel FEST15 või FEST16 mudelitel. Kinnitamaks teistele vormelautodele, millel sarnane pidurisupordi kinnitus, takistab ainult alumiiniumlehest välja lõigatud detail, mille modifitseerimisel on võimalik saavutada väga erinevaid geomeetriaid. Piisab ainult, kui säilitatakse korpuse kinnitusel sama kuju.

Lühendid

PC – personaalarvuti i.k. *Personal Computer*

MCU – mikrokontroller; i.k. *Microcontroller Unit*

ECU – auto pardakompuuter; i.k. *Electronics Control Unit*

FSTT – *Formula Student Team Tallinn*

FEST14 – 2014 hooaja tarbeks valmistatud vormelauto i.k. *Formula Estonia 14*

FS – tudengivormel i.k. *Formula Student*

PCB – trükkplaat; i.k. *Printed Circuit Board*

SCL – I²C / SMBus ühendustes *Serial Clock*

SDA – I²C / SMBus ühendustes *Serial Data*

UART – i.k. *Universal Asynchronous Receive/Transmit*

PWM – andmeside, mis põhineb signaali laiuse modulatsioonil; i.k. *Pulse-Width Modulation*

LED – valgдиод; i.k. *Light Emitting Diode*

IR – infrapuna i.k. *Infra-red*

RF – raadiosagedusel põhinev side i.k. *Radio Frequency*

1 REHVIDE TEMPERatuurIDE MÕõTMISE OLULISUS

Rehvitemperatuurid annavad kasuliku sisendi seadistamiseks auto vedrustuse geometriat. Eelkõige näeb temperatuuride järgi, milline osa rehvist omab suurimat kontaktpinda ning kuidas rehvi sidestub rajaga. Ideaaljuhul peaks olema pidevalt kogu rehvi võimalik kontaktpind rajaga puutes ning rehvi töötama nii võrdselt kui võimalik. Kui rehvidele ei mõjuks külgiõudusid ning rada oleks sirge, siis oleks seda äärmiselt lihtne saavutada.

Reaalsuses see päris nii ei ole. Tulenevalt soovist hoida Formula Student võistlustel kiirused võimalikult madalal on koostatud rajad äärmiselt tehnilised ning kurviderohked. Seetõttu mõjuvad vormelautole suured külgiõud, mis muudavad rehvi kontaktpinda kurvis. Selle kompenseerimiseks peamiselt kasutatakse erinevaid rattakallete seadeid, mis tagavad maksimaalse sidestuse just kurvi läbimise ajal.

Järgnevana on välja toodud üldine tabel, mis on peamised rehvitemperatuuride baasil leitavad vead vedrustuses ning nende korrigeerimiseks võimalikud tehtavad seadistuse muudatused.

Tabel 1.1. Rehvide analüüsi põhjal tehtavad seadistuse muudatused [1]

Juhtum	Põhjus / seade muudatus
Rehvi keskosa soojem, kui servad	Rehvirõhk on liiga suur. Vähendada 0,1 atm iga 5 °C erinevuse kohta.
Servad soojemad, kui rehvi keskosa	Rehvirõhk on liiga väike. Suurendada 0,1 atm iga 5 °C erinevuse kohta
Sisemine serv soojem kui välimine	Liiga suur negatiivne rattakalle
Välimine serv soojem, kui sisemine	Liiga väike negatiivne rattakalle või liiga suur kokkujooks.
Rehvitemperatuur väiksem kui tootja soovitatud	Rehvirõhk liiga kõrge, rehvi liiga lai või vedrud / stabilisaatorvarras on liiga pehme vastaval teljel.
Rehvitemperatuur suurem kui tootja soovitatud	Rehvirõhk liiga madal, rehvi liiga kitsas või vedrud / stabilisaatorvarras on liiga jäik vastaval teljel
Esirehvid soojemad, kui tagumised	Auto on alajuhitav. Liiga jäik esivedrustus / stabilisaatorvarras, liiga pehme tagavedrustus / stabilisaatorvarras, esirehvide rõhk

	liiga madal, tagumiste rataste rõhk liiga suur, esirehvid liiga kitsad, tagarehvid liiga laiad
Tagarehvid soojemad, kui esimesed	Auto on ülejuhitav. Liiga jäik tagavedrustus / stabilisaatorvarras, liiga pehme esivedrustus / stabilisaatorvarras, tagarehvide rõhk liiga madal, esirehvide rõhk liiga suur, tagarehvid liiga kitsad, esirehvid liiga laiad.

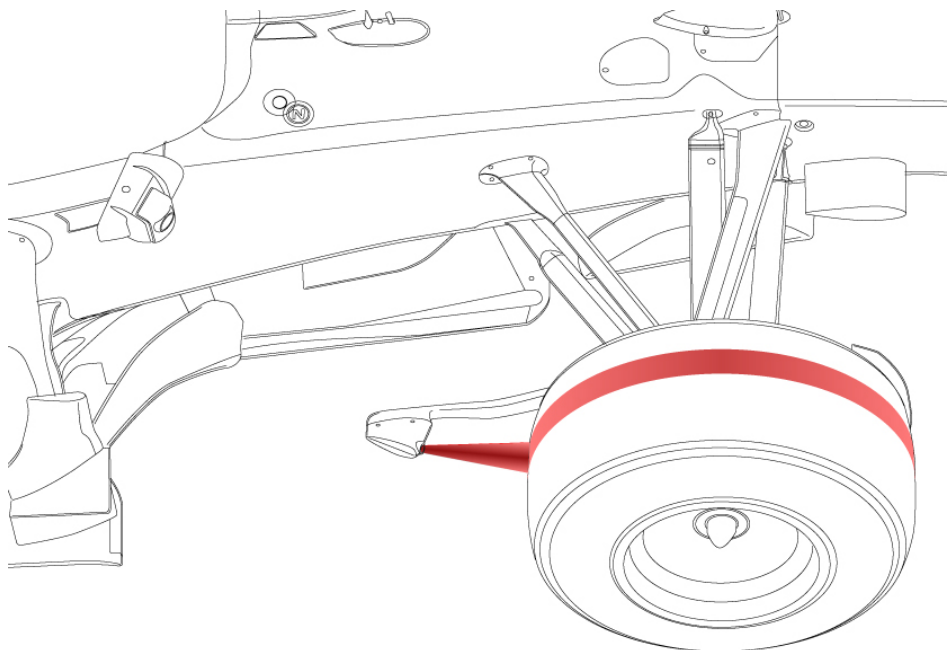
Et saavutada täpsemad andmed ning seadistada vedrustust just nii, et kurvi läbides oleks sidestus maksimaalne on tarvis kasutada seadmeid, mis suudaksid edastada või salvestada temperatuure ka kogu ringi vältel.

2 VÕIMALIKUD LAHENDUSED

2.1 Näiteid tipsarjadest

Erinevaid võimalusi, kuidas tänapäeval võistlusautol rehvi temperatuure mõõta ning salvestada on palju. Turul olevatest toodetest pakutavad lahendused algavad lihtsamatest, ühe mõõtepeaga IR anduritest, ning lõpevad keeruliste termokaameratel või rehvi sees paiknevate lahendustega. Vormelautode kõige kõrgemas sarjas, F1-s kasutatakse üldjuhul kõiki lahendusi läbiseigi.

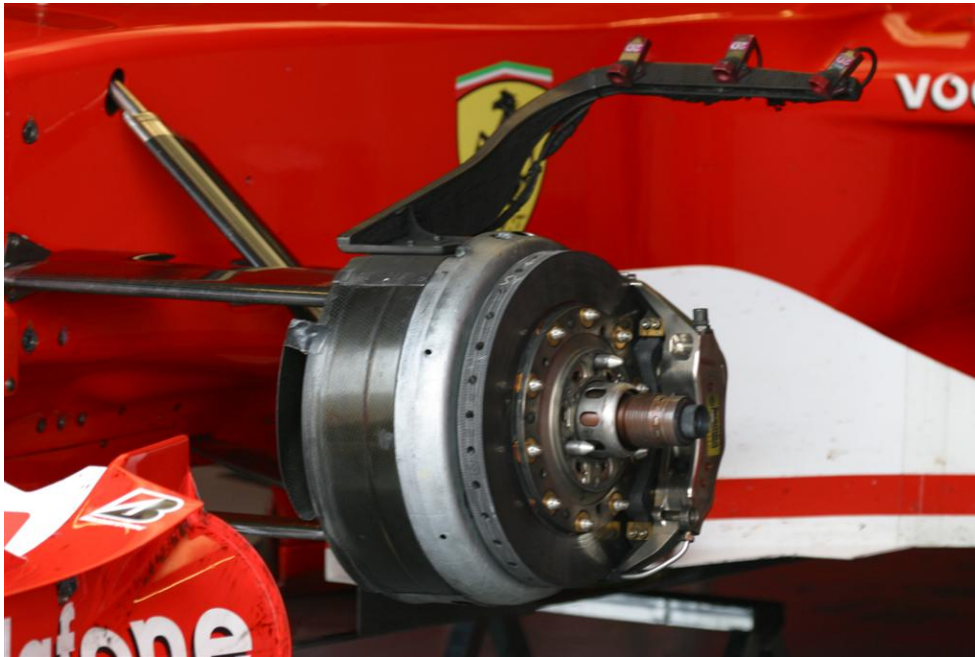
Kontaktivabad infrapuna andurid on kõige lihtsam lahendus. Sedasi on võimalik hõlpsasti saada täpsed mõõtetulemused rehvi pinnal. Lihtsaimad testlahendused koosnevad juba ühest sensorist, mis mõõdab rehvi sisepoolt paiknevat kontaktpinda. Eelkõige mõõdetakse sisemist pinda seetõttu, kuna vormelautol on võistlusseades enamasti negatiivsed rattakalded, siis sisemine pind asub pidevalt rajaga kontaktis ning välimine pind töötab täies mahus ainult kurvides. Selline üksik sensor kinnitatakse üldjuhul kas auto põhja peale või kuhugi keredetailide külge [2].



Sele 2.1. Lihtsaim viis anduri kasutamiseks [2]

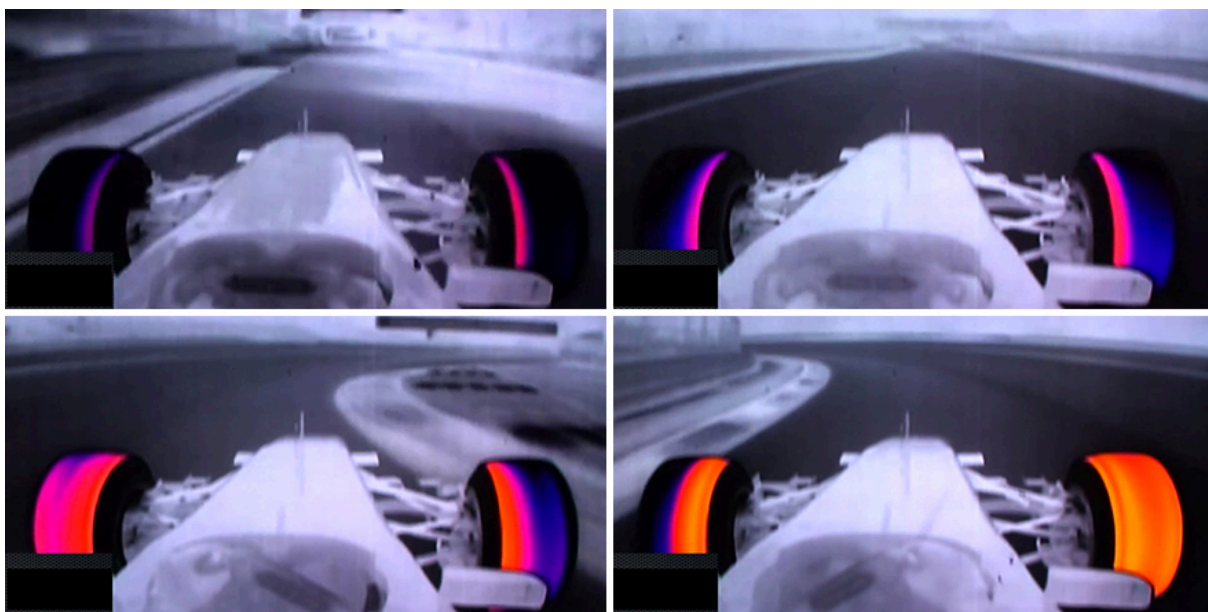
Infrapuna andurite korral on väga lihtne andurite lisamisega saada ka üha rohkem ning täpsemat infot. Seda enamasti tänu sellele, et valmistoodete ehitus on lihtne ning tavaliselt

väljundiks on neil lihtsalt loetavad pingeväärtused vahemikus 0-5 V või keerulisemad maatriks tüüpi lahendused edastavad mõõtetulemused üle digitaalse CAN või LIN siini. Peamiseks raskuseks infrapuna sensorite puhul on esirataste jälgimine kurvi läbimise ajal. Siis on ainuke võimalus, et andurid ühendatakse mingi jäiga konstruktsiooniga otse esimese rattaga kaasa pööravate vedrustuse detailide külge.



Sele 2.2. Ferrari esindusmeeskonna moodus rehvi temperatuuride kontaktivabaks monitoorimiseks [2]

Tänapäeval on enamus vormelautod ning ka mõned muud sarjad üle läinud juba termokaameraid kasutavate lahenduste peale. Termokaamerate kasutamisel saab väga hõlpsasti kätte pildi, kuidas rehvid toimivad ning kuidas jaotub temperatuur rajal sõitmise ajal. Infrapuna andurite korral on analüüs keerulisem ja kohest tagasisidet ei teki, kuna peab kõrvutama rajal asetsemist andmetevooga. Suurimaks probleemiks termokaamerate lisamisel on see, et sellised süsteemid vajavad salvestamiseks sadu kordi suuremat mälumahtu ning on seetõttu mitmeid kordi kallimad. Samas kaamera puhul pole oluline, et see esiratastega kaasa keeraks, kuna nende vaateväli on suurem ning selleks on tootjatel ka välja arendatud tarkvarad, mis suudavad kompenseerida temperatuuri lugemeid vastavalt rehvi nurgale kaamera vaatejoone suhtes. Seetõttu kasutavad mitmed vormel üks meeskonnad nutikaid lahendusi, kus seadmed on integreeritud tahavaate peeglite sisse või asetseb termokaamera samas korpuses, kus ka telepilti edastav kaamera.



Sele 2.3. Vormelauto rehvide termopilt sirgetel (kaks ülemist kaadrit) ning parem- ja vasakkurvis [3]

Viimase lahendusena on leidmas kasutust ka rehvisisesed andurid, millega mõõdetakse rehvi sisepinna temperatuuri. Taolised andurid on kõige vastupidavamad häiringutele, mida võivad tekitada mustus või sodi, mis paiskub sõites rehvide alt. Kahjuks selliseid mõõtevõimalusi valmislahendusena keegi isegi ei müü, kuna need on väga velje ning rehvi spetsiifilised ning keerulised paigaldada.

2.2 Turu-uuring




Kuna mõeldi eelenevalt juba kaks aastat taolise süsteemi soetamise peale, siis on tehtud ka eel-uuring, millist eelpool mainitud võimalust oleks kõige mõistlikum kasutada. Termokaameraga jälgimise puhul on peamine takistus, et see nõuab autos suurt mälumahtu.


Hetkel autos andmete salvestamiseks kasutatakse Motec SDL3 info- ja logimissüsteemi, millel on kasutada salvestamiseks 16 MB. Lisaks, kuna andmete analüüsiks on meeskonnal olemas ka Moteci enda kasutajaliides PC-le, mille kasutamise nüansid on aastatega väga hästi selgeks saadud, siis sellest lahendusest ei oldud nõus loobuma. Seetõttu tähendaks termokaamerate kasutamine suurt kulu. Kuna see nõuab ka mälu lisamist ja uue analüüsitarkvara arendamist, siis see on liialt töömahukas ning oskustest ja teadmistest jääks puudu.

Seega, väga kiiresti jõuti järeldusele, et otstarbekas on kasutada infrapuna anduritel põhinevat süsteemi. Piiranguteks valiti, et täpseks vedrustuse seadistamiseks peab olema võimalik mõõta minimaalselt kolme erinevat punkti rehvil, seega peame kasutama kolme sensorpeaga andurit või kolme eraldi sensorit. Lisaks on vajalik teada ka rehvitemperatuure kurvi läbimise ajal ning andmed peaksid võrdlemisi lihtsalt jõudma FEST 14 andmesalvestus-süsteemi. Kuna autol kasutatakse ka CAN suhtlusprotokolli, siis lisaks tavapärasele sensorite 0-5 V analoogväljundile on võimalik kasutada ka variante, mis kasutavad andmeedastuseks digitaalset CAN siini

Eelpool seatud tingimuste põhjal valiti välja järgnevad andurid:

Tabel 2.1. Erinevate valmissensorite võrdlus

Tootja	Mudelinimi	Hind	Kommentaar	Pilt
Texense	INFKL 150 °C	\$1200	Pakutakse eraldi soodustust FS meeskondadele, kuid ka koos sellega on hind kallis.	
Mclaren Electronics	Infra-Red (triple)	\$1500	Väga kõrgetasemelise tootja. Loeb kolme punkti. Kinnitamine ainult keredetailide külge	
Mclaren Electronics	16x4 Array	>\$2000	Suudab mõõta rehvil koguni 64 punkti temperatuurid. Väga kallis sensor.	
Motec	Infrared Tyre Temperature Sensor	N/A	Väga vähe andmeid tootja kodulehel. Täpsus pole teada.	

KAZ- technologies	Tire Temperature Measurement Kit	\$1350	Oma andmesalvestus süsteem. Kuvab väärtusi ainult Fahrenheitides	
----------------------	---	--------	---	---

Esimene variant on Texense toodangust. Tegemist on analoogsensoriga, mis on ehituselt kompaktne ning seda oleks lihtne auto süsteemidesse integreerida. Eraldi on välja toodud, et need sensorid sobivad väga hästi kasutuseks Formula Student sarjas. Lisaks pakub Texense ka hinnaalandusi FS meeskondadele, kuid need on marginaalsed. Kahjuks tuleks mõelda sellisele seadmele välja kinnitusemehhanism ning iga sensor paikneb eraldi korpuses mistõttu tuleks vedada kolm erinevat juhet sensoritest kuni auto keskel asetseva ECU-ni [4].

Teine ja kolmas variant on väga suure võidusõiduelektronika tootja McLaren Electronicsi valikust. Firma keskendub üldjuhul suurematele sarjadele nagu DTM või tipp-vormelisarjad, kuid kuna neil leidub väga erinevaid andureid, siis leiti ka nende valikust sobivaid variante. Juba valmiskujul kolme punkti mõõtev andur oleks ideaalne lahendus, kuid kujust tulenevalt saab seda kinnitada tõenäolielt vaid auto põhja peale või muude tasapinnaliste keredetailide külge ning kaob võimalus jälgida rehvide temperatuuri kurvi läbimisel. Teine, maatrikskujul andur on esimene variant, mis andmeedastuseks kasutab CAN siini. Kuna selle sensori võimekus on omandada mõõtetulemusi 16x4 maatriksis, on see ka kordades kallimaks. Lisaks nagu eelpool mainiti, siis McLaren Electronics toodab andureid väga tiiptasemel sarjadele, mistõttu on nende tooted juba niisamagi konkurentsilt kalleimad [5].

Järgmise variandina on ära toodud Moteci enda välja arendatud temperatuuri sensorid. Heaks küljeks nende puhul on, et kindlasti ühilduvad nad väga hõlpsasti senikasutatud juhi info- ja andmesalvestusseadme Motec SDL3-e külge, kuid kodulehel leidub väga vähe infot anduri täpsuse osas. Lisaks on andurid ise võrdlemisi suured, mistõttu on keeruline neile leida kinnitusvõimalusi [6].

Viimasena on tabelis ära toodud ka täiesti eraldiseisev süsteem. Anduriks on amorditootja KAZtechnologies poolt välja arendatud valmislahendus, mis hõlmab endas ka eraldi andmesalvestus- ja edastussüsteemi. Kõik mõõtmistulemused saadetakse üle *Bluetoothi* Androidi operatsioonisüsteemil põhinevale nutitelefoni. Kahjuks eraldi asetsev süsteem ainult komplitseeriks hilisemat andmeanalüüsi, kuna peab kasutama paralleelset kahte

erinevat tarkvara. Kuna sensorid edastavad oma andmeid üle CAN siini, siis oleks võimalik ühildada andurid otse ka meie enda andmesalvestus-süsteemi, kuid taaskord üksiku sensori hind on äärmiselt kõrge [7].

Kui sobivad variandid ning hinnapakkumised läbi analüüsi, selgus tõsiasi, et taolist süsteemi osta alla 1000€ ei ole võimalik. Samas tehnikapood nagu Oomipood või Elfa pakuvad IR sensoreid, millel on piisav mõõtetäpsus vähemalt 10 korda väiksema hinnaga. Seega jääks piisav varu ka muude komponentide ostuks ning trükkplaatide valmistamiseks. Eesmärgiks võetigi koostada ise sama funktsionaalsusega seade.

3 EELDUSED

3.1 Andmete täpsus ning mõõtmiste sagedus

Taolise süsteemi koostamisel on mõtet ainult siis, kui on võimalik saavutada piisavalt hea andmete kvaliteet, et oleks võimalik selekteerida välja usaldusväärsed andmed ning nende põhjal seadistada vedrustust.

Et oleks teada, mis peab olema minimaalne anduri väljundi täpsus konsulteeriti FEST 14 vedrustuse eest vastutavate isikutega. Olulised erinevused rehvi toimimisel tekivad sisse siis, kui temperatuurid erinevad rohkem kui 2 °C või 3 °C võrra, eeldusel, et rehvi sisemine kontaktpind on soojem. Vastavalt meeskonna poolt kasutatavatele Hoosier R25B rehvide parameetritele on valitud projekteeriva süsteemi piisavaks eraldusvõimeks 1 °C. See jätab piisava varu ning sellise täpsusega sensorid on kättesaadavad väga madala hinnaga, alates 14 €

Tabel 3.1. Hoosier R25B rehvimudeli olulised parameetrid (andmed pärinevad FSTT 2013 hooaja võistluste tarbeks esitatud „Design Spec Sheet“ nimelisest dokumendist, mis on eraldi välja toodud ka lisades)

Omadus	Väärtus
Laius:	190,5 mm (7,5 tolli)
Välidiameter:	457,1 mm (18 tolli)
Sisediameter:	254 mm (10 tolli)
Rehvisegu:	R25B
Tootja:	Hoosier

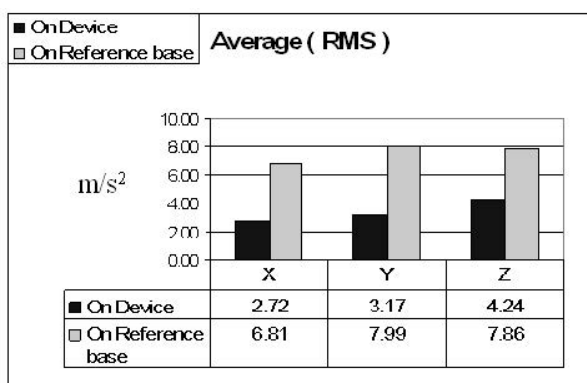
Piisava eraldusvõimega on sama oluline mõõtmistulemuste võendamissagedus. Tänu piisavale sagedusele on võimalik selekteerida välja usaldusväärsed andmed. Korrektsel vedrustuse seadistusel on eelduseks, et kurvi jooksul on võimalik saada vähemalt 50 keskmestatud mõõtetulemust. Keskmiselt läbitakse aeglased ja pikad kurvid 2 sekundiga ning lühikesed kurvid veidi kiiremini sekundi piirimail, seejuures mitte arvestades kurvi eelpidurdust ning välja kiirendamist. Koos kahekordse varuga püstitati eesmärgiks saavutada anduritel võendamissagedus 100 Hz.

3.2 Töötingimused

Kuna seade asub võistlusautol ning peab töötama välitingimustes, siis mõeldi läbi ka, milline on töökeskkond ning vastavalt millistele eeldustele tuleb tugevus ning vastupidavus tagada. Sellest tulenevalt mängivad peamist rolli vormelauto IR temperatuuri anduri koostamisel järgmised tegurid.

- Vibratsioon – kuna andur peab kinnituma käänmiku külge, mis on osa vedrustamata massist, siis vibratsioonid, mis mõjuvad mõõtesüsteemi trükkplaadile on kordades suuremad kui auto keskosas paiknevale muule elektroonikale, kus reaalne vibratsioon võib ulatuda 10 m/s^2 [9]
- Löögid – rehvide alt lendab pidevalt kummipuru ja sealhulgas ka kivikesi, millele peab mõõtesüsteem vastu pidama.
- Niiskus / veekindlus – sõidetakse ka kerges vihmas ning tõenäoliselt peab testima ka vihmarehvide tööd
- Temperatuur – selles konkreetses kasutuses ei ole nii kriitiline probleem, kuid kuna võrdlemisi suur jagu elektroonikaga seonduvatest vigadest on põhjustatud just liigkõrge temperatuuri poolt, siis sai ka seda arvestatud

Kuna autodel asetsevast elektroonika veatekke põhjuseks on enamasti vibratsioon, siis tuleb seda käsitleda kui kõige olulisemat parameetrit, millest sõltub temperatuuriandurite töökindlus. Enamasti põhjustab vibratsioon pingeid komponentides või joodises, mistõttu lõpuks see eemaldub trükkplaadilt. Samuti võivad ka väga peenikesed prinditud rajad puruneda vibratsiooni tulemusel. Vastavalt tudengivormeli sarja reeglistikus kirjeldatud analüüside parameetride põhjal, peavad detailid vastu pidama auto püsttelgsuunalistele kiirendustele 10 g mis teisendatuna SI ühikutesse on $\sim 100 \text{ m/s}^2$ [8].

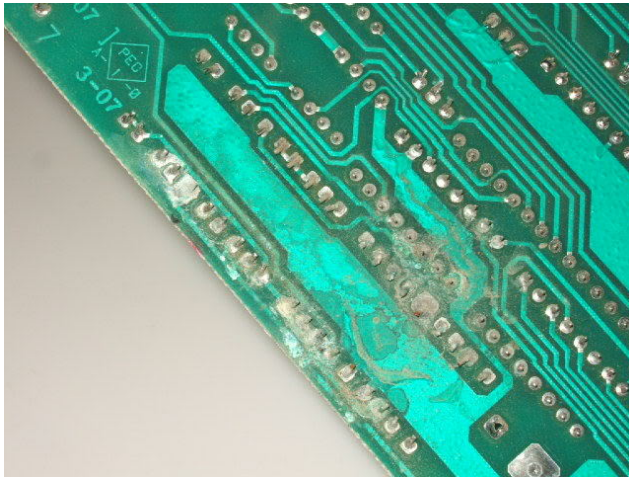


Sele 3.1. Vibratsioonid mõõdetud F1 auto roolilt (raamiosa) ja kummipuksidel asuva elektroonika karbi seest [9]

Ka löögid on olulisel kohal, eriti testsõitudel, kus rada ei pruugi olla eelnevalt puhastatud. Tavaliselt testil olles on veel esimese kümne ringi jooksul aru saada, kuidas väikseid kivikesi rehvide alt minema lendab.

Pritsmekindlus on oluline eelkõige vihmarehvide valiku ning sobiliku märja ilma seadistuse saavutamiseks. Piisav pritsmekindlus on saavutatav tihenditega või ka korpuse õigete

tolerantsidega. Samas, kui niiskus pääseb korpuse sisse, siis sellel võib olla väga hävitav toime.



Sele 3.2. Veekahjustused trükkplaadil [10]

Vähima tähtsusega neist on temperatuuri eest kaitsmine. Andurid paiknevad küljes sõidu ajal ning mööduv õhuvool jahutab korpust ja selle sisu. Lisaks on võimsused ja voolud väga väiksed. Tõenäoliselt suurim soojusallikas on päike, mis võib palaval päeval temperatuuri tumeda korpuse sees tõsta kuni 50 °C. Täiendavalt tasub arvestada, et võistlemas käiakse suvel ka lõuna pool paiknevates riikides, kus temperatuur võib tõusta veelgi kõrgemale.

4 MEHAANIKA

Mehaanikapool selles töös seisneb mehaanilise kinnituse ning elektroonika kopruse projekteerimisel nii, et elektroonika oleks kaitstud eelmises punktis välja toodud tegurite eest. Mõlema arendamisel võeti arvesse seni *Formula Student Team Tallinna* poolt praktiseeritud projekteerimistavasid. Tavaliselt on nendeks tähtsuse järjekorras:

- kasutatud materjalid peavad omama võimalikult suurt erijääkust
- lõpptode peab olema optimeeritud võimalikult kergeks (varuteguriks tavaliselt 2)
- toode peab olema hõlpsasti valmistatav
- maksumus ei tohi olla liiga suur
- auto küljes olevad esemed peavad omama ka esteetilist välimust.

Kuna lõpp-toode suure tõenäosusega võistlussõidu ajal küljes ei ole, siis temperatuuride mõõtmise süsteemi puhul kõige määravamaks faktoriks jäid tingimused, et ta oleks võimalikult jäik, vajadusel suudaks vibratsioone summutada ning oleks toodetav võimalikult väikese maksumusega.

Tootmistehnoloogiate valikul on autor juhendanud aines „Tootmiseseadmed ja –süsteemid“ õppejõu Aigar Hermaste juhendamisel õpitud teadmistest.

4.1 Kinnitusmehhanism

4.1.1 Materjalide ja tootmistehnoloogia valik

Materjale sellise toote valmistamiseks võib kasutada palju. Läbi kaaluti variandid kasutada metallisulameid või lausa komposiitmaterjale. Järgmise etapina valiti kas koostada kinnitus kasutades torukonstruksioone või lehtmaterjali.

Eelkõige on vormelautod tuntud suuresti süsinik-komposiidist valmistatud detailirohkuse tõttu. Kuna süsinikfiiber on kallis materjal, millele lisandub veel vormide valmistamise kulu ning selle lamineerimine on aeganõudev tehnoloogia, siis see ei vasta projekti vajadustele – tegemist on detailiga, mida vajatakse testimisel ja seadistamisel, mistõttu tuleks kasutada võimalikult odavaid ning robustseid materjale.

Ka torude kasutamine ei tundunud mõistlik, kuna nendest mingi kindla geomeetriaga konstruktsiooni valmistamine nõuaks eelkõige mitut erinevat tehnoloogiat – torude lõikus, painutamine, puhastamine, keevitus.

Seega tuli valida metallidest lehtmaterjalide hulgast. Kuna FSTT materjalide laos leidub piisav sortiment, siis otsustati kinnituse valmistamiseks kasutada juba seal olevaid toorikuid. Lisaväärtusena välistatakse võimalus, et autor eksiks mõne eelpool mainitud vormelauto küljes kasutatavatele materjalidele kehtestatud tingimuse vastu. Kuna terasest lehtmaterjali kasutab meeskond ainult kuni 2 mm paksusega, siis osutuks sellele korpuse kinnitamine probleemiks ning ühes suunas jääks ka jäikusest puudu või nõuaks lisatööna keevitatud tugevdusribisid. Samas alumiiniumil on samuti suur erijäikus ning seda kasutatakse majanduslikel kaalutlustel autol rohkesti. Meeskond kasutab toormena alumiiniumlehte alates paksusest 1 mm kuni 6 mm. Lisaks alumiiniumist lehtmaterjali on võimalik vajadusel karastada, painutada ning siis uuesti vanandada.

Jäikuse ja tugevuse poolest valiti välja 6 mm paks EN AW 6082-T6 seeria alumiiniumleht, mida kasutatakse ka suurt tugevust nõudvates konstruktsioonelementides tiivakinnituste näol ja akukastide tugevdustena. Allpool on ka ära toodud selle alumiiniumsulami mehaanilised ja füüsilised omadused vastavalt Ruukki kataloogile.

Tabel 4.1. Alumiinium EN AW 6082-T6 mehaanilised ja füüsilised omadused [11]

Omadus	Väärtus
Voolepiir ($R_{p0,2}$)	260 MPa
Tõmbetugevus (R_m)	310 MPa
Katkevenivus (A_{50})	7 mm
Pinnakõvadus (HBW)	94
Tihedus (ρ)	2,71 g/cm ³
Sulamispunkt	650° C
Elektrijuhtivus	44% IACS

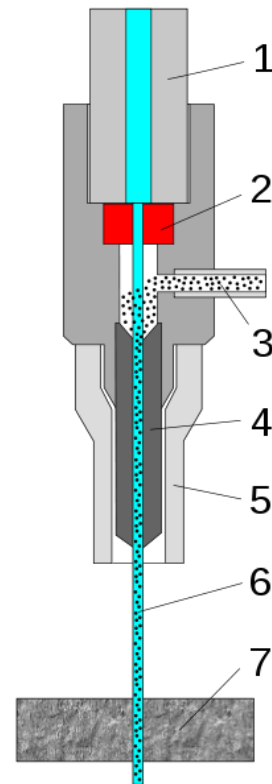
Tootmistehnoloogia valik tehti juba hõlpsamini, kuna materjal ning selle tüüp olid paigas. Soodsaimad ning sobilikuimad lahendused lehtmaterjali töötlemiseks on kas vesilõikus või laserlõikus. Kuna materjal on 6 mm paks ning muid detaile samast materjalist lõigatakse nii kui nii vesilõikusega, siis oleks äärmiselt otstarbetu hakata andurite kinnitusi laserlõikusesse viima.

Vesilõikuse puhul lastakse suure surve juures vesi läbi peenikese ava, mille tõttu tekib ühtlane juga. Peale ava lisatakse vee hulka abrasiivosakesed ning vee ja osakeste segu liigub

detailini, mille abil seda lõigatakse. Vesilõikuse eelis laserlõikuse ees on, et välditakse termilistest protsessidest tulenevaid struktuuri muutusi lõigatavas detailis – puudub termomõju tsoon (i.k. *heat-affected zone*).

Joonise numbrite seletus:

1. Kõrgsurve vee düüs
2. Juga koondav düüs – üldjuhul teemant
3. Abrasiiv
4. Segunemistoru
5. Kaitse
6. Lõikav veejuga
7. Lõigatav materjal

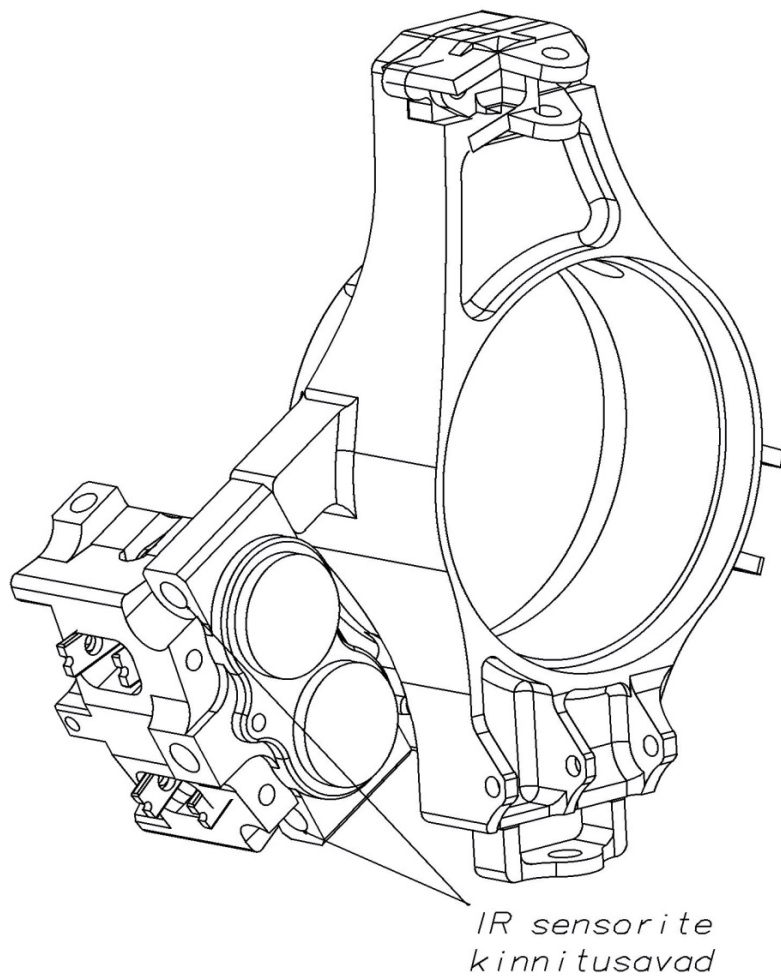


Sele 4.1. Vesilõikuse seletav joonis [12]

4.1.2 Disain

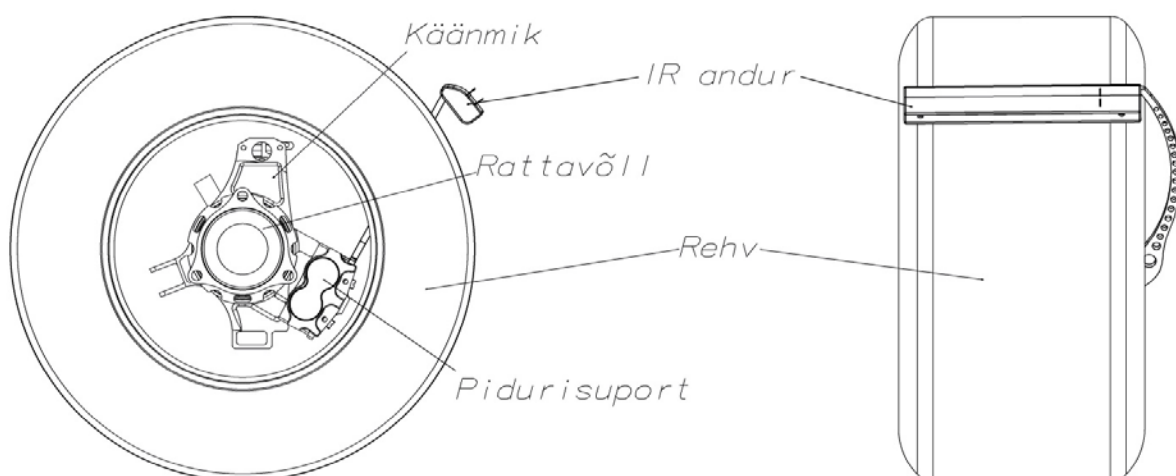
Kui materjal oli valitud, siis asuti kinnituste projekteerimise ning geomeetria analüüsi juurde. Esmalt lahendati probleem, kuhu üldse võimalik andureid kinnitada oleks. Jõuti järeldusele, et lahendusi, kus süsteemil puudub relatiivne liikumine rehvi suhtes, eksisteerib vaid kaks. Käänmik pakub ainukesena võimaluse kinnitada andur poltliidet kasutades. Vedrustuse varraste külge kinnitamine nõuaks keevitust ja ka keerulist geomeetriat.

Selleks, et konstruktsioon jääks jäik peaksid andurid kinnituma vähemalt kahest punktist. Sellist tingimust rahuldavad pidurisupordi kinnituspunktid. Tänu sellele puudub vajadus teha uusi avasid käänmiku külge. Tagarataste kinnitus lahendati samuti, ainult et seal on pidurisupordi kinnituse poltide vahe väiksem, seega sinna projekteeriti eraldi kinnitus. Kuna kogu tehnoloogilisus põhineb esirataste kinnituste valmistamisel, siis on ka selle töö raames põhiliselt esiratastele keskendunud.



Sele 4.2. Käänmik koos pidurisupordiga

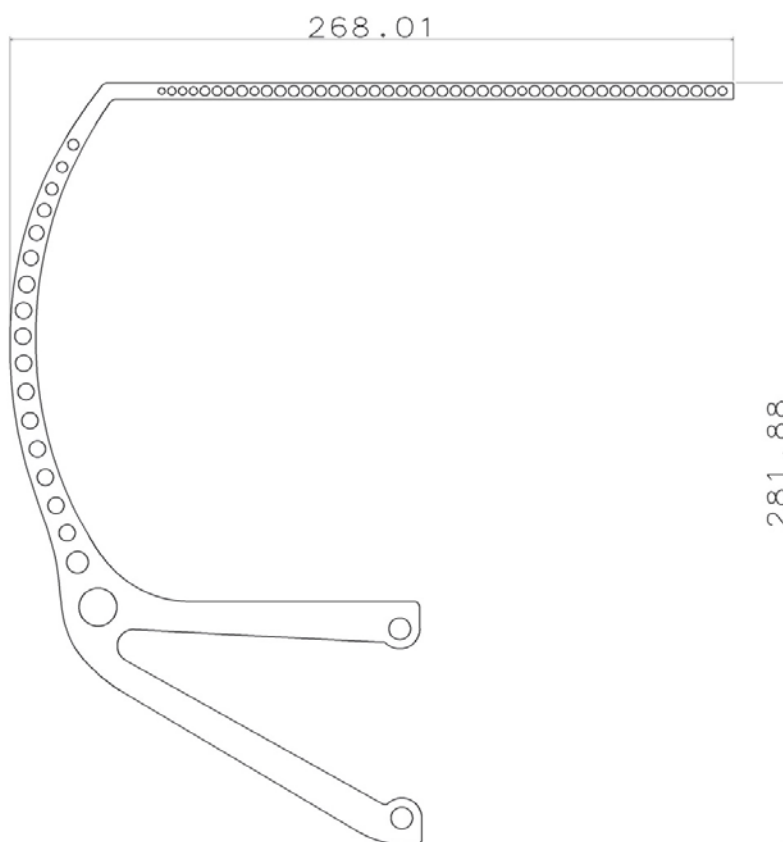
Järgmise osana tuli välja mõelda kinnituse geometria, et see ulatuks ümber rehvi, IR temperatuuri andur jääks õigele kaugusele rehvist ja sõidu ajal mõjuva vibratsiooniga püsiks ka õigel kaugusel.



Sele 4.3. Rehvi, käänmiku ja anduri koostu kaksvaade

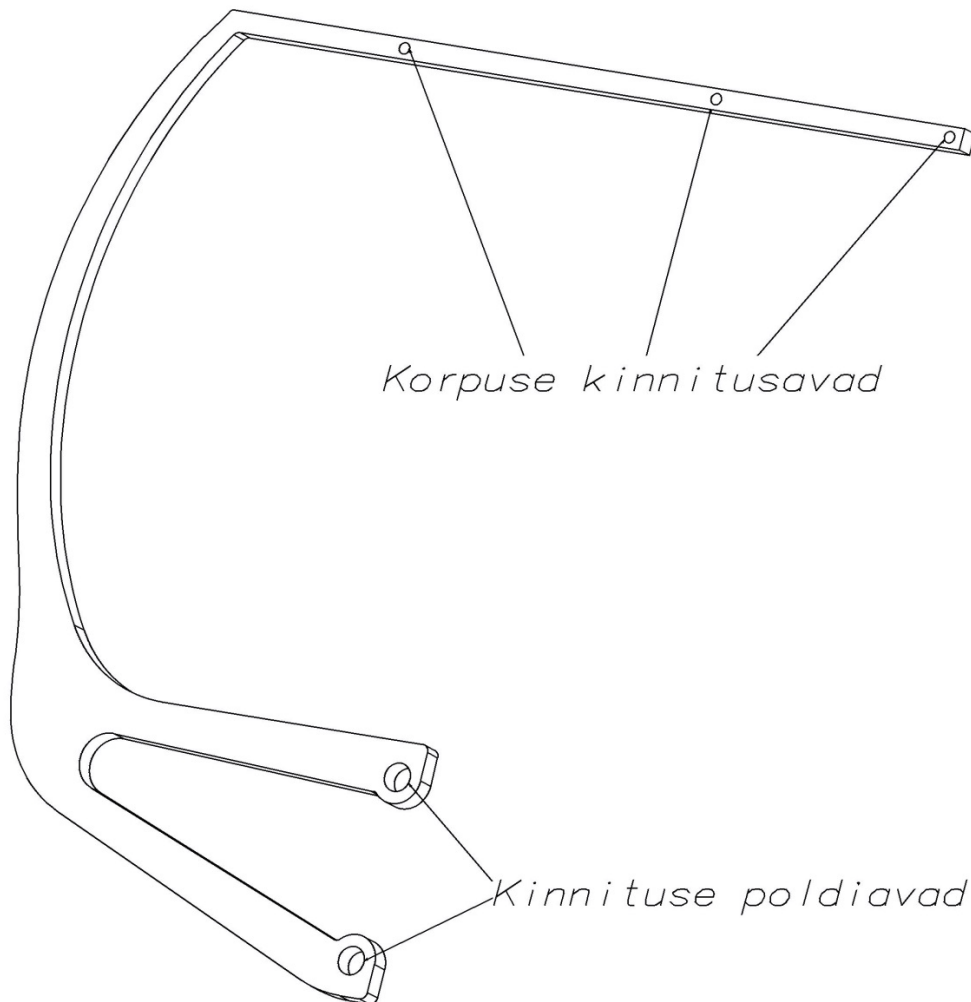
Esmalt koostati tuginedes eelnevale kogemusele esialgne kinnituse geometria, mis rataste pöörämisel ei käiks vastu vedrustuse komponente ning paigutuks rehvist vähemalt 30 mm kuid mitte rohkem kui 50 mm kaugusele. Lisaks kontrolliti taaskord vedrustuse eest vastutavatelt inimestelt üle rehvide külgdeformatsioonid kurvi läbimisel, et ka rehvi külgseina ja kinnituse lähima punkti vahel oleks piisav vahemaa.

Järgnevalt, kui esimene mudel oli valmis, hakati seda analüüsima, et mõista, kuhu peaks materjali lisama, et konstruktsioon oleks jäigem ning kust on võimalik kaalu vähendada. Esimesed analüüsid olid väga lihtsad, kus kinnitus kinnitati jäigalt poldiavadest ning koormati staatilise koormusega 10N. Nende analüüside põhjal parendati geometriat ning sealhulgas parandati ka analüüsi tingimuste vastavust reaalsusele. Uued analüüsid tehti kasutades ühtlast koormust 5 N, mis simuleeris korpuse ja trükkplaadi koostu raskust ning kogu kinnitusele lisati mõjuv kiirendus Z telje negatiivses suunas 100 m/s^2 . Vibratsioonist tulenevat väsimusanalüüsi ei tehtud, kuna tõenäoliselt tööaega detailil tuleb kokku mitte rohkem kui 100 tundi. Selle asemel pigem võeti veidi suurem koormus, kui tegelikult kinnitusele asetub, sest ülejäänud komponentide tegelik kaal on ~250 grammi.



Sele 4.4. Esimene valmis kinnituslahendus

Viimase etapina vaadati üle ka tootmise ja maksumuse pool. Kuna esialgu pingutati üle optimeerimisega, mis tegi detaili tootmise kalliks, siis viimases lahenduses lõikejoone kogupikkuse vähendamiseks loobuti avadest, mis pidid massi vähendama. Alles jäeti ainult kinnitusavad korpuse tarvis.



Sele 4.5. Valmislahenduse joonis

4.2 Korpus

4.2.1 Materjalide ja tootmistehnoloogia valik

Üldjuhul on elektroonika korpuste valmistamiseks valitud võimalikult kerge ning elektrit mittejuhtiv materjal. Seetõttu ei ole ka mõtet valmistada korpust näiteks süsinikkomposiitmaterjalidest, kuna need juhivad elektrit. Samas elektrijuhtivuse probleemi

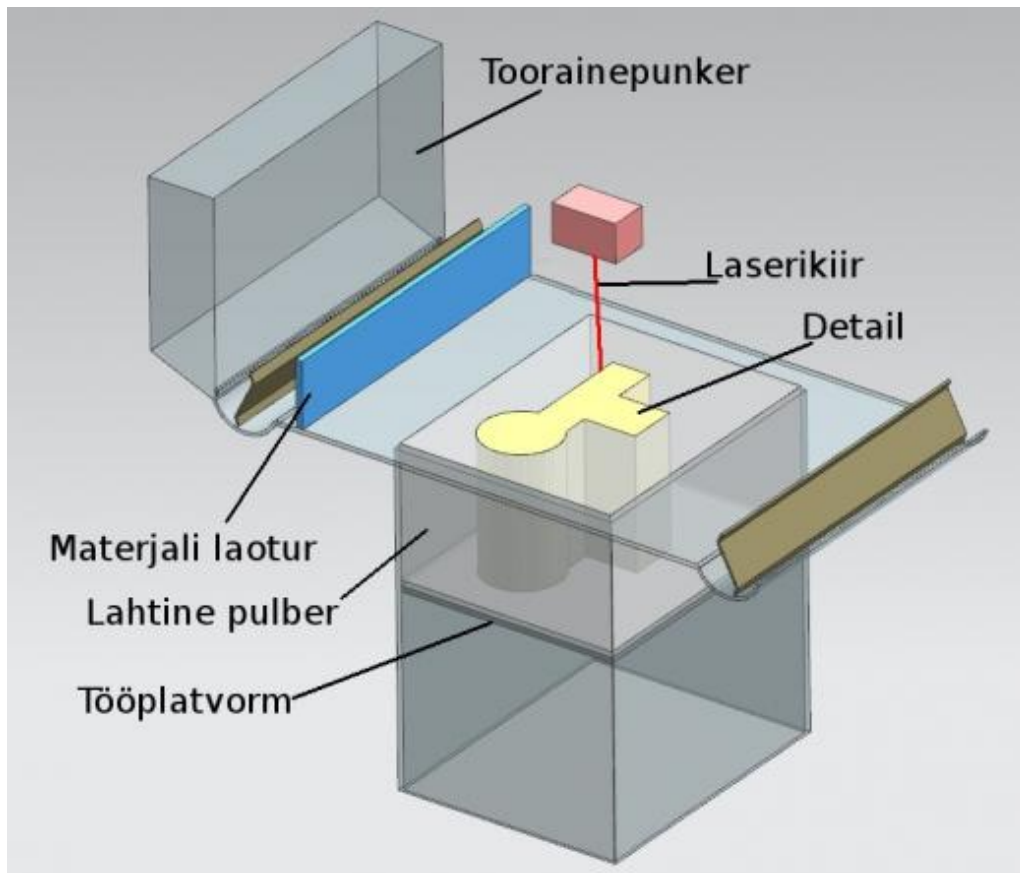
lahendaks väga hästi ka kevlarkanga kasutamine süsiniku asemel, kuid taaskord tuleb arvestada projekti alguses tähtsale kohale seatud süsteemi maksumust. Seega kasutama peaks odavamad materjali ning selleks parim lahendus on plastikpolümeerid.

Valik, millist plastikut konkreetselt kasutada sõltub suures osas ka tootmistehnoloogiast. Näiteks vaakumvormimise puhul on kõige kasutatavad materjalid polüvinüülkloriid (PVC) või polüetüleen (PE). Teisalt on võimalik igasuguseid termoplaste kasutada ekstruuderpeaga 3D printeris, aga tavaliselt selliselt toodetud detailidel esineb nõ kiudude orientatsioon, mis tingib selle, et ühes suunas suudab komponent taluda vähem jõudusid, kui teises. Kõige paremad omadused ning suurimad vabadused projekteerijale jätab laserpaagutus meetodil printitud detailide valmistamine.

Tabel 4.2. Prinditava materjali omadused (Nylon12) [13]

Omadus	Väärtus
Tõmbetugevus	46 MPa
Katkevenivus	15 %
Temperatuuritaluvus	177 °C
Tihedus	0,95 g/cm ³

Laserpaagutamise tehnoloogia on eelkõige sobilik tugevate ning keeruliste detailide valmistamiseks. On võimalik saavutada selliseid lahendusi, mida mingi muu tehnoloogiaga pole võimalik saavutada – valmis kooste. Lisaks laserpaagutus sobib just väikses koguses toodete või prototüüpide kiireks valmistamiseks.



Sele 4.6. Seletav joonis selekteeritud laserpaagutuse (i.k. *Selective Laser Sintering* – SLS) meetodil printimise tehnoloogiast [14]

4.2.2 Disain

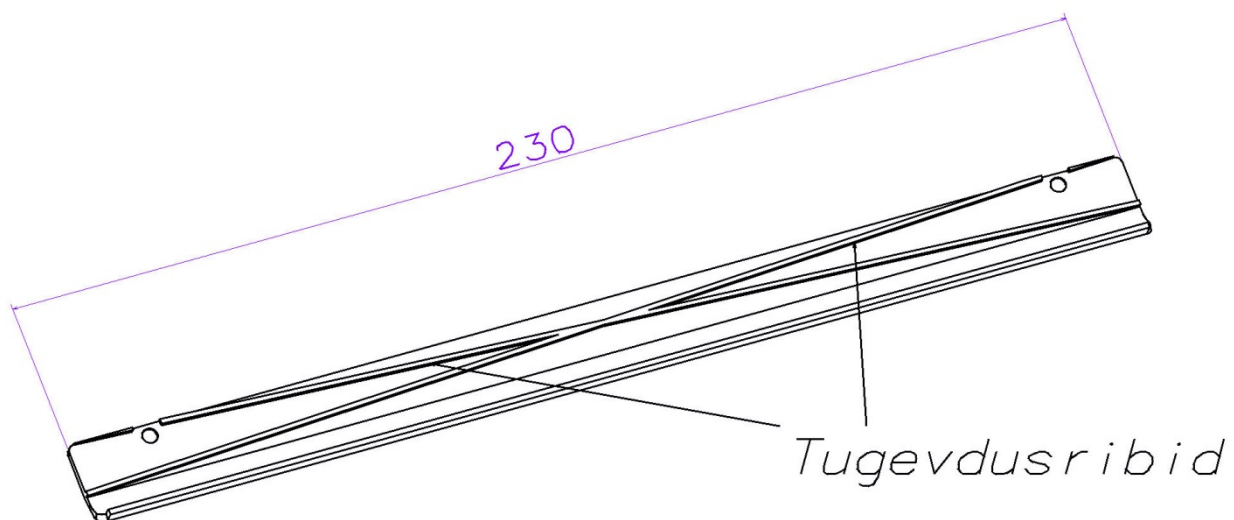
Tootmistehnoloogia siinkohal ei piiranud projekteerija võimalusi. Seetõttu korpuse projekteerimisel peeti eelkõige silmas tema põhilisi funktsioone - kaitsta elektroonikat välise tegurite eest. Peamised kahjustavad tegurid on ka juba korra eespool välja toodud vibratsioon, löögid, niiskus ning temperatuur.

Kõige hävitavamaks faktoriks neist on vibratsioon, millele ka korpuse projekteerimisel keskenduti. Korpuse disainil on arvesse võetud, et plaat tuleb paigutada minimaalse lõtkuga siinide vahele. Siinid ise on paigutatud peenikestele jalgadele, mis peaksid toimima vedrutavate elementidena. Lisaks, et vähendada plaadi liikumist korpuse sees ning stabiliseerida sensorpäid, siis need on kolmest punktist toetatud korpuse poolt.

Löökide eest kaitsmiseks ning piisava tugevuse saavutamiseks, on korpuse väliseina paksuseks 1...2 mm. 2 mm seinapaksus valiti kinnituse ümbrusesse, kus esinevad paindemomendid ning 1 mm paksusega on korpuse rehvipoolne sein. Korpuse tagakaas on valitud 1,5 mm seinapaksusega, kuna tõenäoliselt peab just see komponent kõige paremini

vastu pidama rehvide alt lendavale sodile. Lisaks sensorpeade kaitsmiseks on projekteeritud nende ette pleksiklaasiga kaetud avad.

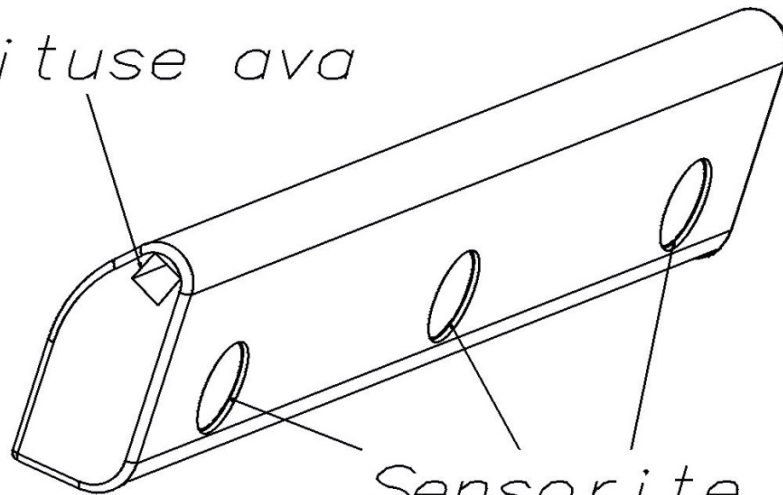
Niiskuskindlus on oluline eelkõige selle tõttu, et kindlasti soovitakse näha ka vihmarehvide tööefektiivsust rajal ning sellest tulenevalt ka märja ilma korral leida optimaalne seadistus. Seetõttu pole korpusel küll täielikku veekindlust vaja, kuid pritsmekindlus on väga tähtsal kohal. Koostule keerulisust lisab ka see, et kaas on projekteeritud korpuse tahaossa, mis on kõige rohkem avatud pritsmetele. Piisava veekindluse tagamiseks tugevdati korpuse kaant ribidega, et see oleks piisavalt jäik ning suruks servadega vastu korpuse tihenduskõrvasid ühtlaselt. O-rõngastihendi kasutamisest loobuti, kuna see oleks suurendanud korpuse mõõtmeid. Seni vormelautol kasutatud leidnud korpuse lahendused on näidanud, et kui tolereerida korpuse kaane siset õigesti, siis ei ole eraldi tihend vajalik. Sensoriavad on isoleeritud veekindlalt, kuna pleksiklaaside kinnitamisel kasutatakse tihendavat liimi.



Sele 4.7. Tagumise kaane joonis

Temperatuuri osas mingeid erilisi abinõusid ei kasutata, sest puuduvad suured soojusallikad. Kuna võistlused toimuvad Ungaris, kus üldjuhul on suvekuudel kuni 30 kraadi sooja, siis on oht, et lõõmava päikese käes võib korpuse sisemuses temperatuur ületada vabalt ka eelpool mainitud 50 °C piiri. Selline temperatuur võib hakata elektroonika tööd pärssima. Eelkõige lahendatakse temperatuuri eest kaitsmine õigete komponentide valikuga, mille töötemperatuuride vahemik ületab piisava varuga teoreetilisi tekkivaid temperatuure. Täiendavalt, et soojuslikku ülekannet korpuses vähendada värvitakse see mõnda heledat värvi, mis peegeldaks soojuskiirgust.

Kinnituse ava



Sensorite avad

Sele 4.8. Korpuse joonis

5 ELEKTROONIKA

Elektroonikas oli eesmärgiks välja arendada iseseisev süsteem, mis ühilduks ülejäänud auto süsteemidesse võimalikult lihtsalt. Vormelautol leiavad kasutamist kolm põhilist andmevahetusviisi – sensorite analoogväljund, andmed üle digitaalse CAN siini või raadioside. Kõige väiksema vaevaga saab ühilduda autoga kasutades juhtmevabasid ühendusi.

5.1 Komponentide valik

5.1.1 Sensorite valik

Sensorpea on keskne komponent IR temperatuurianduri valmistamisel. Seetõttu viidi läbi erinevaid katsetusi ning töötati läbi dokumentatsioon erinevate andurite võimekuse kohta. Kuna tehtud oli turu-uuring, siis alustati sellest, et valiti välja eelnevalt valikus olnud sensorite seast üks ning etaloniks võeti selle täpsusklass.

Seejärel leiti poest sama täpsusega odavaim käsi infrapuna temperatuurimõõdik. Sellega viidi läbi lihtsad katsetused, kus võrreldi erineva soojusega pindasid, mõõtes infrapuna anduriga ja hiljem multimeetri külge ühendatava termopaariga. Metalsetel läikivatel pindadel tulid välja olulised erinevused, aga kui näiteks sama pind kaeti mustast riidest teibiga, siis tulemused ühtlustusid. Kokkuvõtlikult tumedate pindade erinevus IR temperatuuri sensori (kaugusel 3 cm) ning kontaktis oleva termopaari vahel kõikusid 1..2 °C ulatuses. Erinevate pindade temperatuuri mõõtmistest järeldati, et kuigi erinevus on olemas, siis mõlema temperatuuri muutus toimus lineaarselt – madalamatel temperatuuridel (toatemperatuuril – 24 °C) oli erinevus ~1 °C ning kõrgematel (musta värvi mootoriploki kaas – 90 °C) vahe suurenes 2 °C. Vahepealsetel temperatuuridel erinevused kasvasid järk-järgult.

Viimase sammuna võeti infrapuna mõõdik lahti ning leiti konkreetne sensorpea tootja. Välja valiti sama tooteperekonna kitsama vaateväljaga mudel. Valituks osutus Melexis MLX90614 BAA mudel. Sensorid sisaldavad endas ühte mõõtepead, termopaari väliskekskonna temperatuuri määramiseks ning mikrokontrollerit, mis teisendab anduri väljundiks juba valmis temperatuurid.



Sele 5.1. Pilt andurist [15]

Peamised anduri omadused (täiendav info lisades) [14]:

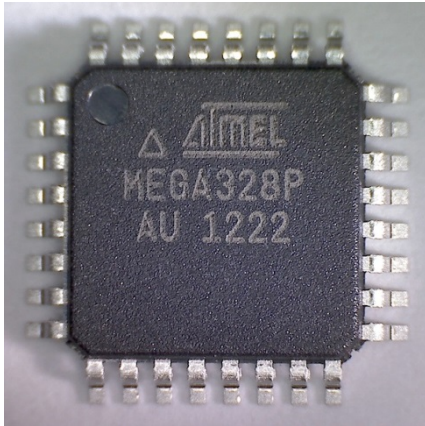
- Toide: 3.3V
- Mõõtevahemik: -70...380 °C
- Täpsus: $\pm 0,5$ °C
- Mõõteresolutsioon: 0,02 °C
- Mõõtepeade arv: 1
- Vaateväli: 35°
- Töötemperatuuride vahemik: - 40....125 °C
- Ühendusvõimalused: SMBus või PWM
- Pakend: TO-39

5.1.2 Mikrokontrolleri valik

Mikrokontrolleri valimisel püstitati peamiseks eesmärgiks, et leitaks võimalikult väikeste väljaviikude arvuga kiip, millel on nii I²C / SMBus, kui ka UART tugi. Väikeste väljaviikude arvu tingimus oli eelkõige seatud kulude madala hoidmise ning efektiivse mikrokontrolleri kasutuse eesmärgil, kuna kontrolleril palju funktsioone ei lasu. Tootjaks valiti Atmel, kuna neile on olemas oma tarkvara programmerimise kasutajaliides ning dokumentatsioon on põhjalik – tarkvara kasutamise juhendid ja mikrokontrollerite andmelehed on tuntud oma põhjalikkuse poolest – mis teeb selle kontrolleriga alustamise lihtsamaks.

Leiti, et sobivad mikrokontrollerid, mis suudaks opereerida ka I²C või SMBus peaseadmena (i.k. *master device*) olid minimaalselt 32 väljaviiguga. Pärast infrapuna andurite valikut taustainfot otsides avastati ka, et sarnastel anduritel baseeruvaid koduvalmistatud IR andureid on valmistatud palju kasutades Arduino Duemilanove või Uno arendusplaat. Nende

arendusplaatide kindlate mudelite arhitektuur baseerub ATmega328 seeria mikrokontrolleril ning sel on kõik vajalikud funktsionaalsused olemas. Ainukese erinevusena valiti vormeli kasutusse väiksema 32TQFP kiibikorpusega mudel. Arduino arenduplaatidel kasutatakse DIP pakendis komponente.



Sele 5.2. Pilt kasutatavast mikrokontrollerist [16]

Peamised Atmega328P-AU mikrokontrolleri omadused (täiendav info lisades) [16]:

- Toide: 1,8...5 V
- Välmälu (kilobaitides): 32 Kb
- Viikude arv: 32
- Maksimaalne taktsagedus: 20 MHz
- CPU: 8-bitine AVR
- Töötemperatuuride vahemik: - 40...85 °C
- Maksimaalsete I/O viikude arv: 23
- Välise katkestuste arv: 24
- Voolutarve 1 MHz-i juures: 0,2 mA

5.1.3 RF mooduli valik

Eelnevalt on kasutatud vormelautol raadiosidega ühildumiseks Xbee mooduleid. Alustuseks kasutati neid autosise suhtluse loomiseks rooli korpuses paikneva saatja ja auto juhtajus paikneva vastuvõtja vahel, mis oli ka alusplatvormiks hilisema telemeetria väljaarendamisel. Telemeetria puhul raadioside ulatuse suurendamiseks vahetati tavamoodul „PRO“ nimelise mooduli vastu välja.

Seetõttu valiti ka IR andurite andmete juhtmevabaks edastuseks samasugune Xbee moodul, mida kasutati rooli puhul. Eelkõige põhjusel, et selle seadistamisel on olemas inimesed, kellelt on võimalik vajadusel abi saada.



Sele 5.3. Pilt XBee moodulist [17]

Peamised Xbee mooduli omadused (täiendav info lisades) [17]:

- Toide: 3,3 V
- Ulatus siseruumides: kuni 30 m
- Ulatus vaateväljas: kuni 90 m
- Saatmisvõimsus: 1mW
- Vastuvõtja tundlikkus: -92dBm
- Töötemperatuuride vahemik: - 40...85 °C
- Voolutarve saates: 45 mA
- Voolutarve vastu võttes: 50 mA
- Voolutarve puhkerežiimis: < 10 μ A

5.1.4 Ülejäänud komponentide valik

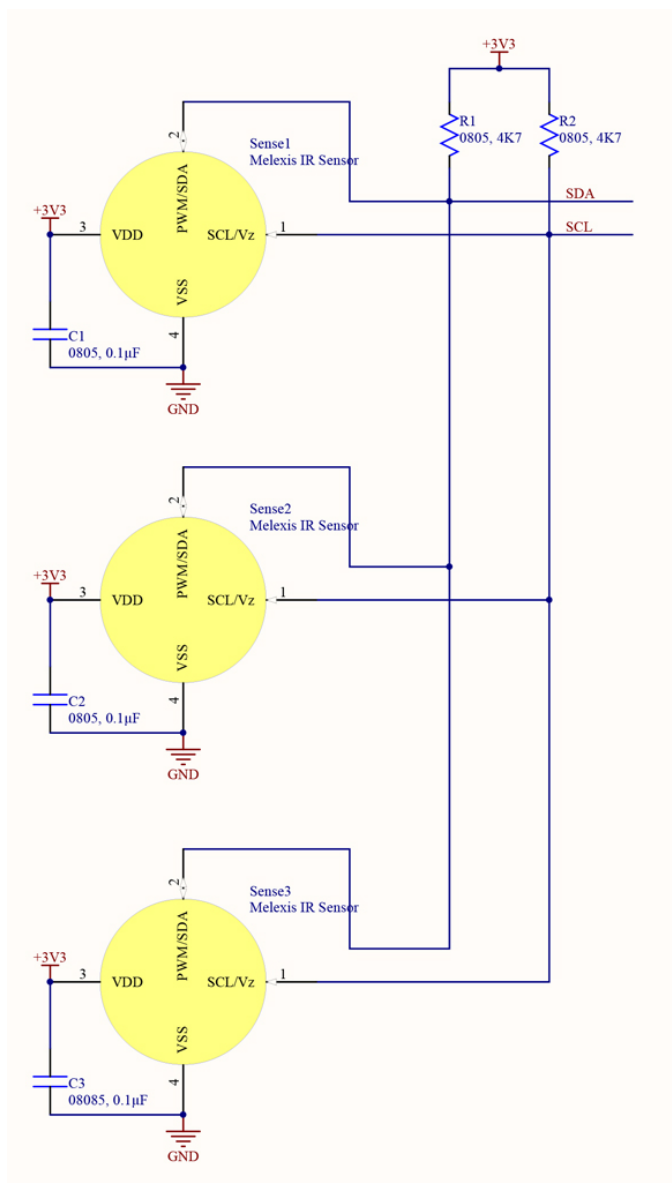
Taaskord tuleb arvesse võtta, et vibratsioon ja mehaanilised pinged on üks suurimaid põhjuseid, miks autoelektronika lõpetab töö. Tänu FSTT meeskonna külastusele autodele valguslahendusi ja juhtelektronikat tootva Oshino Electronics harukontori külastust Pärnus on võimalik arendada töökindel trükkplaat.

Külastusest kogutud info põhjal valiti kõik ka vähemolulised komponendid nagu takistid ja kondensaatorid vastavalt autoelektronika projekteerimise üldjuhiste. Põhilisem neist on, et vibratsioonide mõju vähendamiseks tasub kasutada võimalikult väikese korpusega komponente. Suurematel komponentidel on joodises tekkivad momendid suuremad suurenenud jõuõla tõttu. Seetõttu on kõigi lihtsamatel komponentidel valitud „0805“ pakend.

5.2 Skeem

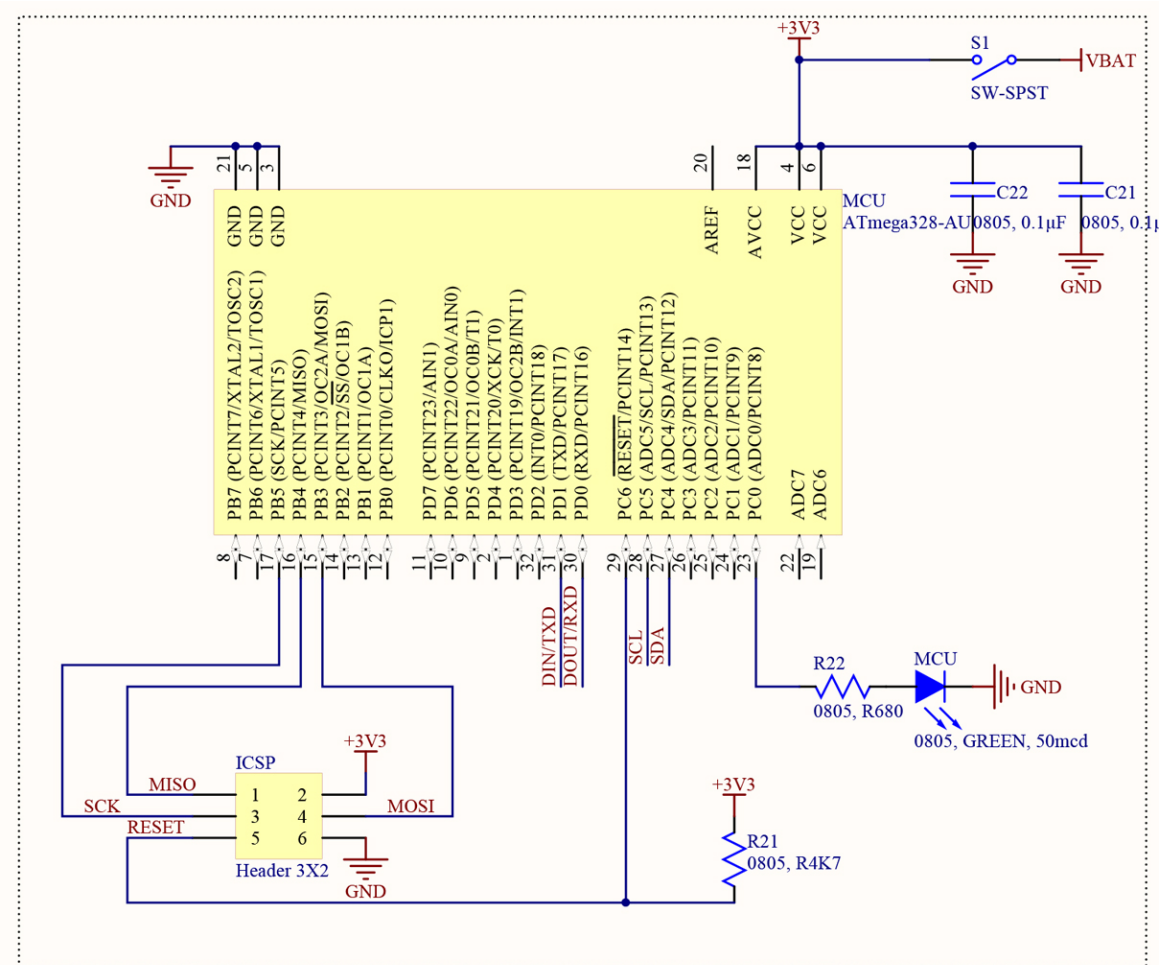
Elektronikaskeem on koostatud kasutades programmi Altium 10, mis on litsenseeritud FSTT meeskonnale. Skeem on jaotatud mõtteliselt neljaks – andurid, mikrokontroller ja perifeeria, RF moodul ja perifeeria ja viimasena patarei toide.

Andurite ühendused nõuavad tänu I²C /SMBus andmesidele nivootakisteid (i.k. *pull-up*). Need peavad paiknema nii SDA, kui SCL liinil ning andmelehe järgi on nende väärtuseks 47 kΩ. Lisaks on nõutud igale andurile toite silumiseks ning müra vähendamiseks 0,1 μF kondensaator.



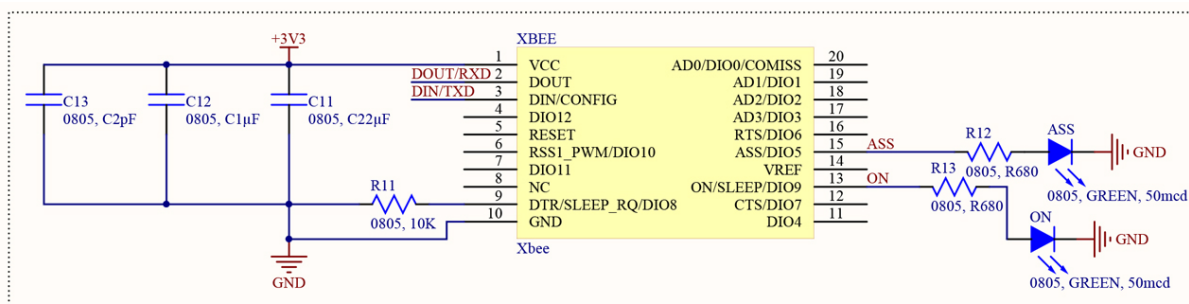
Sele 5.4. Andurite skeem

Mikrokontrollerile tuli lisada programmerimiseks Atmeli ISP (i.k. *In-system Programming*) standardile vastav konnektor koos „RESETi“ nivootakistiga. Täiendavalt lisati vigade analüüsiks ka ühte digitaalväljundisse valgusdiood koos vastava takistiga, mille eesmärk on põleda siis, kui andurite ja mikrokontrolleri vahel on suhtluses mingi probleem või, kui andur saadab vigaseid andmeid. Ning viimaks ka mikrokontrollerile lisati toitevoolu silumiseks kaks 0,1 μF kondensaatorit.



Sele 5.5. Mikrokontrolleri ja selle perifeeria skeem

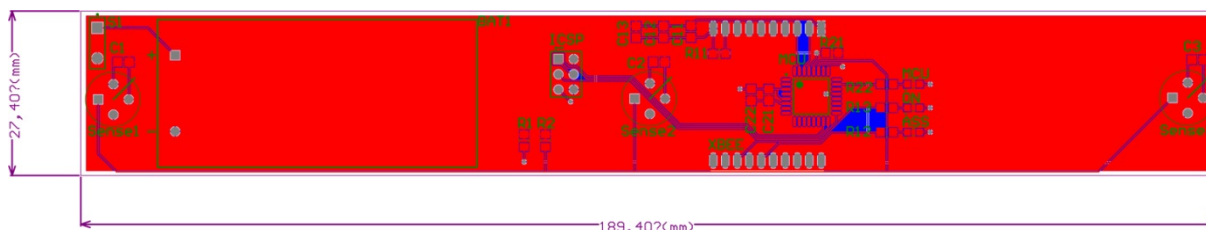
Xbee skeem koos perifeeriaga kanti enamjaolt otse tootja andmelehelts üle. Sellel moodulil on nõutud kolm erinevat kondensaatorit toitesignaali silumiseks – 2 pF, 1 μF ja 22 μF . Lisaks on nõutud ka 10 k Ω takisiti maa nivoo ja „DTR/SLEEP_RQ“ viigu vahele. Viimase lisandusena sai samuti lisatud kaks valgusdioodi, mis annavad Xbee tööst aimu. „ASS“ tähisega diood annab märku, kas on olemas suhtlus vähemalt kahe RF mooduli vahel. Ning „ON“ teavitab kasutajat Xbee hetkeolekust – puhkerežiim või töörežiim.



Sele 5.6. Xbee ja selle perifeeria skeem

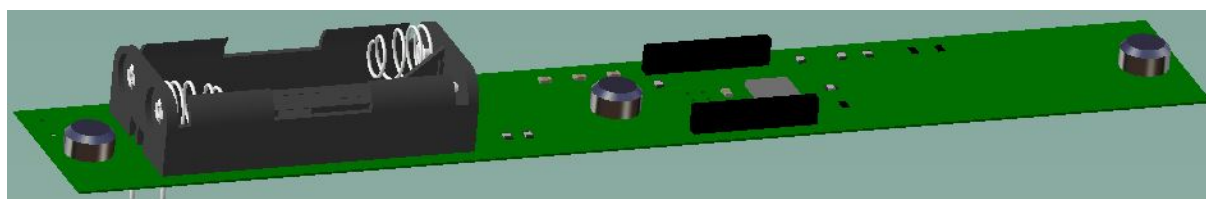
5.3 Trükkplaadi disain

Loomulikult oli eesmärk koostada võimalikult kompaktne PCB, kuid trükkplaadi füüsilised mõõtmed on paratamatult määratud rehvi laiuse ja suurimate komponentide mõõtmete järgi. Sellest tulenevalt elektroonikaplaadi mõõtmeteks määrati 189,4x27,4 mm.



Sele 5.7. Joonis trükkplaadi disainist

Komponentide paigutuses pandi esmalt paika andurite asukohad. Järgmine eesmärk oli võimalikult suured ja rasked komponendid paigutada võimalikult rehvi sisekülje kohale, et kinnitusele mõjuks võimalikult väike paindemoment – paigutati ära patareide hoidja. Samas tuli silmas pidada, et mikrokontrolleri lähedusse võiks paigutada võimalikult palju komponente, eelkõige Xbee moodul ja programmeerimispistik. Paigutusel üritati veel signaali ja toiteliine võimalikult lahus hoida, mis said defineeritud Altiumi kasutaja poolt defineeritud reeglistikus, et vahemaa toitetasandite ja liinide vahel peab olema vähemalt 1,5 mm. Toitevoolu ja andmesignaali eraldamine tagab elektroonika häireteväba töö.



Sele 5.8. Trükkplaadi 3D mudel

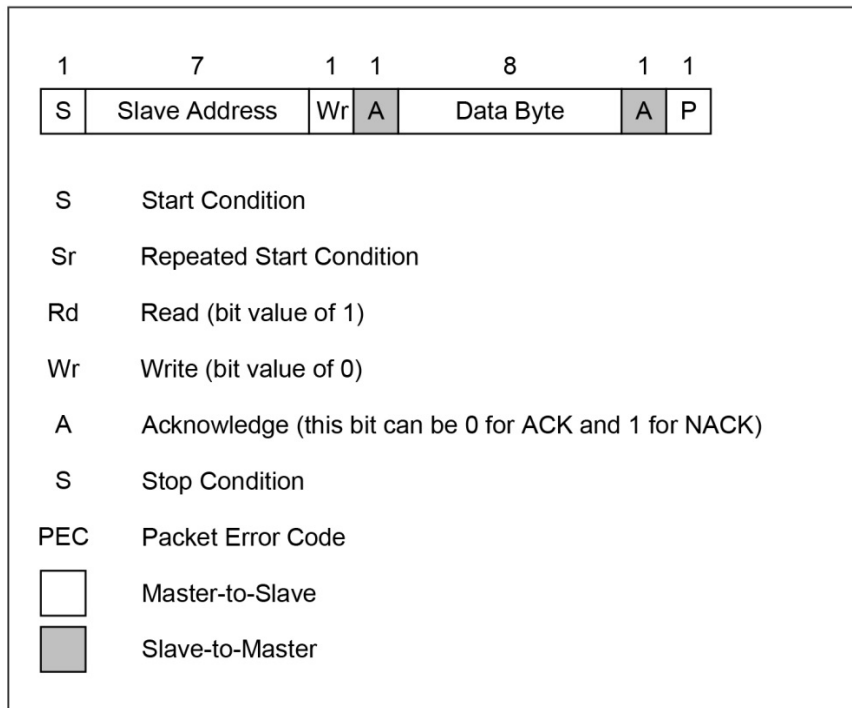
6 TARKVARA

Käesoleva töö tarkvara arendus koosneb kahest osast. Erinevate suhtlusprotokollide tööle saamisest ning raadioside topoloogia välja mõtlemisest ja realiseerimisest. Kuna andmeside tööle saamiseks on olemas mitmeid erinevaid teeke, siis peamine ülesanne seisneb Xbee mooduli seadistamises.

6.1 I²C / SMBus protokoll

Andur kasutab täpsemalt SMBus baasil kahe juhtme suhtlust. I²C on selle suhtlusprotokollide edasiarenenum variant kuna lubab suuremaid siinikiiruseid. SMBusi siinikiirus peab olema suurem kui 10 kHz ja väiksem kui 100 kHz, kuid I²C puhul võivad suurimad kiirused erijuhtudel jõuda juba 5 MHz-ni.

SMBus on andmevahetus protokoll, mis lubab suhtlust ühe peaseadme (i.k. *Master Device*) ja kuni 127 alamseadme (i.k. *Slave Device*) vahel. Sensorite andmete lugemine kulgeb järgnevalt - mikrokontroller saadab esmalt alamseadme aadressi ja kui leidub vastav seade, siis saadetakse vastu „ACK“ (i.k. *acknowledged*) teavitus. Kui saadetakse „NACK“ (i.k. *not acknowledged*), siis peaks olema mikrokontroller programmeeritud sedasi, et see protsess automaatselt kordub. Seejärel loetakse andurist 16 andmebitti ja 8 bitine veateate kood (i.k. *Packet Error Code – PEC*). Lisaks on võimalik ka, et „NACK“ signaal tuleb ka peale andmepaketti ja veateate koodi. See tähendab, et saadud sõnumis on mingi viga ning taaskord peaks infopäringu protsessi kordama [15].



Sele 6.1. SMBus tüüpi suhtluse andmepaketid [15]

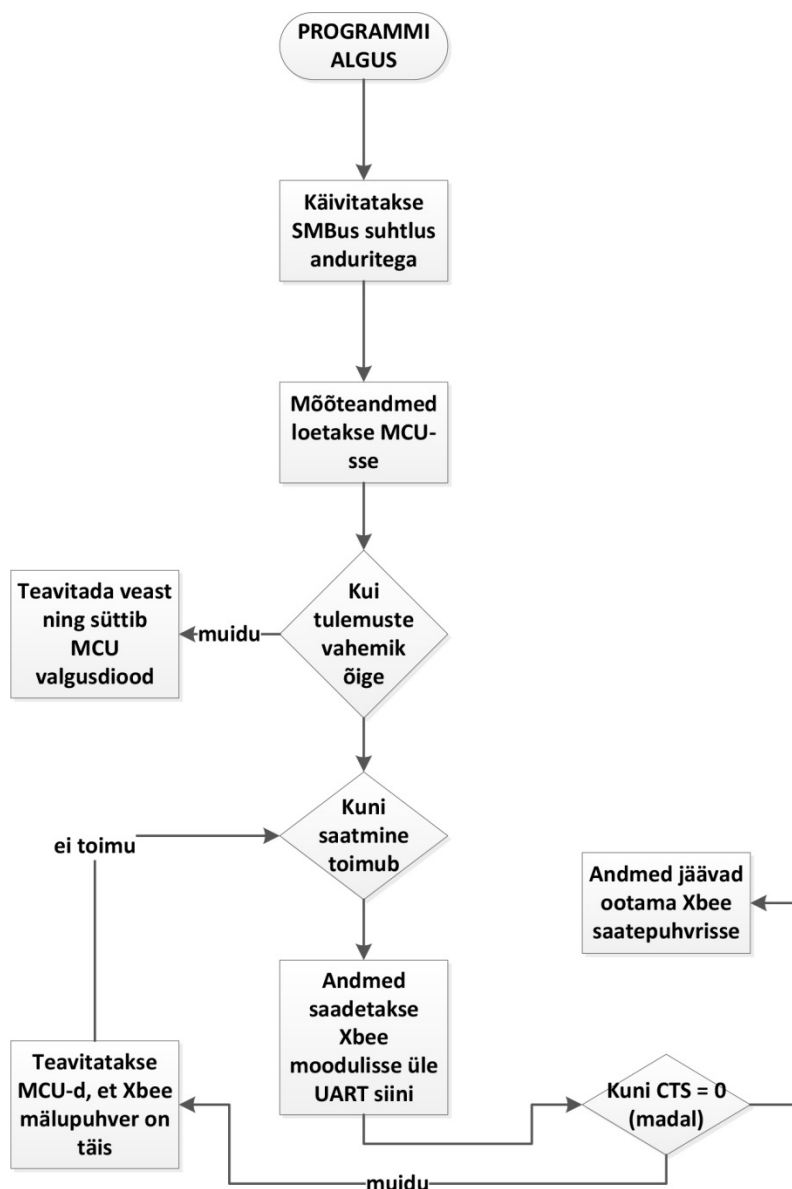
Andurite suhtluse üldine topoloogia disainiti järgnevalt: esmalt proovitakse ühendust saada esimese anduriga, kui ei saada ühendust, siis võetakse ette järgmine ning rotateerumine käib seni, kuni saavutatakse stabiilne ühendus. „NACK“ bit seab kõrgeks MCU valgusdiodi ning kui saabub esimene „ACK“ bit, siis kustub diod ära. Õigeks SMBus suhtluse häälestuseks valitud anduri ning mikrokontrolleri vahel leiti näiteid küllaga ning käesoleva töö läbiviijale jääb vaid häälestuse ülesanne, anduritele sobivate ID-de määramine ning suhtluskiiruse sobilik valimine.

Esimesed katsetused valitud sensorite andmeside ja töö verifitseerimiseks tehti kasutades internetis leiduvaid näidiskoode millega veenduti, et anduritel oleks ikka piisav täpsus ning valitud andurite vaateväli on sobilik [18]. Katsetused hõlmasid endas ühe anduriga samade pindade mõõtmist, mis on kirjeldatud andurite valikul seletatud protsessil. Veenduti lähtekoodi toimimises ning valitud andurite ja termopaariga mõõdetud tulemuste sobivuses. Mõõtmised tehti taaskord kahel pinnal – plastikpind toatemperatuuril ja soe mootoriplokk. Täiendavalt kontrolliti üle, et tulemused ei erineks rohkem kui oli käsimõõdiku erinevus termopaari tulemustest.

6.2 UART suhtlus mikrokontrolleri ja Xbee vahel.

Xbeest tinigituna peab mikrokontrolleri ning saatja vahel andmevahetus toimima kasutades UART protokollit. Saadetavad andmed sisenevad Xbee moodulisse läbi „DI“ väljaviigu. Kui andmeid ei saadeta, siis signaal püsib kõrgena. Iga saadetud andmepakett sisaldab algusbitti (i.k. *start bit*), 8 andmebaiti (i.k. *data bytes*) ja lõpubitti (i.k. *stop bit*) [18]

Mõlema seadme UART peab olema seadistatud sobivalt – eelkõige tähendab see klappivaid siinikiiruseid.



Sele 6.2. Mikrokontrolleri poolt hallatava suhtluse algoritm

6.3 Raadioside seadistus

Autol peavad omavahel suhtlema 4 erinevat Xbee moodulit, mis tähendab, et raadioside nõuab kindlasti mingisugust protokollit ja peenemat seadistust. Andmeid on ka võimalik edastada kasutades lihtsaimat edastusrežiimi – *peer-to-peer mode* – kuid tõenäosus, et mingid paketid võivad kaotsi minna on liiga suur. Xbee poolt pakutavatest seadistustest parim on raadioside toimimine lähiala võrgu režiimis (i.k. *Personal Area Network – PAN*).

Sellise seadistuse puhul on kogu raadioside võrk jagatud koordinaatori (i.k. *Coordinator Device*) ja lõpp-seadmete (i.k. *End Device*) vahel. Igal seadmel sellises võrgustikus on oma unikaalne identifikaator, kusjuures kõik lõpp-seadmed ühenduvad koordinaatoriga, kuid omavahel ühendus puudub. Suhtluse topoloogia on organiseeritud sedasi, et kogu info käib läbi koordinaatori. Seni kuni koordinaator pole andmeid küsinud, salvestavad lõpp-seadmetena konfigureeritud Xbee moodulid mõõtetulemusi integreeritud puhvermälusse. Kui puhvrimaht täis saab, siis lähevad andmed kaotsi, kuid selle tekkimisel ei tohiks ohtu olla, kuna juhtmetel põhinevate andmesidede kiirused planeeriti madalamaks, kui raadioside kiirused. Sellise suhtluse saavutamiseks peab olema Xbee seadistatud „*Unicast*“ nimelises režiimis, mis lubab uuesti saata pakette ning tuleb kasutada nõ „kaudset“ ülekannet (i.k. *indirect transmission*), mis lubab andmete küsimise koordinaatori poolt.

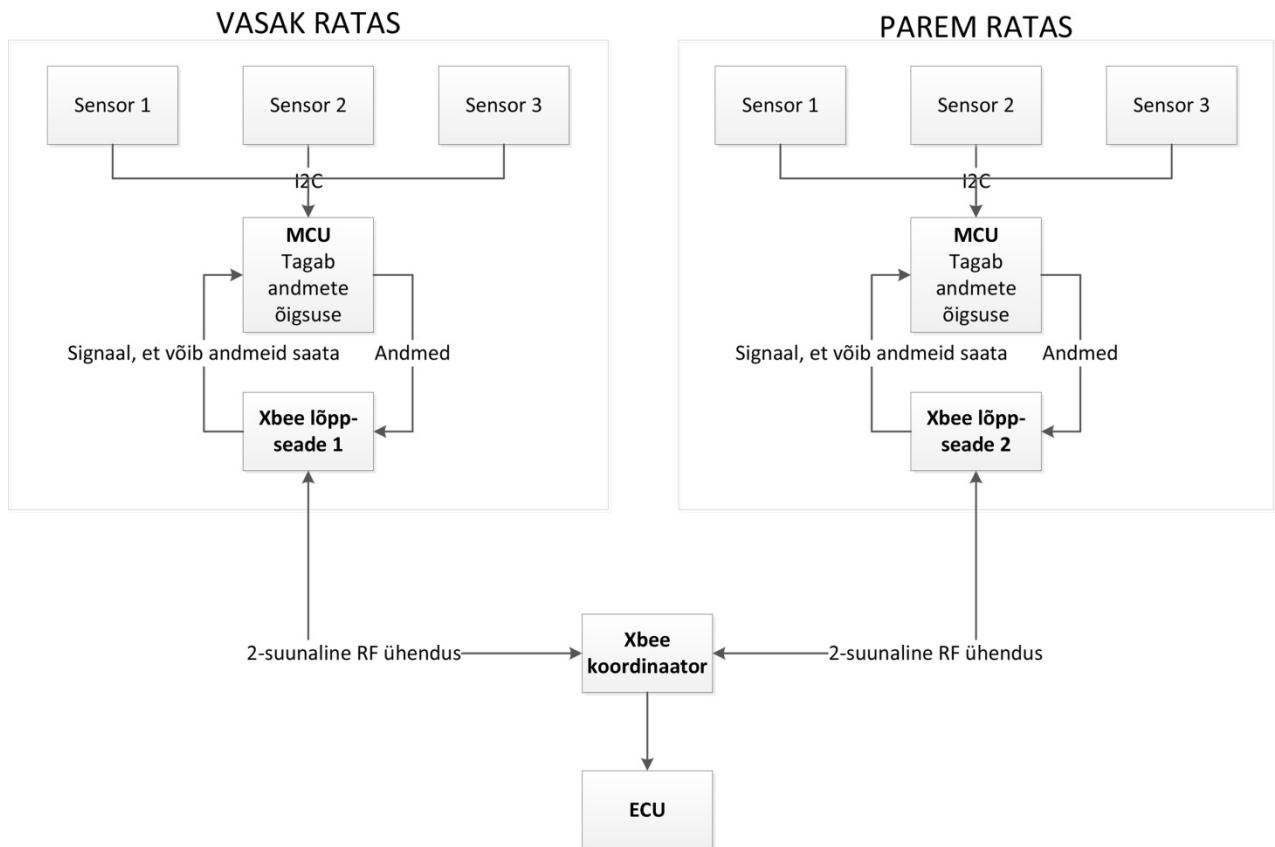
Nende seadistuste saavutamiseks peab Xbee konfiguratsioonifailis määrama kindlatel parameetritel bittide väärtused. Eelnevalt peavad moodulid olema seadistatud vastavalt lõpp-või koordinaator seadmeks kasutades „*CE*“ (i.k. *Coordinator Enable*) parameetrit. Kui „*CE*“ väärtus on „1“, siis tegemist on koordinaatoriga ning „0“ korral on moodul kasutusel lõpp-seadmena [18].

Lõpp-seadmel (A1 parameeter):

- Bit0 – Reassign PanID: 0 (suhtleb ainult koordinaatoriga, mis on samas PanID-ga võrgus)
- Bit1 – ReassignChannel: 1 (kanal ei pea koordinaatori kanaliga kattuma)
- Bit2 – AutoAssociate: 1 (seade roovib ühilduda seni kuni see on saavutatud)
- Bit3 – PollCoordOnPinWake: ei ole PAN süsteemi korral oluline, mis väärtust omab

Koordinaatoril (A2 parameeter):

- Bit0 – ReassignPanID: 0 (koordinaator ei otsi vaba PanID-d vaid töötab omale määratud ID raames)
- Bit1 – ReassignChannel: 1 (koordinaator teostab energia skanneeringu, mille põhjal valitakse vaba kanal ning opereeritakse sellel)
- Bit2 – AllowAssociation: 1 (koordinaator lubab teistel seadmetel ühilduda endaga)



Sele 6.3. Kogu andurite suhtluse blokk-diagramm

KOKKUVÕTE

Käesoleva balaureusetöö raames on projekteeritud vormelautole FEST14 kontaktivabad infrapuna rehvi temperatuuri andurid, mis suudavad edastada andmed juhtajule. Seade peab tagama täpsema vormelauto häälestuse ning parema ettevalmistuse võistlussõitudeks. Projekteerimisel üritati kasutada võimalikult palju valmislahendusi ning malli võtta toimivatelt süsteemidelt.

Mehaanilise lahenduse arendamisel suurimateks probleemideks osutusid korpuse tugevuse ning veekindluse tagamine, samas säilitades kompaktne suurus. Lisaks seisnes ka korpuse kinnituse tehnoloogilises õige geomeetria ning kinnituspunktide valikus.

Elektronikas oli eelkõige peamine probleem trükkplaadi disainimise alustalade mõistmisel ning programmi Altium kasutama õppimisega. Samas komponentide valik osutus lihtsamaks tänu Oshino Electronics firmakülastusele.

Tarkvaraliste probleemide lahendamises pidas projekteerija ennast kõige ebakompetentsemaks. Seetõttu kasutati töös võimalikult palju valmis kirjutatud teeke. Samas esmakordselt oli autol 4 Xbee moodult korruga ning nende suhtluse topoloogia välja mõtlemine ning õige režiimi vaik oli piisavalt keeruline, kuid samas jõukohane ülesanne. Põhiline ülesanne kogu süsteemi arendusel seisnes andmete kaotsi mineku vältimises.

Selle uurimistöö raames tehti katseid valitud sensorite ning lähtekoodi verifitseerimiseks. Katsetusi raadioside toimimiseks ei jõutud läbi viia. Sellest olenemata saab väita, et süsteem on kasutuskõlbulik, kuna raadioside toimib ka *peer-to-peer* režiimis, mis on tegelikult auto peal juba testitud lahendus. Täiendavalt võib öelda, et süsteemi kasutamisel ei sea miski riistvaralisi piiranguid, kuna eelnevalt on olemas variante, kus on RF side koostatud rohkematest moodulitest ja edastatud ka suuremaid andmemahte.

Lisaväärtust annab süsteemile fakt, et projekteeriti lahendus, kus kinnituse valmistamine on kõige soodsam protsess. Selle uuesti valmistamisel on võimalik andurit kinnitada mitmete erinevate vormelautode külge, sealhulgas ka Formula Student Team Tallinna tulevikus valmistatud prototüüpidele.

SUMMARY

Main objective of this bachelor thesis was to design a contact free tire temperature measurement system that would take precise measurements and also log data to Motec SDL3 dashboard. Main goal of that type of system is that it ables the team to achieve more precise suspension settings and better end-results in races. General design rule was to use already tested solutions as much as possible.

In case of mechanical design, main difficulties were achieving a water-resistant enclosure for the electronics, while sustaining a compact form factor. Yet another difficulty was the attachment of the whole enclosure with the PCB board. For this a support with custom geometry was designed and analysed.

In electronics the main problem was the lack of understandig of basic electrical engineering rules for automotive design. For better understanding a visit to Oshino Electronics was organised. This thankfully made the choice of components fairly simple.

When starting with the project the author was most concerned about the software of the system. That is one of the main reasons why mainly open-source code and libraries were used for testing. The assignment was only made more complex with the fact that the whole car now had to facilitate 4 Xbee modules. Xbee modules do work out-of-the box, however only in peer-to-peer mode. So RF communications-wise the biggest issue was to come up with a protocol for wireless communications.

This thesis only includes the testing of sensors and open-source code for SMBus communications. The testing of RF communications is not part of this paper due to lack of time. However, the measurements data transfer will work in peer-to-peer mode without any major complications. This is already tested on the car. Furthermore, the final setup will not have any hardware limitations because there are already many applications documented which use even more Xbee modules and more data bandwidth.

Finally, the product has additional value for future use, because the attachment was designed as easily and cost-efficiently manufacturable product. This means that with couple of changes in geometry it allows the system to be used on many different racecars, including FSTT's future prototypes.

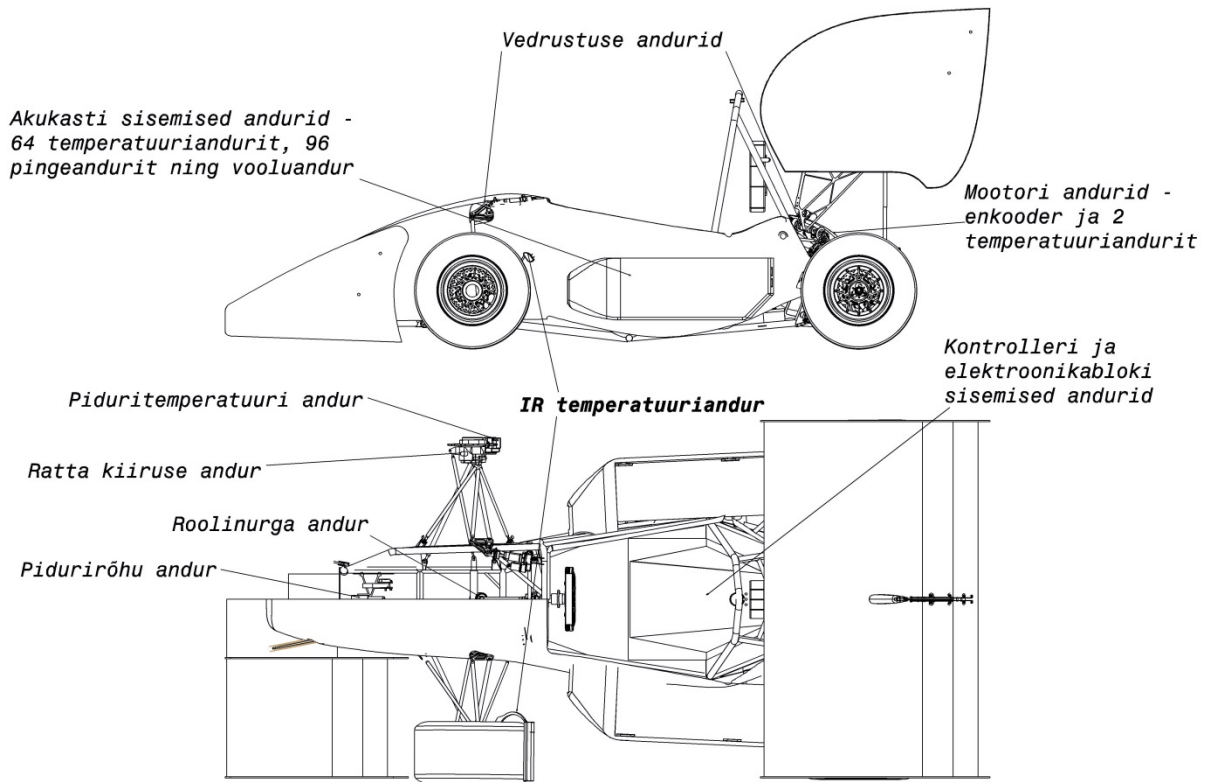
KASUTATUD KIRJANDUS

1. Temperature at the race track [WWW] <http://www.fluke.com/fluke/uses/comunidad/fluke-news-plus/articlecategories/automotive/racetracktemp.htm> (9.05.2014)
2. Tyre Testing Sensors – What was seen in Abu Dhabi [WWW] <http://scarbsf1.com/blog1/2010/12/02/tyre-testing-sensors-what-was-seen-in-abu-dhabi/> (9.05.2014)
3. Thermal Imaging F1 [WWW] <http://s3files.core77.com/blog/images/2013/09/thermalimagingf1.jpg> (10.05.2014)
4. INFKL 150 °C [WWW] http://www.texense.com/en/produits/racing-series_2/infkl-150-c-infrared-tyre-temperature-sensor-tire-formula-student-sensor_29.html (29.01.2014)
5. Temperature | Sensors | Products | McLaren Applied Technologies [WWW] <http://www.mclarenelectronics.com/Products/Catalogue/Temperature> (29.01.2014)
6. Motec > Sensors > Temperature [WWW] <http://www.motec.com/sensors/temperature/#infrared> (29.01.2014)
7. Kaz Technologies | Tire temperature measurement kit [WWW] <http://www.kaztechnologies.com/fsae/tire-temperature-measurement-kit/> (29.01.2014)
8. 2014 Formula SAE rules [WWW] http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014_fsae_rules.pdf (01.01.2014)
9. L.Cocco, P.Gazzola, S.Rapuano, L.Rossi (2008) Vibrations Measurements of Formula One Car Electronic Devices – *International Measurement Confederation*. 5. [Online] (10.05.2014)
10. 4wdmodule007.jpg [WWW] http://3.bp.blogspot.com/-PKf0sGQxqig/ThccdA5SLZI/AAAAAAAAAA8/jsM_Ax9ANKA/s1600/4wdmodule007.jpg (18.05.2014)
11. Aluminium EN AW 6082 – Ruukki [WWW] <http://www.ruukki.com/Products-and-solutions/Stainless-steel-and-aluminium-products/Aluminium-flat-products/Aluminium-EN-AW-6082> (16.05.2014)
12. File: Water jet cutter head.svg – Wikipedia, the free encyclopedia [WWW] http://en.wikipedia.org/wiki/File:Water_jet_cutter_head.svg (15.05.2014)
13. Selective Laser Sintering | Materials | Solid Concepts Inc. [WWW] <http://www.solidconcepts.com/materials/sls-materials/> (10.05.2014)

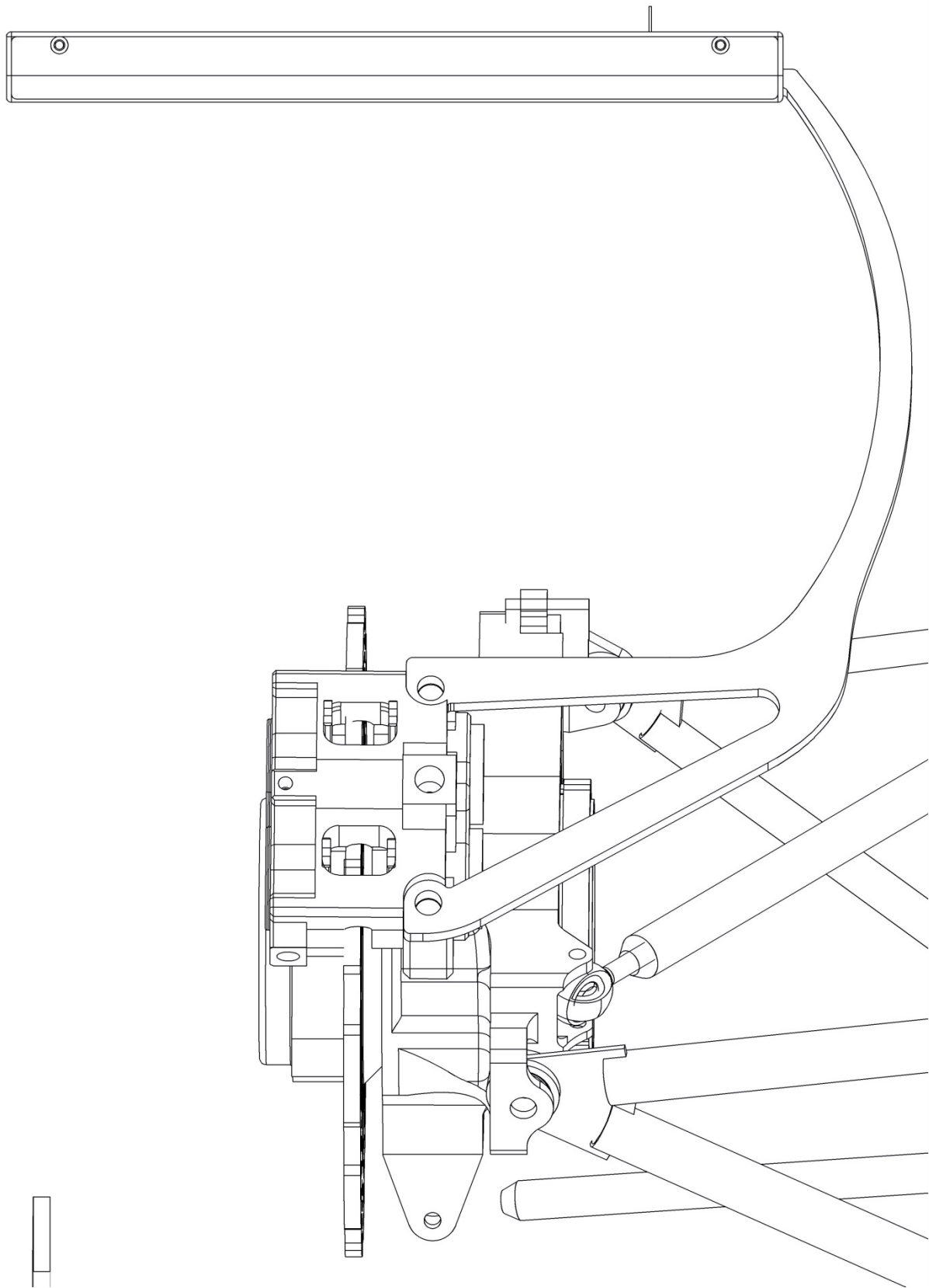
14. Laserpaagutusseade Formiga P100 < Seadmed < Masinaehituse instituut < Mehaanikateaduskond < Tallinna Tehnikaülikool – Sinu elustiil! [WWW]
<http://www.ttu.ee/mehaanikateaduskond/masinaehituse-instituut-2/seadmed/laserpaagutusseade-formiga-p100/> (18.05.2014)
15. Melexis: Hall-effect position sensors | Sensorless BLDC Motor Drivers [WWW]
<http://www.melexis.com/Assets/IR-sensor-thermometer-MLX90614-Datasheet-5152.aspx> (14.02.2014)
16. 328sm.jpeg [WWW] <http://thecustomgeek.com/wp-content/uploads/2012/09/328sm.jpeg> (15.05.2014)
17. ATmega328 [WWW] <http://www.atmel.com/devices/atmega328.aspx> (16.02.2014)
18. XBee datasheet [WWW]
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>
(22.02.2014)
19. MLX90614 Contactless Temperature Sensor Module (unassembled) [SEN_TEM_MLX_01A] – \$26.50 : Elechouse, Arduino Play House [WWW]
http://www.elechouse.com/elechouse/index.php?main_page=product_info&cPath=152_158&products_id=2241 (20.04.2014)

LISAD

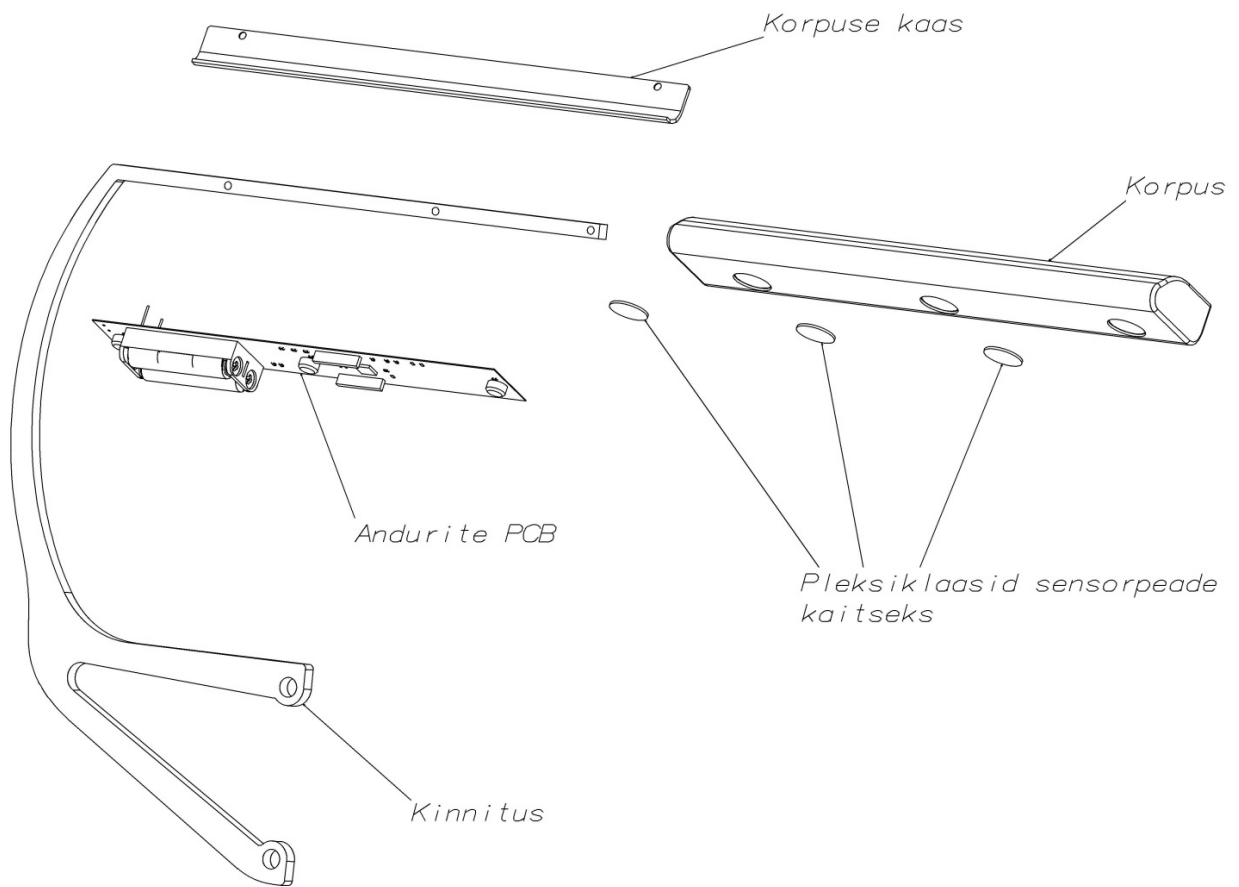
Lisa 1: Üldkoostu joonis ja kõigi andurite paiknemine autol



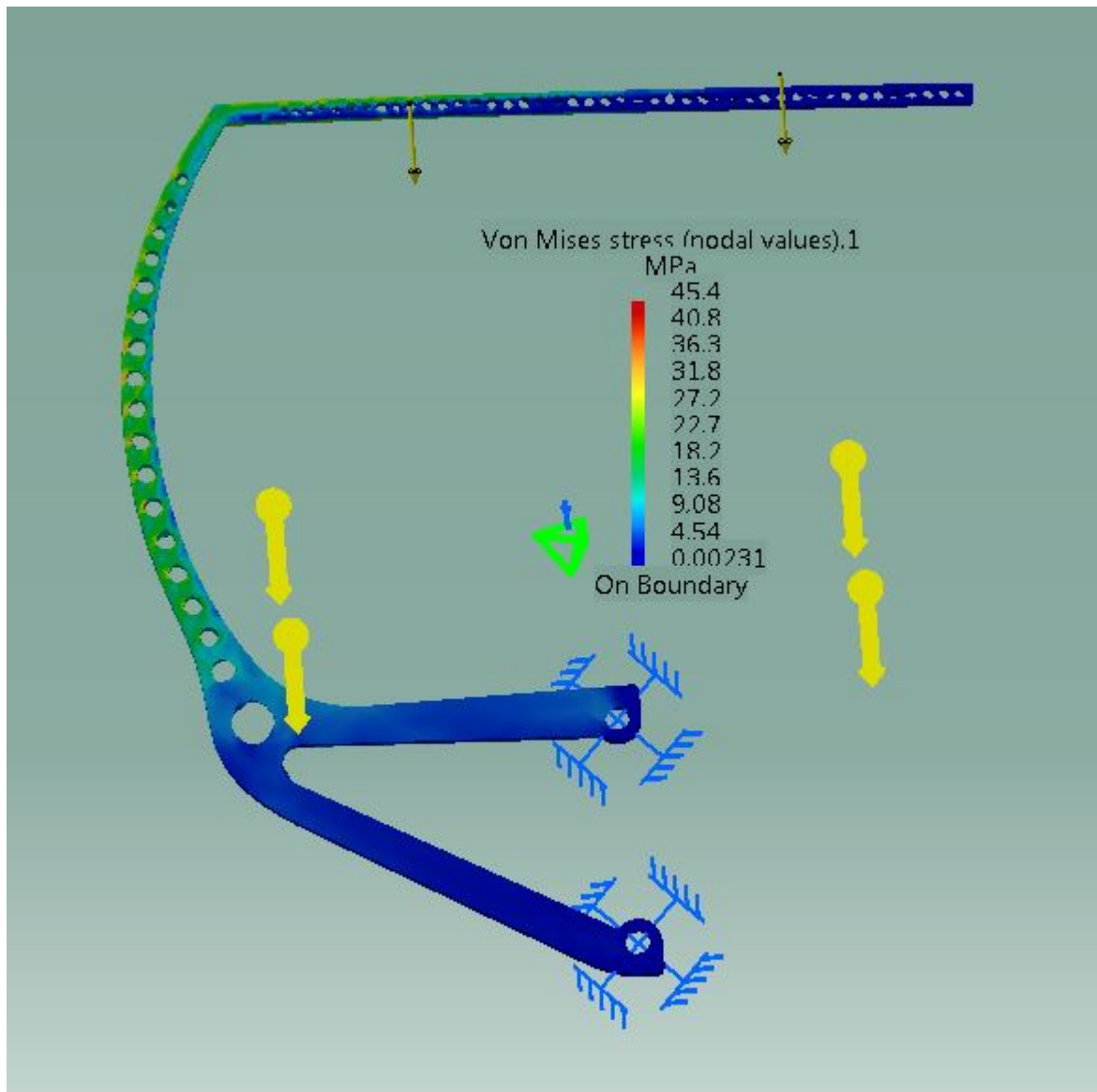
Lisa 2: Andurite koostu paiknemine käänmiku küljes



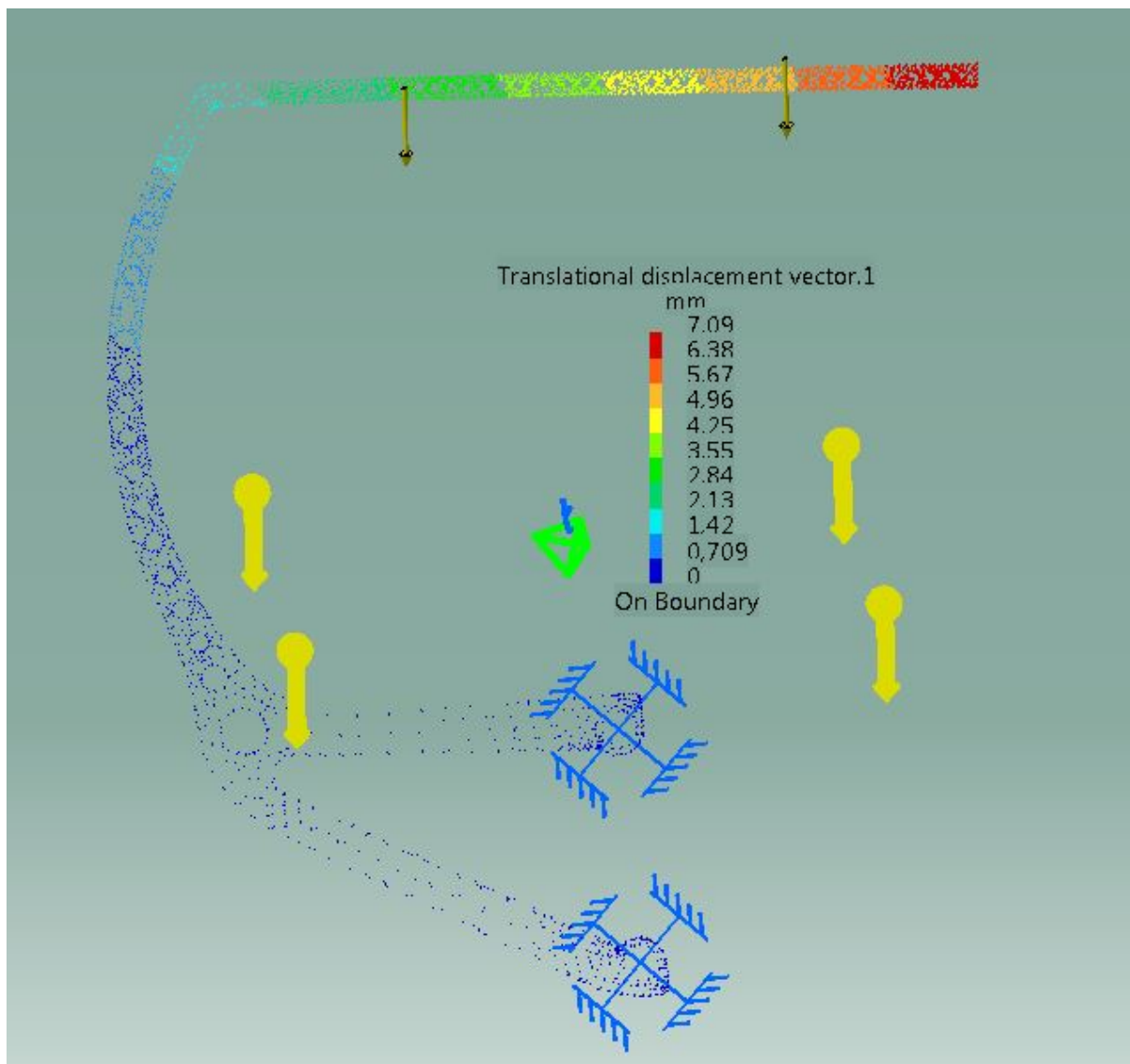
Lisa 2: Andurite koostu plahvatatud vaade



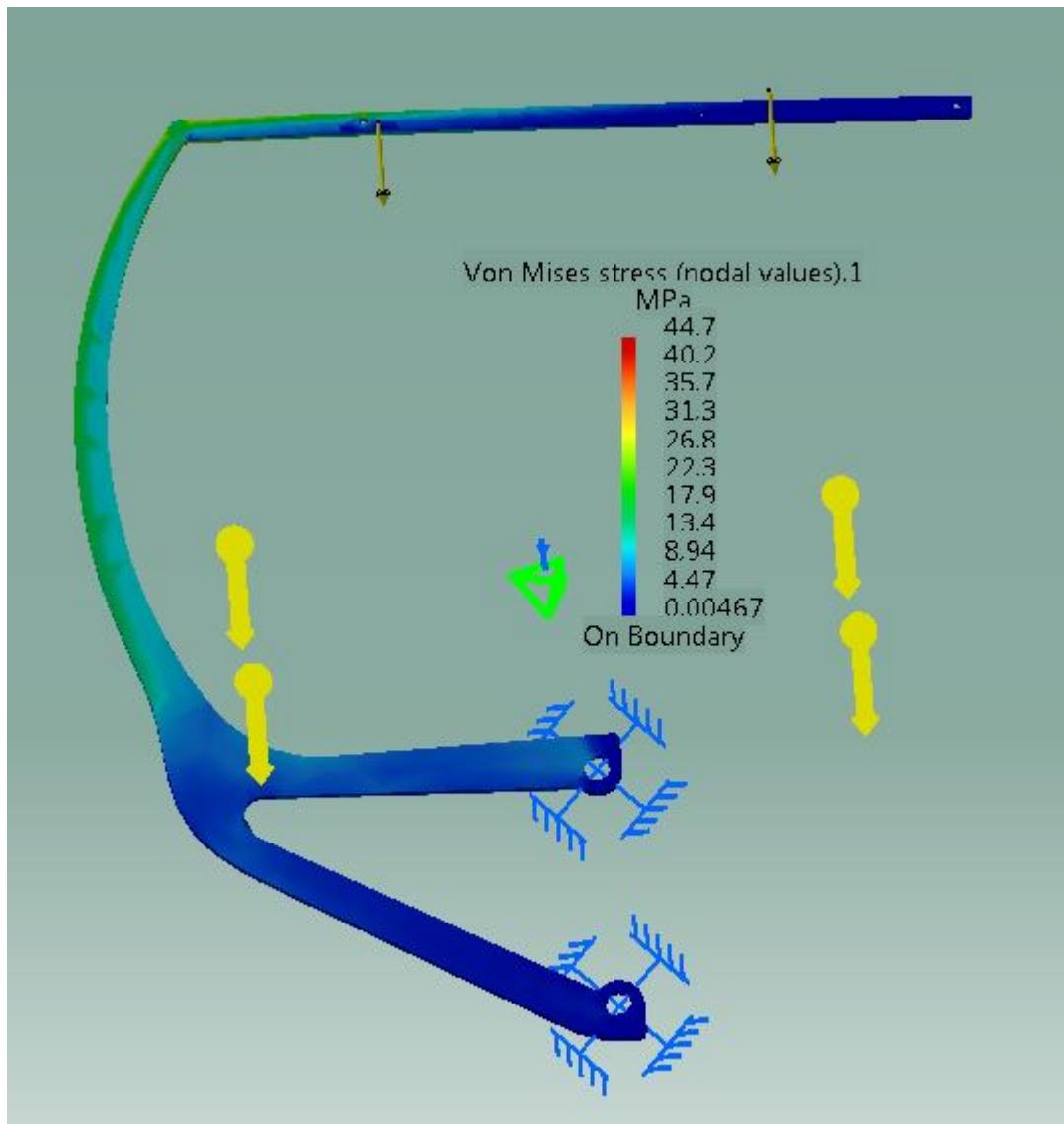
Lisa 3: Andurite esmase analüüsi ekraanitõmmis – pinged



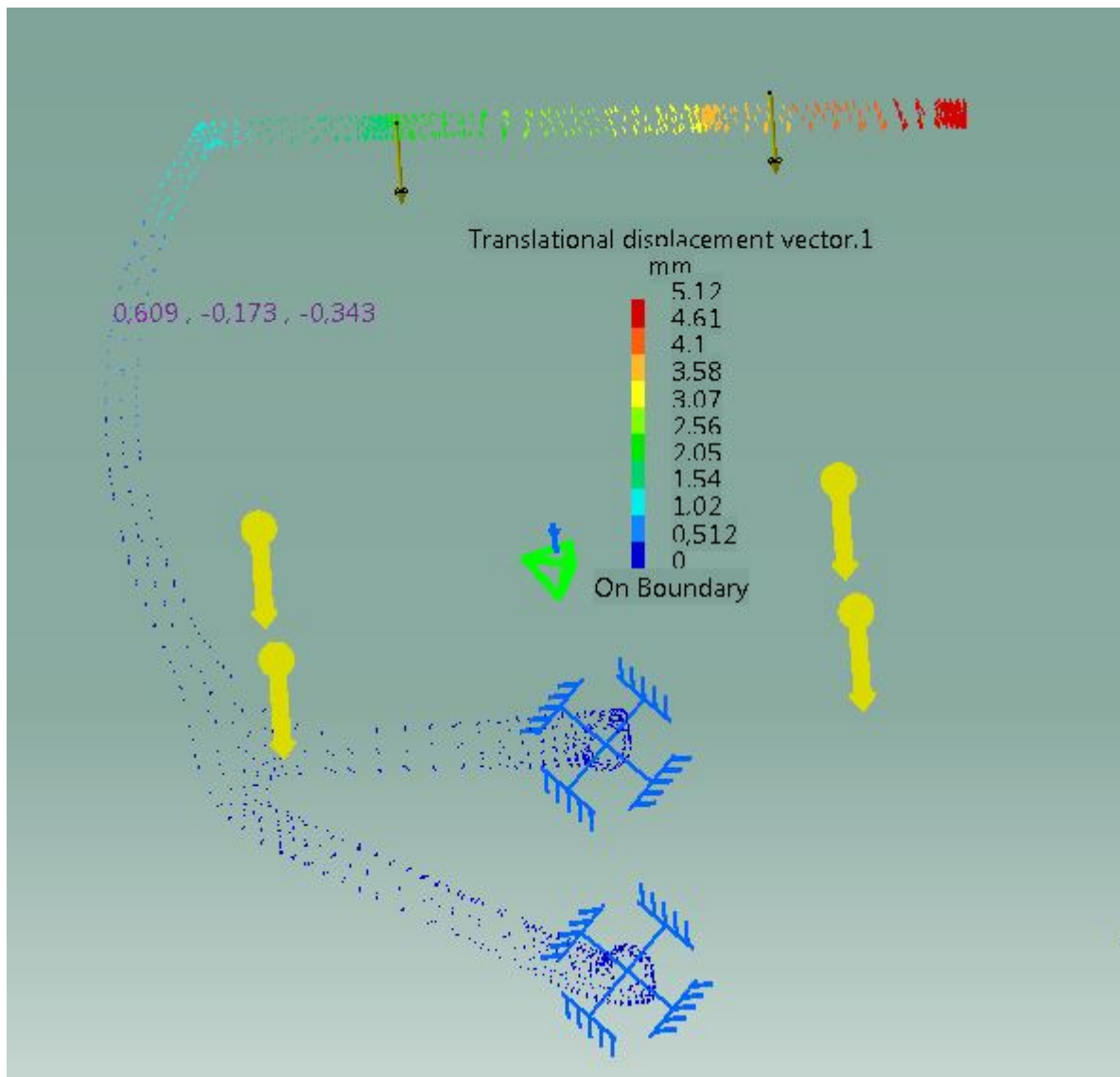
Lisa 4: Andurite esmase analüüsi ekraanitõmmis – deformatsioonid



Lisa 5: Anduri kinnituse lõpliku analüüsi ekraanitõmmis – pinged



Lisa 6: Anduri kinnituse lõpliku analüüsi ekraanitõmmis – deformaatsioonid



Lisa 7: Elektroonika komponentide nimekiri (BOM)

Bill of Materials		<Parameter Title not found>			
Source Data From:		IR_temp.PrpPcb			
Project:		IR_temp.PrpPcb			
Variant:		None			
Creation Date:		16.05.2014 14:22:11			
Print Date:		41775 41775,59882			
Footprint	Comment	LibRef	Designator	Description	Quantity
LED2012X07M	0805, GREEN, 50mcd	LED	ASS, MCU, ON	Light emitting diode	3
AAA - battery mount	AAA batteries	AAA battery	BAT1	Single-Pole, Single-Throw Switch	1
CAPC2012X06M	0805, 0.1µF	CAPACITOR	C1, C2, C21, C22	Capacitor	4
CAPC2012X06M	08085, 0.1µF	CAPACITOR	C3	Capacitor	1
CAPC2012X06M	0805, C22µF	CAPACITOR	C11	Capacitor	1
CAPC2012X06M	0805, C1µF	CAPACITOR	C12	Capacitor	1
CAPC2012X06M	0805, C2pF	CAPACITOR	C13	Capacitor	1
HDR2X332A_N	Header 3X2 ATmega328-AU	Header 3X2 ATmega328-AU	ICSP MCU	Header, 3-Pin, Dual row 8-bit AVR Microcontroller, 32KB Flash, 1KB EEPROM, 2KB SRAM, 32-pin TQFP, Industrial Grade (-40°C to 85°C)	1 1
RESC2012X07M	0805, 4K7	RESISTOR	R1, R2	Resistor	2
RESC2012X07M	0805, 10K	RESISTOR	R11	Resistor	1
RESC2012X07M	0805, R680	RESISTOR	R12, R13, R22	Resistor	3
RESC2012X07M	0805, R4K7	RESISTOR	R21	Resistor	1
SPST-2	SW-SPST	SW-SPST	S1	Single-Pole, Single-Throw Switch	1
Melexis IR sensor	Melexis IR Sensor	MELEXIS_IR_SENSOR	Sense1, Sense2, Sense3	IR temperature sensor	3
XBEE - duplicate1	Xbee	Xbee	XBEE		1
					26
Approved		Notes			

Lisa 8: Väljavõte andurite andmelehest



MLX90614 family Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39

Features and Benefits

- Small size, low cost
- Easy to integrate
- Factory calibrated in wide temperature range:
 - 40 to 125 °C for sensor temperature and
 - 70 to 380 °C for object temperature.
- High accuracy of 0.5°C over wide temperature range (0.. +50°C for both Ta and To)
- High (medical) accuracy calibration
- Measurement resolution of 0.02°C
- Single and dual zone versions
- SMBus compatible digital interface
- Customizable PWM output for continuous reading
- Available in 3V and 5V versions
- Simple adaptation for 8 to 16V applications
- Power saving mode
- Different package options for applications and measurements versatility
- Automotive grade

Applications Examples

- High precision non-contact temperature measurements;
- Thermal Comfort sensor for Mobile Air Conditioning control system;
- Temperature sensing element for residential, commercial and industrial building air conditioning;
- Windshield defogging;
- Automotive blind angle detection;
- Industrial temperature control of moving parts;
- Temperature control in printers and copiers;
- Home appliances with temperature control;
- Healthcare;
- Livestock monitoring;
- Movement detection;
- Multiple zone temperature control – up to 100 sensors can be read via common 2 wires
- Thermal relay/alert
- Body temperature measurement

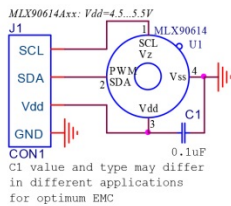
Ordering Information



Part No.	Temperature Code	Package Code	- Option Code
MLX90614	E (-40°C to 85°C) K (-40°C to 125°C)	SF (TO-39)	- X X X (1) (2) (3)
(1) Supply Voltage/ Accuracy	(2) Number of thermopiles:	(3) Package options:	
A - 5V	A – single zone	A – Standard package	
B - 3V	B – dual zone	B – Reserved	
C - Reserved	C – gradient compensated*	C – 35° FOV	
D - 3V medical accuracy		F – 10° FOV	

Example:
MLX90614ESF-BAA * : See page 2

1 Functional diagram



MLX90614 connection to SMBus

Figure 1 Typical application schematics

2 General Description

The MLX90614 is an Infra Red thermometer for non contact temperature measurements. Both the IR sensitive thermopile detector chip and the signal conditioning ASSP are integrated in the same TO-39 can.

Thanks to its low noise amplifier, 17-bit ADC and powerful DSP unit, a high accuracy and resolution of the thermometer is achieved.

The thermometer comes factory calibrated with a digital PWM and SMBus (System Management Bus) output.

As a standard, the 10-bit PWM is configured to continuously transmit the measured temperature in range of -20 to 120 °C, with an output resolution of 0.14 °C and the POR default is SMBus.

Lisa 9: Väljavõtte mikrokontrolleri lühendatud andmelehest



Atmel 8-bit Microcontroller with 4/8/16/32KBytes In-System Programmable Flash

ATmega48A; ATmega48PA; ATmega88A; ATmega88PA;
ATmega168A; ATmega168PA; ATmega328; ATmega328P

SUMMARY

Features

- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-Bit Microcontroller Family
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32KBytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
 - 256/512/512/1KBytes EEPROM
 - 512/1K/1K/2KBytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Atmel® QTouch® library support
 - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
 - QTouch and QMatrix® acquisition
 - Up to 64 sense channels
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - 0 - 4MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20MHz @ 4.5 - 5.5V
- Power Consumption at 1MHz, 1.8V, 25°C
 - Active Mode: 0.2mA
 - Power-down Mode: 0.1µA
 - Power-save Mode: 0.75µA (Including 32kHz RTC)

8271G5-AVR-02/2013

Lisa 10: Väljavõte XBee raadioside mooduli andmelehest

1. XBee®/XBee-PRO® RF Modules

The XBee and XBee-PRO RF Modules were engineered to meet IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.



Key Features

Long Range Data Integrity

XBee

- Indoor/Urban: up to 100' (30 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 300' (90 m)
- Transmit Power: 1 mW (0 dBm)
- Receiver Sensitivity: -92 dBm

XBee-PRO

- Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 200' (60 m) for International variant
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1600 m), 2500' (750 m) for International variant
- Transmit Power: 63mW (18dBm), 10mW (10dBm) for International variant
- Receiver Sensitivity: -100 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements
DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
Each direct sequence channels has over 65,000 unique network addresses available
Source/Destination Addressing
Unicast & Broadcast Communications
Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported

Low Power

XBee

- TX Peak Current: 45 mA (@3.3 V)
- RX Current: 50 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 μ A

XBee-PRO

- TX Peak Current: 250mA (150mA for international variant)
- TX Peak Current (RPSMA module only): 340mA (180mA for international variant)
- RX Current: 55 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 μ A

ADC and I/O line support

Analog-to-digital conversion, Digital I/O
I/O Line Passing

Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications
Free X-CTU Software (Testing and configuration software)
AT and API Command Modes for configuring module parameters
Extensive command set
Small form factor

Worldwide Acceptance

FCC Approval (USA) Refer to Appendix A [p64] for FCC Requirements. Systems that contain XBee®/XBee-PRO® RF Modules inherit Digi Certifications.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) **2.4 GHz frequency band**

Manufactured under **ISO 9001:2000** registered standards

XBee®/XBee-PRO® RF Modules are optimized for use in the United States, Canada, Australia, Japan, and Europe. Contact Digi for complete list of government agency approvals.



Lisa 11: Formula Student Team Tallinna *Design Spec Sheet* leht 1

FSAE Electric Design Spec Sheet

2013

Competitors: Please read the Instructions-Tips (tab below) prior to the completion and submission of this sheet.

Car No.	44
School	Tallinn UAS

Dimensions	Front	Rear
Overall Length, Width, Height	3008 mm long, 1420 mm wide, 1088 mm high	
Wheelbase	1540 mm	
Track Width	1210 mm	1167 mm
Mass with 68kg driver seated	142 kg	160 kg

Suspension Parameters	Front	Rear
Suspension Type	Double unequal length A-arms. Push rod actuated Penske 7800 dampers.	Double unequal length A-arms. Push rod actuated Penske 7800 dampers.
Tire Size, Compound and Make	18.0 x 7.5-10 R25B Hoosier	18.0 x 7.5-10 R25B Hoosier
Wheels (width, construction)	8,0x 10'' 1 mm offset, 3 pc Al Rim	8,0x 10'' -25 mm offset, 3 pc Al Rim
Center of Gravity Design Height	280 mm, confirmed via tip test	
Suspension design travel	34 mm jounce/ 26 mm rebound	34 mm jounce/ 26 mm rebound
Wheel rate (chassis to wheel center)	30,7 N/mm	38,5 N/mm
Roll rate (chassis to wheel center)	0,66 degrees per g	
Sprung mass natural frequency	3,45 Hz	3,57 Hz
Jounce Damping	67% of critical damping at 50 mm/sec	54 % of critical damping at 50 mm/sec
Rebound Damping	37% of critical damping at 50 mm/sec	30 % of critical damping at 50 mm/sec
Motion ratio / type	0.70 / linear	0.70 / linear
Rate of Camber Change- Ride Camber (deg / m)	0.04 deg / m	0.06 deg / m
Roll Camber (deg / deg)	0.36 deg / deg	0.33 deg / deg
Static Toe	0.0 deg	0.0 deg
Static camber and adjustment method	-0.5 deg, adjustable via shim plates on upright	-0.5 deg, adjustable via shim plates on upright
Front Caster and Kinematic Trail	6.0 degrees, adjustable by length of A-arm, 10 mm trail	
Front Kingpin Axis Inclination and Offset	7.31 degrees non-adjustable, 28 mm offset	
Static Ackermann and adjustment method	97.4 % non-adjustable	
Anti dive / Anti Squat	24%	20 % / 107% (two adjustment positions)
Roll center position static	28 mm / 47 mm above ground (adjustable)	25 mm / 47 mm above ground (adjustable)
Roll center position at 1g lateral acc	28.1 mm above ground, 2.1 mm toward unladen side	25 mm above ground, 1.5 mm toward laden side
Steer location, Gear ratio, Steer Arm Length	Front steer, 106.8 mm c-factor, 82 mm steer arm	

Brake System / Hub & Axle	Front	Rear
Rotors	Floating, Steel, hub mounted, 195mm outer diam., 144mm inner diam., vented	Floating, Steel, hub mounted, 195mm outer diam., 144mm inner diam., vented
Master Cylinder	ISR 21-010, 14 mm pistons, student designed and manufactured pushrods	
Calipers	ISR 22-048, Piston dia. 25mm (4x), fixed mtg, student made Ti pistons	ISR 22-049, Piston dia. 25mm (2x), fixed mtg, student made Ti pistons
Pedal Force and Line Pressure @ 1g decel	230 N, 21.3 bar	230 N, 23.5 bar
Upright Assembly	CNC 7075-Al, integral caliper mount and pushrod mount (adjustable)	CNC 7075-Al, integral caliper mount and pushrod mount
Hub Bearings	Single row deep groove ball bearings. Low-friction rubber seals	Single row deep groove ball bearings. Low-friction rubber seals
Axle type, size, and material	Fixed spindle, OD = 80mm ID=76, Al 7075	Rotating axle, OD = 80mm, Al 7075

Ergonomics	
Driver Size Adjustments	Fixed steering wheel, three positions for pedals.
Seat (materials, padding/damping)	Carbon fibre seat / Two component foam inserts for each driver
Driver Visibility (angle of side view, mirrors?)	210 degree side visibility, no mirrors
Shift Actuator (type, location)	N/A
Clutch Actuator (type, location)	N/A
Instrumentation	MoTec SDL3, anti-roll bar adjustment for driver

Electrical Power/Control/Systems Management	
Power Distribution Management / Control	Relay box
Wiring / Loom / ECM mounting	Colored and numbered wires, silicone insulation, wiring loom removable from car

Lisa 12: Formula Student Team Tallinna *Design Spec Sheet* leht 2

Battery / Charging System	LiCo, 6,3 Ah, 16V, No charging
Grounding	Grounded to frame
Driver Assist Systems	N/A
Logging / Telemetry	Motec SDL3 Dash Datalogger, team designed telemetry system, Xbee PRO modules
Special Sensing Technology	Brakefluid temperature measurement

Frame	
Frame Construction	Tubular space frame
Material	25CrMo4 steel round tubing 14mm to 30mm diam.
Joining method and material	TIG welding, EN ISO 636-A (ER70S-6)
Targets (Torsional Stiffness or other)	2200 N-m / deg
Torsional stiffness and validation method	2430 N-m/deg FEA model, 2279 N-m/deg physical test
Bare frame mass with brackets and paint	32 kg
Crush zone material	Aluminium core
Crush zone length	200 mm
Crush zone energy capacity	physical test -- 7.585 kJ

Tractive System	Front	Rear
Motor Manufacturer / Model / Type	N/A	Yasa-750
Number of Motors / Location(s)	N/A	One motor, central mounted
Motor Driven Wheels (location)	N/A	Rear
Maximum RPM (1/min) / Maximum Torque (Nm)	N/A	2000 RPM / 750 Nm
Maximum Torque until xx RPM	N/A	1300 RPM
Maximum Power (per motor)	N/A	85 kW peak power (55kW continuous)
Significant Motor Modifications	N/A	Self-designed and made outputshaft
Type of Motor Controller(s)	N/A	Sevcon Gen4
Motor Speed Sensors	N/A	Sumida Oxford Yasa rps P5 R74,5
Nominal Motor Voltage	N/A	3 phase, 380 Volts
Accumulator Cell Manufacturer / Type	N/A	Melasta, LIPO
Nominal Cell Voltage / Capacity	N/A	3,7 Volts / 6800 mAh
Accumulator Cell Technology	N/A	LiCo
Accumulator Cell Configuration	N/A	96s4p
Accumulator Voltage (fully charged)	N/A	403,2V
Combined Accumulator Capacity	N/A	10,08kWh
Coolant System and Radiator Location	N/A	Liquid cooling, rear mounted radiator

Drivetrain	
Drive Type	Chain drive, non O-ring steel chain (520)
Differential Type (if used)	Drexler Motorsport GmbH, clutch pack limited slip
Final Drive Ratio	1,35 : 1
Vehicle Speed @ max power (design) rpm	125km/h
1st gear, 2nd gear	N/A
3rd gear, 4th gear	N/A
5th gear, 6th gear	N/A
Half shaft size and material	20mm OD, 14mm ID, Cr-Mo-V alloyed steel, hollow
Axle Joint type	Taylor Race FSAE tripods

Aerodynamics (if applicable)	
Type / Configuration	Front-Fixed main with adjustable flaps, Rear- adjustable main with adjustable flaps
Total Downforce and Drag (scale using incl. note)	Downforce =1550N @ 75km/h, Drag =590N @ 75km/h
Aero Balance (% Front, at v=115kph)	50 % front (adjustable)
Noteable Features (active, etc)	Various setup possibilities, driver controlled drag reduction system

Other Information	
Body Work (material, process)	Designed by industrial design students, carbon fiber structure
Optional Information	Wireless controls on steering wheel