



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

MEHITAMATA MAASÕIDUKITE OHUTUSEGA SEOTUD SENSOORIKA
JA SEADUSANDLUS

BAKALAUREUSETÖÖ

MEHHATROONIKA ÕPPEKAVA
EE40LT

Üliõpilane:	Tõnis Soodla
Üliõpilaskood:	121152MAHB
Juhendaja:	Maido Hiimaa

2017

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Lõputöös kasutatud kõik teiste autorite tööd ja seisukohad ning materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis juhendamisel

“.....” 201...a.

Töö autor:

/allkiri/

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele

“.....”201...a.

Juhendaja:

/allkiri/

Lubatud kaitsmisele

“.....”201... a.

..... õppekava lõputööde kaitsmiskomisjoni esimees:

/allkiri/

BSC LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

2017 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Tõnis Soodla, 121152MAHB (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava: MAHB02/13
Eriala: Mehhatroonika
Juhendaja: Teadur, Maido Hiimaa (amet, nimi)

LÕPUTÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Mehitamata maasõidukite ohutusega seotud sensorika ja seadusandlus

(inglise keeles) Safety-related Sensorics and Legislation of Unmanned Ground Vehicles

Töös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise Tähtaeg
1.	Mehitamata maasõidukite ajaloo ja turuolukorra uurimine ning kaardistamine.	23.03.2017
2.	Mehitamata maasõidukitega seotud riskianalüüsi valmimine, seaduste ja standardite läbi töötamine.	15.04.2017
3.	Andurite ja tehnoloogiate toimimisprintsipi uurimine, mehitamata maasõidukite sensorika kaardistamine ning soovitude välja pakkumine sõidukite ohutumaks tegemisel.	03.05.2017
4.	Töö üheks tervikuks modelleerimine.	19.05.2017
5.	Töö vormistamine, trükkimine ja köitmine.	24.05.2017

Lahendatavad insertehnilised ja majanduslikud

probleemid: Analüüsida mehitamata maasõidukite ohutusega seotud sensorikat ja regulatsioone ning pakkuda välja majanduslikult optimaalseid võimalusi, kuidas muuta sensorika abil mehitamata maasõidukeid ohutumaks.

Töö keel: eesti keel

Kaitsmistootlus esitada hiljemalt 15.05.2017

Töö esitamise tähtaeg 25.05.2017

Üliõpilane: Tõnis Soodla /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja: Maido Hiimaa /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

AUTORIDEKLARATSIOON	2
BSC LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	3
SISUKORD	4
EESSÕNA.....	6
SISSEJUHATUS.....	7
1. MEHITAMATA MAASÕIDUK.....	8
1.1 Mehitamata maasõiduki ajalugu	8
1.2 Mehitamata maasõidukite olukord maailmas	12
2. MEHITAMATA MAASÕIDUKITE OHUTUS, SEADUSANDLUS JA STANDARDID	13
2.1 Ohutus	13
2.2 Riskianalüüs	14
2.2.1 Mehitamata maasõidukite hooldamine	16
2.3 Mehitamata maasõidukite seadusandlus	16
2.3.1 Mehitamata maasõidukite seadusandlus Eestis.....	16
2.3.2 Mehitamata maasõidukite seadusandlus väljaspool Eestit.....	18
2.4 Standardid	19
2.4.1 Elektromagneetiline ühilduvus.....	19
2.4.2 Akustika ja müra	19
2.4.3 Ohutusnõuded juhtimissüsteemidele	20
3. SENSOORIKA	21
3.1 Sensorika analüüs	21
3.1.1 Ultrahelisensor	21
3.1.2 Infrapunasensor.....	22
3.1.3 LIDAR	22
3.1.4 RADAR.....	23
3.1.5 Optiline kaamera	23
3.1.6 GPS ja DGPS	24

3.1.7	Kiirendusmõõtur ja güroskoop	25
3.1.8	Kooder	26
3.2	Positsioneerimine ja navigatsioon	28
3.2.1	Lähiümbruse sensorika ja takistuste registreerimine.....	29
3.3	Mehitamata maasõidukite kategoriseerimine sensorite vaatevälja järgi.....	29
3.4	Sensorite tüüpilised kombinatsioonid, majanduslik mõistlikkus ja rakendamine ohutuse vaatenurgast.....	30
3.4.1	Erinevate sensoritehnoloogiate võrdlus.....	31
3.4.2	Majanduslik analüüs erinevate sensorite kasutamisel	32
3.4.3	Sensorite tüüpilised kombinatsioonid praktikas	33
3.5	Mehitamata maasõidukite ohutuse tagamine sensoritega	39
3.5.1	Sensorika kokkupõrkeohu vältimiseks.....	39
3.5.2	Sensorika vältimaks juhtimissüsteemi häireid.....	39
3.5.3	Sensorika kukkumise vältimiseks.....	40
	KOKKUVÕTE.....	41
	SUMMARY	43
	KASUTATUD KIRJADUSE LOETELU	45
	LISAD.....	50
	Lisa 1 Joonised	51

EESSÕNA

Antud töö sai alguse ettevõtte Milrem sooviga saada lõputööd teemal „Võimalused, regulatsioonid ja piirangud autonoomsete sõidukite juhtimiseks“ ning teema sai võetud Tallinna Tehnikaülikooli mehhatroonikainstituudi kodulehelt.

Kuna ettevõtte soovid ajapikku muutusid ning ei olnud enam otsest huvi eelneva teema vastu, siis jäi põhiliseks huvipoleks Tallina Tehnikaülikool ning muutusid antud töö rõhuasetused regulatsioonide pealt ohutuse peale ning sinna sai kaasatud ka sensorika pool, mis on üks põhilisi komponente ohutuse tagamisel – seetõttu pealkiri: „Mehitamata maasõidukite ohutusega seotud sensorika ja seadusandlus“.

Sooviksin tänada oma juhendajat Maida Hiemaad, kes oli antud töö valmimisel alati abiks ning kellega oli lõputöö kirjutamise protsessi käigus väga hea koostöö.

SISSEJUHATUS

Mehitamata maasõiduk (inglise keeles: *Unmanned ground vehicle*) on ükskõik missugune mehhaniseeritud seade, mis liigub mööda maapinda ning mille eesmärgiks on kindla ülesande täitmine, sealhulgas millegi transportimine või kandmine, kuid see ei pea olema ilmtingimata inimene.

Mehitamata maasõidukite turgu on hinnatud 2016. aastal 1,49 miljardi USA dollari väärtuseks ja prognooside kohaselt jõuab see 2021. aastaks 2,63 miljardi USA dollarini. [1,2]

Antud töö on kirjutatud eesmärgiga analüüsida mehitamata maasõidukite ohutusega seotud sensorikat ja regulatsioone ning pakkuda välja võimalusi, kuidas muuta sensorika abil mehitamata maasõidukeid ohutumaks. Teema on aktuaalne, kuna Eestis arendatakse välja erinevaid mehitamata maasõidukeid, nagu näiteks Milremi roomiksõiduk või Starship Technologies pakirobot ning siiani ei ole ühtset konkreetset standardset arusaamist sellest, kuidas antud sõidukitel oleks mõistlik sensorikat ohutuse tagamiseks üles ehitada.

Autonoomsetes sõidukites nähakse tulevikku, kuid hetkel on ühtedeks suurimateks takistavateks teguriteks regulatsioonid ehk täpsemalt nende puudumine ning mure ohutuse pärast. Samas nähakse antud valdkonnas potentsiaali, et muuta liiklust sensorika ja tarkade juhtimissüsteemidega ohutumaks, kuna iga aasta hukkub üle maailma liikluses rohkem kui miljon inimest ning leitakse, et automatiseerimine suudab hukkunute arvu silmnähtavalt vähendada. [3]

Töö koosneb kolmest osast:

Esimene osa käsitleb mehitamata maasõidukite mitmekesisist ajalugu ning praegust turuolukorda eesmärgiga näidata antud valdkonna sündi, arengut läbi aegade ning tulevikusuundi. Teine osa analüüsib mehitamata maasõidukite ohutust, riskianalüüsi, seadusi ja standardeid eesmärgiga kaardistada viise, kuidas tagatakse ohutust ning kuhu suunas liigub seadusandlus mehitamata maasõidukite reguleerimisel. Kolmas osa analüüsib lähemalt erinevate andurite ja tehnoloogiate toimimisprintsipe, loob ülevaate erinevatest prototüüpidest, kunagi ja hetkel turul olevate sõidukite sensorikast, lahkab seda ohutuse ja majadusliku mõistikkuse vaatevinklist ning annab soovitusi sõidukite ohutumaks muutmiseks eesmärgiga luua arusaamine ohutusega seotud sensorikast. Töö lisadesse on asetatud erinevad väljavõtted antud valdkonda ilmestavatest standarditest.

1 MEHITAMATA MAASÕIDUK

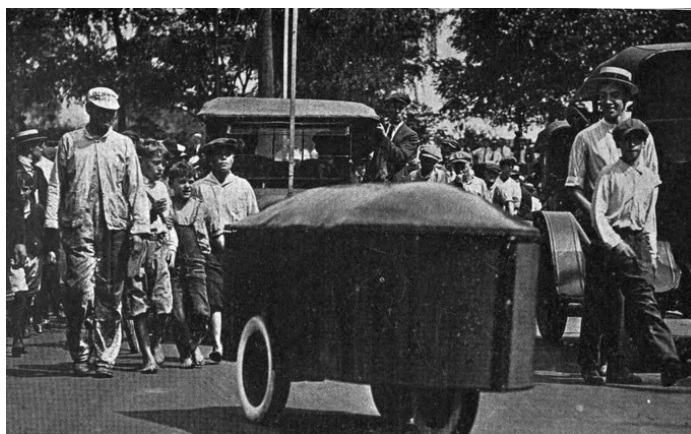
1.1 Mehitamata maasõiduki ajalugu

Tänapäeval on kasutuses väga palju erinevaid mehitamata maasõidukeid. Põhiliselt kasutatakse neid sõidukeid olukordades, mis on inimeste jaoks liiga ohtlikud, tuimad või räpased (inglise keeles: *Dirty, dull and dangerous*). Näideteks võib tuua lõhkeseadmetega tegelemine või olukorrad, kus on vaja inimesest väiksemat masinat. Tsviilelus on olemas kasutusel mehitamata muruniitjad, põrandapesijad, pakirobotid ning isegi prototüübid põllumajanduslike traktorite jaoks.

Üldiselt koosnevad mehitamata maasõidukid järgmistest osadest: sensorid, kest, juhtimissüsteem, inimese ja masina vaheline liides, ühenduslüli ja kogu süsteemi integratsioon. [4]

Sõjatööstuses kasutatakse mehitamata maasõidukeid üldiselt luure, järelvalve ja sihtmärgituvastuseks. Täpsemalt võib mehitamata maasõidukeid kvalifitseerida sõjatööstuses nelja kategooriasse: väikeüksuse logistiline liikurmasin; väikene robotiline ehitiste ja tunnelite uurija; mehitamata sõiduk kaaspiloodi ülesannetes ning autonoomne küttija-tapja. [1,5]

Mehitamata maasõidukite ajalugu ulatub tagasi eelmise sajandi esimesse poole, mil 1921. aastal juhiti Ameerika Ühendriikides radio teel sõidukit, mis oli umbes 2,4 meetri pikkune piklik kolme pneumaatilise rattaga masin. [6]



Sele 1.1 Radio Corporation of America raadio teel juhitud sõiduk [7]

1937. aastal arendasid jaapanlased välja mehitamata maasõiduki Ya-I Go, mis oli mõeldud Nõukogude Liidu punkrite hävitamiseks Mandžuuria piiril Nõukogude Liidu-Jaapani konfliktis (1932-1939). Ya-I Go-l oli kaks erinevat mudelit: Ko ja Otsu, mis erinesid üksteisest suuruselt, massilt ja võimsuselt, kuid mille eesmärk oli sama. Antud sõidukeid juhiti kaugelt kaablitega ning nende ülesanne oli asetada lõhkekeha lõhatava punkri ette. Kuigi neid toodeti pea 300 tükki, ei osalenud need masinad kunagi lahingus. [8, 9]



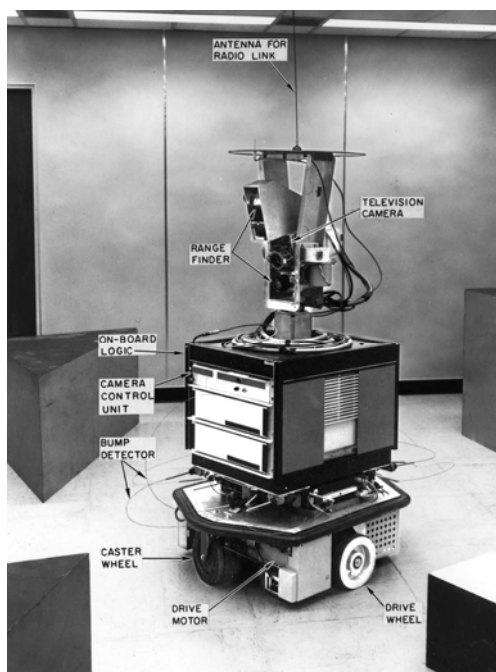
Sele 1.2 Mehitamata maasõiduk „Ya-I Go” [9]

Tõenäoliselt esimesed mehitamata maasõidukid, mis realselt lahingutegevust nägid, olid 1939. aastal Nõukogude Liidu ja Soome vahel toimunud Talvesõjas kasutatavad Teletankid. Tankid olid varustatud kuulipilduja, leegiheitja, suitsukanistri ja mõnikord ka punkrite hävitamiseks mõeldud lõhkeseadeldistega (sarnaselt jaapanlaste „Ya-I Go” sõidukiga). Antud sõidukeid juhiti raadio teel 500-1500 meetri kauguselt. Tankil asetsevaid kange ja pingutusvardaid käivitati pneumaatiliselt: kompressor pumpas õhku silindrite manipulaatoritesse. Tervet protsessi suunasid elektromehaanilised releed, mida juhiti raadio teel. Vastuvõtja võimaldas edastada tervelt kuuteteist parameetrit. Selel 1.3 on näha Talvesõjas kasutatud Teletanki, millel on peal antenn raadioside jaoks. [10]



Sele 1.3 Kaugelt juhitud TT-26 Teletank Talvesõjas 1940. aasta veebruaris [10]

Üks esimesi suuremaid ettevõtmisi mehitamata maasõidukite sensorika ja juhtimissüsteemi osas oli 1960. aastate lõpul Stanfordi uurimistöö instituudis arendatud robot Shakey, mis oli varustatud ultraheli- ja puuteanduritega, keeratava kaameraga ning kõik see oli ühendatud peaarvutisse raadio abil, mis täitis navigatsiooniülesandeid. Selel 1.4 on välja toodud Shakey peal kasutatavad erinevad komponendid. [1]



Sele 1.4 Robot Shakey ja selle peal kasutatavad komponendid [11]

Laialdasemalt hakati UGV-sid kasutusele võtma Iraagi sõja ajal 2000. aastate alguses, kui nendes nähti võimalust tegeleda ohtudega distantsilt. Üheks selliseks võib tuua firma iRobot seeria nimega Packbot, mille alt väljastatud sõidukeid on kasutatud Afganistaanis ja Iraagis üle 800 tüki, et aidata sõduritel läbi otsida hooneid ja punkreid ning ületada miinivälju. Kuigi ajalooliselt on mehitamata maasõidukid olnud sõjatööstuse pärusmaa, on need kasutuses ka tsiviilvaldkonnas. On olemas kommertsiaalseid muruniitjaid, põrandapesijaid ja tolmuimejaid. Esimene autonoomne muruniiduk oli 1969. aastal leiutatud „MowBot“, mis töötab akude jõul ning orienteerus tänu tarale, mis oli pandud ümber niidetava muru. Masin oli varustatud mitmete poolidega, mis targa tunnetamisel pidurdasid andurist kõige kaugemal asuvat ratast, et antud sõidukit tarast eemale suunata. [12,13,14]



Sele 1.5 Autonoomne muruniitja MowBot [15]

Üks esimesi autonoomseid tolmuimejaid lasti turule firma iRobot poolt 2002. aastal, mille nimeks oli Roomba ning mis kasutas mehaanilisi ja infrapunasensoreid, et navigeerida umberkaudes ruumis. Kõik Roomba mudelid, kaasa arvatud esimene, on ringikujuluse disainiga, 34 sentimeetrise läbimõõduga ja umbes 9 sentimeetrise kõrgusega. Roomba 2002. aasta mudeli mass on umbes 2,6 kilogrammi. [16]



Sele 1.6 iRobot Roomba 2002. aasta mudel [17]

Ettevõtte nimega CASE IH on loonud 2016. aastal autonoomse põllumajandusliku traktori prototüübi „*Autonomous Concept Vehicle*“, mis kasutab radar, lidar ja muid sensoritehnoloogiaid ning ohutussüsteeme, et täita omi eesmärke. Antud prototüüp on ehitatud potentsiaalsetele ohtudele reageerima – kui teele satub tundmatuid objekte, siis sõiduk teavitab omanikku ning ei liigu enne edasi, kuni kaamerasüsteeme on kontrollitud, et tagada ohutus nii inimestele, objektidele, kui ka traktorile iseendale. [18]

Autonoomsete pakirobotite valdkonnast võib ühe ereda näitena välja tuua Eesti firma “Starship Technologies”, mis on tegelenud alates 2014. aastast mehitamata pakirobotite arendamisega. [19]



Sele 1.7 Starship Technologies pakirobot [20]

Eestis arendatakse välja ka sõjatööstuse tarbeks ettevõtte “Milrem” poolt roomiksõidukit, mis on võimeline liikuma kaugjuhtimisel kasutamiseks piirkondades, kus inimjõu kasutamine on ohtlik, pole otstarbekas või kuhu inimene ei pääse. Roomiksõiduk töötab elektrimootoriga ning esimest prototüüpi esitleti aastal 2015. [21]



Sele 1.8 Milremi roomiksõiduk [21]

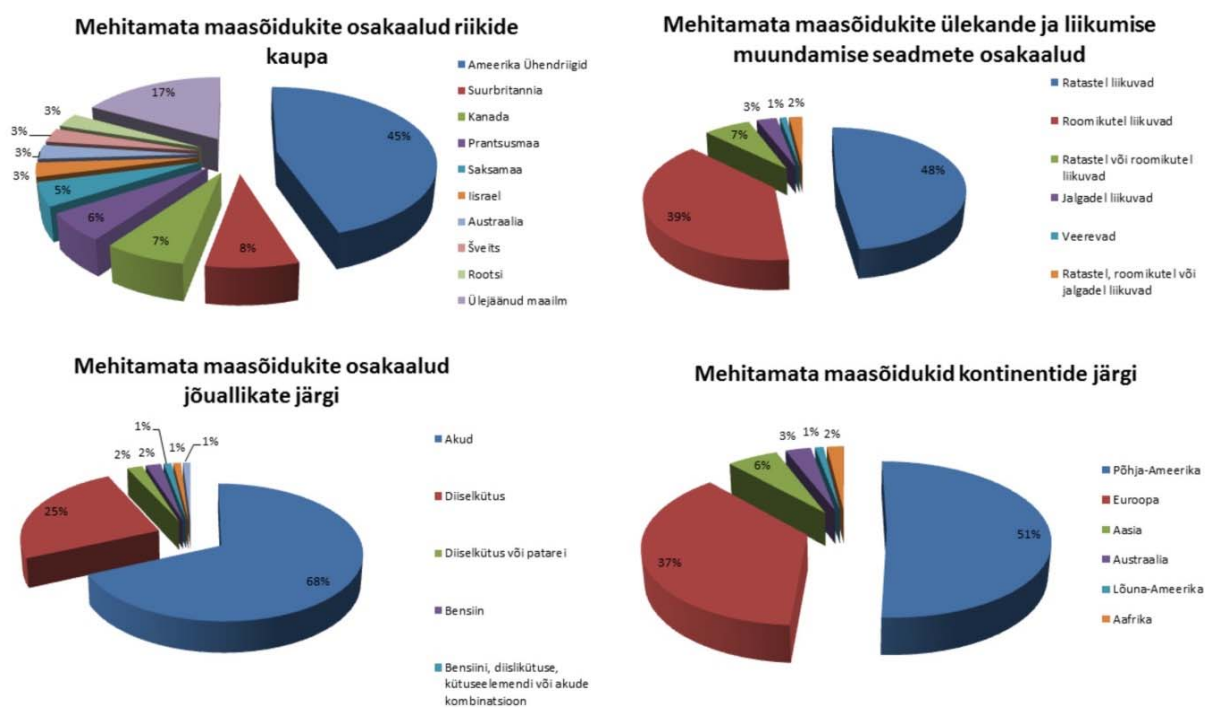
1.2 Mehitamata maasõidukite olukord maailmas

Mehitamata maasõidukeid toodetakse väga paljudes erinevates riikides, kuid turuliidriks võib pidada Ameerika Ühendriike.

2013. aasta rahvusvahelise mehitamata sõidukisüsteemide assotsiatsiooni (Inglise keeles: *Association for Unmanned Vehicle Systems and International*) väljastatud raporti põhjal saab illustreerida praegust olukorda mehitamata maasõidukite turul. Esiteks, Ameerika Ühendriikides tehakse 45% kogu turul olevatest sõidukitest ning järgmisel kohal on 8% tootev Suurbritannia.

Teiseks, ratastel ja roomikutel olevate sõidukite populaarsus on suhtelselt sarnane (vastavalt 49% ja 40%).

Kolmandaks, selgub, et üle 2/3 sõidukitest töötab patareide jõul ning veerand diiselkütuse jõul. Lõpetuseks saab näitlikustada, et 90% mehitamata maasõidukitest toodetakse kas Põhja-Ameerikas või Euroopas. [22]



Sele 1.9 Joonised AUVSI raporti põhjal [22]

2 MEHITAMATA MAASÕIDUKITE OHUTUS, SEADUSANDLUS JA STANDARDID

2.1 Ohutus

Ohutust defineeritakse kui kaitstud olekut või ebatõenäolisust ohu, riski või vigastuse loomisel. [23]

Mehitamata maasõidukitel tuleb kasutamisel kindlasti järgida erinevaid ohutusnõudeid, et vältida põhjendamatuid kahjusid inimestele, keskkonnale (õhureostus, maapinna kahjustamine, raadioside reostamine, elektromagnetkiirguse mõju teistele seadmetele) ja sõidukile iseendale.

Üks valdkond, kus kindlasti saab inimeste säästmise midagi ette võtta, on liiklus. Maailma Terviseorganisatsiooni info järgi sureb liikluses iga aasta Eestis 90 ja ülemaailmselt 1,25 miljonit inimest. Sealhulgas kaotab Eesti liiklusõnnetuste tõttu iga aasta oma majanduse koguproduktist 1%, mis 2016. aasta andmete järgi oli umbes 18,9 miljonit eurot aastas. [3,24]

Kuigi mehitamata maasõidukite esmane funktsioon ei ole sõita riiklikel sõiduteedel, on need siiski üks platform, mis võivad aidata liiklusega seotud probleeme leevendada, sest nad on teatud määral sarnased automatiseeritavate liiklussõidukitega (mõlemad on mehhatroonilised süsteemid, mis kasutavad mootoreid, sensoreid ja juhtimissüsteeme, et omi eesmärke täita).

Üheks lahenduseks liiklusohvrite vähendamiseks peetakse liikluse võimalikult suurt automatiseerimist, alustades tehnoloogiast, mis teevad sõitja elu mugavamaks (näiteks ABS, parkimissensorid ja elektrooniline stabiilsuskontroll) ning lõpetades täieliku automatiseerimisega. See on tähtis, kuna 94% liiklusõnnetusi toimub inimfaktori tõttu. [25]

Teiseks peab arvestama, et sõidukite näol on tegemist väga kalliste masinatega, mille suurimaks ohuks võivad olla nad ise – näiteks takistustele otsa sõitmine, mootorite ülekoormus ja niiskus.

Ainuke viis, kuidas saab selliste probleemide vastu ohutust tagada, on tänu sensoritele ja nendelt tulev info õigel interpreteerimisel ja kasutamisel vastavas keskkonnas.

2.2 Riskianalüüs

Antud alapeatükis on tehtud mehitamata maasõiduki vaatepunktist riskianalüüs.

Võimalikud riskid seoses mehitamata maasõidukitega:

1. Sõiduk sõidab vastu võõrobjekti, kahjustades objekti ja/või sõidukit.
2. Sõiduki komponendid kuluvad või hävivad ülekoormuse, niiskuse, ülekuumenemise või liiga madala temperatuuri tõttu.
3. Sõiduk reostab ümbritsevat keskkonda heitmetega, kahjuga pinnasele, valgusega, heliga ja/või elektromagneetilise kiirgusega.
4. Sõiduk kukub järsakust alla ning kannatab kahjusid.

Riskide hindamiseks, mis võivad tekkida mehitamata maasõidukitel liikumisel erinevatel maastikel, on välja toodud tabel 2.1, mis toob välja erinevate keskkondade eripärad.

Tabel 2.1 Riskide sõltuvus mehitamata maasõidukitele erinevates keskkondades [26]

Keskkonna tüüp	Autonoomse maasõiduki kiirus	Keskkonna struktureeritus	Suure dünaamilisusega sündmuste toimumise tõenäosus
Maastik	Tüüpiliselt madal kiirus	Väga struktureerimata - keskmiselt struktureeritud	Madal
Kruusatee	Suur kiirus	Vähe struktureeritud	Kõrge
Kiirtee	Väga suur kiirus	Keskmiselt struktureeritud	Keskmine
Linn	Keskmine kiirus	Väga struktureerimata	Väga kõrge

Punkt 1. võimalikud toimumise põhjused:

1. Sõidukil polnud infot, et tema ees on võõrobjekt.
2. Sõidukil oli olemas info, kuid oli ebakorrektselt programmeeritud.

3. Sõiduki sensorid olid määrdunud, kahjustatud või rivist väljas.
4. Sõiduki juhtimissüsteemi töö oli häiritud.

Punkt 2. võimalikud toimumise põhjused:

1. Sõiduki komponendid ei ole kaitstud ebasoodsate ilmatingimuste eest.
2. Sõidukil ei ole süsteemi, mis lülitaks välja ohustatud komponendid, kui nad on temperatuuritolerantsist väljaspool.

Punkt 3. võimalikud toimumise põhjused:

1. Sõiduk ei vasta kehtivatele standarditele.
2. Sõiduki ümbruskonda reostavad komponendid on talitushäiretega.

Punkt 4. võimalikud toimumise põhjused:

1. Sõidukil polnud infot, et tema ees on järsak.
2. Sõidukil oli olemas info, kuid oli ebakorrektselt programmeeritud.
3. Sõiduki sensorid olid määrdunud, kahjustatud või rivist väljas.
4. Sõiduki juhtimissüsteemi töö oli häiritud.

Võimalused, kuidas riske maandada:

1. Teha kindlaks, et sõiduk vastab antud valdkonna viimastele standarditele. Antud teemast on lühidalt räägitud peatükis 2.4.
2. Tuleb luua korralik ja ohutust soodustav sensorikasüsteem. Sensorikasüsteemist on ohutuse vaatenurgast pikemalt analüüsitud peatükis 3.5.
3. Vastavalt kineetilise jõu valemile 2.1 võib märkida, et mida suurema kiirusega üks sõiduk liigub, seda suurema jõuga ta mõjutab objekti, mis jääb tema teele. Seega, ohutuse tagamiseks on mõistlik valida optimaalne kiirus, kuna kineetiline jõud sõltub kiiruse ruutkorrutisest.

$$F = \frac{m \times v^2}{2} \quad (2.1)$$

kus F – jõud, N,
v –objekti kiirus, m/s,
m – mass, kg

4. Hooldada sõidukit regulaarselt ning põhjalikult.

2.2.1 Mehitamata maasõidukite hooldamine

Igasuguse hooldamise põhimõte on hoolitseda tehnika eest, et pikendada maksimaalselt eluiga. Kõige rohkem hooldust nõuavad tavaliselt liikuvad osad, nagu näiteks mootor ja pidurid. Teiseks tuleb kindlaks teha, et sõiduk ei ole füüsiliselt kahjustada saanud ning ei leki (kui on tegemist väliskeskonnas töötava seadmega). Kuna tervelt 68 % mehitamata maasõidukitel kasutatakse põhiliseks energiaallikaks akusid (Sele 1.9 leheküljel 12), siis peab hooldamisel tähelepanu pöörama akudele - vaatama, et ei esine korrosiooni, kaablid on korralikult ühendatud ning aku annab välja vajalikku nimipinget. Akude vahetamisel peab järgima korrektset juhtmete lahti ühendamise järjekorda - negatiivne ehk miinuspool tuleb esimesena lahti ühendada ning pärast viimasena tagasi ühendada. Kindlasti peab vältima lühise tekkimist aku käsitlemisel, kuna sellel võivad olla fataalsed tagajärjed. Hooldusel tuleb kanda kaitsevarustust (kindad ja kaitseprillid) ning eemaldada kõik ehted, et ei tekiks vigastusi akudest potentsiaalselt tulevast hapest, mis võib inimnahka söövitada. [27]

2.3 Mehitamata maasõidukite seadusandlus

Selleks, et tagada inimeste ja vara ohutust oma riigi pinnal, reguleeritakse erinevates riikides sõidukeid ja nende toimimist. Sõidukite seadusandluse üldine põhimõte on reguleerida masinaid, et need oleks ohutud ja standardiseeritud.

Üldiselt eksisteerib mehitamata sõidukite kohta Eestis ja üle maailma vähe regulatsioone, kuna neid kasutatakse tavaliselt sõjatööstuses, on enamus aega maastikul, ei sõida riiklikel sõiduteedel ja tsiviilolukorras ei ole olnud sellise regulatsiooni jaoks erilist nõudlust.

Seetõttu tuleb vaadata hetkeseisu ja teha kindlaks, kuhu üldse mehitamata maasõidukid seadusandluses paigutuvad.

2.3.1 Mehitamata maasõidukite seadusandlus Eestis

Kui võtta näiteks Eesti firma "Milrem" roomiksõiduk, mis iseloomustab väga paljusid sõjatööstuses kasutatavaid mehitamata maasõidukeid, siis võib välja tuua Eesti Liiklusseaduses oleva liikurmasina kategooria, mille alla antud sõiduk põhimõtteliselt liigitub.

Eesti Vabariigi Liiklusseaduse §2 punkt 34) sätestab: *Liikurmasin on ratastel või roomikutel liikuv, teatud kindla töö tegemiseks ettenähtud mootorsõiduk, mille valmistajakiirus on suurem kui 6, kuid väiksem kui 40 kilomeetrit tunnis. Liikurmasinaks ei loeta auto alusel valmistatud eritöömehi.*

Eesti Vabariigi määrus "Traktori, liikurmasina ja nende haagiste tehnonõuded, nõuded varustusele ning tehnonõuetele vastavuse kontrollimise tingimused ja kord" §3 punkt 13) täpsustab antud tingimusi:

liikurmasin on ratastel või roomikutel liikuv, kindla töö tegemiseks ette nähtud mootorsõiduk, mis ei sobi sõitjate või veose veoks ja mille suurim valmistajakiirus ületab 6 km/h, kuid ei ületa 40 km/h. Liikurmasinaks ei loeta auto alusel valmistatud eritöömasinat. [28]

Teise võimalusena võib mehitamata maasõiduki liigitada maastikusõiduki mõiste alla. Samas tuleb arvestada, et maastikusõidukite all on sisuliselt mõeldud mootorsaane ja maastikukulgureid (inglise keeles: *all terrain vehicle*) ning seda mõistet ei saa laiendada üheselt.

Liiklusseaduse §2 punkt 36) sätestab:

maastikusõiduk on mootori jõul maastikul liikumiseks ettenähtud liiklusvahend, mis ei ole käesoleva seaduse tähenduses mootorsõiduk;

Liiklusseaduse paragraafid 152-165 toovad välja maastikusõidukite liiklemise korraldused ja maastikusõiduki juhtimise põhimõtted ning paragraaf 152 toonitab, et: *Maastikusõidukite liiklemise korraldamise eesmärgiks on maastikusõiduki kasutamisega keskkonnale ja maavaldajale kahju tekitamise vältimine ning liiklusohutuse tagamine. [28]*

Määrus „Registreerimisele kuuluvate maastikusõidukite loetelu“ sätestab, et Milremi roomiksõidukit ei peaks registreerima liiklusregistris ning seda eeldusel, et sõiduk toimetab ainult maastikul.

Kui roomiksõiduk on Kaitseväe või Kaitseliidu haldusalas, siis peab ta olema nende registrisse kantud.

Liiklusseaduse § 185 punkt 1 sätestab :

(1) Kaitseväe ja Kaitseliidu kasutuses olevate mootorsõidukite ja nende haagiste, sealhulgas maastikusõidukite ja nende haagiste ning traktorite, liikurmasinate ja nende haagiste üle, mis ei ole kantud liiklusregistrisse, peetakse arvestust kaitseväe ja Kaitseliidu sõidukite registris.

Üks tähtsamaid asju on maastikusõidukite puhul see, et nende kasutamisel peab kindlasti hoidma keskkonda. [28,29]

Kuna Starship Technologies on Eestist pärit firma (kuigi peakontor asub Londonis, Suurbritannias) ning nad teevad oma põhilisi sõidukite testimisi Tallinnas, Eestis, siis on olnud olemas nõudlus neid reguleeriva seadlusandluse järgi. Seetõttu on 08.03.17 algatatud Riigikogus Liiklusseaduse muutmise seadus 399 SE, mis käsitleb just Starship Technologies pakirobotitega sarnaseid robotliikureid.

Antud seaduse järgi klassifitseerub robotliikur kuni 6 km/h põhiliselt kõnniteel liikuvaks ja vähemalt osaliselt automaatselt liikuvaks sõidukiks, mis saab infot ümbritseva keskkonna kohta andurite, kaamerate või muude seadmete kaudu. On paika pandud ka sõiduki dimensioonid: kõrgus võib olla kuni 1 meetri, pikkus 1,2 meetrit, Laius 80 sentimeetrit ja mass kuni 50 kilogrammi. Antud sõidukil peab olema ees ja külgedel valge helkur ja taga punane helkur. Kui sõiduk sõidab pimedas, peab taga põlema punane tuli ning ees valge tuli. Peale selle peab antud sõidukil olema 0,9-1,5 meetri kõrgusel paiknev tuled kombinatsioon või kollane tuli, millele peab olema tagatud 360 kraadine nähtavus kõikidest suundadest. [30]

Kui antud liikurid liiguvad jalg- ja jalgrattateedel, siis neile kehtivad sarnased reeglid, nagu jalakäijatele. Kui sellised robotliikurid aga ületavad teed, siis kehtivad neile sarnased reeglid, nagu jalgratturitele, ehk neile ei pea autod teed andma.

Plaanis on antud seadusega reguleerida ka robotliikuri kasutajatega seanduvat. Robotliikuri füüsiline juht ja kasutaja peab olema vähemalt 18-aastane Eesti elanik, vajalike oskustega ning kaine. Juriidiline isik peab omama Eestis registratsiooni. [31]

Kui vaadata seadusandlust autonoomsete sõidukite seisukohalt, mis liiklevad liikluses (mida ka mehitamata maasõidukid võivad hakata tegema), tuleb teadustada 1968. aastal koostatud ja Eesti poolt 1992. aastal allkirjastatud Viini teeliikluse konventsiooni.

Vastavalt Viini teeliikluse konventsioonile, millega on liitunud 74 riiki, kuid tähelepanuväärselt mitte Ameerika Ühendriigid, Hiina, Suurbritannia ja Hispaania, sätestab, et igal liikuval sõidukil peab olema juht, kes on võimeline sõidukit juhtima igal ajahetkel. Hetkel on selline tingimus autonoomsete sõidukite arendust ja levimist takistav punkt, kuid ekspertide hinnangul alustatakse konventsiooni ümbersõnastamist 2019. aastal, et see lubaks juhi osalust sõiduki käsitlemisel vähendada.

Alates 03.02.2017 on Eesti teedel lubatud isejuhtivate autode testimine tingimusel, et autol on juht, kes saab sõiduki üle vajadusel kontrolli endale võtta. SAE (*Society of Automotive Engineers*) International kategoriseerib selliseid sõidukeid kui SAE 2 ja SAE 3 (välja toodud leheküljel 51 seel 1.1). Sõidukid, mille SAE tase on 4 või 5, ei hakka Eesti teedel liikuma tõenäoliselt enne, kui eelpool mainitud Viini teeliikluse konventsioon on ümbersõnastatud ja jõustunud. [32,33,34]

2.3.2 Mehitamata maasõidukite seadusandlus väljaspool Eestit

Ameerika Ühendriikides, mis on mehitamata maasõidukite põhiline turg, on reguleeritud mehitamata maasõidukeid juhediga "Unmanned Systems Safety Guide For DoD Acquisition", mille põhiliseks eesmärgiks on aidata ohutusega tegelevaid insenere saavutamaks mehitamata süsteemide loomisel võimalikult suurt ohutust. Kuigi üldiselt on see juhend suunatud USA inseneridele, tuleb see ka abiks ka väljaspool Ameerika Ühendriike tegutsevatele inseneridele, sest Ameerika Ühendriike võib pidada antud valdkonnas juhtriigiks ning seal kehtivad põhimõtted laienevad ka tõenäoliselt mujale. [35]

Sarnaselt Eestiga on Ameerika Ühendriikides Virginia osariigis jõustamisel seadus, mis lubaks autonoomsetel väikerobotitel (mass kuni 22,6 kilogrammi ja kiirus kuni 16 km/h) liikuda kõnniteedel ning ületada ülekäiguradu. [36]

Maailma teisel kõige suuremal turul, Suurbritannias, on kaitseministeerium väljastanud mitmeid juhendeid, mis käivad relvastatud mehitamata maasõidukite kohta. Näitena võib tuua "The UK Ministry of Defence

Standard 0056 "Safety Management Requirements For Defence Systems", mis reglementeerib just ohutuse poolt, kuid ei tegele teatud spetsiifiliste probleemidega, mis käivad kaasas mehitamata süsteemidega. Üheks näiteks võib tuua planeerimata kokkupõrked mehitamata süsteemidel. [37]

2.4 Standardid

Euroopa Liidus saab mehitamata maasõidukitele kohandada standardeid, mis puudutavad näiteks elektromagneetilist ühilduvust, müra ning ohutusnõudeid juhtimissüsteemidele. Antud standardite rakendamine on kasulik just ohutuse seisukohast.

2.4.1 Elektromagneetiline ühilduvus

Elektromagneetilist ühilduvust reguleerib standard EVS-EN 55012:2008 – „Sõidukid, laevad ja sisepõlemismootorid. Raadiohäiringu tunnussuurused. Piirväärtused ja mõõtemetodid pardavälisele vastuvõtjatele“. Antud standardis olevad piirangud on loodud selleks, et pakkuda kaitset raadiosidel töötavatele seadmetele, mis kasutavad sagedusvahemikku 30 MHz – 1000 MHz. Sele 1.2 leheküljel 52 illustreerib antud standardi kehtestamise vooskeemi ning sele 1.3 leheküljel 53 on välja toodud antud standardiga seotud elektrivälja tugevuste (ühik: dB μ V/m) piirväärtused vahemikus 30 – 1000 MHz. [38]

2.4.2 Akustika ja müra

Mehhanismide ja seadmete tekitatava müra väärtuste deklareerimine ja kontrollimist reguleerib standard: EVS-EN ISO 4871:2009 – "Akustika. Mehhanismide ja seadmete tekitatava müra väärtuste deklareerimine ja kontrollimine". Antud standard toob välja, kuidas müra tuleb mõõta ja üles märkida. Sele 1.4 leheküljel 54 näitlikustab, kuidas antud standardile vastavalt tuleb mõõtmised üles märkida.[39]

2.4.3 Ohutusnõuded juhtimissüsteemidele

Ohutusnõudeid ja testimistingimusi juhtimissüsteemidele, nagu seda on mehitamata maasõidukite sensorite, infosüsteemi ja operaatori vaheline juhtimissüsteem, reguleerib standard EVS-EN 61010 – "Ohutusnõuded

elektrilistele mõõtmis-, juhtimis- ja laboratooriumiseadmetele”. Sele 1.5 leheküljel 55 toob välja antud standardi raames tehtavate testide tingimused, parameetrid ja protseduurid. [40]

3 SENSOORIKA

3.1 Sensorika analüüs

Sensor ehk andur on seadeldis, mis tajub ja reageerib teatud sisendile füüsilises keskkonnas. Sisenditeks võivad olla soojus, liikumine, valgus, rõhk, niiskus või mõni teine keskkondlik nähtus.

Põhilised sensorid, mida kasutatakse mehitamata maasõidukites on LIDAR ehk laserskanneerimine, radar, sonar, ultrahelisensor, optiline sensor, infrapuna, GPS, kiirendusmõõtur, güroskoop ja kooder. Antud alapeatükis analüüsitakse antud sensorite toimimispõhimõtteid ja rakendusi. [41]

3.1.1 Ultrahelisensor

Ultrahelisensor on sensor, mis mõõdab ultrahelilainete abil kaugust objektist.

Ultraheliks peetakse sagedusi, mis on kõrgemad, kui 20000 Hz. [42,43]

Valem 3.1 kirjeldab ultrahelianduri toimimist kauguse kindlaks tegemisel ning sele 3.1 visualiseerib antud anduri tööõhimõtet.

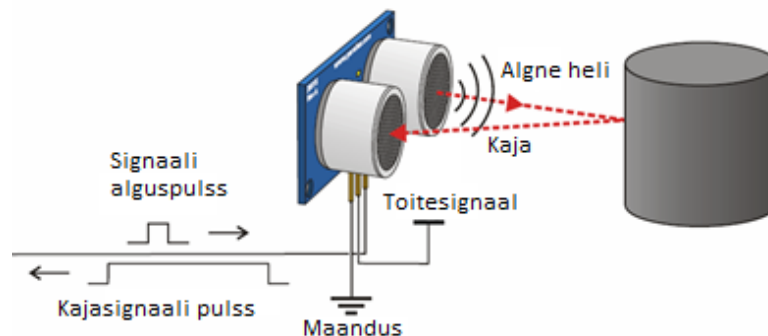
$$S = \frac{v \times t}{2}$$

(3.1)

kus S – distant andurist, m,

v – heli kiirus, m/s,

t – andurist algse heli tagasi andurisse peegeldumiseks kulunud aeg, s. [42]



Sele 3.1 Ultrahelianduri tööõhimõte [44]

3.1.2 Infrapunaseensor

Infrapunaseensor on sensor, mis kasutab valgust sagedustel 300 GHz kuni 400 THz, et mõõta kaugust sensorist objektini. Infrapunaseensordid on võimelised mõõtma objekti kiirgavat soojuste intensiivsust ning kiirust. [45] [46]



Sele 3.2 Sharp infrapunaseensor kauguse mõõtmiseks [47]

3.1.3 LIDAR

LIDAR (Inglise keeles: *Light Detection And Ranging*) ehk laserskaneerimine on meede, mis väljastab 50 000 kuni 200 000 korda sekundis valgusimpulsse, et mõõta suhtelisi kaugusi objektist või maapinnast. Antud valgusimpulsid loovad täpse pildi objektist või maapinnast. Lidareid on olemas kahemõõtmelisi ja kolmemõõtmelisi. LIDAR sensor koosneb tavaliselt laserist ja skannerist, mis registreerib tagasi peegelduvaid laserkiiri. Väga tihti kasutatakse LIDAR-it õhulennukitel, et täiustada geograafilisi kaarte. [48,49]



Sele 3.3 SICK 3D LIDAR sensor [50]

3.1.4 RADAR

RADAR (Inglise keeles: *Radio Detection And Ranging*) kasutab elektromagneetilisi laineid sagedustel 3kHz kuni 300 GHz ja Doppleri efekti, et mõõta objekti kaugust või selle suhtelist kiirust sensorist. Sarnaselt LIDARile kasutatakse RADAR-it teatud juhtudel maapinna kaardistamiseks. Antud sensoreid kasutatakse ka autotööstuses adaptiivse kiirusehoidiku abisensorina, et eesoleva sõiduki pidurdamisel või takistuse ette tulemisel hakkab sõiduk ise pidurdama, kuna need on erinevates ilmatingimustes suhteliselt töökindlad. [51,52]



Sele 3.4 Boschi Radaril põhinevad stereonägemisega sensorid [52]

3.1.5 Optiline kaamera

Optilised kaamerad töötavad põhimõttel, et seadmesse läbi läätse tulev valgus muudetakse elektrisignaalsiks kas CCD või CMOS sensori abil ning seda just digitaalsetes kaamerates.

Kaamerad on hea viis, kuidas anda sõidukile palju infot kaamera ees toimuva kohta, kuid samas on sellise info masinale arusaadavaks tegemine raske ning nõuab väga palju pildianalüüsi.

Selel 3.5 on näitlikustatud, kuidas vastavalt juurutatud masinnägemisele on võimalik klassifitseerida erinevaid objekte või kehasid ning teha need juhtimissüsteemi jaoks arusaadavaks.



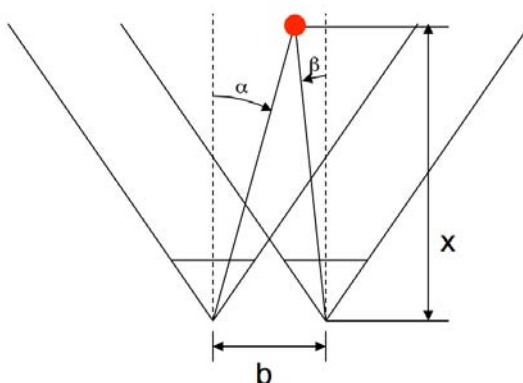
Sele 3.5 Näide masinnägemisest kasutades optilisi kaameraid [53]

Optiliste kaamerate üks omapära on see, et nendega ei saa otseselt mõõta objekti kaugust (ilma referentsobjekti omamata). Üks viis, kuidas seda siiski teha saab, on stereonägmine ehk mitme kaamera kasutamine. Antud süsteemiga on võimalik luua masinale kolmedimensiooniline pilt ning selle kaudu mõõta ka objektide kaugust. Objekti kauguse leidmiseks sõidukist saab kasutada valemit 3.2 ning seda valemit selgitab sele 3.6, kus punasega on märgitud mõõdetav objekt, x märgib kaugust sõidukist ja b märgib kahe kaamera (vasakpoolse ja parempoolse) vahelist distantssi.

$$x = \frac{b}{\tan(\alpha) + \tan(\beta)}$$

(3.2)

kus b – distantss kahe anduri vahel, m,
 α – nurk esimese kaamera ja objekti vahel, °,
 β – nurk teise kaamera ja objekti vahel, °. [54]



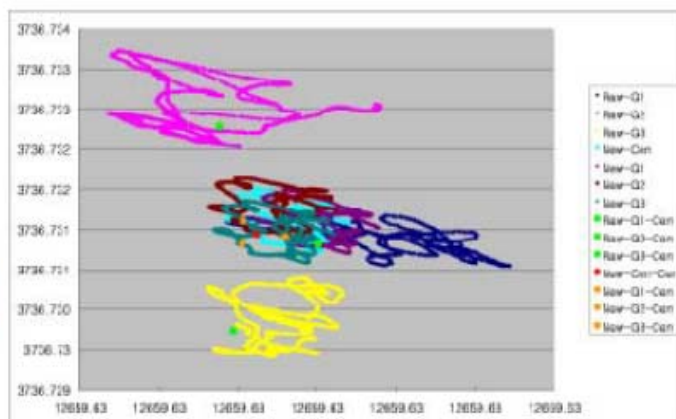
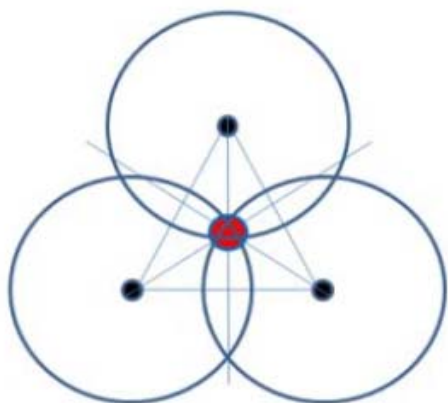
Sele 3.6 Stereonägemise abil objekti kauguse kindlaks tegemine [54]

3.1.6 GPS ja DGPS

GPS (Inglise keeles: *Global Positioning System*) ehk globaalne postitsioneerimise süsteem on 1995. aastal loodud süsteem, mis kasutab üle kolmekümnet ümber maakera keerlevat satelliiti, et arvutada GPS vastuvõtja täpset asukohta maapinnal. Antud satelliidid on pandud ümber maakera sellisel viisil liikuma, et maapinnal asuval vastuvõtjal oleks igas maailma punktis kogu aeg ligipääs vähemalt kuuetele satelliidile.

Maapinnal asuv vastuvõtja vajab ühendust vähemalt neljalt erinevalt satelliidilt, et oma asukohta kinnitada kolmemõõtmeliselt, kuid kolme satelliidiga on võimalik saada oma asukoht ilma kõrguseta. Antud süsteemi täpsust on raske hinnata, kuid ideaalsete tingimuste korral peetakse seda umbes 3-5 meetri täpsuseks.

Täpsuse suurendamiseks on kasutatud teatud juhtudel mitmeid GPS vastuvõtjaid korraga ning võetud nende keskmine, et saada võimalikult täpne tulemus. Selel 3.7 on praktiline näide antud süsteemi toimimisest. [55,56]



Sele 3.7 Mitmik-GPS andmete töötlemine [56]

Kuna teatud rakendustel võib jääda eelpoolmainitud täpsusest väheks, on loodud selline süsteem, nagu DGPS (Inglise keeles: *Differential Global Positioning System*). Kuna signaal võib saada atmosfääri poolt moonutatud (näiteks 10^{-6} sekundit hiljaks jäänud signaal mõjutab GPS täpsust 300 meetri võrra), siis DGPS kasutab maa peal olevaid viitepunkte, mille täpne asukoht on teada ning võrdleb seda GPS satelliitidelt saaduga. See suurendab GPS täpsust kuni 10 sentimeetrini.

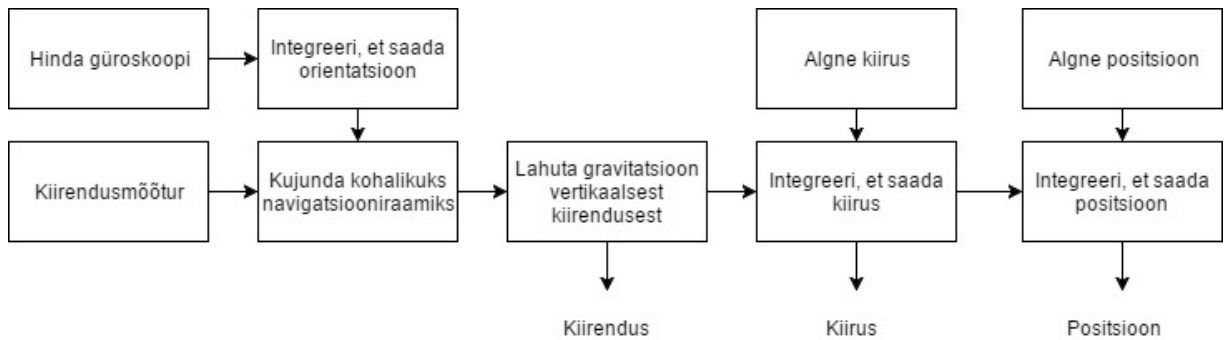
Euroopas on antud süsteemi järgi olnud suur vajadus Soomes ja Rootsis, kuna sealsetes saarestikes liikumine nõuab kohati suuremat täpsust, kui tavaline GPS pakkuda suudab.

Antud lahendused ei tööta väga hästi siseruumides, kuna signaali saamiseks satelliitidelt peab olema takistamata ühendus. Siseruumides on soovitatav kasutada positsioneerimiseks eelpaigaldatud orientiire. [57,58]

3.1.7 Kiirendusmõõtur ja güroskoop

Kiirendusmõõturit kasutatakse kiirenduse mõõtmiseks. Enamus kiirendusmõõtureid kasutavad piesolektrilist efekti, mis tähendab, et need sisaldavad mikrokoopilisi kristallstruktuure, mis kiirenduslike jõudude mõjul tekitavad sensoris pinget. Antud pinget on võimalik mõõta ning selle järgi kindlaks määrata kiirendust. Peale piesolektrilise efekti on veel kasutuses ka piesotakistuslikul efektil, kuumaõhu sfääridel ja valgusel põhinevad kiirendusmõõturid.

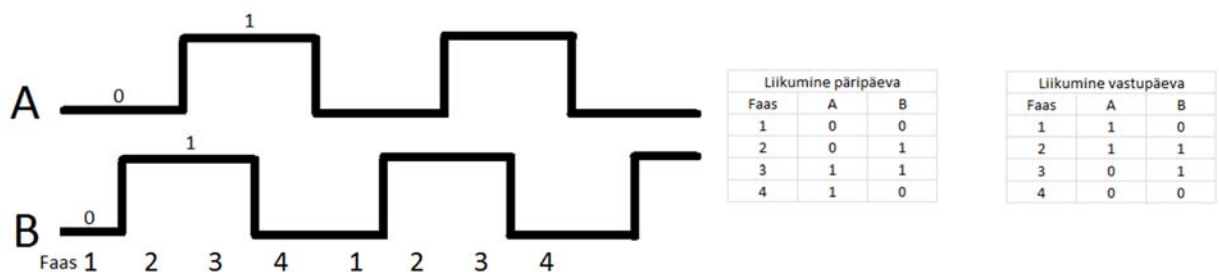
Güroskoop on seadeldis, mida kasutatakse pöördimpulsi mõõtmiseks. See võimaldab määrata seadme kallet ja olekut füüsilises ruumis. Mehaaniline güroskoop kujutab endast keerlevat ketast omadusega liikuda vabalt igas suunas. Modernsed mikroelektromehaanilised güroskoobid kasutavad pöörlemise mõõtmiseks vibratsiooni. Selel 3.8 on välja toodud vooskeem, mis toob välja, kuidas güroskoobi ja kiirendusmõõturi abil on võimalik sõiduki positsiooni kindlaks teha. [59,60]



Sele 3.8 Vookeem kirjeldamaks sõiduki positsiooni kindlaks tegemist güroskoobi ja kiirendusmõõduki abil [61]

3.1.8 Kooder

Kooder on seade, mis muudab roteeruvat liikumist elektriliseks signaaliks. Koodereid kasutatakse tavaliselt võlli kiiruse ja positsiooni mõõtmiseks (võrreldes algpunkti ja liikumistrajektoori). Kooderid on kas absoluutse või inkrementaalse mõõtmisüsteemiga. Absoluutne võimaldab mõõta liikumist positsiooni järgi, mis teeb need tehniliselt nurgamõõtjateks. Inkrementaalne süsteem mõõdab tavaliselt võlli liikumist, mitte positsiooni. Seda tehakse kas ühe väljundiga pulsi abil (tavaliselt „A“ kanal) või kahe väljundiga pulsside abil („A“ ja „B“ kanalid). Kui on kasutusel ainult üks kanal, siis saab mõõta liikumist, kuid mitte suunda. Seetõttu on levinum kahe väljundi olemasolu. Selel 3.9 on visualiseeritud inkrementaalse koodri pulssidiagrammi, millel on kirjeldatud viisi, kuidas kahe väljundiga inkrementaalne kooder liikumise suunda ja pulsside registreerib. [62]



Sele 3.9 Inkrementaalse koodri pulssidiagramm

Kooderid töötavad põhiliselt kolme tehnoloogia abil:

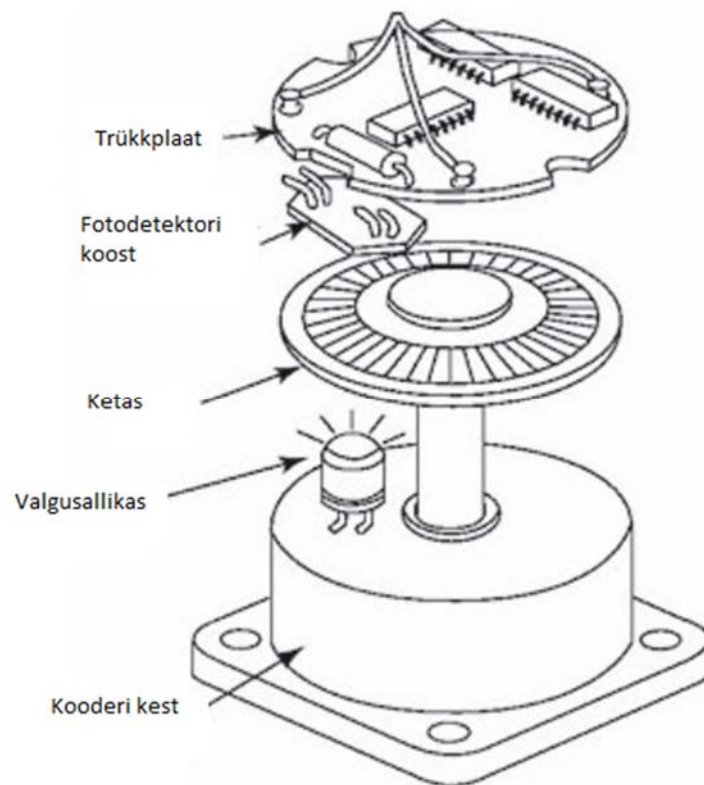
1. Optilised sensorid
2. Elektrijuhtivusel põhinevad sensorid
3. Magneetilised sensorid

Kõige levinumad on optilised sensorid, mis kasutavad valgust, et kumada seda registreerivale fotodiodile läbi avade, mis on tehtud kas klaasist või metallist kettale (visualiseering on selel 3.10). Antud sensorid on väga tundlikud tolmule ning nende kasutamine teatud keskkondades on raskendatud.

Elektrijuhtivusel põhinevatel koodrid on üles ehitatud trükkplaadile söövitamise käigus jäetud ringikujuliste vaseridade lugemisele elektrit juhtivate harjastega. Antud tüüpi kooderid on aga oma populaarsust kaotamas, kuna need on kompleksemad ja vähem töökindlamad, kui näiteks optilised kooderid. [63]

Magneetilised kooderid jagunevad teljel olevateks kooderiteks ja teljelt maas olevad kooderiteks.

Teljel olevad kooderid kasutavad tavaliselt kahe poolusega neodüümmagnetit, mis on sama suur, kui kooderiga jälgitav võll. Antud kooderid ei ole väga täpsed ning signaalis esineb palju võnkumisi. Teljelt maas olevatel kooderitel kasutatakse tavaliselt kummiga kaetud magneteid, mida kinnitatakse metallist võllile. Antud enkooderite lahendused on tavaliselt odavamad ja pайдlikumad võrreldes teljel olevate kooderitega. Üldiselt kasutatakse magneetilisi koodereid seal, kus ei saa karmi keskkonna pärast (näiteks tolmu tõttu) optilisi koodereid kasutada. [63]

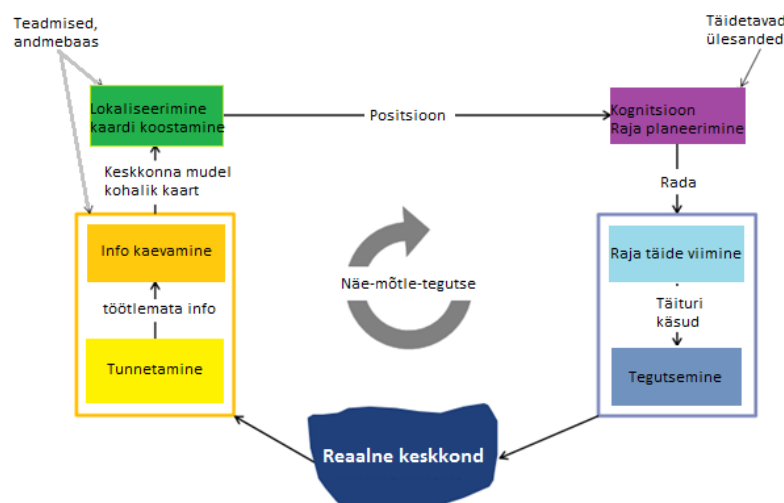


Sele 3.10 Tüüpilise optilise kooderi ülesehitus [64]

3.2 Positsioneerimine ja navigatsioon

Mehitamata maasõidukite toimimisel on positsioneerimine väga tähtis, eriti, kui rääkida autonoomsetest sõidukitest. Esiteks on seda vaja selleks, et sõidukil oleks võimalik jõuda oma sihtpunkti - kui masin ei tea oma asukohta, ei ole tal ka infot, kuhu minema peab. Teiseks on seda vaja ohutuse tagamiseks, et vältida sõiduki sattumist näiteks veekogudesse või sügavikkudesse.

Navigatsioon põhineb tavaliselt kahel infoallikal. Esiteks saab sõiduk võrrelda seda keskkonnast infot saavate andurite infoga. Teiseks, sõiduk saab anda oma hinnangu asukohale vastavalt liikumisele ja selle mõõtmisele. GPS saatjate kasutamine oma asukoha tuvastamiseks on levinud praktika, kuid GPS on välisest keskkonnast lihtsalt mõjutatav ning sellel võib olla mitmeid sisemisi vigu, eriti, kui väliskeskkonna näol on tegemist näiteks tunneli või linnakeskkonnaga. Saadud positsioon antud situatsioonides ei ole usaldatav ning seda tuleb kasutada koos koodritega, mis mõõdavad sõiduki liigutud distantsi ja kiirust. Kooderid paigaldatakse tavaliselt kõikidele mehitamata maasõidukite ratastele või roomikute puhul vastavalt täpsuse vajadusele. Mitu kooderit paigaldatakse, et statistiliselt suurendada tulemuse korrektsust, võttes distantsi arvestades koodrite keskmised väärtused. Koodrid töötavad tavaliselt nii-öelda pimedas navigatsioonis (Inglise keeles: *Dead reckoning*) põhimõttel, mis tähendab, et nad arvestavad liigutud distantsi liikumise algpunktist alates (parim analoog on laevade navigatsioon merel). Seetõttu kõlbavad nad hästi lühiajaliseks kasutuseks (näiteks, kui GPS signaal ajutiselt ära kaob või siseruumides), kuid mitte pikaajaliseks, kuna nendega tekkiv viga on kumulatiivne. See tähendab, et tekkiv viga muutub ajapikku ainult suuremaks, mitte ei jää konstantseks. Selel 3.11 on visualiseeritud, kuidas põhimõtteliselt toimub autonoomse sõiduki positsioneerimine. Sõidukil on tavaliselt esialgu olemas kaart, koordinaadid ja täidetav eesmärk. Reaalset kaarti korrigeeritakse sõiduki liikumisel reaalajas sensorika abil. Sõiduki koordinaatide leidmiseks kasutatakse tavaliselt peatükis 3.1.6 välja toodud tehnoloogiaid. [65]



Sele 3.11 Mehitamata sõiduki odomeetria selgitus [66]

3.2.1 Lähikäruuse sensorika ja takistuste registreerimine

Takistuste tuvastamist ja jälgimist liikuvast sõidukist peetakse ohutu autonoomse navigatsiooni tuumaks. Teiseks, sõiduki juhti abistavate süsteemide välja arendamine sõltub robustsetest ja usaldusväärsetest tehnikatest. Sellised arenenud tajuvõimed pakuksid sellistele süsteemidele, millel on vajalik info keskkonnast, võimaluse planeerida tegevusi või vältida kokkupõrkeid takistustega.

Paljud meetodid lähenevad antud probleemile kasutades üksikut kas laseril või kaameral põhinevat skeemi. Sellised lähenemised kasutavad objektide ilmset liikumist pildikaadritel, et kindlaks teha nende trajektoore, kuid selline arvutusprotsess nõuab tavaliselt palju ressursse. Viimasel ajal on välja töötatud ka mitmesensorilisi lähenemisi, kuid nende kallal tuleb veel palju tööd teha, et saavutada usaldusväärset kõrgemat taset. [67]

Üks suurimaid väljakutseid on robotikas väliskeskonna lokaliseerimine ja kaardistamine samal ajal. (Inglise keeles: *SLAM - Simultaneous localization and mapping*). Antud tegevus on siis tähtis, kui: 1. Sõiduk peab olema täiesti autonoomne; 2. Pole eelnevat infot keskkonna kohta; 3. Ei saa paigaldada majakaid ning kasutada väliseid positsioneerimissüsteeme nagu GPS; 4. Robot peab teadma, kus ta on. [68]

Antud tegevuse võib jaotada mitmeks osaks:

1. Orientiiride täheldamine
2. Andmete kogumine ja talletamine
3. Oleku hindamine
4. Oleku uuendamine
5. Orientiiride uuendamine

Antud lähenemine põhineb tavaliselt laiendatud Kalmani filtril, mis kujutab endast moodust, kuidas erinevaid mõõtmiste ebatäpsusi statistiliste meetoditega vähendada. [69]

3.3 Mehitamata maasõidukite kategoriseerimine sensorite vaatevälja järgi

Mehitamata maasõidukid vajavad mõistlikuks toimimiseks väliskeskkonnast infot, mis aitab neil ümbritsevat kaardistada. Selle jaoks kasutatakse erinevaid sensoreid.

Üldiselt võib öelda, et mida rohkemate anduritega on sõiduk varustatud, seda lihtsam on temal omi ülesandeid edukalt täita. Selleks, et lihtsamini mehitamata maasõidukeid liigitada, pakub autor välja järgmised kategooriad sensorika järgi:

1. Tase

Sõidukil ei ole andureid ning kõik sõidukit puudutav info jõuab sõiduki juhini oma meelte kaudu. Antud seade võib täita eelprogrammeeritud käske, kuid ei suuda reageerida keskkonna iseärasustele ja muutustele. Siia võib näitena tuua seel 1.1 välja toodud RCA raadio teel juhitava sõiduki.

2. Tase

Sõidukil on vähemalt üks andur, kuid pole saavutatud 360 kraadi vaatevälja ja/või lokatsiooni. Antud taseme alla käivad tõenäoliselt enamus kasutuses olevaid mehitamata maasõidukeid, kuid ühe näitena võib välja tuua seel 1.4 oleva robot Shakey.

3. Tase

Sõidukil on piisavalt andureid, et saavutada 360 kraadine vaateväli ja lokatsioon. Antud tasemele vastaks ettevõtte „G-NIUS Autonomous Unmanned Ground Vehicles“ mehitamata maasõiduk Guardium, mille peamine kaamera on 360 kraadise vaateulatusega. [70]

3.4 Sensorite tüüpilised kombinatsioonid, majanduslik mõistlikkus ja rakendamine ohutuse vaatenurgast

Väidetakse, et ei ole olemas ühtset elegantset lahendust mehitamata maasõiduki positsioneerimise probleemile. See tähendab, et sõidukite loojad kasutavad erinevate sensorite kombinatsioone, et teha mõõtmisi seoses sõiduki asukohaga. Näitena võib välja tuua selle, et nägemissüsteemi kasutatakse harva üksi navigatsiooniks ning tavaliselt kaasatakse ka ultraheli ja/või lidar sensoreid distantsi mõõtmiseks. Mehitamata maismaasõidukil kasutatavad sensorid on suures sõltuvuses siiski maastikust, millel need hakkavad sõitma. Teiseks, peab arvestama, et andurid on kallid ning nende kasutamine on väga suures sõltuvuses nende hinnast. [71]

3.4.1 Erinevate sensoritehnoloogiate võrdlus

Tabel 3.1 võrdleb omavahel lidari, radari, optilise kaamera ja ultraheli tehnoloogiate erinevaid aspekte. Siit järeldub, et pole olemas ühte andurit, mis täidaks kõiki vajalikke funktsioone, mida ühel mehitamata maasõidukil vaja läheb. Näiteks lidar on suhteliselt hea viis, kuidas kaugust mõõta, kuid see ei tööta hästi lühikese maa peal (vähem kui meeter) ning rasketes ilmaoludes. Neid asju teeb hästi aga ultraheliandur, mis jälle ei tööta hästi pikkade vahemaade mõõtmisel ning näiteks lidar tüüpi tehnoloogiaga võrreldes on ta aeglane.

Seda võib näitlikustada järgneva: kui heli liigub umbes $0,3 \text{ m} / 10^{-3} \text{ s}$, siis elektromagneetilised signaalid liiguvad umbes $0,3 \text{ m} / 10^{-9} \text{ s}$. See tähendab, et elektromagneetilised signaalid liiguvad ($0,3 \text{ m} / 10^{-9} \text{ s}$):($0,3 \text{ m} / 10^{-3} \text{ s}$) = 10^6 (miljon) korda kiiremini. Seetõttu on vaja kasutada erinevaid andureid koos, et saada võimalikult ajakohast informatsiooni. [61]

Tabel 3.1 Erinevate sensoritehnoloogiate võrdlus keskkonna tunnetamisel [26]

Kriteerium	LIDAR	RADAR	Kaamera	Ultraheli
Tuvastamine väga lühikesel (0m-1m) distant sil	Halb	Ainult lühima radarid	Rahuldav	Väga hea
Tuvastamine lühikesel (1m-30m) distant sil	Väga hea	Väga hea	Hea	Halb
Tuvastamine pikal (30m-100m) distant sil	Rahuldav	Väga hea	Halb	Ei ole
Töötamine äärmusliku nurga all (vähem, kui 10 kraadi)	Väga hea	Hea	Hea	Halb
Nurklahutusvõime	Väga hea	Hea	Hea	Halb
Kiiruse mõõtmine	Ei ole	Jah	Ei ole	Ei ole
Töötamine äärmuslikes ilmingimustes	Halb	Väga hea	Halb	Hea
Töötamine öisel ajal	Väga hea	Väga hea	Piiratud	Väga hea

Põhilised põhjused, miks on mõistlik kasutada mehitamata maasõidukitel erinevate sensorite pakette on:

1. Täiustavus: erinevad sensoritel on võimalus üksteise infot täiustada ja tajuda omadusi, mis muidu ei oleks võimalik. Näitena võib tuua takistuste tuvastamise: kaamera võimaldab aru saada, et takistus on ees ning lidar sensor võimaldab saada kauguse sõidukist.
2. Ajastamine: kuna sensoritel on erinevad viiteajad, siis on võimalik saada erinevate sensorite koosmõjul infot kiiremini otsuste tegemiseks, kui oleks see võimalik eraldi.
3. Kulukus: praktiliselt võib olla mõistlikum kasutada mitmeid odavaid sensoreid koos ühes süsteemis, kui kasutada ühte kallist ja mitte nii robustset andurit, hoolimata sellest, et odavamatel sensoritel on tavaliselt suurem mõõtemääramatus. [71]

3.4.2 Majanduslik analüüs erinevate sensorite kasutamisel

Andurite valikul tuleb kindlasti arvestada majanduslikku mõistlikkust. Kuigi teoreetiliselt oleks lihtne osta kõige kallimad ja kvaliteetsemad andurid, siis realsuses ei saa oletatava sõiduki hind minna liiga suureks. Mehitamata maasõidukitel on väga hea kasutada andureid, mis annavad kauguse sõidukist, sest selle järgi saab arvestada sõiduki asukohta ruumis.

Tabelis 3.2 ja 3.3 on välja toodud erinevaid sensoreid, nende omadused ja hind, et oleks võimalik analüüsida andurite omapärasid.

Tabel 3.2 Lasertehnoloogial, infrapunavalgusel, ultrahelil ja radaaril põhinevate sensorite hinna ja omaduste võrdlus [72]

Jrk nr	Sensori nimetus	Sensori tüüp	Hind (€)	Sensori töökaugus (cm)
1	RPLIDAR A2 360° Laser Scanner	Laser	494,29	0 - 6000
2	LIDAR-Lite 3 Laser Rangefinder	Laser	164,68	0 - 40000
3	Sweep V1 360° Laser Scanner	Laser	384,2	0 - 40000
4	LeddarTech LeddarOne Optical Rangefinder	Laser	126,6	0 - 40000
5	SICK LMS511 (tööstuslik)	Laser	~ 6400	0 - 80000
6	HC-SR04 Ultrasonic Range Finder	Ultraheli	3,1	2 – 500
7	HC-SR04 Ultra01+ Ultrasonic Range Finder	Ultraheli	4,12	2 – 500
8	Parallax PING Ultrasonic Sensor	Ultraheli	33,01	2 -- 300
9	SeeedStudio Ultrasonic Range Finder	Ultraheli	16,51	3 -- 400
10	Devantech SRF02	Ultraheli	15,59	15 -- 600
11	Maxbotix I2CXL-MaxSonar-EZ4	Ultraheli	38,47	20 -- 750
12	XL-MaxSonar-WRL1	Ultraheli	115,54	0 -- 1067
13	Maxbotix XL-MaxSonar-EZ0	Ultraheli	49,49	20 -- 765
14	Sharp GP2Y0A21YK0F	Infrapuna	10,96	10 -- 80
15	Sharp GP2Y0A02YK0F	Infrapuna	14,28	20 -- 150
16	Sharp GP2Y0A710K0F	Infrapuna	20	100 -- 550
17	Q4XFKLAF610-Q8	Radar	Teadmata	2,5 - 61
18	ARS 30X	Radar	Teadmata	25 – 20 000

Tabel 3.3 Erinevate robotite jaoks mõeldud kaamerate hinna ja vaateväljade analüüs [72]

Jrk nr	Kaamera nimetus	Hind (€)	Vaateväli (°)	Resolutsioon
1	Pixy CMUcam5 Image Sensor	73,76	75	1280x800
2	BlackBird 2 3D FPV (stereonägemisega)	197,05	90	680x512
3	OV7670 Camera Module	15,41	25	640x480
4	OpenMV CAM	82,57	82	320x240
5	RB-Wav-46	31,92	72	1920x1080

Antud tabelite põhjal võib järeldada, et ühed mugavamad andurid kasutamiseks on laseril põhinevad, sest need on kiired, täpsed ja töökindlad. Nende miinuseks on aga nende kõrge hind. Kõige odavamateks sensoriteks on ultrahelisensorid, mis pakuvad lühikesel distantsil tõenäoliselt kõige paremat hinna ja kvaliteedi suhet. Nende nõrgaks küljeks võib pidada aga seda, et need ei tööta pika maa peal (tavaliselt rohkem, kui 10 meetrit). Infrapunasensorid on sarnaselt ultrahelisensoritele suhteliselt odavad, kuid ka need ei tööta hästi pikkadel distantsidel. Antud võrdluses ei ole kahjuks ära märgitud radarisensorite hindu, kuna tegemist on tööstustlike sensoritega ning nende hind ei ole avalikult kättesaadav.

Üheks omapärasemaks anduriteks on optilised kaamerad. Nende hinnad on keskmisest kallimad ning kui kasutada ainult ühte kaamerat, siis on äärmiselt raskendatud selle pealt kindlaks teha objektide kaugust, kuigi stereonägemisega on see teostatav. Kaamerateest saadavale infole annab väärtust just selle korrektne interpreteerimine. Seega sõltub nende andurite majanduslik tasuvus programmeerimise tasemest, millega on võimalik visuaalset pilti sõidukile selgeks teha.

3.4.3 Sensorite tüüpilised kombinatsioonid praktikas

Kui sensorika uurimisel on võimalik teoreetiliselt spekuloida ning selle pealt järeldusi teha, on mõistlik siiski vaadata ka praktikas toimuvat, et oleks võimalik antud teemat võimalikult põhjalikult analüüsida.

Tabelis 3.4 on analüüsitud erinevate autonoomsete sõidukite prototüüpide spetsifikatsioonid ning juurde on lisatud ka firma Tesla Motors sõiduki Model S sensorika spetsifikatsioonid, et luua pilt erinevates autonoomsetes sõidukites kasutatavatest anduritest ning ka kommertsilahendusest.

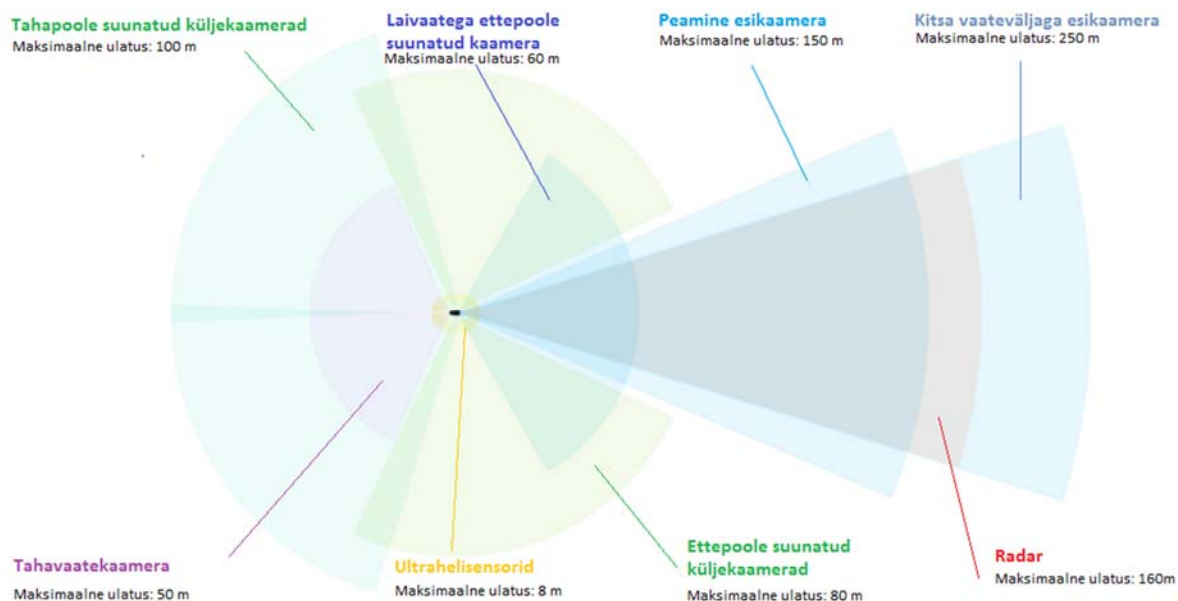
Tabel 3.4 Sensorite komplektid erinevatel autonoomsetel maasõidukitel [26,73]

Autonoomne sõiduk	Laser	Radar	Kaamerad	Teised sensorid	GPS	IMU
1. 2007 TALOS (MIT) Urban	3D pikamaa sensor (peal), 11 planaarse pikamaasensorit takistuste tuvastamiseks, 1 alla suunatud planaarse sensor ohu tuvastamiseks	1 pikamaasensor kiiresti liikuvate sõidukite tuvastamiseks	5 kaamerat teemärgistuste tuvastamiseks		Jah	Odomeetria, inertsisensorid
2. 2005 ION (<i>Intelligent Off-Road Navigator</i>)	3 pikamaasensorit (80 meetrit) esiosas erinevate nurkade all, 1 vertikaalsel tasapinnal	1 pikamaasensor 80-100 m	1 must-valge stereokaamera	8 lühimaa ultrahelisensorit + 2 vertikaalsete kuristike tuvastamiseks	Jah	Küroskoop, kompass, kooder
3. 2005 Alice (Caltech) <i>Off-road</i>	5 pikamaasensorit (3 katusel, 2 kaitseraudadel)		4 stereonägemisega kaamerat ja 1 teed otsiv kaamera		Jah	3 Küroskoopi, 3 kiirendusmõõturit
4. 2007 Junior (Stanford)	Esiosas: 1 3D pikamaasensor (peal), 1 pikamaasensor (peal), 2 pikamaasensorit kaitseraual, 2 keskmaasensorit külgedel, 2 pikamaasensorit taga	2 pikamaasensorit kaitseraual			Jah	Inertsisensor, kooder
5. 2011 Japan	1 esiosas, 2 LIDARit, 1 3D pikamaasensor (peal), 2 LIDARit külgedel	1 sensor ees kaugete takistuste jaoks			Jah	Inertsisensor, kooder
6. 2011 MIG	6 pikamaasensorit (200 m)	1 sensor ees, 200 m			Ei	
7. 2012 Google mehitamata sõiduk	1 3D pikamaasensor (peal)	4 pikamaasensorit	1 kaamera liiklustulede tuvastamiseks		Jah	Inertsisensor, kooder

8. 2007 Marvin Urban	2 pikamaasensorit (80 m), millest 1 on ees ja 1 taga				Jah	
9. 2007 Boss	Esiosas: 1 3D pikamaasensor (peal), 2 pikamaasensorit, 3 pikamaasensorit ümberringi, 1 sihitav lühimaasensor, 2 keskmaasensorit külgedel	4 pikamaasensorit, millest 1 on suunatav			Jah	
10. 2008 RAVON <i>off-road</i>	2 fikseeritud andurit (ees ja taga), 1 lühimaasensor ohtude tuvastamiseks		2 värvilist stereokaamera süsteemi, üks neist pikamaa-, teine lühimaasensor	2 turvasensorit ees ja taga	Jah	Inertsisensor, magneetilise välja sensor
11. 2011 Rular või <i>Off-road</i> SNUCLE	2 SICK LIDARit ja 1 IBEO LIDAR esimesel kaitseraual, 3 SICK LIDARit katusel	Ei ole	2 kaamerat eespool, et tuvastada ülekaiguradu ja 1, et tuvastada radu		Ei	
12. 2016 Tesla Model S	Ei kasuta	1 pikamaasensor (160m)	8 kaamerat: 3 ees, 4 külgedel, 1 taga	12 ultrahelisensort ümber sõiduki	Jah	Kiirendusmõõtur

Kõigil sõidukitel peale Tesla Model S-i on kasutuses laserandurid ning kümnel neist on andureid kolm või rohkem. 66% (8/12) sõidukeil on kasutuses radar ning 25% (3/12) on neid rohkem kui üks. 58% (7/12) sõidukitest on kasutusel kaamera(d). 83% (10/12) sõidukitest on kasutusel GPS. 66% (8/12) sõidukitel on kasutusel mingisugunegi inertsiaalne mõõtesead nagu güroskoop või kiirendusmõõdik. Kõik see illustreerib väga hästi, et selleks, et sõidukit muuta töökindlaks ja ohutuks, on vaja kasutada erinevaid andureid, kuid selle jaoks on olemas väga palju erinevaid variante.

Võib järeldada, et sellistel sõidukitel saadakse põhiliselt infot kaameratest, kuna nad on mõeldud autonoomse režiimi kõrval ka operaatoriga koos töötamiseks. Kõigil on olemas GPS, kuna autonoomsete sõidukite puhul on lokaliseerimine hädavajalik.



Sele 3.12 Tesla Motors sõiduki Model S sensorika analüüs ja ulatused [73]

Kõige suurem eripära on antud sensoripaketi (Sele 3.12) juures on see, et ei kasutata laseril põhinevaid sensoreid ning Tesla Motors väidab, et selel 3.12 välja toodud sensoritega saavad olema varustatud kõik tulevased Tesla poolt sõidukid ning need on piisavad, et tagada SAE taset 5, millega tähistatakse sõiduki täielikku autonoomsust (selgitus on selel 1.1 leheküljel 51). Otsust mitte kasutada lidaril põhinevaid sensoreid on kritiseeritud ning seetõttu on juhtunud üks õnnetus, mille toimumisel Tesla autopiloodi süsteem ei suutnud optiliste kaamerate abil eristada treilerit heleda taeva vastu. [74,75]

Kuna tabelis 3.4 oli analüüsitud autonoomseid sõidukeid, millest enamus on mõeldud sõitmiseks teedel, olen lisanud juurde vastukaaluks tabeli 3.5, mis käsitleb mehitamata maasõidukeid, mis on mõeldud liikumaks maastikul (välja arvatud Hydrobot). Kui tabeli lahtris info puudub, siis ei ole olnud võimalik kindlaks teha anduri olemasolu või selle puudumist.

Tabel 3.5 Analüüs erinevatest mehitamata maasõidukitest ja nendes kasutatavast sensorikast [13,70,76,77,78,79,80,81,82,83,84]

Mehitamata maasõiduk ja mass	Kaamera	GPS	Radar	Laser	IMU	Teised sensorid
1. Guardium (1400 kg)	Infrapuna kaamerad (põhiline kaamera on 360 kraadi)	On	On mitmuses			Mikrofonid
2. SARGE	4 kaamerat (2 sõitmiseks, 2 järelvalveks)	DGPS				
3. PackBot 510 (10,89 kg)	4 kaamerat	On			Orientatsiooni sensor	Temperatuurisensor
4. TerraMax	lai dünaamilise ulatusega kaamera, lühilaine infrapunakaamera, neli situatsiooniteadlikku kaamerat	(GNSS) koos kaardiregistreerimise tarkvaratehnoloogiaga	12 lühimaa radarisüsteemi (pakkudes 360° lähivaadet), kolm pikamaa radarisüsteemi	Kõrg-resolutsiooniline LIDAR		
5. BEAR	Infrapunakaamera ja öövaatluskaamera	On				
6. Crusher (6000 kg)	4 värvikaamerat, 12 stereonägemiskaamerat (6 paari)	On olemas		8 LIDAR seadet	kiirendus mõõturid ja güroskoobid	
7. Intellibot HydroBot (põrandapesija) (326 kg)						Puudutussensorid ees ja taga, sonar sensorid, infrapunase sensorid
8. iRobot Roomba (tolmuimeja) (2,6 kg)						Puudutussensorid, infrapunase sensorid toa suuruse arvutamiseks ja järskude äärte kindlaks tegemiseks

9. Indego (muruniitja) (11.1 kg)					Tõstesensor, ümberkukkumise sensor, kaldesensor ja kiirendus mõõtur (turvalisuse tõttu)	Puutesensordid
10. Case IH ACV (traktor)	On kaamerad	On	On	On		

Antud tabelist võib järeldada, et maastikul liikuvad sõidukid saab jaotada kolme kategooriasse:

1. Sõidukid, mida juhivad tavaliselt operaatorid, kuid on võimelised autonoomselt liikuma (Guardium, SARGE, PackBot 510)

Neid sõidukeid iseloomustab kaamerate olemasolu, lidareid tavaliselt ei kasutata ning autonoomne liikumine käib põhiliselt GPS tehnoloogia abil.

2. Sõidukid, mis on suhteliselt odavad ning täidavad lihtsaid ülesandeid autonoomselt (Roomba, Hydrobot ja Indego). Antud sõidukid kasutavad põhiliselt infrapuna- ja ultrahelisensoreid enda paigutamiseks ja ohutuse tagamiseks. Seda tehakse põhiliselt mainitud sensorite odava hinna ja seetõttu, et mõõta ei ole vaja pikka distantsi.

3. Sõidukid, mida saab manuaalselt juhtida, kuid põhiliselt täidavad oma ülesandeid autonoomselt (Crusher, BEAR ja Case IH ACV). Antud sõidukid kasutavad väga palju erinevaid andureid ning tihti lidar sensoreid.

3.5 Mehitamata maasõidukite ohutuse tagamine sensoritega

Kuigi sensorikaga ei saa tagada mehitamata maasõiduki täielikku ohutust, on selle kasutamine ja implementeerimine hädavajalik, kui soovitakse ohutuse poolde püüelda. Antud peatükk püüab leida kõige mõistlikumaid sensorikalahendusi, et soodustada ohutuse tagamist.

3.5.1 Sensorika kokkupõrkeohu vältimiseks

Mehitamata maasõidukite üheks kõige suuremaks ohuks on kokkupõrked teiste objektidega. Antud olukordade vältimiseks on mõistlik varustada mehitamata maasõiduk erinevate kaugust tundvate anduritega. Vastavalt tabelile 3.1 ja tabelile 3.2 on kõige lihtsam ja odavam lahendus lähiümbruse kaardistamiseks (kuni 10 meetrit) kasutada ultrahelisensoreid või infrapunasensoreid, nagu näiteks seda teevad ION (*Intelligent Off-Road Navigator*) ja iRobot Roomba (Tabel 3.4 ja Tabel 3.5). Kui sõiduki nominaalse kiiruse pealt pidurdusmaa ja reageerimisdistantsi (distants, mis läbitakse sõiduki juhtimissüsteemi reageerimisel) summa on suurem, kui andurite maksimaalne mõõtekaugus, siis on vaja kasutada kallemaid sensoreid, nagu radari ja lidari tehnoloogial töötavaid sensoreid, nagu seda näiteks teevad Junior ja Crusher (Tabel 3.4 ja Tabel 3.5).

Kuigi kaugust saab ka mõõta kaamerateaga (eeldusel, et neid on mitu), ei ole nende eksklusiivne kasutamine mõistlik, sest neid ei saa otseselt kasutada halva nähtavusega ega pimedas. Kuigi kaamerad annavad palju infot, on üheks suurimaks kaudseks kuluks nende interpreteerimist võimaldava tarkvara välja töötamine.

Ohutuse mõttes on mõistlik kasutada mehitamata maasõidukite peal GPS saatjat ning koodereid. See võimaldab sõidukil ennast positsioneerida ning hoida eemale aladest, mis võivad kujutada ohtu (näiteks veekogud, kraavid ja kuristikud).

3.5.2 Sensorika vältimaks juhtimissüsteemi häireid

Kui tegemist on akude jõul toimiva sõidukiga, siis on mõistlik voltmeetriga mõõta akult tulevat pinget, et väärtuse tolerantsist väljapool asumist oleks võimalik tarbijate kaitsmiseks sisse lülitada pingestabilisaator või selle puudumisel lülitada seade välja. Mõistlik on mõõta juhtimisseadme temperatuuri ning niiskuse taset, et vältida juhtimissüsteemi rikkeid tänu ülekuumenemisele või niiskusest tulenevatele lühistele.

3.5.3 Sensorika kukkumise vältimiseks

Üheks võimaluseks, kuidas põhjendamatut kukkumisohtu mehitamata maasõidukile vältida on üleääre astumise anduri kasutamine. Selline andur mõõdaks sõidukil liikumissuunas vahetult sõiduki ees olevat vertikaalset kaugust, kuid mitte otse alla, vaid sellisel kaugusel, et signaali saamisel oleks sõiduk võimeline pidurdama enne, kui languseni jõuab. Kui antud andur saab signaali, et ees on järsk lang, mille poole liikumise jätkamine oleks seadmele ohtlik, saab seade ohutuse huvides jääda seisma. Antud lahendust kasutab näiteks tavaliselt siseruumides majandav selel 1.6 välja toodud tolmuimeja iRobot Roomba. Antud põhimõtet saab kasutada erinevate anduritega, kuid soovitatav on kasutada andurit, mis ei ole häiritud ebasobilikest ilmatingimustest, milleks on näiteks sobilikud radaril põhinevad sensorid. [85]

Juhul, kui siiski kukkumine mingil põhjusel toimub, on vabalangemise ehk kukkumise kindlaks tegemine võimalik inertsiaalsete anduritega. Antud meede võib leida rakendust siis, kui mehitamata maasõiduki pardal on andmekandjad või muud seadmed, mis võivad saada kahjustada tänu äärmuslikule kokkupõrkele. Sel juhul oleks võimalik ohu all olevad seadmed välja lülitada, et vältida nende pöördumatut kahjustumist.

KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö on kirjutatud eesmärgiga analüüsida mehitamata maasõidukite ohutusega seotud sensorikat ja regulatsioone ning pakkuda välja võimalusi, kuidas muuta sensorika abil mehitamata maasõidukeid ohutumaks. Antud lõputöö teema sõnastati Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi teaduri Mairo Hiiemaa poolt, kes oli ka töö juhendaja.

Töö algfaasis uuris autor mehitamata maasõidukite ajalugu ja turu hetkeolukorda, et ära märkida põhilised edasi viivad tegurid antud sõidukite arenemiseks läbi aegade ning tuua välja tulevikusuunad. Antud valdkond on olnud ajalooliselt põhiliselt sõjanduse pärusmaa eesmärgiga täita ülesandeid distantsilt inimelusid säästes, kuid on liikunud viimasel ajal ka tsiviilellu näiteks pakirobotite ja muruniitjate näol. Sensorika on muutunud aina mitmekesisemaks ja seetõttu on olnud võimalik sõidukeid töökindlamaks ja ohutumaks muuta.

Antud töös uuriti põhjalikult erinevate mehitamata maasõidukite kohta käivate regulatsioonide, sealhulgas standardite, seaduste, määruste ja eelnõude olemasolu ning sisu, et kaardistada nende progressi valdkonna edasiviimisel ja ohutuse tagamisel. Valdkond on standardiseeritud suhteliselt pinnapealselt ning hetkel lähtutakse rohkem üldistest, kui spetsiifilistest standarditest. Kõik 74 riiki, kaasa arvatud Eesti, kes on kirjutanud alla 1968. aasta Viini teeliikluse konventsioonile, on hetkel veel siiski mõjutatud nõudest, et liikluses liikuvatel sõidukitel peab olema kogu aeg juht, kes on võimeline igal ajahetkel sõiduki üle kontrolli võtma. Ekspertide hinnangul sõnastatakse antud tingimus hiljemalt 2019. aastal ümber. Samal ajal on aga Eestis algatatud eelnõu, mis lubaks ametlikult Eesti liikluses liiklema Starship Technologies pakirobotitele sarnastele mehitamata maasõidukeid. Praktika näitab, et valdkonna reguleerimine käib vajaduspõhiliselt ehk mida suurem nõudlus tekib, seda kiiremini saabub ka regulatsioon.

Töös tehtud erinevate mehitamata maasõidukite sensorika ülevaatest võib järeldada, et mehitamata maasõidukite ohutuse tagamisel ei ole ühte universaalset viisi ning rakendamine on väga suures sõltuvuses kasutusvaldkonnast ning konkreetse sõiduki vajadustest. Kuldreeglina saab aga välja tuua, et sõidukil on mõistlik teada oma relatiivset asukohta ja keskkonda enda ümber, et ennetada sõiduki ohustamist. Asukoha kindlaks tegemiseks välismaastikul sobib selle jaoks kas GPS või suurema täpsuse vajadusel DGPS tehnoloogia ning siseruumides eelpaigaldatud orientiirid, mille kohta on sõidukil info eelnevalt olemas. Kasuks tuleb kindlasti SLAM (samaaegne lokaliseerimine ja kaardistamine) kasutamine. Eelpool mainitud tehnoloogiatele lisaks kasutatakse liikumist mõõtvaid koodereid, mis võimaldavad sõidukil rakendada odomeetria.

Visuaalsetest sensoritest kasutatakse väikese distantsi kaardistamiseks tavaliselt ultraheli- ja infrapunaandureid nende suhtelise odavuse, lühimaa töökindluse ning heale vastupidamisele äärmuslikele ilmaoludele. Kui distantsid ja kiirused muutuvad sõidukil suuremaks, on mõistlik vastavalt praktikale kasutada lidaril või radaril põhinevaid andureid. Antud sensorid on võrreldes infrapuna ja ultrahelianduritega palju kallimad, kuid on võimelised mõõtma objektide kaugusi pika distantsi pealt. Sõidukitest väljapoole jääva

visualiseerimiseks kasutatakse ka optilisi kaameraid, mis pakuvad väga suuri võimalusi ümbruskonna mõtestamiseks, kuid nõuavad suurt eelnevat programmeerimist ja reaajas kättesaadavaid arvutamisressursse, mis suudaks kaamerast saadava info sõiduki jaoks lahti mõtestada. Optiliste kaamerate üheks suurimaks miinuseks on tõsiasi, et nende kasutamine ekstreemsetes ilmaoludes ja pimedas on raskendatud.

Teatud sõidukid kasutavad üleääreandureid, mis võimaldavad sõidukitel enne järsakut seisma jääda ja vältida ohtu kukkumise näol. Kui antud kukkumine siiski toimuks, siis oleks võimalik kasutada inertsiaalandureid, mis tuvastaksid koheselt vertikaalse liikumise ning lülitaksid välja andmekandjad ja muud süsteemid, mis saaksid kahjustada seoses suure mehaanilise löögiga maapinnalt.

Kuigi asjakohane sensorika ei taga täielikku ohutust, on see siiski paratamatus ja viis, kuidas ohutu toimimise poole liikuda. Eesmärk antud tööga analüüsida mehitamata maasõidukite ohutusega seotud sensorikat ja regulatsioone ning pakkuda välja võimalusi, kuidas muuta sensorika abil mehitamata maasõidukeid ohutumaks, on saavutatud.

SUMMARY

The bachelor's thesis is written with the purpose of analysing the safety-related sensorics and regulations of unmanned ground vehicles with the aim of offering solutions for making unmanned ground vehicles safer with sensorics. The title of the thesis was worded by Mairo Hiiemaa, a scientist in the Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics in Tallinn University of Technology, who also was the supervisor.

In the origin phase of writing the thesis the author inquired the history of the unmanned ground vehicles and the current situation of the market to mark down the main factors which have progressed the development of these vehicles through time and point out the trends for the future. The field has historically been mainly in the hands of military applications with the purpose of carrying out objectives from a distance while sparing human lives but has recently reached out into civilian life as an example in the form of delivery and mowing robots. The sensorics has progressed over the years and this has made it possible to make vehicles more safe and reliable.

The regulations, including standards, laws and bill drafts regarding unmanned ground vehicles were analysed to map their progress in the development of the field and ensuring safety. The field is standardised quite perfunctory and currently the guidance is based on general, rather than specific standards. All 74 countries, including Estonia which have signed the year 1968. Vienna Convention on Road Traffic are still influenced by the requirement of a vehicle having a driver who is able to take control of the vehicle at any time. By the judgment of the experts this prerequisite will be reworded by 2019 the latest. At the same time a bill draft has been taken into works which would officially allow vehicles such as the delivery robots of Starship Technologies in Estonian traffic. In practice the regulation of the field advances on a need basis which means that the higher the demand, the faster the regulation will start to apply.

The overview of the unmanned ground vehicles done in the thesis shows that there is no universal way in making vehicles secure and the implementing is heavily reliant on the field of usage and the specific needs of a certain vehicle. What can be claimed, though, is that it is reasonable for a vehicle to have the information about its relative location and the environment around it to prevent the endangering of the vehicle. To acquire the location outdoors it is reasonable to use GPS or for a need for a greater accuracy the DPGS technology. For indoors it is reasonable to use pre-installed beacons, which the vehicle has previous knowledge of. It is also rational to use SLAM (*Simultaneous localization and mapping*). In addition to previously mentioned technologies encoders for measuring movement are used which allow for the vehicle to use odometry.

For mapping the environment around an unmanned ground vehicle in short distances usually ultrasound and infrared sensors are used for their relative low cost, reliability on short distances and good resistance to extreme weather conditions. If the distances and velocities are greater on a vehicle then according to practical

use it is sensible to use sensors based on LIDAR and RADAR technologies. The aforementioned sensors are much more expensive compared to ultrasound and infrared sensors, but are able to measure objects from greater distances. For visualisation optical cameras are also used which offer considerable possibilities for the conceptualization of the outside world, but require extensive preceding programming and attainable real-time computing resources which could make the obtainable information intelligible. One of the most considerable drawbacks for optical cameras is that their use in extreme weather and in the darkness is fairly limited.

Some vehicles use over-the-edge sensors which make possible for stopping before a vertical drop and prevent danger in the form of a fall. If the fall will still take place it would be possible to use inertial sensors which would immediately apprehend the vertical movement and would shut down all the data carriers and other systems which would be in danger regarding the extensive mechanical impact.

Even though appropriate sensorics can not guarantee total safety it is still a necessity and a way to advance towards safe functioning. The objective to analyse the safety unmanned ground vehicle sensorics and regulations and to offer options how to make unmanned ground vehicles safer has been accomplished.

KASUTATUD KIRJADUSE LOETELU

- [1] Gage, D. UGV HISTORY 101: A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts. - *Unmanned Systems Magazine*. 1995, 9-32.
- [2] MarketsandMarkets Research. Unmanned Ground Vehicle (UGV) Market by Application (Defense (ISR, EOD, Crew Integration, Physical Security)), Commercial (Field, Agriculture, Chemical, Oil & Gas)), Mobility, Size, Component, Modes of Operation, Payload & Region - Global Forecast to 2021 [WWW] <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-ground-vehicles-market-72041795.html>. (27.04.2017)
- [3] World Health Organization. Global Status Report on Road Safety. [WWW] http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/ (02.05.2017)
- [4] Nguyen-Huu, P., Titus, J. Reliability and failure in unmanned ground vehicle (UGV). [WWW] http://arc.engin.umich.edu/grrc/techreports/200901_ReliabilityUGV.pdf (11.04.2017)
- [5] Pejic, I., Autonomous Weapon Systems and US Military Robotics: Unmanned Aerial and Ground Vehicles (UAV and UGV). - Global Research, 2016, 11–13. [Online] IEEE Xplore digital library (20.04.2017)
- [6] Radio Corporation of America. World Wide Wireless: Volume 2 (Jan. - Dec. 1922). 1992.
- [7] Radio Controlled Car 1921. [WWW] <https://archive.org/stream/WorldWideWirelessV2#page/n343/mode/2up>. (02.05.2017)
- [8] Coox, A. Nomonhan: Japan Against Russia, 1939, Volumes 1-2. Redwood City : Stanford University Press, 1990.
- [9] Type 98 Mini Engineer Vehicle 'Ya-I Go'. [WWW] <http://www3.plala.or.jp/takihome/i-go.htm>. (13.05.2017)
- [10] Королев, А. Статьи Средства связи на поле боя. [WWW] http://mobimag.ru/Articles/283/Sredstva_svyazi_na_pole_boya.htm. (13.05.2017)
- [11] Artificial Intelligence Center. Shakey. [WWW] <http://www.ai.sri.com/shakey/>. (27.04.2017)
- [12] Robotics Trends Staff. iRobot Delivers 3,000th PackBot Producer of COTS based, modular tactical mobile robot systems. [WWW] http://www.robotictrends.com/security_defense_robotics/article/irobot_delivers_3000th_packbot/ (22.04.2017)
- [13] PackBot Tactical Robot. [WWW] <http://defense-update.com/products/p/pacbot.htm> (02.05.2017)
- [14] Bellinger, S. Self -propelled random motion lawnmower : US 3570227 A, 1971.
- [15] Mowbot. [WWW] <http://blog.modernmechanix.com/mowbot/> (07.05.2017)
- [16] iRobot. iRobot Introduces Roomba™ Intelligent FloorVac - The First Automatic Floor Cleaner In The U.S. [WWW] <http://media.irobot.com/2002-09-18-iRobot-Introduces-Roomba-Intelligent-FloorVac-The-First-Automatic-Floor-Cleaner-In-The-U-S> (02.05.2017)
- [17] Roomba 2002. [WWW] https://www.wired.com/wp-content/uploads/blogs/design/wp-content/uploads/2033/12/dcte_roomba_f.jpg (04.05.2017)
- [18] Case IH. Autonomous tractor technology shows way forward for farming. [WWW] <https://www.caseih.com/emea/en-gb/News/Pages/2017-02-26-Autonomous-tractor-technology-shows-way-forward-for-farming-enhancing-efficiency-and-working-conditions-in-agric.aspx>

(06.05.2017)

- [19] Perez, Y. Ahti Heinla , co-founder of Starship Technologies , on how robots will transform the delivery space. [WWW] <http://techcitynews.com/2017/02/26/starship-technologies-robots-transform-delivery-space/> (23.04.2017)
- [20] Starship Technologies. [WWW] <http://www.robotliving.com/robot-news/starship-technologies/> (23.04.2017)
- [21] Milremi arendustegevus. [WWW] <http://milrem.ee/et/arendustegevus> (23.04.2017)
- [22] The Association for Unmanned Vehicle Systems. Unmanned Ground Vehicles : Core Capabilities & Market Background. [WWW] <http://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedFiles/AUVSIUGVCoreCapabilitiesandMarketBackground08-08-13.pdf> (27.04.2017)
- [23] Oxford Dictionaries. Definition of safety in English. [WWW] <https://en.oxforddictionaries.com/definition/safety> (02.05.2017)
- [24] Focus Economics. GDP in Estonia. [WWW] <https://www.focus-economics.com/country-indicator/estonia/gdp-eur-bn> (02.05.2017)
- [25] Singh, S. Critical reasons for crashes investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey. [WWW] <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812115> (01.05.2017)
- [26] Ilas, C. Electronic sensing technologies for autonomous ground vehicles: A review. - 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, ATEE 2013, 0–5.
- [27] Unique Maintenance Products. Battery Maintenance Facts. [WWW] http://www.batteryequaliser.com/products/product_battery_maintenance.htm (20.05.2017)
- [28] Liiklusseadus - Riigi Teataja I, 2017, 8.
- [29] Registreerimisele kuuluvate maastikusõidukite loetelu - Riigi Teataja I, 2011, 14.
- [30] Riigikogu. Liiklusseaduse muutmise seadus 399 SE. [WWW] <https://www.riigikogu.ee/tegevus/eelnoud/eelnou/3be36672-a348-4c60-a15e-3a47bc0d26c1/> (23.04.2017)
- [31] Pau, A. Eesti asus seadustama robotliikureid: ülekäigurajal neile teed andma ei pea. [WWW] <http://tehnika.postimees.ee/4039813/eesti-asus-seadustama-robotliikureid-ulekaigurajal-neile-teed-andma-ei-pea> (11.04.2017)
- [32] United Nations Economic Commission for Europe. List of Contracting Parties to the Convention on Road Traffic. [WWW] www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/CP_Vienna_convention.pdf (27.04.2017)
- [33] Raude, M. Eesti kui isejuhtivate sõidukite testriik. [WWW] <http://forte.delfi.ee/news/auto/eesti-kui-isejuhtivate-soidukite-testriik?id=76265739> (27.04.2017)
- [34] Loide, M. Eesti lubab osad isejuhtivad autod tänasest tänavatele [WWW] <https://www.eesistumine.ee/et/uudised/eesti-lubab-osad-isejuhtivad-autod-tanasest-tanavatele>. (27.04.2017)
- [35] Alexander, R. Kelly, T. Herbert, N. A Critique of the “Unmanned Systems Safety Guide for DoD Acquisition. - 27th International System Safety Conference (ISSC '09), 2009.
- [36] Glaser, A. Virginia is the first state to pass a law allowing robots to deliver straight to your door.[WWW] <https://www.recode.net/2017/3/1/14782518/virginia-robot-law-first-state-delivery-starship>. (18.05.2017)

- [37] Quintana, E. The Ethics and Legal Implications of Military Unmanned Vehicles. [WWW] <http://www3.nd.edu/~cpence/eewt/Quintana2008.pdf> (11.04.2017)
- [38] Sõidukid, laevad ja sisepeõlemismootorid. Raadiohäiringu tunnussuurused. Piirväärtused ja mõõtemeetodid pardavälisete vastuvõtjatele : EVS-EN 55012:2008. Tallinn : Eesti standardikeskus, 2008.
- [39] Akustika. Mehhanismide ja seadmete tekitatava müra väärtuste deklareerimine ja kontrollimine : EVS-EN ISO 4871:2009. Tallinn : Eesti standardikeskus, 2009.
- [40] Ohutusnõuded elektrilistele mõõtmis-, juhtimis- ja laboratooriumiseadmetele : EVS-EN 61010:2009. Tallinn : Eesti Standardikeskus, 2009.
- [41] Rouse, M. Sensor. [WWW] <http://whatis.techtarget.com/definition/sensor> (27.04.2017)
- [42] What is an Ultrasonic Sensor? [WWW] http://education.rec.ri.cmu.edu/content/electronics/boe/ultrasonic_sensor/1.html (01.05.2017)
- [43] Nave, R. Ultrasonic Sound. [WWW] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/sound/usound.html>. (02.05.2017)
- [44] Cohen, I, Ultrasonic Sensors [WWW] <http://academy.seebo.com/ultrasonic-sensors-work-internet-of-things/> (02.05.2017)
- [45] Lucas, J. What is Infrared? [WWW] <http://www.livescience.com/50260-infrared-radiation.html>. (01.05.2017)
- [46] Chilton, A. The Working Principle and Key Applications of Infrared Sensors. [WWW] <http://www.azosensors.com/Article.aspx?ArticleID=339> (01.05.2017)
- [47] Sharp GP2Y0A02YK0F. [WWW] http://www.robotshop.com/media/catalog/product/cache/1/image/900x900/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/s/h/sharp-gp2y0a02yk0f-ir-range-sensor_3.jpg (18.05.2017)
- [48] The National Ocean Service. What is LiDAR? [WWW] <http://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html> (01.05.2017)
- [49] Portland State University. LiDAR Light Detection and Ranging. [WWW] <http://web.pdx.edu/~jduh/courses/geog493f12/Week04.pdf> (01.05.2017)
- [50] 3D LiDAR sensors. [WWW] <https://www.sick.com/us/en/detection-and-ranging-solutions/3d-lidar-sensors/ld-mrs/ld-mrs400001/p/p112355> (02.05.2017)
- [51] Brain, M. How Radar Works. [WWW] <http://science.howstuffworks.com/radar.htm> (01.05.2017)
- [52] Bosch Mobility Solutions Mid - range radar sensor. [WWW] http://products.bosch-mobility-solutions.com/en/de/_technik/component/CO_PC_DA_Adaptive-Cruise-Control_CO_PC_Driver-Assistance_2434.html?compId=2496 (02.05.2017)
- [53] Ali, A. Olaleye, O. Bayoumi, M. Fast Region-Based DPM Object Detection for Autonomous Vehicles - 2016 IEEE 59th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), 16-19 October 2016, Abu Dhabi, UAE, 16–19.
- [54] Lacroix, S. UGV & AUV Simultaneous Localization and Mapping and Mapping. [WWW] www.acfr.usyd.edu.au/pdfs/.../SLAM%20Summer%20School/Simon%20Lacroix.pdf (11.05.2017)
- [55] Crato, N. How gps works. [WWW] <https://www.maptoaster.com/maptoaster-topo-nz/articles/how-gps-works/how-gps-works.html> (01.05.2017)
- [56] Yoon, B. Na, J. Jung, S. Kim, J. Navigation of Unmanned Ground Vehicle (UGV) by using Dead Reckoning

(DR) and global mapping optimization - 2008 International Conference on Control, Automation and Systems, ICCAS 2008, 595–598.

- [57] Goodhue, B. What is DGPS or Differential GPS? [WWW] <http://www.southernavionics.com/blog/bid/43197/What-is-DGPS-or-Differential-GPS> (01.05.2017)
- [58] Navipedia. DGNSS Systems.[WWW] http://www.navipedia.net/index.php/DGNSS_Systems (02.05.2017)
- [59] Dimension Engineering. A beginner's guide to accelerometers. [WWW] <https://www.dimensionengineering.com/info/accelerometers> (01.05.2017)
- [60] Park, M. Mills, D. Juan, S. A Guide to Sensors. [WWW] <https://www.superdroidrobots.com/shop/custom.aspx/sensor-support/68/> (01.05.2017)
- [61] Scaramuzza, D. Perception : Sensors Autonomous Mobile Robots. [WWW] http://www.asl.ethz.ch/education/lectures/autonomous_mobile_robots/spring-2015.html (01.05.2017)
- [62] Dynapar. Dynapar Incremental Encoder. [WWW] http://www.dynapar.com/Technology/Encoder_Basics/Incremental_Encoder/ (22.05.2017)
- [63] Eitel, E. Basics of Rotary Encoders: Overview and New Technologies. [WWW] <http://www.machinedesign.com/sensors/basics-rotary-encoders-overview-and-new-technologies-0> (22.05.2017)
- [64] Encoder Products Company. The Basics Of How An Encoder Works. [WWW] http://encoder.com/core/files/encoder/uploads/files/WP-2011_Basics_of_How_an_Encoder_Works.pdf (01.05.2017)
- [65] Cho, B. Koo, J. Yoon, B. Kim, B. The research of dead reckoning stabilization algorithm using different kinds of sensors. - International Conference on Control Automation and Systems (ICCAS), 2010, 1089–1092.
- [66] Siegwart, R. Chli, M. Rufli, M. Localization I. [WWW] http://www.asl.ethz.ch/education/lectures/autonomous_mobile_robots/spring-2017.html (02.05.2017)
- [67] Katz, R. Frank, O. Nieto, J. ja Nebot, E. Dynamic Obstacle Detection Based on Probabilistic Moving Feature Recognition. [WWW] https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-75404-6_8 (07.05.2017)
- [68] Chli, M. Rufli, M. Siegwart, R. SLAM I: The problem of SLAM. [WWW] http://www.asl.ethz.ch/education/lectures/autonomous_mobile_robots/spring-2017.html (11.05.2017)
- [69] Riisgaard, S. Blas, M. SLAM for Dummies. [WWW] http://ocw.num.edu.mn/NR/rdonlyres/Aeronautics-and-Astronautics/16-412JSpring-2005/9D8DB59F-24EC-4B75-BA7A-F0916BAB2440/0/1aslam_blas_repo.pdf (07.05.2017)
- [70] Guardium UGV. [WWW] <http://defense-update.com/products/g/guardium.htm>. (02.05.2017)
- [71] Demetriou, G. A Survey of Sensors for Localization of Unmanned Ground Vehicles (UGVs). - Conference: Proceedings of the 2006 International Conference on Artificial Intelligence, ICAI 2006.
- [72] RobotShop. [WWW] <http://www.robotshop.com/eu/en/sensors.html>. (18.05.2017)
- [73] Lambert, F. A look at Tesla's new Autopilot hardware suite: 8 cameras, 1 radar, ultrasonics & new supercomputer. [WWW] <https://electrek.co/2016/10/20/tesla-new-autopilot-hardware-suite-camera-nvidia-tesla-vision/>. (18.05.2017)

- [74] Tesla Motors. Full Self Driving On All Cars. [WWW] https://www.tesla.com/autopilot/?utm_campaign=GL_AP_101916&utm (18.05.2017)
- [75] Simonite, T. Self-Driving Cars' Spinning-Laser Problem. [WWW] <https://www.technologyreview.com/s/603885/autonomous-cars-lidar-sensors/>. (18.05.2017)
- [76] Dolan, J. Trebi-ollenu, A. Soto, A. Khosla, P. Distributed Tactical Surveillance with ATVs - SPIE Proceedings on Unmanned Ground Vehicle Technology (AeroSense '99), 192-199.
- [77] SARGE. [WWW] <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/sarge.htm>. (02.05.2017)
- [78] OSHKOSH DEFENSE® TERRAMAX® UNMANNED GROUND VEHICLE TECHNOLOGY. [WWW] <https://oshkoshdefense.com/technology-1/unmanned-ground-vehicle/#overview> (02.05.2017)
- [79] Olson, S. Wang, B. Bear Robot Interview. [WWW] <http://www.nextbigfuture.com/2010/09/andrew-allen-of-bear-robot-program-is.html> (02.05.2017)
- [80] Theobald, D. Mobile Extraction Assist Robot : US 7719222 B2, 2008.
- [81] iRobot. iRobot® 510 PackBot® Specifications. [WWW] https://www.darley.com/documents/guides/robotics/spec_sheets/PackBot_Specs.pdf. (18.05.2017)
- [82] The Carnegie Mellon Robotics Institute. UPI: UGCV PerceptOR Integration. [WWW] http://www.nrec.ri.cmu.edu/projects/crusher/Crusher_Brochure.pdf (18.05.2017)
- [83] Intellibot. [WWW] <https://www.dobmeierjanitorialsupplies.com/Taski-Intellibot> (18.05.2017)
- [84] Bosch Indego 1000 LI-ion Optional Extras : Technical Specifications. [WWW] <https://www.lawnmowersdirect.co.uk/product/bosch-indego-li-ion-robotic-lawnmower> (18.05.2017)
- [85] Layton, J. How Robotic Vacuums Work. [WWW] <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/home/robotic-vacuum2.htm> (20.05.2017)
- [86] SAE International. Automated Driving: Levels Of Driving Automation [WWW] https://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf (27.04.2017)

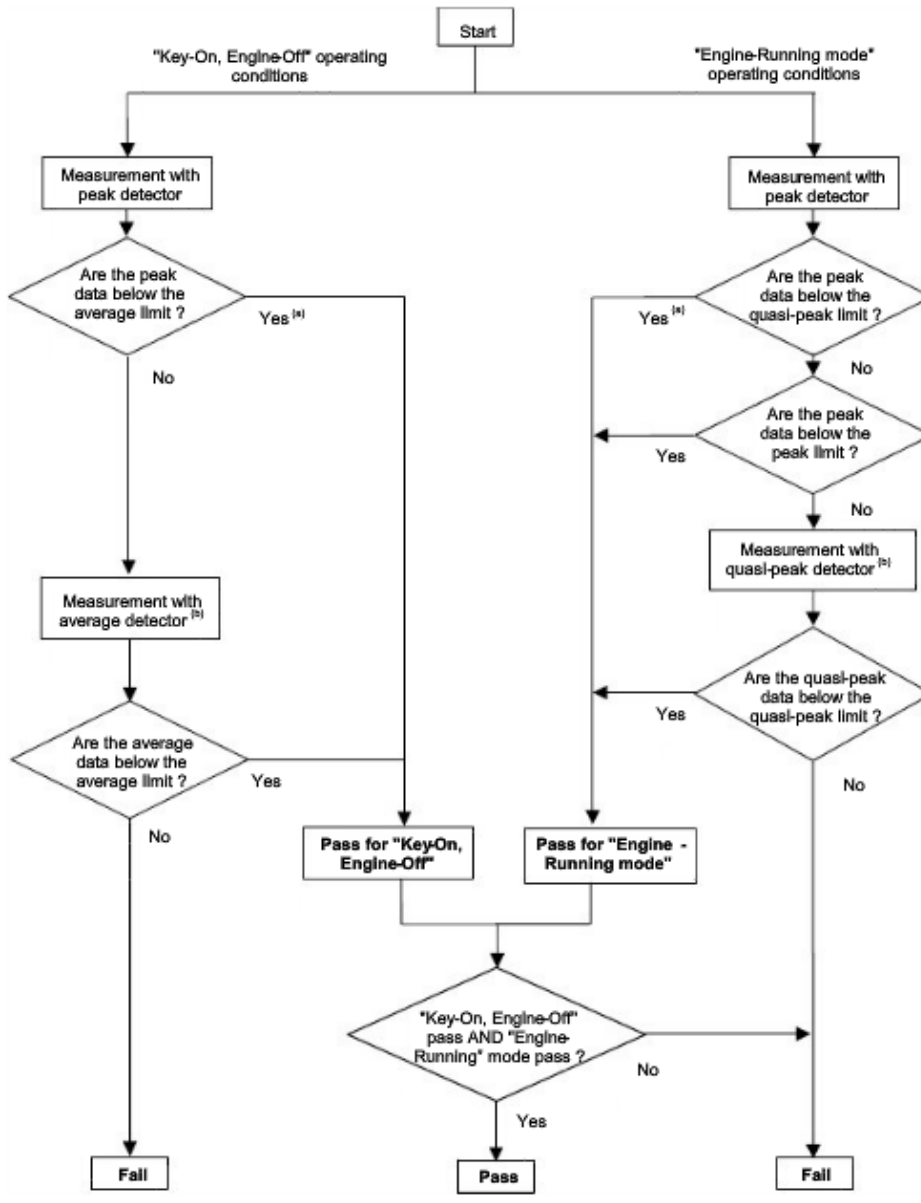
LISAD

Lisa 1 Joonised

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Copyright © 2014 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed provided SAE International and J3016 are acknowledged as the source and must be reproduced AS-IS.

Sele 1.1 Ülevaade SAE International autonoomse juhtimise kategooriatest [86]



IEC 706/07

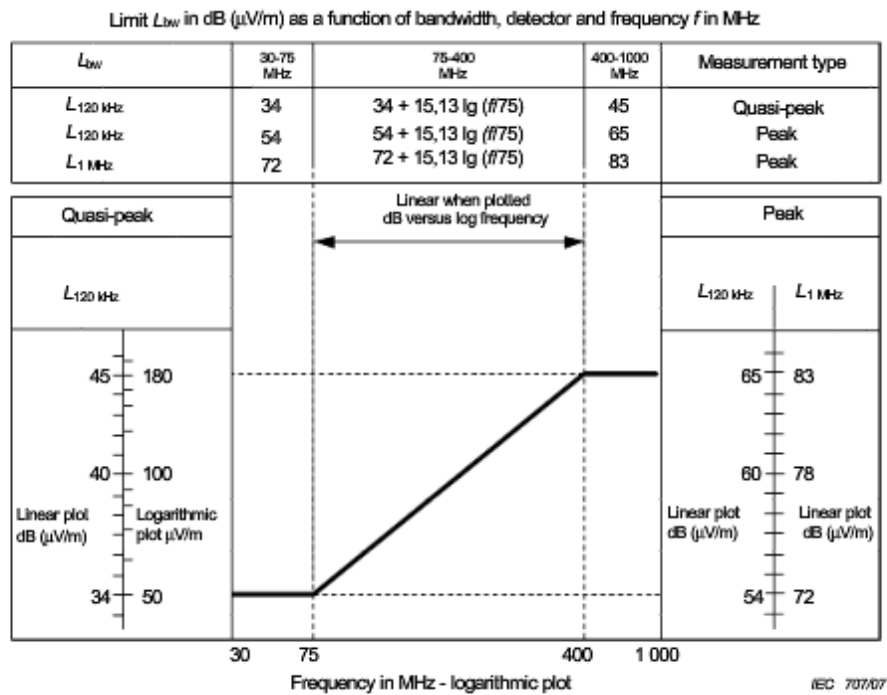
- a Because measurement with peak detector is always higher than or equal to measurement with quasi-peak detector (and average detector respectively) and applicable peak limit is always higher than or equal to applicable quasi-peak limit (and average limit respectively), this single detector measurement can lead to a simplified and quicker conformance process.
- b This flow-chart is applicable for each individual frequency, e.g only frequencies that are above the applicable limit need to be remeasured with quasi-peak detector (and average detector respectively).

Figure 1 – Method of determination of conformance

Sele 1.2 Vooskeem kirjeldamaks masina elektromagneetilise ühilduvuse mõõtmise ja vastavuse protsessi [38]

4.2 Peak and quasi-peak detector limits

The limit for emissions measured with peak or quasi-peak detector at 10 m antenna distance is given in the table of Figure 2 and is shown graphically in Figure 2. Only one of the bandwidths listed needs to be chosen for testing. For more accurate determination, the equations given in Figure 2 shall be used. For measurements at 3 m antenna distance, 10 dB shall be added to the limit.



NOTE 1 For vehicles equipped with electric propulsion motors, see 5.3.2.

NOTE 2 For peak measurements, see 5.5.

NOTE 3 The correlation factor between quasi-peak and peak measurements is +20 dB at 120 kHz bandwidth, based on experimental data accumulated in many countries.

**Figure 2 – Limit of disturbance (peak and quasi-peak detector)
at 10 m antenna distance**

Sele 1.3 Piirväärtused elektromagneetilise ühilduvuse jaoks 10 meetri kauguselt [38]

B.1 Declared single-number noise emission values

An example of a single-number declaration is given below. The noise emission values given are typical values, only for illustration.

If there is no noise test code or if the operating conditions are not in accordance with the test code given in ISO XXXX, further information about the operating conditions should be given.

Machine model number, operating conditions, and other identifying information: Type 990, Model 11-TC, 50 Hz, 230 V, rated load		
DECLARED SINGLE-NUMBER NOISE EMISSION VALUES in accordance with ISO 4871		
	Operating mode 1	Operating mode 2
A-Weighted sound power level, $L_{WA,d}$ (ref. 1 pW), in decibels	90	97
A-Weighted emission sound pressure level, $L_{pA,d}$ (ref. 20 μ Pa) at the operator's position, in decibels	80	88
Values determined according to noise test code given in ISO XXXX, using the basic standards ISO YYYY and ISO ZZZZ.		
NOTE — Declared single-number noise emission values are the sum of measured values and the associated uncertainty, and they represent upper boundaries of the range of values which is likely to occur in measurements.		

Sele 1.4 standardi EVS-EN ISO 4871:2009 masinale rakendamine [39]

Table H.1 – Test parameters, test conditions and test procedures

Item	Test, conditioning	Test parameter, conditions	Test procedure
1	Scratch resistance	Temperature: 15 °C.... 35 °C Humidity: 45 %.... 75 % R.H. Any combination of temperature and humidity within these ranges is acceptable.	The scratch test is conducted according to 5.5 of IEC 60664-3.
2	Cold conditioning	Conditioning temperature: T_{min} T_{min} is the minimum RATED ambient temperature or the minimum RATED storage temperature, whichever is lower, of the specimen. Any humidity is acceptable. Conditioning time: 24 h	The specimens are placed in a temperature chamber and held at T_{min} for the specified conditioning time.
3	Dry heat	Conditioning temperature: T_{max} T_{max} is the maximum RATED surface temperature, maximum RATED ambient temperature, or maximum RATED storage temperature, whichever is higher, of the specimen. Any humidity is acceptable. Conditioning time: 48 h	The specimen is placed in a temperature chamber and held at T_{max} for the specified conditioning time.
4	Rapid change of temperature	Maximum temperature: T_{max} T_{max} is the maximum RATED surface temperature, maximum RATED ambient temperature, or maximum RATED storage temperature, whichever is highest, of the specimen. Minimum temperature: T_{min} T_{min} is the minimum RATED ambient temperature or the minimum RATED storage temperature, whichever is lower, of the specimen. Rate of change of temperature: within 30 s Cycle time (duration of one cycle): T_{max} and T_{min} are each held until steady state conditions of the specimens are achieved and then maintained for 10 min. The cycle starts when the specimen has reached the target within 2° C. Number of cycles: 5 cycles	The conditioning procedure follows test Na of IEC 60068-2-14.
5	Damp heat	Temperature: 40 °C ± 2 °C Humidity: 90 %...95 % R.H. Conditioning time: 24 h	The specimens are placed in the humidity chamber and held at the specified temperature and humidity for the specified conditioning time.
6	Adhesion of coating	Temperature: 15 °C.... 35 °C Humidity: 45 %.... 75 % R.H. Pull force: 5 N	The test procedure follows the test described in 5.8.2 of IEC 60664-3 using the specified pull force.
7	Humidity conditioning	Temperature: 40 °C ± 2 °C Humidity: 90 %...95 % R.H. Conditioning time: 48 h	The specimens are placed in the humidity chamber and held at the specified temperature and humidity for the specified conditioning time.
8	Insulation resistance of conductors	Temperature : 40 ± 2 °C Humidity: 90 %...95 % R.H. Insulation resistance: ≥100 MΩ	Insulation resistance is measured between the two outer conductors with the smallest CREEPAGE DISTANCE for at least 1 min. The test voltage shall be as close to the WORKING VOLTAGE as possible.

Sele 1.5 standardis EVS-EN 61010-1:2010 olevate testide parameetrid, tingimused ja protseduurid [40]