



Enn-Riiko Talivere

AEB SÜSTEEMI TESTIMISE METOODIKA

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Autotehnika õppekava

Juhendaja: Janek Lupp

Tallinn 2023

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, Enn-Riiko Talivere, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt. Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „**AEB SÜSTEEMI TESTIMISE METOODIKA**“:

- reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
- elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
- kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist;
- ning kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigus.

Autor: Enn-Riiko Talivere

/allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas/

Juhendaja kinnitus

Lõputöö vastab lõputöö ja kirjalike tööde vormistamise juhendile. Lubada lõputöö kaitsmisele instituudi direktori korraldusega.

Juhendaja: Janek Lupp, tehnikateaduste magister transporditehnikas, volitatud autoinsener (tase 8), tehnikainstituudi lektor

/allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas/

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. AEB SÜSTEEMI KIRJELDUS	6
2. AEB SÜSTEEMIS KASUTATAVATE KOMPONENTIDE JA TEHNOLOOGIATE ÜLEVAADE	8
2.1. Millimeeterlaineala radari kirjeldus	8
2.2. Lidari kirjeldus	8
2.3. Masinnägemise tehnoloogia ülevaade	9
2.3.1. Monokulaarne kaamera süsteemi tööpõhimõte	9
2.3.2. Stereo kaamera süsteemi tööpõhimõte	11
3. EURO NCAP KATSEMETOODIKA ÜLEVAADE	12
3.1. Katses mõõdetavad andmed.....	12
3.2. Euro NCAP AEB süsteemi testimise kriteeriumid	12
3.3. Euro NCAP AEB süsteemi testimisel kasutatav katsekeha.....	13
4. KATSE METOODIKA LOOMINE.....	15
4.1. Katserada	15
4.2. Auto maketi loomine	17
4.2.1. Katsekeha ideed	18
4.2.2. Auto maketi valmistamine.....	18
4.3. Eelkatsete auto	19
4.4. Loodud katse metoodika kriteeriumite soovitusel.....	20
5. KATSEMETOODIKA TESTIMINE	22
5.1. Katsete eesmärk	22
5.2. Sõidukite kirjeldus.....	22
5.2.1. BMW 320d Xdrive AEB süsteemi üldkirjeldus	22
5.2.2. Peugeot 508 AEB süsteemi üldkirjeldus	23
5.2.3. Tesla Model 3 AEB süsteemi üldkirjeldus	24
5.3. Katse kirjeldus.....	26
5.4. Katsete tulemused	27
5.5. Katsete kokkuvõte	29
6. EDASINE ARENDUS.....	31
KOKKUVÕTE.....	32
SUMMARY	33

VIIDATUD ALLIKAD	34
LISAD.....	37
Lisa 1. Mõõteseadme RACELOGIC VBOX 3 100 Hz paigutus Teslas ja kaamera asukoht..	38
Lisa 2. Mõõteseadme RACELOGIC VBOX 3 100 Hz paigutus Peugeot's ja kaamera asukoht	40
Lisa 3. Mõõteseadme RACELOGIC VBOX 3 100 Hz paigutus BMW-s ja kaamera asukoht	42
Lisa 4. Loodud auto maketi pildid eest, küljelt ja tagant.....	44
Lisa 5. Koost_01_00 Auto maketi karkass	47
Lisa 6. Detail_01_01 Auto maketi karkassi vertikaaltala.....	48
Lisa 7. Detail_01_02 Auto maketi karkassi risttala	49

SISSEJUHATUS

Autoga teisele autole tagantotsasõit on kõige sagedasem liiklusõnnetus juhtum euroopa teedel. Selle vähendamiseks on loodud AEB süsteem ehk automaatse hädapidurduse süsteem, mis tuvastab ära ees oleva sõiduki ning annab juhile märku, et vaja on pidurdada ning kui juht ei reageeri, alustab süsteem pidurdamisega ise. [1]

Sõidukite tootjaid on maailmas erinevaid ning selle tõttu on ka palju erinevaid AEB süsteeme ning ka nende süsteemide töövõime piirid on erinevad. Selleks, et tarbijal oleks teada, millise sõiduki automaatse hädapidurduse süsteem saab kõige paremini hakkama ülesannetega on ettevõtte Euro NCAP loonud viie täрни süsteemi, et hinnata sõidukite ohutust, läbi katsete. Üheks katseks on ka AEB süsteemi testimine. [2]

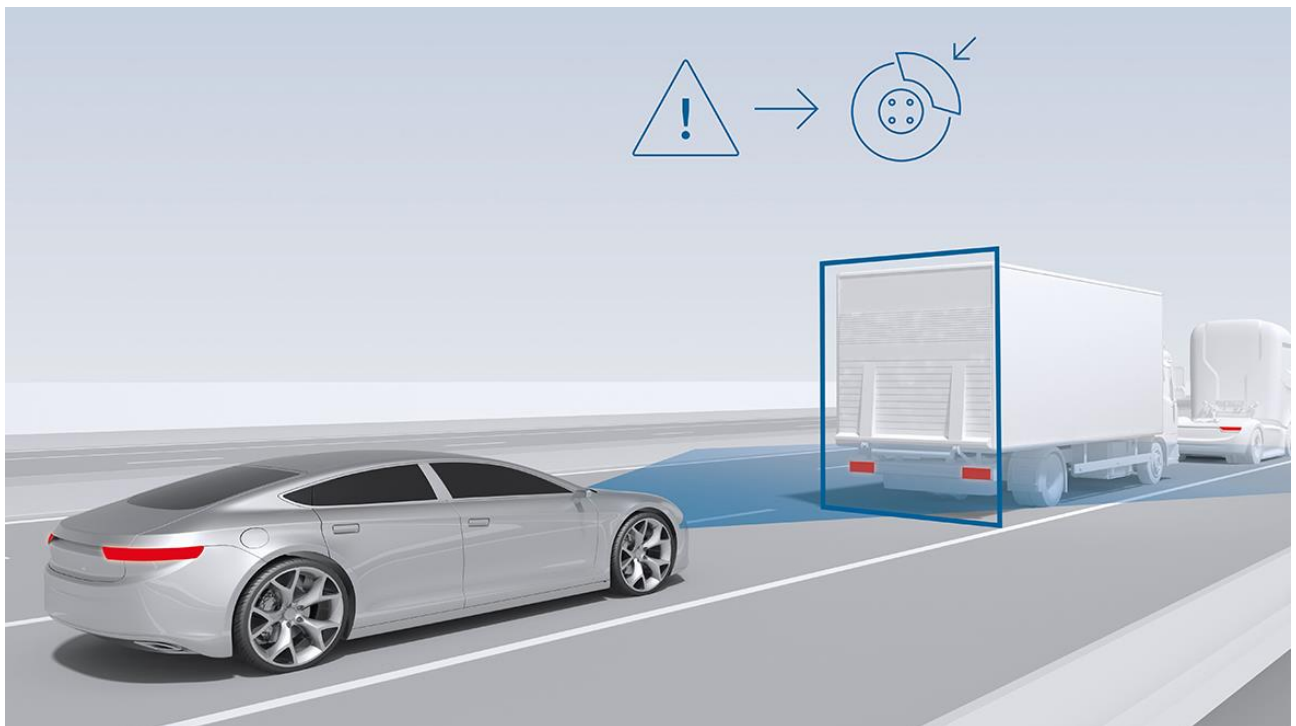
Automaatne hädapidurduse süsteem kasutab oma tööks kaamerat, radarit või lidarit. Neid komponente kasutavad sõiduki tootjad AEB süsteemi loomisel üksikult või koostöös. Selleks, et süsteemi algoritm õigeid sisendandmeid nendest komponentidest saaks, tuleb komponendid kalibreerida õigesti. Kalibreerida tuleb ka peale igat komponendi vahetust. Vastasel korral süsteem ei toimi õigesti. [1], [3]

Lõputöö eesmärgiks on luua automaatse hädapidurduse süsteemi testimise metoodika, et kontrollida AEB süsteemi töökorda. Loodava metoodika peamisteks märksõnadeks oli lihtsus, madal hind ja ohutus. Metoodika rakendusteks oleks, näiteks klaasivahetus ettevõtetes, peale klaasi vahetust ja kaamerate kalibreerimist teostada ka katse, et veenduda süsteemi korrektses töös. Veel oleks hea võimalus kasutada loodud metoodikat eraisikul autot ostma minnes, millel on varustuses AEB süsteem, saaks kontrollida sõidukil oleva süsteemi korrasolekut. Ka tehnoulevaatus punktid saaksid reaalselt süsteemi korrasolekut kontrollida sellise katse metoodika abil.

Lõputöö jaguneb kuueks suuremaks osaks. Esimese osas antakse ülevaade automaatsele hädapidurduse süsteemile. Teises osas tutvustatakse AEB süsteemis kasutatavaid komponente ja tehnoloogiaid. Kolmandas osas saab ülevaate Euro NCAP katse metoodikast. Neljas osa kirjeldab katse metoodika loomist. Viiendas osas tutvustatakse loodud testi metoodikaga teostatud katset. Lõpetuseks tuuakse välja edasine arendusplaan.

1. AEB SÜSTEEMI KIRJELDUS

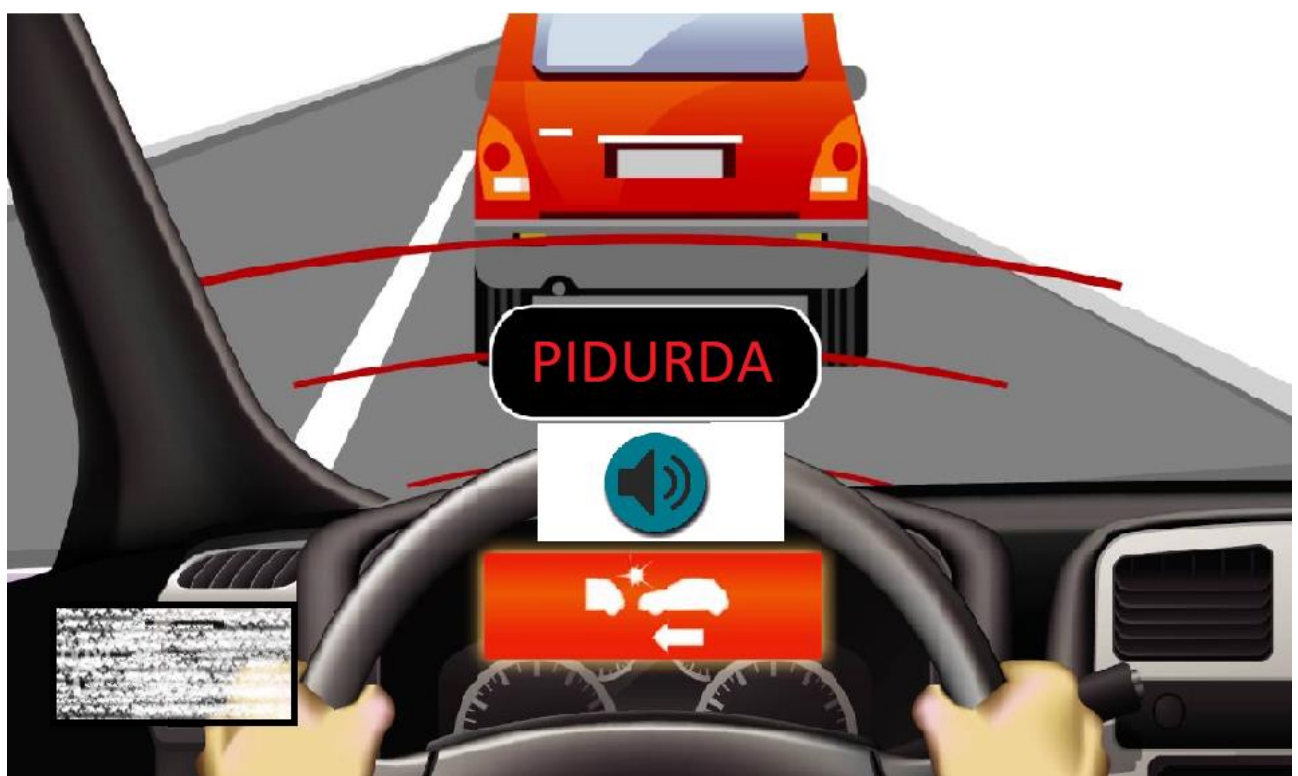
AEB (inglise k *Autonomus Emergency Braking*) on automaatne hädapidurduse süsteem ehk üks sõiduki juhiabisid. Süsteemi eesmärk on vältida kokkupõrget või vähendada võimalikult palju tagajärgi, vähendades sõiduki kiirust enne kokkupõrget. AEB süsteemi illustratiivne näide on seel (Sele 1). Küll aga ei ole süsteemi eesmärk sõidukijuhi kohustusi üle võtta ehk juhikohal peab ikkagi viibima isik kellel on juhtimisõigus ning ka tervislik seisund on korras. Automaatse hädapidurduse peamiseks komponendiks on kaamera, radar või lidar. Neid komponente kasutavad erinevad autode tootjad erinevalt. Kasutakse kas ainult ühte neist komponentidest või mitut koostöös. Automaatse hädapidurduse süsteemi üheks tähtsaks osaks on ka masinnägemine, mis aitab sõidukil tajuda ümbritsevat kasutades ühte või mitut kaamerat. [3], [1]



Sele 1. Automaatse hädapidurduse süsteemi toimivuse illustratiivne näide [3]

ADAS (inglise k *Advanced Driver Assistance Systems*) on aktiivsed ja passiivsed ohutussüsteemid, mille eesmärgiks on ära kaotada inimeksimus erinevat tüüpi sõidukitel. Kasutades sensortehnoloogiate kombinatsioone saab tajuda sõiduki ümber olevat maailma ning edastada juhile teavet ümbritsevast või vajadusel sekkuda. Tänu täiustatud tehnoloogiatele, mida ADAS kasutab abistatakse juhte sõidu ajal ning parandatakse juhtide sõidukogemust ning muudetakse liiklemine turvalisemaks. Automaatne hädapidurduse süsteem on üks ADAS ohutussüsteemidest. [4]

AEB on üks ohutussüsteemidest, mis on just kui passiivne kui ka aktiivne süsteem. Automaatne hädapidurduse süsteemi tegevus algab passiivselt ehk nähes teist sõidukit või objekti antakse juhile visuaalselt ja auditiivselt märku takistusest, illustratiivne näide on selel (Sele 2). Juhil mitte reageerimisel ning kui süsteem tuvastab, et kokkupõrke tõenäosus on juba väga suur või, kui kokkupõrge on kindel muutub süsteem aktiivseks ning sekkub sõiduki juhtimisse aktiveerides pidurit. Tänapäevased autod, millel on automaatne hädapidurduse süsteem sekkuvad ka auto piduritöösse, siis kui juht ise vajutab pidurit aga süsteem tuvastab, et pidurdus jõud pole piisav, et vältida kokkupõrget, sellisel juhul suurendatakse pidurdusjõudu. Tänu sellele süsteemile suudetakse ära hoida kokkupõrge või vähendada tagajärgede suurust. [3], [1]



Sele 2. Automaatse hädapidurduse süsteemi takistusest teada andmise toimivuse illustratiivne näide
[5]

2. AEB SÜSTEEMIS KASUTATAVATE KOMPONENTIDE JA TEHNOLOOGIATE ÜLEVAADE

2.1. Millimeeterlaineala radari kirjeldus

Millimeeterlaineala radar saadab välja elektromagnetlaineid ning võtab vastu objektidelt tagasipeegelduvate lainete kaja. Tänapäevastel autodel on kasutusel Doppleri efektil põhinevad sagedusmoduleeritud pidevlaineradarid, mis töötavad sagedusvahemikus 76-77 GHz ja efektiivsus on kuni 200 m kaugusele. Selline radar saadab välja muutuva sagedusega elektromagnetlaine ning kaja tagasi jõudmisel objektist määrab ära kauguse ja sagedus näitab ära kiiruse kui ka suuna. Radari kasutamine on autonoomsetel sõidukitel hea kuna radar ei ole väga kallis ning ka ilmastik ei ole väga suur faktor, küll aga väga paks jää või lumi võivad raskendada radari tööd. [6], [7], [8]

2.2. Lidari kirjeldus

Lidar on kaasaegne tehnoloogia, mis kasutab laserkiire põhimõtet, et saada ümbritseva keskkonna kohta kaugusandmeid. Lidar-süsteemid koosnevad mitmest erinevast komponendist, mis koos moodustavad ühe tervikliku süsteemi. Lidarid on defineeritud kahe grupina, lühimaa lidar 20-30 meetrit ning pikamaa lidar kuni 300 meetrit. Kaugusandmete kogumise protsessi käigus kiirgab süsteem välja laserkiiri ja mõõdab selle peegeldumise aega tagasi süsteemi vastuvõtjani. Seejärel saab arvutada kauguse laserkiire allikast takistuseni. Andmeid kogutakse ja töödeldakse reaajas, et võimaldada sõidukil teha kiireid otsuseid ja reageerida keskkonna muutustele. [9], [10]

Lidari lisamine on üks võimalus arendada autonoomset sõidukit, kuna see võimaldab sõidukitel koguda suurel hulgal andmeid oma ümbruse kohta. Tänu sellele on autonoomsetel sõidukitel võimalik tuvastada takistusi, sh liikuvaid ja staatilisi objekte, ning neid ohutult vältida. Lidar-süsteemid on tavaliselt paigutatud sõiduki katusele või esiosale, et tagada maksimaalne nähtavus ja andmete kogumise täpsus. [11]

Lidar-tehnoloogiate arendus on olnud üks autonoomsete sõidukite arengu peamisi valdkondi, kuid selle tehnoloogia kasutusala laieneb pidevalt ka teistele valdkondadele, sh robotika, ehitus, geoloogia ja atmosfäärilised uuringud. Lidari arendamine ja tootmine on muutumas üha odavamaks, mis võimaldab selle tehnoloogia kasutamist ka laiemalt tarbekaupades, nt droonides, nutitelefonides ja kodumasinade juhtimissüsteemides. Kuid hetkel on ikkagi odavamaid lahendusi, mida kasutada

autonoomsetel sõidukitel, näiteks millimeeterlaineala radar ning selle tõttu on ka vähe näha lidareid tänapäeva autodel. [9], [11]

2.3. Masinnägemise tehnoloogia ülevaade

Masinnägemine on tehnoloogia, mille abil autonoomsetel sõidukitel võimaldatakse näha ja ära tunda esemeid ning takistusi nende ümbruskonnas. Optiliste andurite, tarkvaraalgoritmide ja masinõppe tööriistade koostööl suudab tehnoloogia analüüsida ja töödelda pildiandmeid. Tänu sellele sõidukid, millel on kasutusel masinnägemise süsteem, suudavad sõidukid ise vastu võtta otsuseid, kuidas liikluses liigelda. [12], [13]

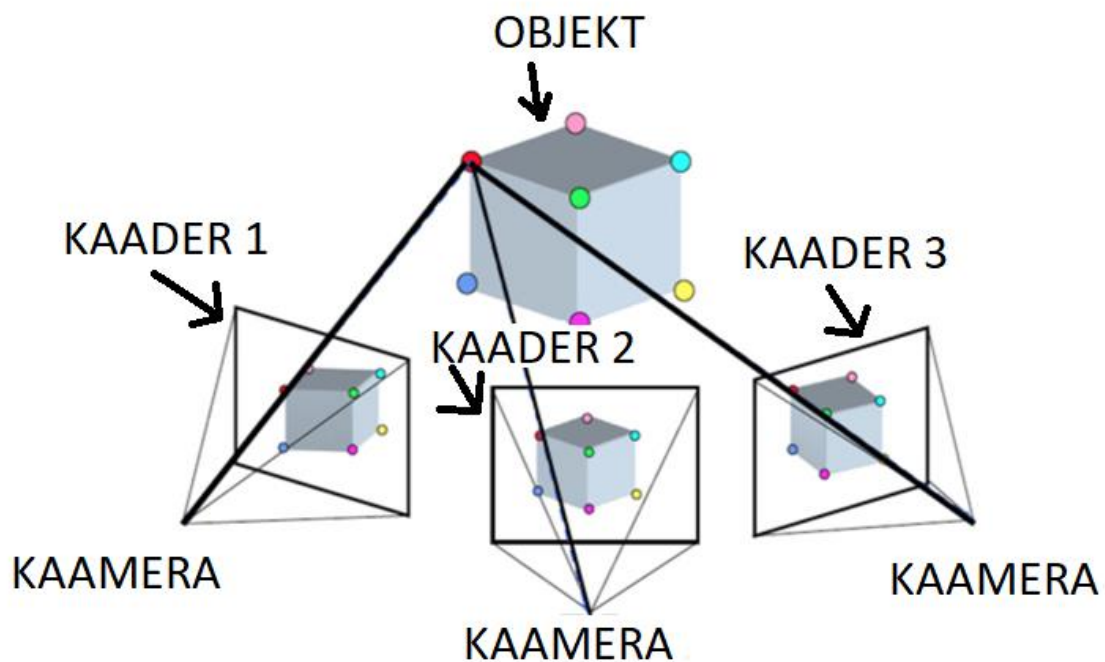
2.3.1. Monokulaarne kaamera süsteemi tööpõhimõte

Monokulaarne kaamera süsteemis on kasutusel ainult üks kaamera. Sellise süsteemiga on võimalik kauguse mõõtmist läbi viia kahe erineva meetodi abil. Esimene meetod tugineb lihtsale eeldusele, et kaamerale lähedamal asuvad objektid näivad suuremad ning see tõttu hõivavad ka kaadris suurema piksliala. Ehk kui kaamera märkab autot, siis saab objekti suuruse hinnata sellele ümber joonistatud maksimaalse kattuvuse risküliku abil, illustratiivne näide on seel (Sele 3). Mida suurem on riskülik, seda lähemal on objekt kaamerale. Automaatne hädapidurduse süsteem hindab, kas kaadris tuvastatud objekti kaugus on turvalisest eelnevalt määratud väärtusest lähemal või kaugemal. Turvalisest väärtusest lähemal olles, rakendab automaatne hädapidurduse süsteem ennast. Selle kauguse mõõtmise meetodi plussiks on lihtsus. Miinusteks aga on esiteks see, et kaugust ei saa hinnata enne, kui pole nii öelda tuvastatud objekt õigesti. Näiteks vahemaa kahe inimeseni on sama, kuid üks inimene on keskmist kasvu täiskasvanu aga teine inimene on keskmist kasvu laps. Sellisel juhul on kaadris hõivatud pikslialad erinevad ning süsteemile jääks mulje, et üks inimene on kaugemal kui teine. Teiseks probleemiks on see, et objekt võib jääda tuvastamata, näiteks kehva valguse või varjutuse tõttu ning sellisel juhul ei saa kaugust tuvastada, kuna algoritm ei tea pikslite arvu, mida objekt omab. [14]



Sele 3. Monokulaarse kaamera süsteemi illustratiivne näide [15]

Teine kauguse mõõtmise meetod põhineb struktuursest liikumisest (inglise k *structure-from-motion*), kuna kaamera on sõiduki küljes, mis liigub, siis saab aja jooksul järjestikuseid kaadreid võrrelda ühesuguste tunnuste alusel. Ühesugusteks tunnusteks võivad olla näiteks teise auto erinevate keredetailide nurgad ning kui nüüd saadud kaadrite ja kaamera asukohad paika pannes saab piltlikult öeldes kaamera asukohadest tõmmata joone läbi kaadrite asukohtadel olevatest ühesuguste tunnuste punktidest, seda tehes lõikuvad erinevatest asukohtadest tõmmatud jooned ning see lõikepunkt ongi objekti teatud nurga tegelik asukoht ümbruskonnas. Piltlik selgitus struktuurse liikumise meetodist on seel (Sele 4). [14]



Sele 4. Struktuurse liikumise meetodi toimivuse piltlik selgitus [16]

2.3.2. Stereo kaamera süsteemi tööpõhimõte

Stereo kaamera süsteemis on kasutusel vähemalt kaks kaamerat, kuid võib ka rohkem olla. Süsteem toimib nii, et võrreldakse kahe või enam kalibreeritud kaamera poolt samaaegselt tehtud piltide piksleid. Pikslite arvu erinevus on pöördvõrdeline objekti kaugusega, ehk mida väiksem on pikslite erinevuse arv, seda kaugemal on objekt. Selleks, et stereo kaamera süsteemi täpsemaks muuta, tuleks arvutusi läbi viia, kas poole piksli kaupa või isegi veerand piksli kaupa. [14]

3. EURO NCAP KATSEMETOODIKA ÜLEVAADE

Euro NCAP on ettevõtte, mis on loonud viie täрни turvalisuse hinnangu süsteemi sõidukite võrdlemiseks. Eesmärgiks on aidata tarbijatel ja ettevõtetel sõidukeid võrrelda ning leida nende vajadusele kõige ohutum. Ohutusaste on määratud sõidukitestide seeria põhjal, mille Euro NCAP on loonud. Testid kujutavad lihtsustatud stsenaariumeid, mis juhtuvad ka reaalses elus. Üheks Euro NCAP poolt tehtavaks testiks on ka automaatse hädapidurduse süsteemi test, kus katsekeha seisab tagaosaga katse trajektoori suunas ning katsetava sõidukiga lähenetakse sellele, millele ka autor järgneva peatüki jooksul keskendub. [2]

3.1. Katses mõõdetavad andmed

Katses mõõdetakse järgnevaid andmeid [17]:

- testi algus aeg;
- aeg, millal automaatne pidurdus aktiveerub;
- aeg, millal juhile edastatakse teave ees olevast objektist;
- aeg, millal katsetatav sõiduk mõjutab katsekeha;
- aeg, millal katsetatav sõiduk liikuma hakkab;
- katsetatava sõiduki asukoht kogu testi vältel;
- katsekeha asukoht kogu testi vältel;
- katsetatava sõiduki kiirus kogu testi vältel;
- katsetatava sõiduki kiirendus kogu testi vältel;
- katsekeha kiirendus kogu testi vältel.

Andmete nõutud minimaalsed täpsused [17]:

- katsetatava sõiduki kiirus 0,1 km/h;
- katsetatava sõiduki ja katsekeha külj ja piki suunaline asend 0,03 m;
- katsetatava sõiduki kursinurk 0,1 °;
- katsetatava sõiduki ja katsekeha piki suunaline kiirendus 0,1 m/s².

3.2. Euro NCAP AEB süsteemi testimise kriteeriumid

Automaatse hädapidurduse süsteemi testimise rada on kuiv, ühtlase ja kõvakattega pinnasel. Katse pinnal võib olla vähim pidurdus haripunkti koefitsient 0,9. Katse trajektooriga viis meetrit paremale

ja vasakule jääv ala peab olema sillutatud ega tohi sisaldada ebakorrapärasusi ning ka helkivaid esemeid ei tohi selle ala sees olla ning katse lõpust edasi 20 meetrit kehtivad samad kriteeriumid. [17]

Katsete ajal peab olema ilm kuiv, see tähendab et sademeid ei tohi olla ning temperatuur vahemikus 5 °C kuni 40 °C. Horisontaalne nähtavus maapinnal peab olema vähemal üks kilomeeter. Tuule kiirus peab olema alla 10 m/s, et katsekehal ja katsetataval sõidukil häireid vähendada. Looduslik ümbritsev valgus testiala peab olema ühtlane ning üle 2000 luksi. Testi rajal ei tohi olla tugevaid varje. Otsese päikesevalguse korral ei tohi selle poole sõita ega ka sellest eemale sõites katset teostada. Iga 30 minuti järel tuleb kontrollida ümbritsevat temperatuuri, raja temperatuuri, tuule suunda ja tugevust ning valgustugevust. [17]

Kõik juhi poolt seadistatavad elemendid AEB süsteemi menüüs tuleb seadistada keskmisele või paarisarvu seadete puhul keskmisest järgmisele hilisemale seadele. Kui sõidukil on juhi seisundi jälgimise süsteem, siis tuleb see enne katse alustamist välja lülitada. Jalakäija või muu liikleja kaitseks mõeldud süsteemid tuleb ka enne katsetamist kahjatuks teha. [17]

Veel toob Euro NCAP välja testi protokollis ka vajalikud nõuded rehvidele, silla geomeetriaile, sõidukite massile ning ka kuidas pidurite ja rehvide töö eelkontrollimine käib. Enne katse algust tuleb teha katsetatava sõidukiga ka kümme proovikatse kordust, et veenduda süsteemi korrektsetes töös. Proovikatsed tuleb läbi viia madalaima testi kiirusega ehk kiirusega 10 km/h. Automaatset hädapidurduse süsteemi testitakse eelnevalt mainitud katse metoodika põhjal kiiruste vahemikus 10 km/h – 50 km/h. [17]

3.3. Euro NCAP AEB süsteemi testimisel kasutatav katsekeha

Euro NCAP kasutab automaatse hädapidurduse süsteemi testimisel katsekeha nimetusega GVT (inglise k *Global Vehicle Target*), mis on 3D auto makett. Sellel katsekehal on tüüpilised M1 kategooria sõiduki visuaalsed omadused ning ka radari ja lidari süsteemidele vajalikud omadused. GVT peab vastama standardile ISO 19206-3:2021. GVT illustratiivne pilt on seel (Sele 5). [17]



Sele 5. GVT ilustrativne pilt [17]

4. KATSE METOODIKA LOOMINE

Automaatne hädapidurduse süsteem on juhiabi, mis kasutab oma tööks kaamerat, radarit või lidarit, neid siis kas koostöös või üksikult. Selleks, et süsteemi algoritm saaks õigeid sisend andmeid kasutusel olevatest süsteemi komponentidest on vaja, et need kalibreeritud ja ka töökorras oleksid. Käesoleva töö eesmärgiks oli luua automaatse hädapidurduse katse metoodika. Loodava katse metoodika plaaniks oli teha auto makett, mille poole sõidetakse katsetatava sõidukiga ning sõiduki AEB süsteem peab tegema vajalikud toimingud, kui süsteem on töökorras. Loodava testi kiiruseks sai valitud 30km/h. Metoodikat kasutusalaadeks oleks, näiteks peale sõiduki esiklaasi vahetust ja sellele kaasneva vajalike toiminguid kontrollida, kas AEB süsteem endiselt toimib korrapäraselt. Antud metoodikat võiks kasutada, ka auto ostmisel, et reaalselt veenduda sõiduki AEB süsteemi korrasolekus. Tulevikus võib mõelda ka selle peale, et katsemetoodikat kasutada sõiduki tehnöülevaatus punktides süsteemi korrasoleku kontrollimiseks.

4.1. Katserada

Automaatse hädapidurduse süsteemi loodava katse metoodika üks osa on katserada, mille peal saab katset läbi viia. Katserada pidi olema sirgjooneline ning vajaliku pikkusega, et katsetatav sõiduk jõuaks kiirendada vajaliku kiiruseni, enne kui AEB süsteem hakkab oma tööd tegema. Sõidukite kiirendused on erinevad, selle tõttu võttis autor töös kasutusele kiirenduseks vaja mineva teepikkuse arvutusel kiirenduse $1,5 \text{ m/s}^2$, et arvestada suure hulga sõidukitega.

Järgnevalt leitakse vajalik teepikkuse kiiruse 30 km/h saavutamiseks valemiga (1) [18]:

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}, \quad (1)$$

kus s – teepikkus, m;
 v – lõppkiirus, m/s;
 v_0 – algkiirus, m/s;
 a – kiirendus, m/s^2 .

Kiirenduseks vajalik teepikkus vastavalt valemile (1) on:

$$s = \frac{8,3^2 - 0^2}{2 \times 1,5} = 22,96 \text{ m}.$$

Teades, et kiirenduse teepikkus võiks vähemalt ligikaudu 23 meetrit olla, tuli leida ka vahemaa, kui kaugelt AEB süsteem hakkab märku andma ees olevast takistuseks. Sellele probleemile otsis

lahendust autor eelkatsete abil. Sai tehtud katse, kus oli kasutusel Toyota auto makett. Toyota auto maketis 50 meetri kaugusel oli katsesõiduki ehk Toyota stardipunkt, hakati sõitma katsekeha poole kiirusega 30 km/h ning kui sõiduk tuvastas maketi, pidurdas juht auto seisma ning seejärel sai ära mõõdetud mõõdulindiga auto ees põrkerauast kuni katsekehani vahemaa. Selliseid katse korduseid tehti kolm. Katse tulemused on välja toodud graafikul (Sele 6). Järgmiseks leiti arvutuslikult Toyota pidurdus teekond. Kuna eelkatse ajal oli ilm vihmane sai sidestusteguriks valitud 0,5 ning korrutades selle raskuskiirendusega $9,81 \text{ m/s}^2$ läbi sai aeglustuseks $4,91 \text{ m/s}^2$. Eelpidurdusajaks sai võetud 0,4 sekundit. [19]

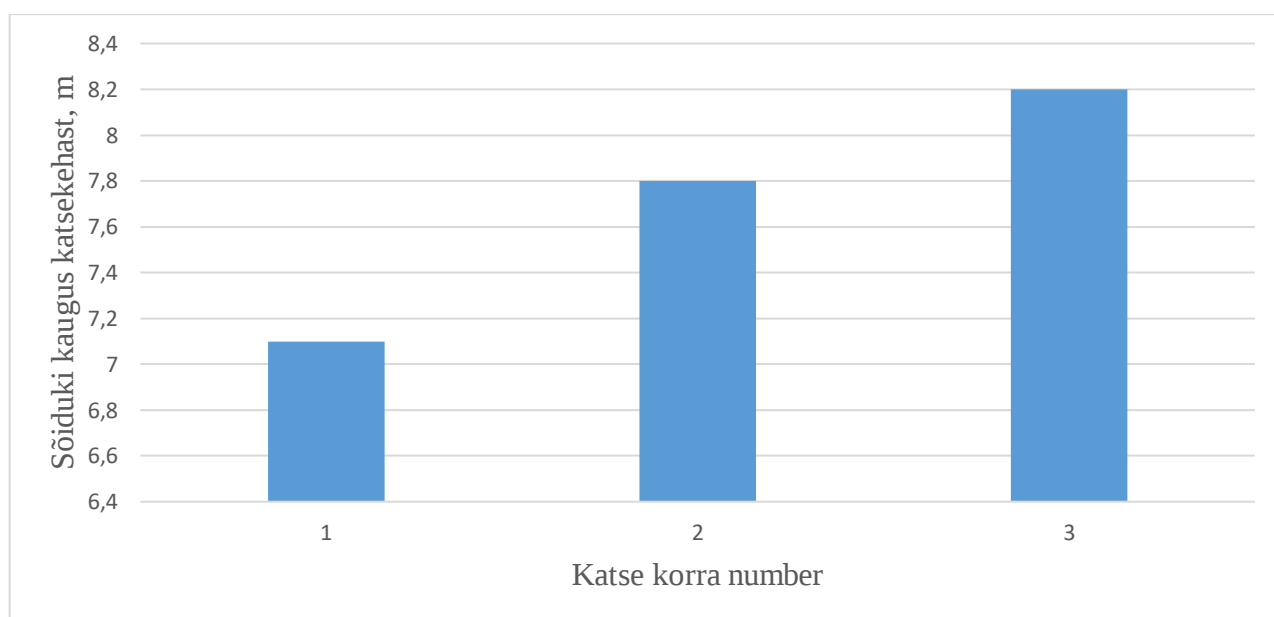
Järgnevalt leitakse arvutuslik sõiduki Toyota pidurdusteedonna pikkus s_{AH} (m) valemiga (2) [19]:

$$s_{AH} = \frac{v}{3,6} \times t_{VZ} + \frac{v^2}{25,92 \times a'} \quad (2)$$

kus v – kiirus, km/h;
 t_{VZ} – eelpidurdusaeg, s;
 a – aeglustus, m/s^2 .

Sõiduki Toyota arvutuslik pidurdusteedond vastavalt valemile (2) on:

$$s_{AH} = \frac{30}{3,6} \times 0,4 + \frac{30^2}{25,92 \times 4,91} = 10,4 \text{ m}.$$



Sele 6. Eelkatse tulemused

Nüüd oli teada, et Toyota tuvastus kaugus katsekehast kolmanda eelkatse korral oli umbes 10,4 m pluss 8,2 m ehk 18,6 meetrit. Liites kokku kiirenduse teepikkuse ja Toyota tuvastuse vahemaa, sai tulemuse ligikaudu 42 meetrit, mis peaks olema piisav vahemaa, et katsetada sõidukeid, mis kiirendavad vähemalt $1,5 \text{ m/s}^2$ ja AEB süsteem on sarnane nagu katse sõidukil. Tegelikult aga pole juurde pääsu erinevatele autodel kasutusel olevate AEB süsteemide algoritmidele ning ei jagata ka informatsiooni, millised on objekti tuvastuse kaugused. Selle tõttu autor valis lõpukatses kasutavaks katse raja pikkuseks 80 meetrit, et tagada piisav varu. Selleks, et suurendada katse metoodika ohutust, tuleks lisada ka 8 meetri kaugusele katsekehast torbik, mis näitab ära asukoha, millal peaks juht auto seisma pidurdama või ära põikama, kui AEB süsteem pole katsekeha ära tuvastanud. See vahemaa arvutati valemiga (2). Arvutatud tulemus 7,3 m sai ümardatud täis arvulise meetrite arvuni, et jääks väike varu. Kuna lõpukatseks sai valitud päev kus vihma ei saja siis sidestusteguriks pidurdustekonna arvutusel sai võetud 0,9. [19]

4.2. Auto maketi loomine

Katse metoodika loomisel oli vaja autoril välja mõelda, mida kasutada tuvastatava objektina. Tähelepanu tuli pöörata sellele, et objekt oleks võimalikult kerge, kuna katsetamisel ei ole täielikult välistatud kontakt auto ja katsekeha vahel. Kõige turvalisem lahendus oli teha autot meenutav makett. Maketti loomisel oli oluline nagu varem mainitud kergus, lihtsus, madal hind ning lihtsasti kätte saadavad materjalid.

Nüüd kui oli paika pandud kriteeriumid, mis võiks maketil olla, oli vaja leida omadused, kuidas katsekeha teha nii, et ka AEB süsteem saaks aru, et tegemist on justkui teise autoga. Autor alustas täiendavate otsingutega internetis ning selle tulemusel sai leitud ISO 19206-3:2021 standard, mis käsitles nõudeid 3D auto maketile. Tasuta ligipääsu ISO standardile aga ei saanud ning maksumuseks standardil oli ligikaudu 188 eurot, mida polnud autoril võimalik tasuda ning selle tõttu standardile ligipääs jäigi saamata. Internetist edasi otsides tuli välja, et Euro NCAP on aastal 2018 andnud välja tehnilise bülletàäni, kus on välja toodud, millised mõõtmed ja peegeldusvõimed peaksid 3D auto maketil olema.

Peale interneti oli autoril võimalus ka tutvuda Tallinna Tehnikakõrgkoolis oleva Toyota 2D auto tagaosa maketiga ning ka seda testida, et näha ära, mis moodi Toyota lahendas peegeldusvõime probleemi. Esmapilgul paistis kohe silma, et auto pildile olid helkuri kohtadele kleebitud päris helkurid. Esialgu katsetatud sai ainult auto pilti ilma taha käiva karkassita ning sellisel juhul katses kasutatav auto maketti ära ei tundnud. Teisel testi päeval sai katsetatud Toyota katsekeha juba täis

koostuna ehk pildi taha oli lisatud ka karkass, mille peale oli kleebitud foolium nii, et kui pilt ühendada karkassiga siis fooliumi osa jääb pildil oleva sõiduki kerepaneeli taha ja pildil kujutatud klaasi osa taga fooliumi pole, seejärel katse auto tundis maketi ära ning andis märku et ees on takistus ja tuleb pidurdada.

4.2.1. Katsekeha ideed

Katsekeha teguviise tuli autoril mõttesse kolm. Esimene idee oli teha täispuhutav 3D makett. Järgmine mõte oli valmistada penoplastist auto kujuline karkass ning sinna peale tõmmata riidest kate millele on peale kujutatud sõiduki küljed ja katus, ka see katsekeha oleks olnud 3D. Lõpuks viimane idee oligi see, mis sai teostatud 2D sõiduki tagaosa makett.

Valitud sai just 3 idee, kuna selle teostamine oli kõige odavam, lihtsam ning ka materjalid olid lihtsasti kätte saadavad, veel oli selle teguviisi juures kõige mõislikum maketi suurus ehk lihtsam on katsekeha paika panna. Miinusteks on sellise katsekeha puhul see, et katsetava auto AEB süsteemi saab katsetada ainult, kuidas süsteem reageerib auto tagaosa peale ning ei saa testida süsteemi toimimist, kui katsetatav auto läheneks teisele autole küljelt või eest.

4.2.2. Auto maketi valmistamine

Auto tagaosa maketi karkass sai tehtud 70 mm paksusest penoplastist ning karkassi külge läks 2D auto tagaosa pilt. Karkass ning auto pilt ühendati omavahel krõpsudega, mis on kahepoolse teibiga liimitavad nii karkassi pinnale kui ka pildi tagaküljele. Pildi tagaküljele sai teibiga kleebitud foolium, siis sellese kohta, kus pildil oli auto kere detailid, ehk pildil olev põhja osa ning klaasi osa jäi fooliumiga katmata. Autor kasutas maketi valmistamisel Toyota 2D maketi auto tagaosa pilti, kuid tellimustööna võttes auto maketile vajaliku kleebitava auto pildi ja kapa plaadi, millele pilt kleebitakse hinnad on toodud koos teiste materjali hindadega tabelis (Tabel 1). Auto pildi ja kapa plaadi hinna sai autor kontakteerudes ettevõttega Falconprint OÜ. Kogu maketi valmistamise materjal läheks maksma 227,15 eurot, mis on madal hind, kui võrrelda auto maketi hinda, mida müüb ettevõtte AB Dynamics. Autor kontakteerus ettevõttega AB Dynamics ning sai nende tehtud auto maketi hinnapäringu vastuseks hinna 20 000 – 30 000 eurot. Muidugi autori maketi ja AB Dynamics maketi võrreldes tuleb arvestada ka seda, et autori makett ei ole tehtud standardi järgi ning ei pruugi toimida kõikide sõidukite peal, kuid ettevõtte AB Dynamics makett on tehtud standardi järgi ning töötab kõikide autode peal. Loodud katsekeha kaalus 7 kg, mis oli väga hea tulemus arvestades, et müüdava katsekehad kaaluvad 79 kg ja rohkem. Tänu kergemale katsekeha maketile on ka väiksem kahju, kui katsetatav sõiduk ning katsekeha kokkupõrge toimub. Pildid valminud katsekehast on lisas (Lisa 4).

Auto maketi karkassi joonised on lisades (Lisa 5), (Lisa 6), (Lisa 7). Maketis kasutatavale pildile joonist pole, kuna tegemist on ostutootega. [20]

Tabel 1. Valmistatava auto maketi materjalide maksumus

	Kogus, tk	Hind, eurot
Penoplast EPS 100 70 × 500 × 1200 (mm)	5	18,45
Kleebitav auto pilt	1	98,40
kapa plaat	1	98,40
Kleebitav krõps	1	11,90

4.3. Eelkatsete auto

Eelkatsed olid vajalikud selleks, et katsetada, kuidas toimib Toyota auto katsekeha ning mis komponendid on katsekehal olulised, et teine sõiduk maketti tuvastaks. Teiseks sai autor kontrollida eelkatsetega, kas maketi ehitus liigub õiges suunas ning kas oleks vaja veel midagi parandada enne lõpu katsepäeva, kus testitakse katsekeha kolme erineva sõiduauto peal.

Eelkatsete autoks oli Toyota RAV 4, pilt sõidukist seel (Sele 7). Millele on varustuses automaatne hädapidurduse süsteem, mis suudab tuvastada sõidukeid, jalgrattureid ja jalakäijaid. Süsteem sõidukeid kiirusel 10 km/h kuni 180 km/h. Auto on varustatud radariga, mis asub esivõrel oleva Toyota märgi taga ning sõidukil on ka kaamera, mis asub esiklaasi taga üleval servas keskel. Ohu tuvastades anna sõiduk märku visuaalselt kellaplokis ning ka häälega kõlaritest. Kui juht ei reageeri teavitustele, pidurdab süsteem viimasel momendil ise. Süsteemi on võimalik välja lülitada ning süsteemi tundlikust on võimalik muuta kolmes eri astmes. [21]

Tabel 2. Toyota RAV 4 üldandmed [22]

Esmane registreerimine	25.04.2019
Kategooria	M1
Kere nimetus	Universaal
Mootori töömaht	1987 cm ³
Mootori võimsus	129 kW
Kütus	Bensiinikütus
Käigukast	CVT

Veoskeem	Esivedu
----------	---------



Sele 7. Toyota RAV 4

4.4. Loodud katse metoodika kriteeriumite soovitused

Loodud katse metoodika kasutamisel võiks enne automaatse hädapidurduse katsetamist teha kolm proovikatse kordust ainult tuvastamise eesmärgil ehk tuleks kiirusel 30 km/h sõita katsekeha poole ning vaadata, kas sõiduk annab märku, et ees on takistus, kui annab siis on teada, et süsteem aktiveerub, kui aga ei sõiduk ei tunne katsekeha ära siis tuleks süsteemi töökorda kontrollida või pole metoodika sõiduki jaoks õige. Automaatse pidurdamise kontroll katseid võiks olla vähemalt kolm, et saaks ülevaate aga mida rohkem teha seda paremini saab süsteemi toimimist hinnata. Mõõteseadmetena võiks kasutada spetsiaalselt ADAS süsteemide jaoks loodud mõõteseadmeid, näiteks VBOX 3i. Juhi poolt seadistatavad elemendid peavad olema keskmises seades. Ilma kriteeriumid on koos teiste kirjeldatud kriteeriumitega toodud tabelisse (Tabel 3) ning kriteeriumid on loodud inspiratsiooni saades Euro NCAP katse kriteeriumitest. [17]

Tabel 3. Loodud katse metoodika kriteeriumite soovitus [17]

Soovituslik kriteerium	Väärtus
Proovikatse kordused (30 km/h kiirusel)	Vähemalt kolm
Katsete kordus	Vähemalt kolm
Seadistatavad elemendid	Keskmine seade
Temperatuur	5 °C kuni 40 °C
Tuule tugevus	kuni 10 m/s
Sademed	Puuduvad
Valgustugevus	Vähemalt 2000 luksi

5. KATSEMETOODIKA TESTIMINE

5.1. Katsete eesmärk

Katsete eesmärk oli testida, kas loodud testi metoodika on toimiv ja ohutu ka teist marki autode peal teades, et eelkatsetes kasutatud Toyota tuvastas ära katsekeha ning jäi ka enne kokkupõrget seisma. Testiti loodud katse metoodikat kolmel erineva auto peal, millel oli automaatne hädapidurduse süsteem.

5.2. Sõidukite kirjeldus

Katseteks vajalikud autod andis kasutada hea koostöö partner OÜ Nordauto grupp. Sai valitud kolm võimalikult erinevat sõidukit. Kõikidel katse sõidukitel puudusid veateated automaatse hädapidurduse süsteemi kohta. Testimiseks olevad autod olid BMW 320d Xdrive, Peugeot 508 ja Tesla Model 3.

5.2.1. BMW 320d Xdrive AEB süsteemi üldkirjeldus

Üheks katsetes kasutatud sõidukiks oli Saksa premium klassi auto BMW 320d Xdrive, 2019 aasta, pilt sõidukist seel (Sele 8). Sõidukil on baasvarustuses automaatne hädapidurduse süsteem nii teise auto kui ka jalakäija ja jalgratturi tuvastusega. AEB süsteemi toimimiseks on BMW varustatud kaameraga, mis asub esiklaasi üleval serva lähedal keskel, näidatud lisas (Lisa 3). Kiirustel üle 250 km/h lülitab süsteem ennast välja. Alla selle kiiruse tuvastab teisi sõidukeid. Süsteemi on võimalik välja lülitada ning saab valida ka kolme tuvastuse tundlikkuse vahel. [23]

Tabel 4. BMW 320d Xdrive üldandmed [22]

Esmane registreerimine	31.10.2019
Kategooria	M1
Kere nimetus	Sedaan
Mootori töömaht	1995 cm ³
Mootori võimsus	140 kW
Kütus	Diislikütus
Käigukast	Automaat
Veoskeem	Nelikvedu



Sele 8. BMW 320d Xdrive

5.2.2. Peugeot 508 AEB süsteemi üldkirjeldus

Teiseks katsetes kasutatavaks sõidukiks oli Prantsuse auto Peugeot 508, 2021 aasta, pilt sõidukist seel (Sele 9). Sõidukil on automaatne hädapidurduse süsteem, mis tuvastab nii autot kui ka inimest. Seisvat autot tuvastab süsteem kuni 80 km/h kiiruseni. AEB süsteemi toimimiseks on auto varustatud kaameraga ja millimeeterlaineala radariga. Kaamera asub sõiduki ees tuuleklaasi taga ning radar asub ees pörkeraua keskel. Kaamera asukoht näidatud lisas (Lisa 2) Ohu tuvastades annab sõiduk märku visuaalselt kellaplokis ja ka heliga, et ees on takistus ning kui juht ei reageeri siis pidurdab auto ise automaatsel. Süsteemi on võimalik välja lülitada. AEB süsteemi tundlikust saab muuta kolmes erinevas astmes. [24]

Tabel 5. Peugeot 508 üldandmed [22]

Esmase registreerimine	15.04.2021
Kategooria	M1
Kere nimetus	Luukpära
Mootori töömaht	1598 cm ³
Mootori võimsus	133 kW

Kütus	Bensiinikütus
Käigukast	Automaat
Veoskeem	Esivedu



Sele 9. Peugeot 508

5.2.3. Tesla Model 3 AEB süsteemi üldkirjeldus

Kolmandaks katsetes kasutatavaks sõidukiks oli kasutusel Ameerika Ühendriikide auto Tesla Model 3, pilt sõidukist seel (Sele 10). Sõidukil on automaatne hädapidurduse süsteem, mis tuvastab autot, mootorratast, jalgratast ja jalakäijat. AEB süsteemi toimimiseks on auto varustatud kaameratega ja millimeeterlaineala radariga. Kaamerad asuvad Teslal ees tuuleklaasi taga, kus neid on kolm tükki, veel on mõlema esimeste poritiibade peal kaamerad, mõlema B- piilari peal on kaamerad ning ka taga numbrimärgi kohal on kaamera. Radar on paigutatud ees pörkeraua taha numbrimärgi üles. Ees tuuleklaasi taga olevate kaamerate asukoht on näidatud lisas (Lisa 1). Veel on autol nii ees kui ka taga nurkade peal pörkeraudade taga ultraheli andurid. Tesla suudab jälgida ümber auto ning tuvastades ohtu, teavitab auto juhti ning juhi mitte reageerimisel reageerida ise kas seisma jäädes või manöövrivrit tehes. Kui automaatne hädapidurduse süsteem märkab ohtu teavitatakse juhti visuaalselt

sõiduki salongis olevalt ekraanilt kui ka heliga ning kui juht ei reageeri sekkub auto ise kasutades pidureid. Süsteem töötab kiirusel 5 km/h kuni kiiruseni 200 km/h. AEB süsteemi on võimalik välja lülitada. [25]

Tabel 6. Tesla Model 3 üldandmed [22]

Esmane registreerimine	11.03.2021
Kategooria	M1
Kere nimetus	Sedaan
Mootori töömaht	0 cm ³ (elektriauto)
Mootori võimsus	155 kW
Kütus	Elekter
Käigukast	Konstantne ülekanne
Veoskeem	Nelikvedu



Sele 10. Tesla Model 3

5.3. Katse kirjeldus

Autor soovis kontrollida, kas loodud katse metoodika sobib ka kasutada teiste autode peal. Teada oli, et Toyota automaatne hädapidurduse süsteemi oli eelkatsete põhjal võimalik testida loodud metoodikaga. Katses osales kolm autot, millel oli kõigil varustuse automaatne hädapidurduse süsteem. Autod olid valitud võimalikult erinevad. Katse metoodika testimine toimus kohas nimega LaitseRallyPark, kus oli kasutusele võetud suur tühi ja kinnine plats, et tagada ohutus. Katse toimus nii, et torbikutega oli ära märgitud katse alguse värav ning 80 meetri kaugusele oli pandu katsekeha ehk auto makett. Selleks, et testimine võimalikult ohutu oleks sai auto maketist kaheksa meetri kaugusele torbik lisatud, selle torbikuga markeeriti ära vahemaa, millal peaks juht ise autol hoo maha pidurdama või katsekehast mööda põikama, juhul kui sõiduki automaatne hädapidurduse süsteem pole juhile märku andnud takistusest. Katse raja skeem on kujutatud seel (Sele 11). Iga sõidukiga tehti kuus katse kordust, kus kolmel korral testiti, kas süsteem tunneb üldse katsekeha ära ja annab sellest juhile märku ning järgmisel kolmel korral testiti, kas sõiduk hakkab katsekeha ära tundmisel ka ise pidurdama. Katse käigus kasutati mõõteseadet RACELOGIC VBOX 3 100 Hz, et saaks logida kauguse, kiiruse, kiirenduste ning ajalisi andmeid. Telefoni kaameraga sai filmitud ka kõik katse korrad. Mõõteseadme paigutus erinevates autodes on näidatud lisades (Lisa 1), (Lisa 2), (Lisa 3).

RACELOGIC VBOX 3 100 Hz mõõte täpsused [26]:

- Kiiruse mõõte täpsus 0.1 km/h;
- distant si mõõte täpsus 0,05 % (<50 cm kilomeetri kohta);
- absoluutse positsioneerimise täpsus 3 m 95 % CEP;
- kiirenduse mõõte täpsus 0,5 %;
- aja mõõte täpsus 0,01 s.

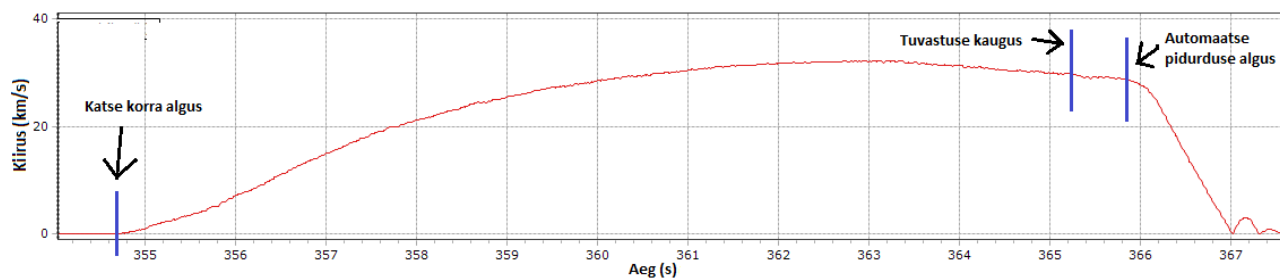
CEP (inglise k *circular error probable*) on ringivea tõenäosus ehk kui on antud täpsus 3 m 95 % CEP, siis see tähendab, et kolme meetrise raadiusega ringi sisse tuleb 95 % tulemustest. [26]



Sele 11. Katse raja skeem

5.4. Katsete tulemused

Katsete tulemused koondas autor tabelitesse, vastavalt sellele, mis katse läbi viidi, millised sõidukid osalesid ning, milline oli katse korra number vastavalt tulemusele. Katsete tulemused tulid VBOX-i andmetest ja telefoni kaameraga filmitud materjalist. Kõige pealt sai VBOX-i graafikul paika pandud katse korra algus, selleks oli hetk, kus kiirus oli 0, andmete näide seel (Sele 13). Järgmiseks video põhjal välja selgitada, mitme sekundi pärast peale katse algust hakkas sõiduk tuvastama. Nüüd, kui oli katsekestvus aeg teada kuni tuvastamise alguseni, sai VBOX-i katse korra algus ajale liita aja tuvastuse alguseni ning vaadates graafikult seda aega, sai teada distantsti, kus katsesõiduk katsekeha tuvasta, andmete näide seel (Sele 14). Nüüd tuli tuvastus distantstist lahutada katse korra alguse distantst ja sai õige vahemaa stardist kuni tuvastuseni. Teada oli, et kogu katseraja pikkus on 80 m, sellest lahutades vahemaa stardist kuni tuvastuseni sai tuvastuse kauguse katsekehast. Automaatse pidurduse kaugus katsekehast sai määratud nii, et tuli leida negatiivse kiirenduse algus punkt VBOX-i graafikult. Seejärel sai andmetest välja lugeda, mitme meetri kaugusel see punkt on ehk distantsti kanali väärtus, andmete näide seel (Sele 15). Järgmiseks tuli saadud distantsti väärtusest lahutada katse korra alguse distantst ning saadud tulemus lahutada katse kogu pikkusest ehk 80 m.



Sele 12. VBOX- i ühe katsekorra graafik

	Kanal	Andmed	
☒	Kiirus (km/h)	0.09	.
☒	Pikikiirendus (g)	+0.042	
☒	Distants (m)	310.71	
☒	Aeg (s)	354.69	

Sele 13. Katse korra alguse mõõteandmed

	Kanal	Andmed	
☒	Kiirus (km/h)	29.58	.
☒	Pikikiirendus (g)	-0.076	
☒	Distants (m)	378.95	
☒	Aeg (s)	365.25	

Sele 14. Katse korra tuvastuse kauguse mõõteandmed

	Kanal	Andmed	
☒	Kiirus (km/h)	28.72	.
☒	Pikikiirendus (g)	-0.052	
☒	Distants (m)	383.79	
☒	Aeg (s)	365.85	

Sele 15. Katse korra automaatse pidurduse alguse mõõteandmed

Tabel 7. Sõidukite automaatse hädapidurduse süsteemi tuvastuse kaugus katsekehast, m

	Tuvastuse kaugus		
Katse korra number	1	2	3
BMW 320d Xdrive	22,68	-	-
Peugeot 508	16,36	21,51	16,65
Tesla Model 3	19,05	18,90	21,10

Tabel 8. Sõidukite automaatse hädapidurduse süsteemi tuvastuse ja pidurduse algus kaugus katsekehast, m

	Tuvastuse kaugus			Pidurduse algus kaugus		
Katse korra number	4	5	6	4	5	6
BMW 320d Xdrive	-	-	-	-	-	-
Peugeot 508	24,75	11,72	14,22	5,95	6,89	5,59
Tesla Model 3	21,00	24,35	18,50	7,33	6,18	3,58

Katsete käigus testiti, kas loodud automaatse hädapidurduse süsteemi katse metoodika on toimiv lahendus katsetes kasutatavatel sõidukite automaatse hädapidurduse süsteemide jaoks. Testiti, kas 80 meetri pikkune sirgjooneline rada on piisav, et enne süsteemi toimimist sõidukid suudaksid kiirendada 30 km/h kiiruseni. Veel soovis autor teada, et kas arvutusel põhinev kaheksa meetri vahemaa on ka praktikas piisav, et jõuaks enne maketti ohutult ära põigata või seisma pidurdada, kui kontrollida lihtsalt kas sõiduks tuvastab maketti. Kolmandaks soovis autor teada, kas sõidukid tuvastavad ära loodud katsekeha. Katsete tulemustest järeldades, saab öelda, et loodud katse metoodika on toimiv Peugeot 508 ja Tesla Model 3 AEB süsteemide jaoks ning BMW 320d Xdrive AEB süsteemi testimiseks on vaja modifitseerida katsekeha, kuna hetkel ei tuvastanud süsteem katsekeha ära viiel korral kuuest. Kõik kolm autot jõudsid kiiruseni 30 km/h enne automaatse hädapidurduse aktiveerumist ning ka kaheksa meetrine vahemaa oli piisav seisma pidurdamiseks või ära põikamiseks.

5.5. Katsete kokkuvõte

Katse tulemusi vaadates, saab järeldada, et loodud katse metoodika toimib automaatse hädapidurduse süsteemide peal, mis on kasutusel Peugeot ja Tesla katses olnud mudelitel. Katsetes olnud BMW mudelil oleva AEB süsteemi jaoks oleks vaja katsekeha modifitseerida. Katsetamisel ilmnas ka

probleem, et tuule korral kukkus auto makett ümber. Ideaalis võiks ka selle probleemi lahendada, kuna tuulise ilma puhul on väga tüütu katsetada, kui keset katset kukub katsekeha ümber ning selle tõttu tuleb sooritus katkestada.

6. EDASINE ARENDUS

Lõputöös püstitatud eesmärk võib öelda, et sai täidetud. Valmis sai odav, lihtne ja võimalikult ohutu automaatse hädapidurduse süsteemi testimise metoodika. Katse põhjal saab järeldada, et loodud metoodika töötab ka sõidukite peal, kuid mitte kõikide sõidukite peal. Selle tõttu oleks vaja veel testimise metoodikat edasi arendada.

Täpselt pole teada, miks katses osalendu sõiduk BMW ei suutnud katsekeha ära tuvastada. Teades, et katses osalenud sõiduk kasutab ainult kaamerat AEB süsteemi tööks, võib mitte tuvastuse põhjuseks olla see, et makett ei ole visuaalselt piisavalt auto moodi. Teiseks probleemiks võis olla liiga halb valgus katse ajal. Seda tuleks edasi uurida, kuid autor selles töös sellele ei keskendu.

Katsekeha ehk auto maketil ilmnes ka probleem, et tuule korral kukkus see ümber. Ideaalis võiks leida edasiselt ka sellele probleemile lahendust. Lahenduse leidmisel ei tohiks kindlasti maketile massi juurde lisada, sest see põhjustab suurema kokkupõrke jõu kiirusel 30 km/h. Vaid üheks lahenduseks oleks näiteks maketi taga otsa nurkadest tõmmata makett nööri dega maa külge, sest makett kukkus just ette poole ümber.

Selleks, et loodud testi metoodikat saaks kasutada ka eelnevalt mainitud rakendus kohtades. Tuleks paremini ära määratleda raja kriteeriumid, nagu on seda teinud ettevõtte Euro NCAP ning ka eelnev maketi arendus töö tuleks ära teha. Seda kõike selle pärast, et vältida situatsiooni, kus sõiduk ei läbi testi edukalt, kuid tegelikult on süsteem töökorras aga metoodika oli vale. Kuid ka sellele selles töös ei keskenduta.

KOKKUVÕTE

Lõputöös uuriti automaatse hädapidurduse süsteemi toimimist ning selle tulemusel loodi lihtne, madala hinnaga ja võimalikult ohutu AEB süsteemi testimise metoodika. Viidi läbi ka katseid, et aidata kaasa metoodika loomisele ning ka metoodika toimimise kontrollimiseks.

Töö esimeses pooles tutvustati AEB süsteemi. Süsteemi toimimiseks vajalikke tehnoloogiaid ning komponente. Veel toodi välja ettevõtte Euro NCAP tegevusvaldkond ning kirjeldati nende poolt seatud kriteeriume automaatse hädapidurduse süsteemi testimiseks ning lühidalt räägiti ka katset kasutatavast katsekehast. Lõputöö teises pooles kirjeldati, kuidas autor lähenes katse metoodika loomisele. Teises pooles kirjeldati ka loodava testi metoodika katsetamist ja tulemusi. Lõpetuseks Toodi välja edasine arendus vajalikkus.

Püstitatud eesmärk sai täidetud, kuid mõningaste puudustega. Automaatse hädapidurduse süsteemi testimise metoodika sai loodud. Välja sai mõeldud katse raja ülesehitus. Valmistatud sai piisavalt kerge katsekeha ehk auto makett. Ohutuse tõstmiseks sai metoodikale loodud ka punkt, kus süsteemi mitte toimimisel oleks võimalik veel auto seisma pidurdada või eemale põigata. Loodud testi metoodikat katsetati kolme erineva autoga ühestel tingimustel. Kolmest autost kahe puhul toimis testi metoodika. Ühe auto puhul pigem ei toiminud selline metoodika.

Lähtudes testi metoodika katse tulemusest tuleks katse metoodikat veel arendada ning katsetada, et testi metoodikat saaks rakendada tehnoulevaatustel, klaasi ettevõtetel või eraisikul oleks võimalik loodud metoodikaga ostetava auto AEB süsteemi kontrollida.

SUMMARY

The aim of the thesis is to create a testing methodology for an automatic emergency braking system (AEB) to verify its functionality. The main keywords for the methodology to be developed were simplicity, low cost, and safety. The methodology could be applied in various scenarios, such as glass replacement companies, where after replacing the glass and calibrating the cameras, a test could be carried out to ensure the correct operation of the system. It would also be a useful tool for individuals buying a car equipped with AEB, as they could verify the functionality of the system. Additionally, technical inspection points could use this testing methodology to verify the functionality of the system in real-world scenarios.

The thesis examined the operation of automatic emergency braking (AEB) system and as a result, a simple, low-cost, and as safe as possible AEB system testing methodology was developed. Tests were conducted to contribute to the creation of the methodology and also to verify its operation.

The first part of the thesis introduced the AEB system and the technologies and components necessary for its operation. The Euro NCAP's field of activity was also outlined, and the criteria set by them for testing automatic emergency braking systems were described, as well as briefly discussing the test body used in the experiment. The second part of the thesis described how the author approached the creation of the testing methodology, and also described the testing and results of the methodology. Finally, the need for further development was highlighted.

The set goal was achieved, albeit with some shortcomings. The automatic emergency braking system testing methodology was created. The layout of the test track was designed, and a sufficiently lightweight test body, i.e., a car model, was manufactured. To increase safety, a point was added to the methodology where it would be possible to stop the car or swerve away if the system did not function. The developed testing methodology was tested on three different cars under the same conditions. The methodology worked for two of the three cars, but for one car, it did not work as well.

Based on the test results of the testing methodology, the methodology should be further developed and tested so that it can be applied in technical inspections, glass companies or by individuals to check the AEB system of a purchased car using the created methodology.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Euro NCAP, „AEB Car to Car,“ 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/safety-assist/aeb-car-to-car/>. [Kasutatud 11. aprill, 2023].
- [2] Euro NCAP, „How To Read The Stars,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/>. [Kasutatud 03. mai, 2023].
- [3] Bosch Mobility Solutions, „Automatic emergency braking,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/assistance-systems/automatic-emergency-braking/>. [Kasutatud 11. aprill, 2023].
- [4] G. M. Smith, „What is ADAS (Advanced Driver Assistance Systems)?,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://dewesoft.com/blog/what-is-adas#adas>. [Kasutatud 11. aprill, 2023].
- [5] National Safety Council, „Automatic Emergency Braking (AEB) – Quick Guide Animation,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://mycardoeswhat.org/automatic-emergency-braking-aeb-quick-guide-animation/>. [Kasutatud 1. mai, 2023].
- [6] Cadence System Analysis, „Millimeter-Wave Radar for Automotive Applications,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://resources.system-analysis.cadence.com/blog/msa2022-millimeter-wave-radar-for-automotive-applications>. [Kasutatud 12. aprill, 2023].
- [7] K. H. Y. F. Masatsugu Kamimura, „High Performance Automotive Millimeter Wave Radar System,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.denso-ten.com/business/technicaljournal/pdf/7-3E.pdf>. [Kasutatud 12. aprill, 2023].
- [8] N. U. Shinichi Honma, „Millimeter-Wave Radar Technology for Automotive Application,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.mitsubishielectric.com/bu/automotive/advanced_technology/pdf/vol94_tr5.pdf. [Kasutatud 12. aprill, 2023].
- [9] M. B.-G. Santiago Royo, „An Overview of Lidar Imaging Systems for Autonomous Vehicles,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.researchgate.net/publication/336173773_An_Overview_of_Lidar_Imaging_Systems_for_Autonomous_Vehicles. [Kasutatud 12. aprill, 2023].

- [10] A. W. P.-P. L. T. G. M. C. S. R. L. Zhuoqun Dai, „Requirements for Automotive LiDAR Systems,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/19/7532>. [Kasutatud 12. aprill, 2023].
- [11] Quanergy Systems, „What is LiDAR?,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://quanergy.com/what-is-lidar/>. [Kasutatud 12. aprill, 2023].
- [12] Thomas Publishing Company, „An Introduction to Machine Vision Systems,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.thomasnet.com/articles/automation-electronics/machine-vision-systems/>. [Kasutatud 29. aprill, 2023].
- [13] J. Biba, „What Is Machine Vision?,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://builtin.com/machine-learning/machine-vision>. [Kasutatud 29. aprill, 2023].
- [14] Texas Instruments Incorporated, „Stereo vision - Facing the challenges and seeing the opportunities for ADAS applications,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.ti.com/lit/wp/spry300a/spry300a.pdf?ts=1682875140872&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F. [Kasutatud 1. mai, 2023].
- [15] P. H. T. N. Marek Vajgl, „Dist-YOLO: Fast Object Detection with Distance Estimation,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/3/1354>. [Kasutatud 2. mai, 2023].
- [16] spaceport.tv, „Basis of XR and Volumetric Video: Structure From Motion,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.spaceport.tv/basis-of-xr-and-volumetric-video-structure-from-motion/>. [Kasutatud 1. mai, 2023].
- [17] Euro NCAP, „TEST PROTOCOL – AEB Car-to-Car systems,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://cdn.euroncap.com/media/75439/euro-ncap-aeb-c2c-test-protocol-v411.pdf>. [Kasutatud 3. mai, 2023].
- [18] TaskuTark OÜ, „Kinemaatika,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.taskutark.ee/kinemaatika-2/>. [Kasutatud 4. mai, 2023].
- [19] K. R. j. 2. t. a. Karl-Heinz Dietsche, Automotive Handbook, R. B. GmbH, Toim., 2022, p. 2044.
- [20] DRI Advanced Test Systems , „The Soft Car 360 is the Only Vehicle,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dri-ats.com/soft-car-360/>. [Kasutatud 6. mai, 2023].
- [21] Car Owner's Manuals Online View., „2019 TOYOTA RAV4 OWNER’S MANUAL,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.carmanual.org/toyota-owners-manuals/2019-toyota-rav4-owners-manual-4247/>. [Kasutatud 4. mai, 2023].

- [22] Transpordiamet, „Sõiduki taustakontroll,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://eteenindus.mnt.ee/public/soidukTaustakontroll.jsf>. [Kasutatud 25. aprill, 2023].
- [23] BMW AG, „2020 BMW 3 Series — Owner's Manual,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://ownersmanuals2.com/bmw-auto/3-series-2020-owners-manual-76620>. [Kasutatud 4. mai, 2023].
- [24] Peugeot, „SAFETY AIDS,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.peugeot.ie/brand/innovation/driving-aids/safety-aids.html>. [Kasutatud 4. mai, 2023].
- [25] Tesla, „Model 3 Owner's Manual,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.tesla.com/ownersmanual/model3/en_us/GUID-8EA7EF10-7D27-42AC-A31A-96BCE5BC0A85.html#CONCEPT_OWQ_45T_FS. [Kasutatud 4. mai, 2023].
- [26] RACELOGIC, „VBOX III 100Hz GPS Data Logger User Guide,“ 2011. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.racelogic.co.uk/_downloads/vbox/Manuals/Data_Loggers/RLVB3_Manual%20-%20English.pdf. [Kasutatud 3. mai, 2023].

LISAD

Lisa 1. Mõõteseadme RACELOGIC VBOX 3 100 Hz paigutus Teslas ja kaamera asukoht

Lisa 2. Mõõteseadme RACELOGIC VBOX 3 100 Hz paigutus Peugeot's ja kaamera asukoht

Lisa 3. Mõõteseadme RACELOGIC VBOX 3 100 Hz paigutus BMW-s ja kaamera asukoht

Lisa 4. Loodud auto maketi pildid eest, küljelt ja tagant

Lisa 5. Koost_01_00 Auto maketi karkass

Lisa 6. Detail_01_01 Auto maketi karkassi vertikaaltala

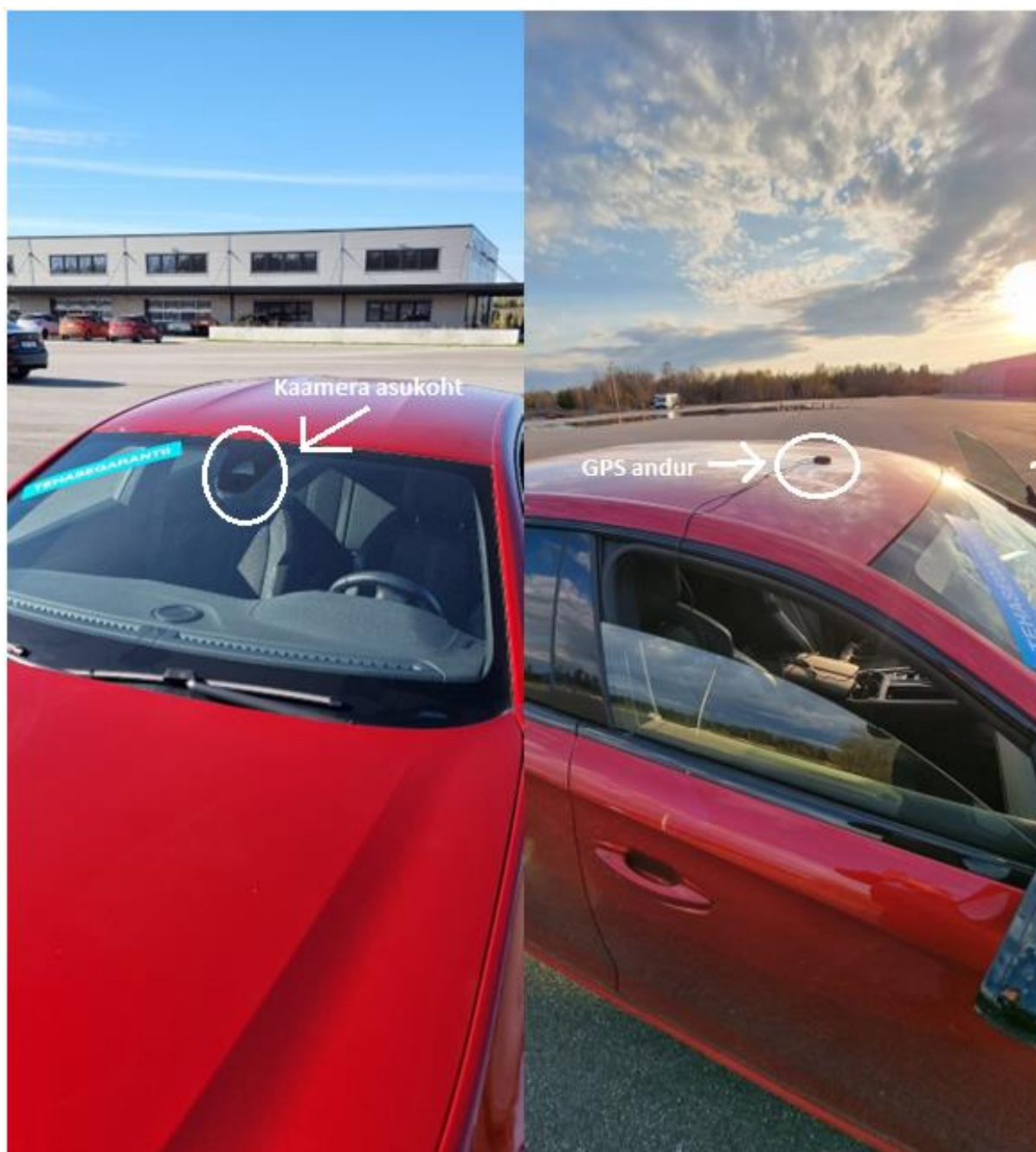
Lisa 7. Detail_01_02 Auto maketi karkassi risttala

Lisa 1. Mõõteseadme RACELOGIC VBOX 3 100 Hz paigutus Teslas ja kaamera asukoht





Lisa 2. Mõõteseadme RACELOGIC VBOX 3 100 Hz paigutus Peugeot's ja kaamera asukoht





Lisa 3. Mõõteseadme RACELOGIC VBOX 3 100 Hz paigutus BMW-s ja kaamera asukoht



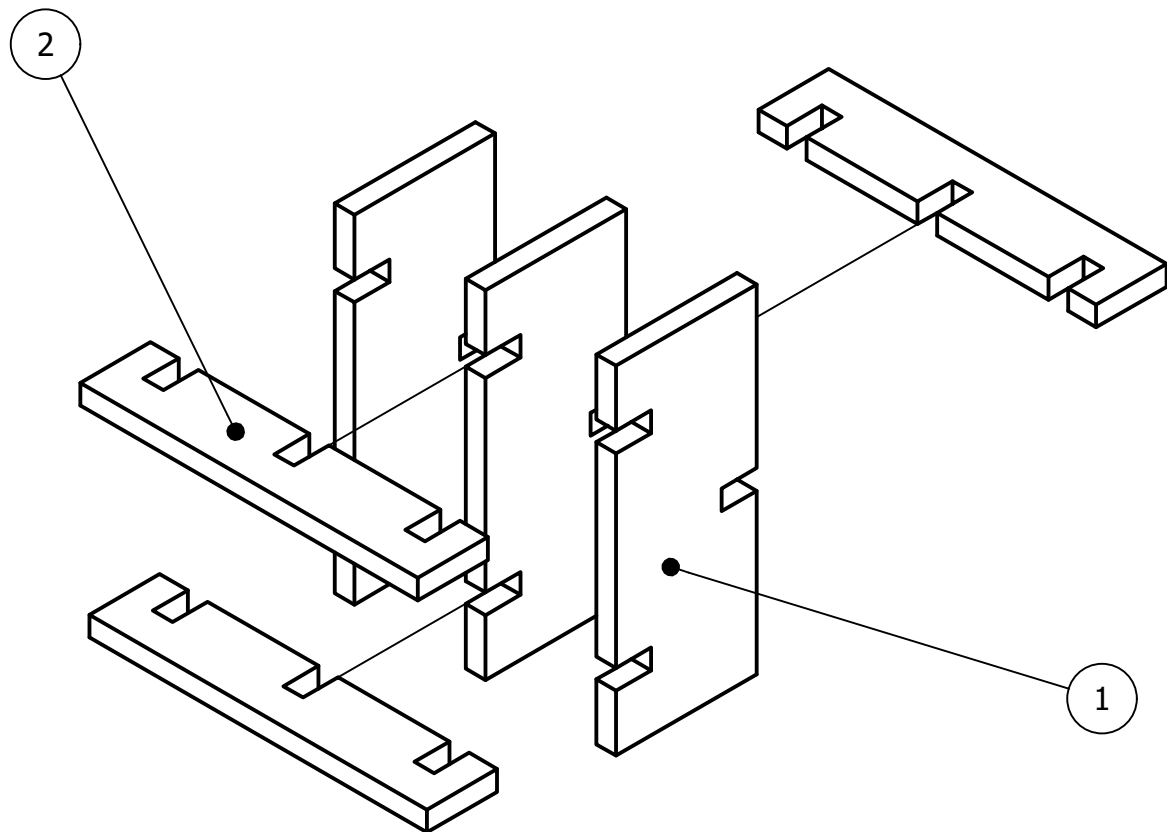
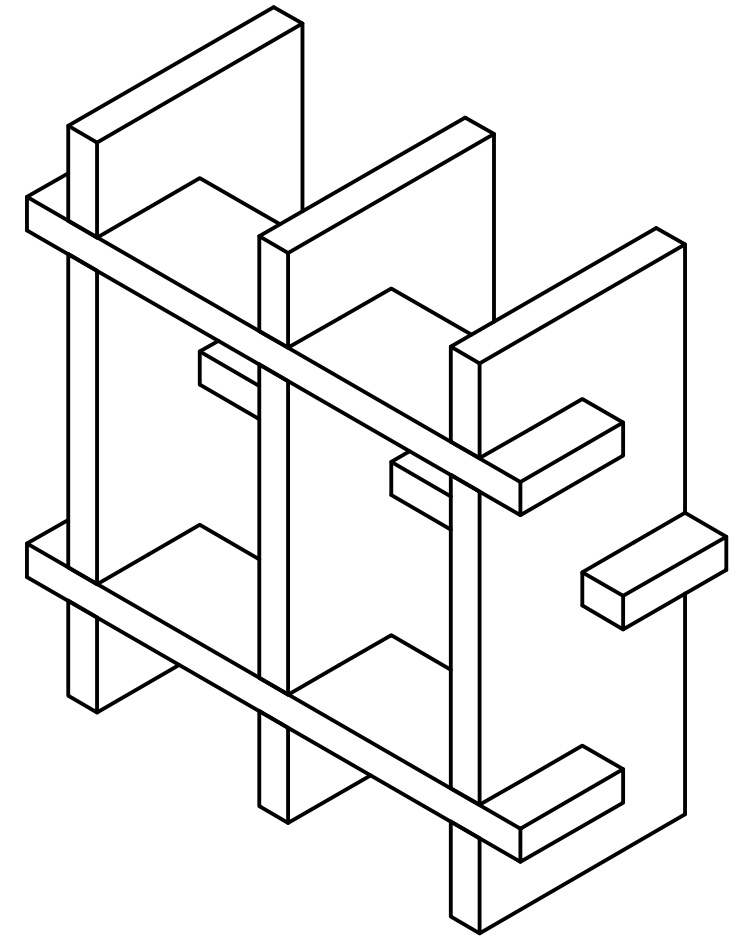
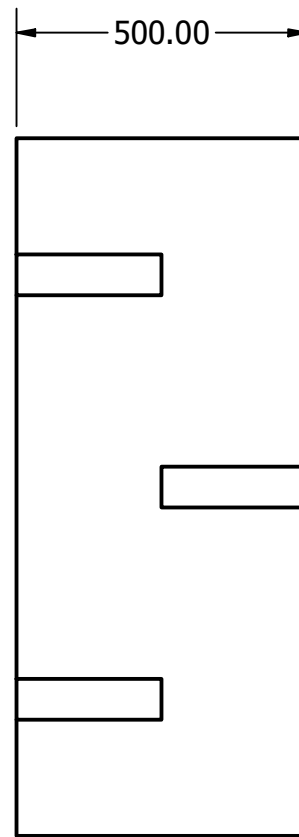
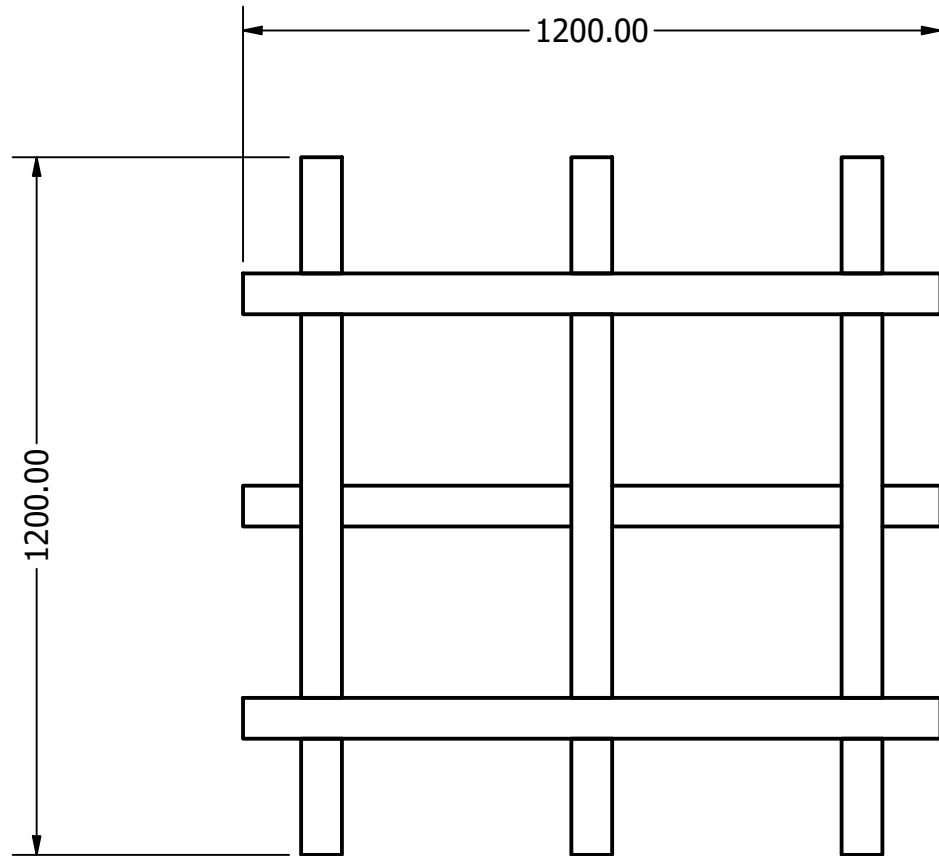


Lisa 4. Loodud auto maketi pildid eest, küljelt ja tagant



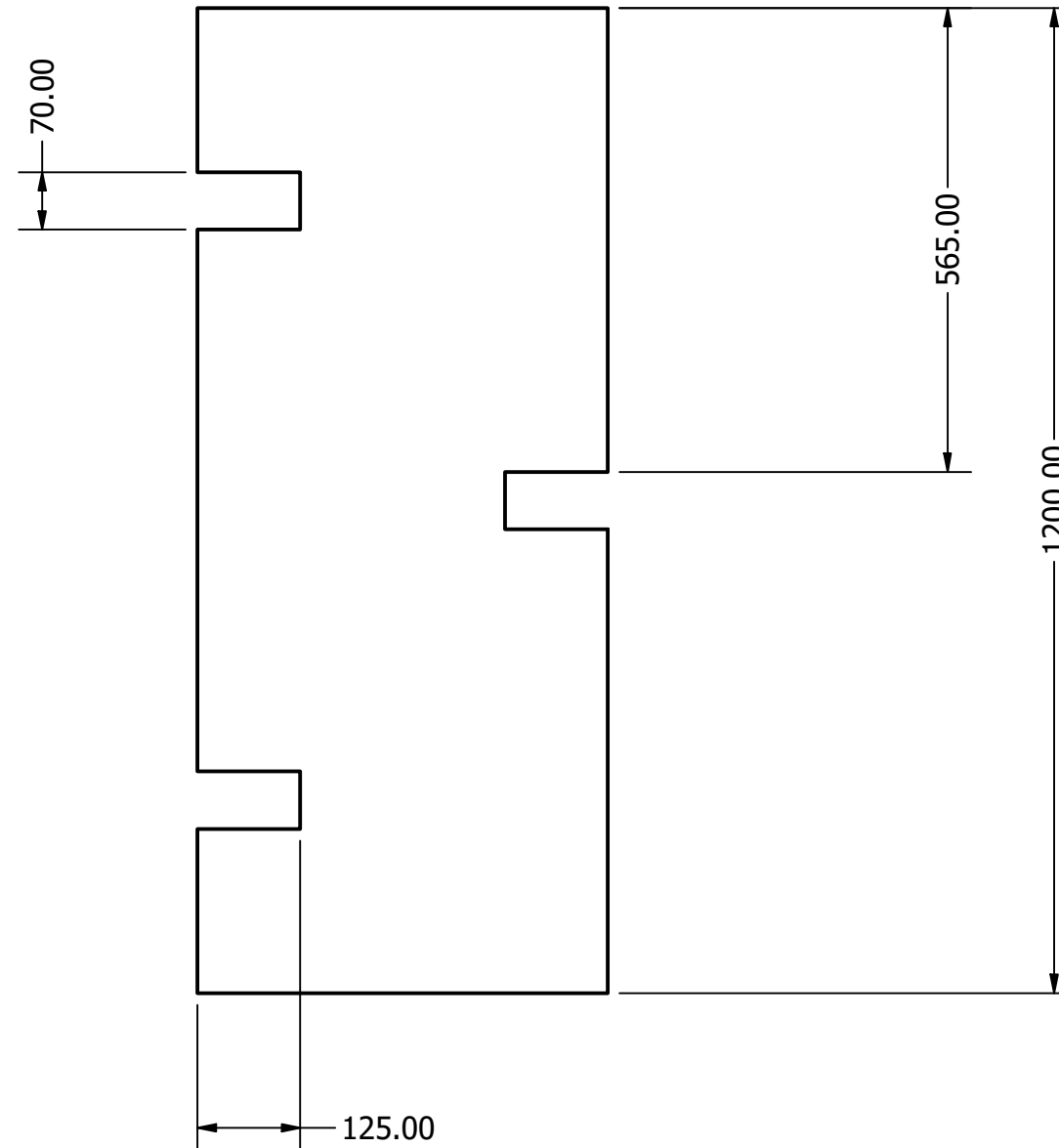
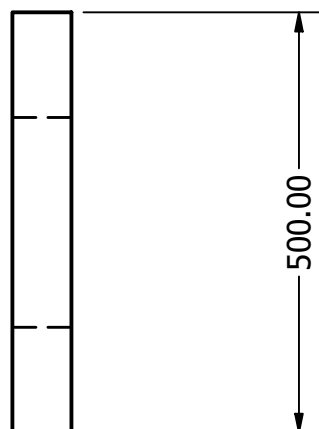
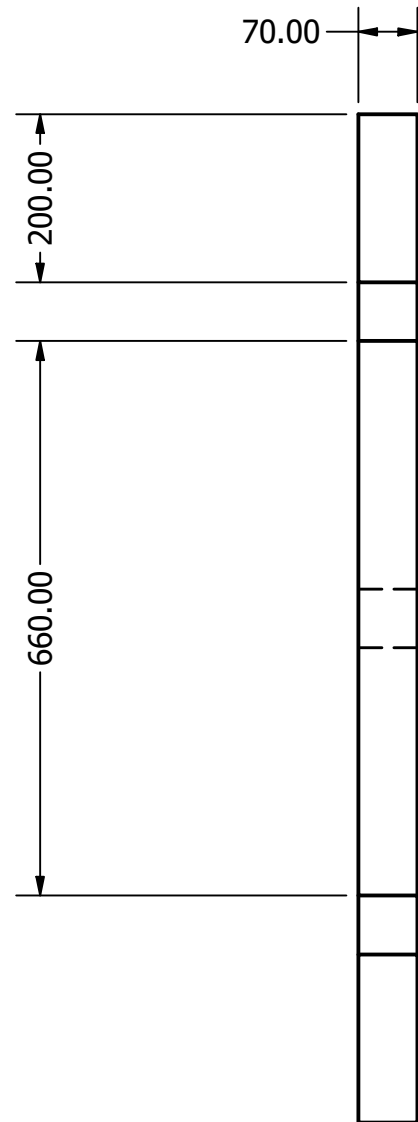




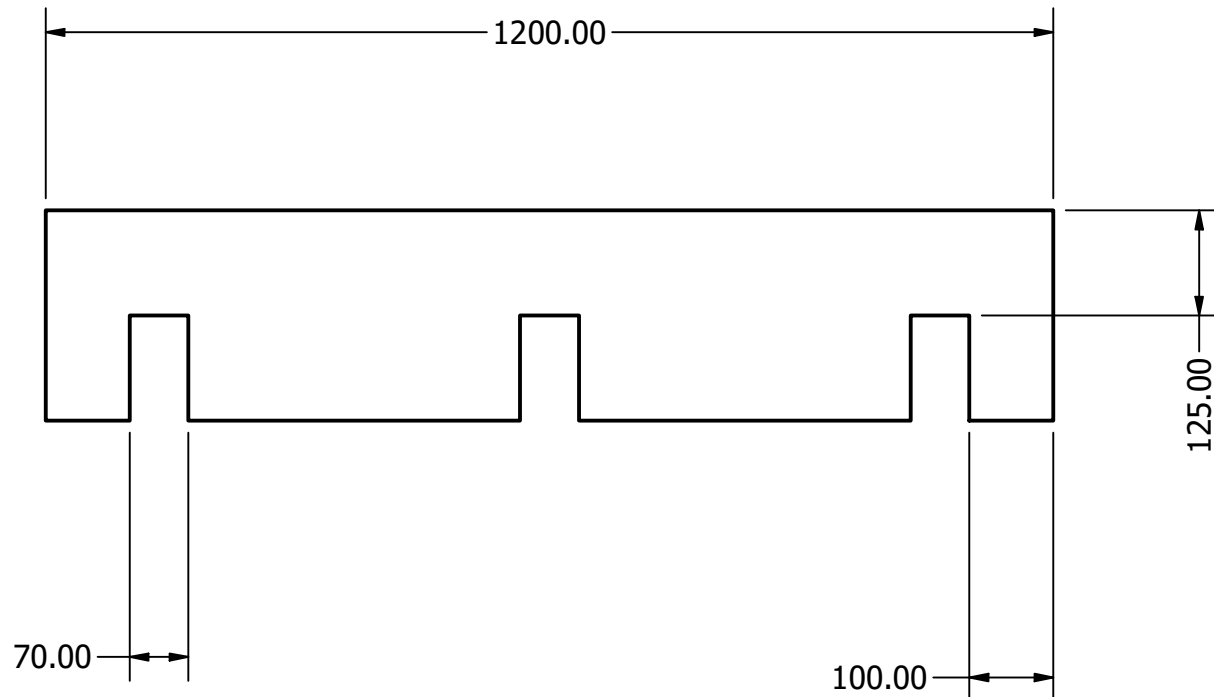
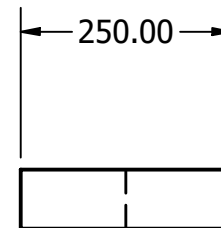
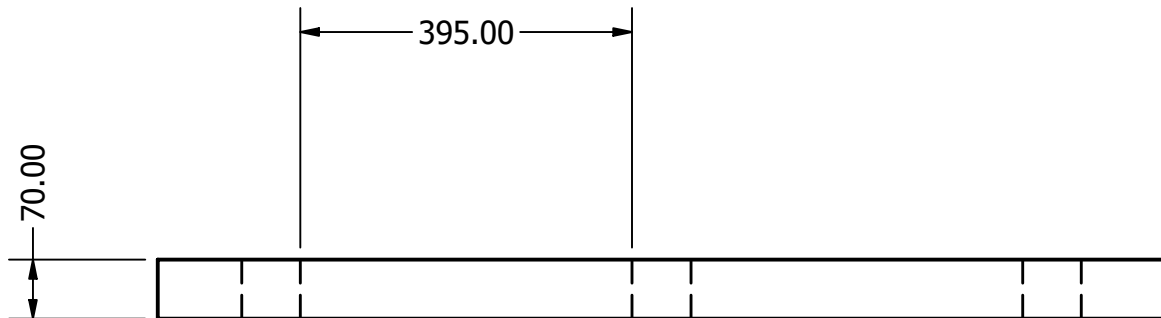


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	3	Detail_01_01	Auto maketi karkassi vertikaaltala
2	3	Detail_01_02	Auto maketi karkassi risttala

	Materjal:		Näitamata piirhälbed:	Mass:	Mööd:
			± 5 mm	3,300 kg	1 / 13
	Teostas:	Enn-Riiko Talivere	Nimetus: Auto maketi karkass		
	Kontrollis:				
Kinnitas:			Leht:	Tähis:	
Tallinna Tehnikakõrgkool			1/3	Koost_01_00	



	Materjal:		Näitamata piirhälbed:		Mass:	Mõõt:
	Polystyrene, Expanded		± 5 mm		0,733 kg	1 / 9
	Teostas:	Enn-Riiko Talivere	Nimetus:			
	Kontrollis:					
Kinnitas:			Auto maketi karkassi vertikaaltala			
Tallinna Tehnikakõrgkool			Leht:	Tähis:		
			2/3	Detail_01_01		



	Materjal:		Näitamata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
	Polystyrene, Expanded		± 5 mm	0,367 kg	1 / 9
	Teostas:	Enn-Riiko Talivere	Auto maketi karkassi risttala		
	Kontrollis:				
	Kinnitas:				
Tallinna Tehnikakõrgkool			Leht:	Tähis:	
			3/3	Detail_01_02	