

Anssi Hirvonen

LUKKIUTUMATTOMIEN
JARRUJÄRJESTELMIEN KEHITYS JA
TOIMINTA

Opinnäytetyö
Auto- ja kuljetustekniikka


Huhtikuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>	Opinnäytetyön päivämäärä	
Tekijä(t) Anssi Hirvonen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Auto- ja kuljetustekniikka	
Nimeke Lukkiutumattomien jarrujärjestelmien kehitys ja toiminta		
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin lukkiutumattomien jarrujärjestelmien, eli ABS-järjestelmien kehityksen historiaan. Työssä keskityttiin kehityksessä tulleiden teknisten ongelmien tutkimiseen ja siihen, miten ongelmia ratkottiin eri aikakausilla.</p> <p>Suurimmaksi esteeksi, miksi ABS-järjestelmät yleistyivät vasta 1990-luvulla, selvisivät järjestelmien tuomat lisäkustannukset autovalmistajille, sekä kuluttajien haluttomuus maksaa niistä.</p> <p>Työssä tutkittiin myös Bosch ABS 2E-järjestelmää vuoden 1995 Saab 900-henkilöautossa. Työssä selvitettiin järjestelmän komponentit ja toimintaa, sekä tutkittiin kyseisen auton käyttäytymistä jarrutusten aikana. Ajokokeiden tuloksena voidaan sanoa, että kyseiseen autoon jo melko iäkäsikin ABS-järjestelmä tuo huomattavan turvallisuuden tunteen ja käsiteltävyys liukkaissa olosuhteissa vakuutti henkilökohtaisesti.</p>		
Asiasanat (avainsanat) Jarrut		
Sivumäärä 40	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Juhani Martikainen	Opinnäytetyön toimeksiantaja	

DESCRIPTION

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Date of the bachelor's thesis	
Author(s) Anssi Hirvonen		Degree programme and option Car and transportation technology	
Name of the bachelor's thesis The function and development history of anti-lock brakes			
Abstract In this bachelor's thesis, the main aspect was to discover the history and development of anti-lock brake systems, also known as ABS-brakes in passenger cars. The main technical problems and the solutions in the long development process were studied. An older Bosch ABS 2E system was studied in detail. The system was installed on a Saab 900 passenger car from 1995. The main components and function of the system were studied and also some braking tests were executed. The system functioned well, and the stability of the car was dramatically improved during heavy braking especially under slippery road conditions. The biggest reason for the long delay in the development process appeared to be the excessive costs for car manufacturers due to large development costs, and the lack of interest among consumers.			
Subject headings, (keywords) Brakes, Anti-locking brakes			
Pages 40	Language Finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Juhani Martikainen		Bachelor's thesis assigned by	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ABS-JARRUJÄRJESTELMÄ	1
2.1	Kitka.....	1
2.2	Hyvän ABS-järjestelmän periaatteet	3
2.3	ABS-järjestelmän säätöperiaatteet	4
2.3.1	Select low	4
2.3.2	Select high.....	5
2.3.3	Yksittäisen pyörän säätö	5
3	JÄRJESTELMÄT	5
3.1	Dunlop Maxaret	5
3.2	Kelsey-Hayes Sure-Track	10
3.3	Bendix Sure-Brake.....	12
3.4	Bosch ABS 1	13
3.5	Bosch ABS 2.....	16
3.6	ATE ABS	18
3.7	Japanilaiset ABS-järjestelmät	20
3.8	Bosch ABS 5.0 ja 5.3.....	22
3.8.1	Bosch ABS 5.7	24
3.8.2	Bosch ABS 8.....	24
3.8.3	Hätäjarrutehostimen toteutus ABS-jarrujärjestelmällä	24
3.8.4	Muut hätäjarruassistenttijärjestelmät	27
3.9	Järjestelmien vertailu	29
4	BOSCH ABS 2E-JÄRJESTELMÄN TUTKIMINEN.....	31
4.1	Kohdeauto	31
4.2	ABS-järjestelmän komponentit.....	31
4.2.1	Pyörintänopeustunnistimet.....	31
4.2.2	Hydrauliikkayksikkö	33
4.3	Mittaukset	33
4.3.1	Testilaitteisto	33
4.3.2	Mittaussuunnitelma	36
4.3.3	Nopeustunnistimien signaalit.....	37
4.3.4	Taka-akselin toiminta.....	37

4.3.5	Etuakselin ABS-ohjauksen toiminta ja toimintanopeus	38
4.3.6	Ajokoe	38
5	POHDINTA	39
	LÄHTEET	41

LIITE/LIITTEET

- 1 Kuvat
- 2 Testiauto

1 JOHDANTO

ABS- eli lukkiutumaton jarrujärjestelmä on tärkeä ajoneuvon aktiivinen turvavaruste. Se on yleistynyt kuitenkin vasta 1990-luvulla, yli 80 vuotta henkilöautojen massatuotannon alkamisen jälkeen.

Tässä työssä tutkitaan ABS-järjestelmien pitkää kehityskaarta ja selvitetään, mitkä ovat suurimmat ongelmat, mitä järjestelmän kehittämisessä on kohdattu. Näiden selvittämiseksi käydään läpi merkittävimpien järjestelmien toimintaperiaatteita sekä niiden merkitystä autoteollisuuden kehityksessä. Samalla työssä selvitetään ABS-järjestelmän keskeisimpiä toimintaperiaatteita sekä sitä, miten järjestelmä muuttaa renkaan ja tienpinnan välisen kontaktin käyttäytymistä jarrutuksen aikana.

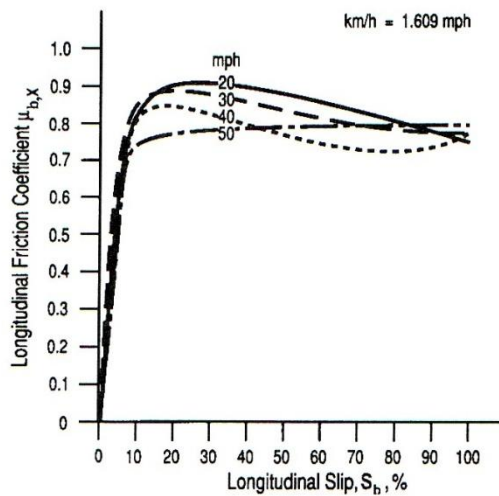
Käytännön osuutena työssä tutkitaan vuoden 1995 Saab 900 –henkilöautossa olevaa Bosch ABS 2E -järjestelmää. Järjestelmän toimintaa tutkitaan oskilloskoopilla jarrutusten aikana ja otetaan selvää nopeustunnistimien sekä magneettiventtiilien toiminnasta.

2 ABS-JARRUJÄRJESTELMÄ

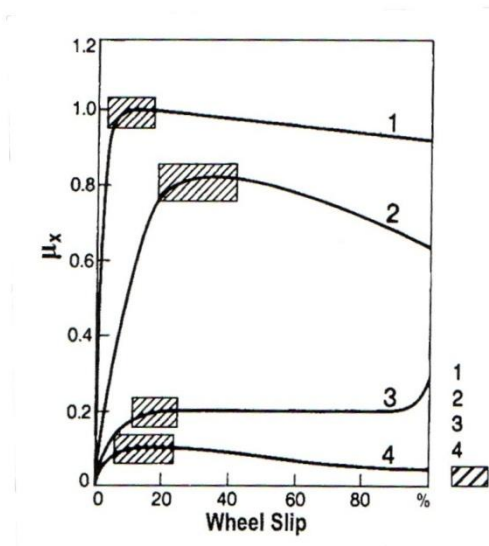
2.1 Kitka

Koko ABS-järjestelmän olemassaolo perustuu siihen, että renkaan ja tienpinnan välillä on oltava pieni luisto mahdollisimman suuren kitkakertoimen tuottamiseksi. Lukkiutuneella renkaalla tuota hallittua luistoa ei saavuteta, eikä ajoneuvo tällöin ole ohjattavissa. ABS-järjestelmän tärkein tehtävä on juuri ajoneuvon ohjattavuuden säilyttäminen jarrutustilanteen aikana.

Brake Design and Safety



KUVA 1. Kitkaluistokäyrä /3, s. 439/



KUVA 2. Kitkaluistokäyrät eri alustoilla /3, s. 440/

Kuvassa 1 on esitetty tienpinnan ja renkaan välinen kitkakerroin pituussuuntaisen luiston yhtälönä. Pinta on kuiva betonipinta ja ajonopeudet ovat maileja tunnissa. 100 % luisto tarkoittaa täysin lukkiutunutta pyörää ja 0 % vapaasti pyörivää pyörää. ABS-järjestelmä pyrkii pitämään renkaan luiston käyrän osoittamalla korkeimmalla mahdollisella alueella säätämällä jarrutusmomenttia. Kuvassa 2 esitetään kitkaluistokäyrät eri alustoilla sekä harmailla alueilla on merkitty ABS-järjestelmän toiminta-alueet. Käyrä 1 on vyörengas kuivalla betonilla, käyrä 2 ristikudostalvirengas märällä asfaltilla, käyrä 3 vyörengas lumella ja 4 vyörengas märällä jäällä. Kuvasta selviää, että ainoastaan lumella lukkiutunut rengas tuottaa enemmän kitkaa kuin

pyörivä. Se on käyristä ainoa selkeä adheesiokitkatilanne, jossa rengas pystyy pureutumaan tiehen.

2.2 Hyvän ABS-järjestelmän periaatteet

SAE (Society of Automotive Engineers) ilmoittaa ABS-järjestelmän jarrupaineen modulointialgoritmien perusparametreiksi seuraavat suureet: pyörän kulmakiihtyvyys, luisto jarrutuksen aikana, renkaan ja ajoneuvon välinen nopeusero ja pyörien väliset pyörimisnopeuserot. Kyseiset suureet ovat laskettavissa tai mitattavissa suoraan pelkästään pyörien pyörintänopeustunnistimien avulla. Täysin tarkan ajoneuvon nopeuden määrittämiseen tarvittaisiin viides, luistamaton pyörä tai jokin muu tunnistin, mutta käytännössä tällaisen käyttäminen ei ole kannattavaa. Sen sijaan käytetään laskentamalleja, jotka ovat kehittyneet koko ABS-järjestelmien olemassaolon ajan. Pyörän pyörintänopeus on voitava tallentaa muistiin, jolloin sitä voidaan verrata muuttuvissa tilanteissa uuteen tilanteeseen. Muistina toimii mekaanisissa järjestelmissä jokin laite, joka säilyttää liike-energian. Analogisissa ohjainlaitteissa tallennetaan jännite kondensaattoriin, ja se säilyy vertailujännitteenä pyörintänopeustunnistimilta tuleviin jänniteisiin. Digitaalisissa ohjainlaitteissa jännite tallennetaan digitaalisena A/D-muunnoksen jälkeen muistipiirille. Lisäksi voidaan käyttää muita tunnistimia korin liikkeistä, kuten kiihtyvyyssantureita, jarrutuksessa syntyvän kiertomomentin minimoimiseksi. Kiihtyvyyssantureilla voidaan ennakoida myös korkean painopisteen aiheuttaman massan siirtymisen kaarteiden ulkoreunalla kulkeville pyörille kaarreajossa, ja säätää ABS-järjestelmän toimintaa sen mukaan. /3, s. 435./

SAE on määritellyt lukkiutumattomille jarruille seuraavat suorituskykyvaatimukset /3, s. 436./:

1. Ajoneuvon ohjattavuuden on säilyttävä ABS-järjestelmän toiminnan aikana jarrupaineen noustessa jopa 150 MPa/s.
2. Ajoneuvon vakaus ja ohjattavuuden on säilyvyys jarrutuksen aikana on tärkeämpää kuin jarrutusmatkan lyhentäminen.
3. Jarrutuksen on vaikutettava mahdollisimman vähän ohjauspyörään erityisesti vaihtelevan kitkakertoimen tienpinnoilla.

4. ABS-järjestelmän on käytettävä hyödyksi käytettävissä oleva kitka optimaalisesti.
5. ABS-järjestelmän on mukauduttava mahdollisimman nopeasti muuttuvaan kitkakertoimeen jarrutuksen aikana.
6. ABS-järjestelmän on minimoitava kiertomomentti jarrutettaessa ajoneuvon eri puoleisten pyörien ollessa eri kitkakertoimen tienpinnoilla.
7. Järjestelmän on tunnistettava vesiliirto ja säilytettävä ajoneuvon suuntavakaus.
8. Jarrutuksen on oltava vakaa myös kääntymisen aikana.
9. Järjestelmän vikaantuessa jarrujärjestelmän on käyttäydyttävä turvallisesti ilman suuntavakauden menettämistä.
10. Järjestelmän on toimittava kunnolla kaikkien autoon luokiteltujen renkaiden kanssa, myös minikokoisten vararenkaiden.
11. ABS-järjestelmän on ilmoitettava vikatilanne kuljettajalle.
12. Huolto ja korjaus on onnistuttava olemassa olevilla tai opittavilla menetelmillä.
13. ABS ei korvaa huonoa jarrubalanssia.

2.3 ABS-järjestelmän säätöperiaatteet

2.3.1 Select low

Select low –säätö tarkoittaa jarrupaineen säätämistä pienimmän kitkan mukaan. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että liukkaammalla alustalla olevan renkaan kitka määrää molempien akselilla olevien pyörien jarruvoiman. Select low –tyypin säädön hyviä puolia ovat hyvä sivuttaispito sekä se, että kiertomomenttia ei synny jarrutuksen aikana. Huono puoli on jarrutustehon kärsiminen siitä, että pitävällä alustalla olevan pyörän kitkaa ei hyödynnetä täysin, mikä pidentää jarrutusmatkoja. Select low –säätö on käytössä yleensä taka-akselin ohjauksessa. /3, s.438./

Kiertomomentti jarrutuksen aikana on ongelma erityisesti lyhyen akselivälin kevyillä ajoneuvoilla. Se tarkoittaa ajoneuvon koriin kohdistuvaa momenttia sen pystyakselin suhteen. Momentti syntyy, kun jarrutettaessa ajoneuvon vasemman- ja oikeanpuoleiset pyörät ovat eri kitkakertoimen alustalla. /3, s.444./

2.3.2 Select high

Select high –tyypin säätö tarkoittaa molempien akselin pyörien jarruvoiman määräytymistä pitävämmällä alustalla olevan pyörän kitkan mukaan. Tämän säätötyypin hyvä puoli on suurempi jarruvoima koska kaikki tarjolla oleva pito käytetään hyväksi. Huonona puolena ajoneuvon pyrkii syntymään kiertomomentti jarrutuksen aikana sekä liukkaammalla alustalla oleva pyörä lukkiutuu. Select high –säätötyyppiä voidaan käyttää etuakselilla yhdessä taka-akselin Select low –säädön kanssa, kuten Honda on tehnyt. Tällöin liukkaammalla pinnalla oleva etupyörä saa lukkiutua jarruvoiman maksimoimiseksi, taka-akselin säilyttäessä ajoneuvon suuntavakauden. /3, s.438./

2.3.3 Yksittäisen pyörän säätö

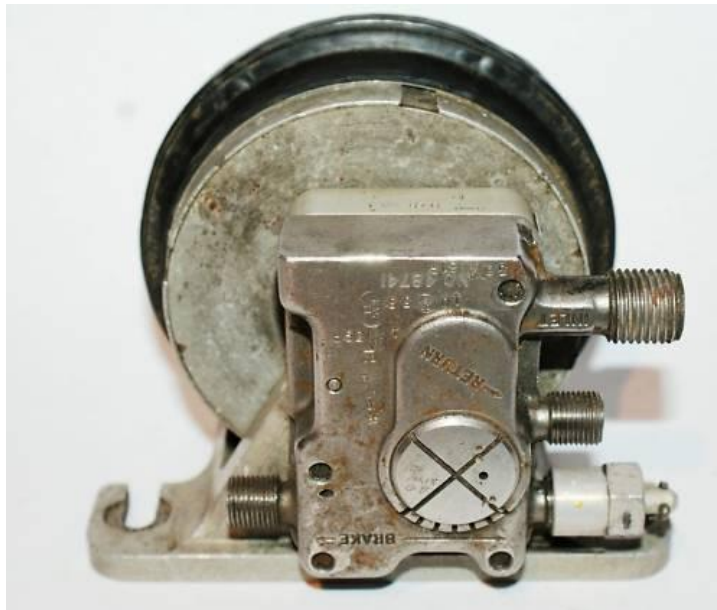
Yksittäisten pyörien säädöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa jokaisen ajoneuvon pyörän jarrupainetta säädetään erikseen pyörän pyörintänopeustunnistimen tiedon perusteella. Tällä säätötyypillä saavutetaan suurin mahdollinen ajoneuvon kokonaisjarruvoima ja hidastuvuus. Huonona puolena järjestelmä on edellisiä tyypejä monimutkaisempi, mikä vaikuttaa kustannuksiin, sekä se synnyttää myös kiertomomentin jarrutuksen aikana. Yleisesti järjestelmä on käytössä etuakselin ohjauksessa. /3, s.437./

3 JÄRJESTELMÄT

3.1 Dunlop Maxaret

Pyörien lukkiintuminen on suuri ongelma lentokoneiden jarrutuksissa, sillä lentäjä ei voi mitenkään kontrolloida jarrutuksen tehoa lentokoneen suuren massan sekä jarrujärjestelmän palautteen puutteen takia. Lentokoneen renkaiden käyttöikä lyhenee yhden lukkojarrutuksen takia huomattavasti ja rengas puhkeaa jopa kolmen sekunnin lukkiintumisen jälkeen, mikä voisi johtaa onnettomuuteen. Vuosien 1949 ja 1952 välillä markkinoille tuli mekaanisia lukkiintumattomia jarrujärjestelmiä eri valmistajilta, kuten Lockheedilta, Hydro-Airelta, Goodyearilta ja Dunlopilta. Ne olivat keskenään hyvin samankaltaisia. Dunlop toi oman järjestelmänsä markkinoille nimellä Maxaret. /7, s.48./

Maxaret suunniteltiin sellaiseksi, että se voitiin jälkiasentaa lentokoneen laskutelineeseen. Käytännössä se on yksikkö, joka asennetaan lähelle vannetta. Kumipyörä saa vetonsa vanteen sisäpinnalta ja pyörittää yksikön sisällä olevaa koneistoa. Koneistossa pyöriviä osia ovat vauhtipyörä ja rumpu. Vauhtipyörä, joka pyörii aina samaa vauhtia pyörän kanssa, pyörittää koneiston rumpua yksisuuntaisen kytkimen välityksellä. Vauhtipyörä voi siis kiihdyttää rumpua mutta ei jarrutaa sitä. Kun pyörä lukkiutuu tai hidastuu nopeasti, rumpuun on tallennettuna pyörän normaali pyörimisnopeus mekaanisena liikkeenä. Rumpu jatkaa pyörimistä, ja silloin rummun ja vauhtipyörän välille syntyy kulma. Kun tuo kulma on yli 60°, rumpu liikkuu laakeroinnissaan ja samalla työntää vipua, joka avaa venttiilin. Venttiili laskee jarrupainetta, kunnes pyörä alkaa jälleen pyöriä. Maxaret-järjestelmä pystyy moduloimaan, eli lisäämään ja vähentämään jarrupainetta 6.5-7 kertaa sekunnissa. Nopeus määräytyy 60 asteen kulmasta, pyörivien osien massasta sekä venttiilin sulkeutumisajasta. /6, s.206./



KUVA 3. Lentokoneen Maxaret-yksikkö /5/

Britannian hallituksen rahoittamat tutkimukset osoittivat, että jarrujen lukkiintuminen aiheutti huomattavan määrän onnettomuuksia erityisesti märällä kelillä ja onnettomuudet olivat lisääntymässä jatkuvasti autojen määrän kasvaessa. Tutkimukset tehnyt Britannian tietutkimuslaboratorio RRL sai tehtäväkseen etsiä ratkaisuja onnettomuuksien vähentämiseksi. Yhtenä osana oli auton itsensä turvallisuuden parantaminen. Perustettiin tutkimusryhmä johtajanaan R.D Lister. Ryhmä alkoi

astentaa Maxaret-yksiköihin perustuvaa järjestelmää vuoden 1950 Morris 6 – henkilöautoon. Autoon laitettiin jokaiseen pyörään oma Maxaret-yksikkö, joten järjestelmä oli nelikanavainen ja jarruvoimien jakoa ei tarvinnut erikseen järjestellä. Kiihtyvyyssarvo, jolla lukkiintumisenesto alkaa toimia, muutettiin autoa varten arvoon 0.65G, mikä oli myös pienempi kuin lentokoneissa. Lisäksi jarrutuksen tehostusta pienennettiin, koska auto oli selvästi kevyempi kuin lentokone.

/7, s. 49./

Kokeet osoittivat järjestelmän sopimattomaksi autoon. Jarrutusmatkat kasvoivat lähes kaikilla pinnoilla, sekä ohjauksesta tuli hankalampaa jarrutuksen nykimisen takia. Ohjattavuus kuitenkin säilyi jarrutuksen aikana, mikä oli positiivinen asia. Ongelmat johtuivat yksikön lentokonealkuperästä. Lentokoneessa yksikön ei tarvinnut reagoida pieniin luistoihin, joten autokäytössä pyörä ehti menettää parhaan kitkakertoimensa tien pintaan nähden ja lukittua täysin. Yksikkö myös vapautti pyörän liian pitkäksi aikaa, lisäksi vapautetulle pyörälle ei tullut lainkaan jarrupainetta eikä siitä johtuen jarruvoimaa. Nämä seikat aiheuttivat jarrutuksen hyötysuhteen laskemisen, mikä pidensi jarrutusmatkoja merkittävästi.

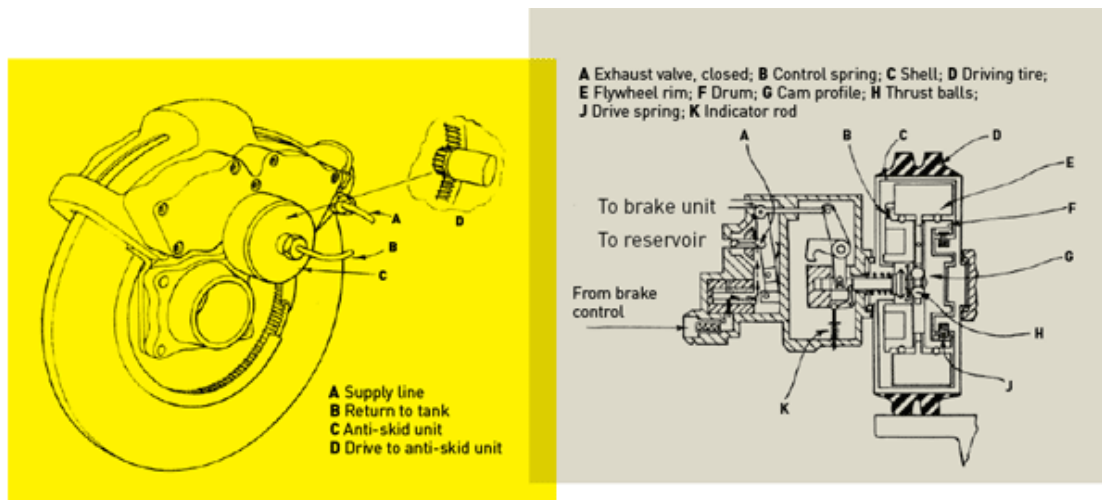
/7, s.49./

Listerin ryhmä jatkoi tutkimuksia järjestelmän käyttämisestä. He havaitsivat, että levyjarru toimisi nopean jarrupaineen modulaation kanssa paremmin kuin rumpujarru. Tämä johtui muun muassa levyjarrujen satulan työsylinterin lyhyestä liikeradasta. Lisäksi Maxaret-yksiköt olivat lentokoneissakin käytössä levyjarrujen yhteydessä. Ongelmana oli kuitenkin levyjarrujen harvinaisuus tavallisissa henkilöautoissa, joten ryhmä joutui etsimään kohdeautoa kalliimmista autoista kuin suurille markkinoille tarkoitettu Morris oli. Dunlopin tullessa mukaan yhteistyöhön RRL:n kanssa ryhmä sai siltä uuden, autokäyttöön räätälöidyn version Maxaret-yksiköstä. Erona entiseen oli rataskäyttö levyjarrun ja yksikön välillä sekä sisäisiä venttiileitä muutettiin siten, että pääsylinterin ja työsylinterin väliä ei suljettu venttiilillä paineen vähennyksen aikana. Samalla työsylinterin ollessa esipaineistettuna sylinteri ei palautunut täysin vaan säilytti levyn ja jarrupalojen välin mahdollisimman pienenä, jolloin jarrutus voi jatkua lähes välittömästi.

Uusi järjestelmä asennettiin Jaguar Mark 7:ään, jossa oli jo valmiiksi levyjarrut joka pyörässä. Järjestelmä toimi huomattavasti paremmin. Jarrutusmatkat lyhenivät

edellisestä versiosta lähes jokaisella alustalla ja auton ohjattavuus säilyi jarrutusten aikana. Siinä oli kuitenkin edelleen ongelmia, kuten voimakas nykiminen. Suurimpana ongelmana oli kuitenkin hinta, joka esti järjestelmän yleistymisen. Järjestelmän hinnalla olisi saanut esimerkiksi kaksi uutta Volkswagen Beetlää.

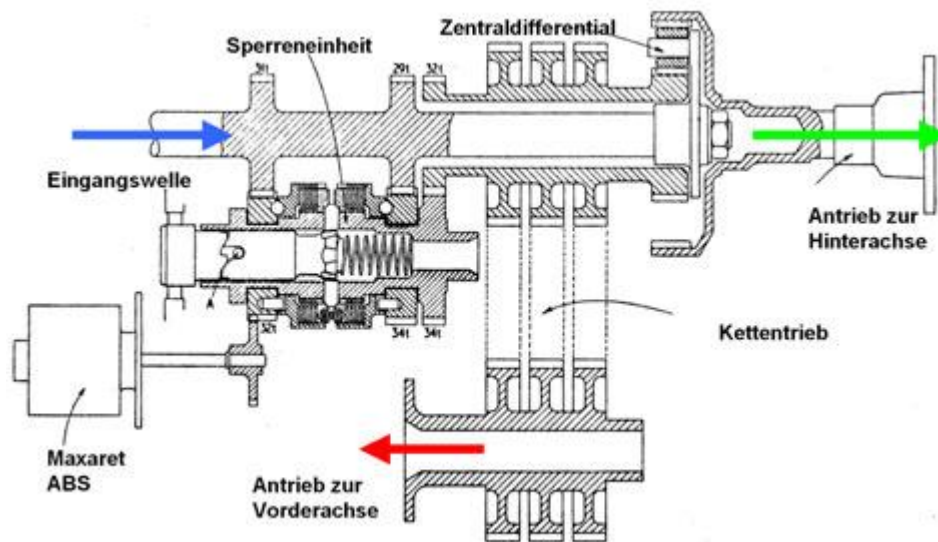
/7, s. 49./



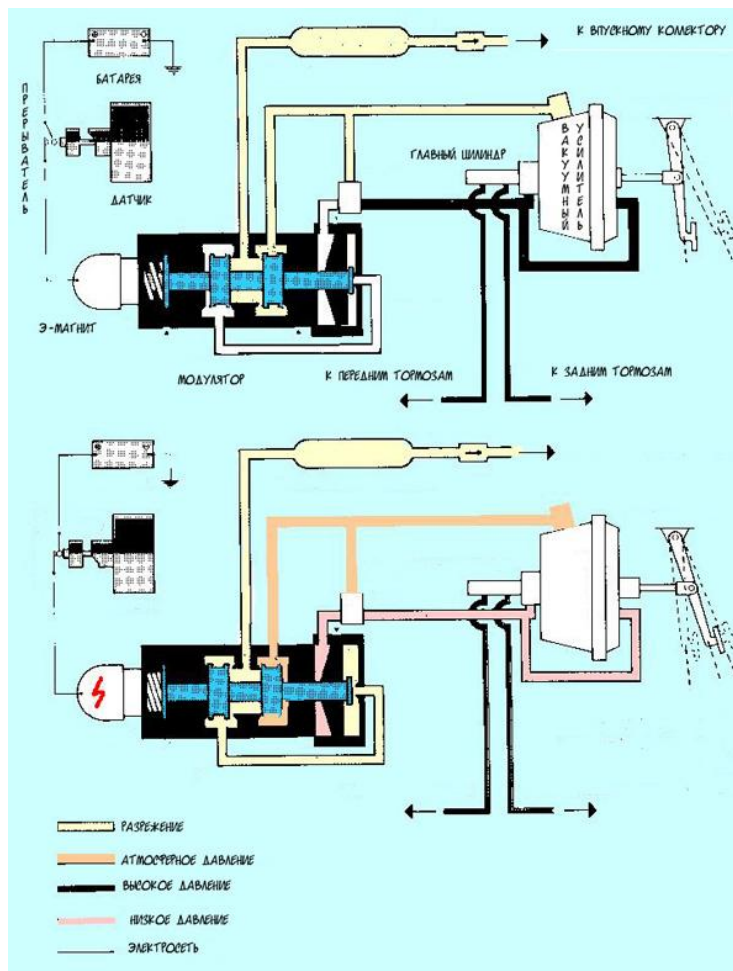
KUVA 4. Jaguar MK 7-auton levyjarruun asennettu Maxaret-yksikkö /8/

Listerin ryhmän tulokset julkaistiin, mutta yleisö ei pitänyt ABS-järjestelmän hyötyjä hintansa arvoisena. Dunlop laittoi kuitenkin kalliin Maxaret-järjestelmän markkinoille vuonna 1966. Tunnetuimpana järjestelmän käyttäjänä tuolta ajalta oli britannialainen urheiluautovalmistaja Jensen, jonka FF-mallissa ABS-jarrut olivat vakiovarusteena. Järjestelmä ei ollut kuitenkaan Listerin ryhmän suunnitteleman kaltainen. Maxaret-yksikkö oli kiinnitetty keskitasauspyörästöön ja järjestelmä oli kaksikanavainen. Mikäli etu- ja taka-akselien välille syntyi pyörimisnopeuseroja jarrutuksen aikana, järjestelmä vähensi jarrutehostimen alipainetta, jolloin nesteen paine jarruputkissa laski, samalla jarrutusteho pieneni. Kun pyörimisnopeusero poistui, tehostus palautui.

Maxaret-yksikköön oli kytketty sähköinen kytkin. Tavallisen Maxaret-järjestelmän nesteventtiilin sijaan yksikkö kytkee sähkön paineilmasolenoidille, joka ohjaa alipainetta jarrutehostimessa. Järjestelmän toiminta tuntui voimakkaasti jarrupolkimeen, koska tehostimen toiminnan modulointi liikutti jarrupoljinta. Jarrutusmatkat pidentyivät myös merkittävästi, koska ilmatoiminen järjestelmä ja raskaat osat tekivät moduloinnista hitaan, ainoastaan kolme kertaa sekunnissa. /9; 10./



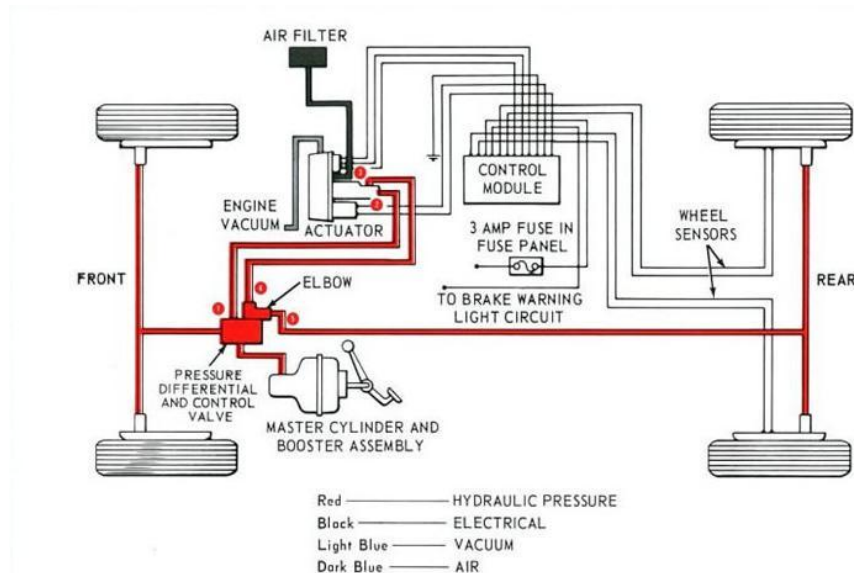
KUVA 5. Jensen FF-jakovaihteisto, jossa Maxaret-yksikkö /11/



KUVA 6. Jensen FF:n jarrujärjestelmä /12/

3.2 Kelsey-Hayes Sure-Track

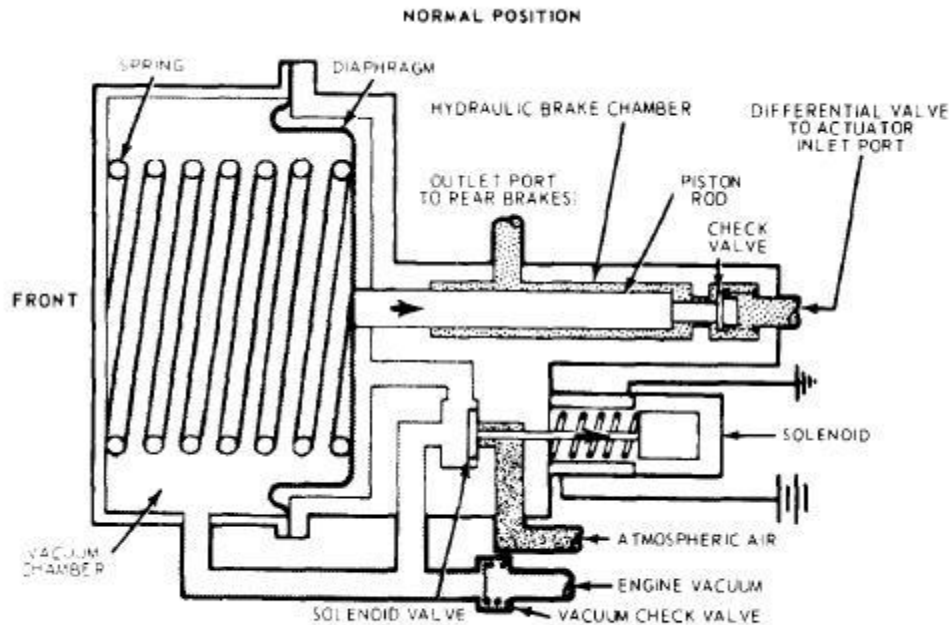
Kelsey-Hayes Wheel Company oli fuusiossa syntynyt yritys, joka aloitti 1920-luvulla toimintansa valmistamalla puisia vanteita Ford Motor Companylle. Yritys laajensi toimintaansa osien valmistajana, ja 1960-luvulla se nousi Fordin suurimmaksi jarruosien toimittajaksi. Se oli myös edelläkävijä levyjarrujen valmistuksessa Yhdysvalloissa. Yhtenä projektina yrityksellä oli niin sanottu Linear Anti-Lock – lukkiintumaton jarrujärjestelmä. Järjestelmä koostui induktiivisista nopeusantureista takapyörillä, hammaskehistä, ohjainlaitteesta ja jarrujen ohjausventtiiliasetelmasta. Järjestelmä koski ainoastaan taka-akselia, koska takapyörät kevenevät jarrutuksessa ja lukkiintuvat suurella todennäköisyydellä ennen etupyöriä. Etupyöriin vaikuttamattomana järjestelmä ei säilyttänyt auton ohjattavuutta kovan jarrutuksen aikana, mutta esti auton yliohjautumisen, eikä lyhentänyt merkittävästi jarrutusmatkaa, koska etupyörät saivat lukittua kuljettajan tahdon mukaan. Sure-Track oli ensimmäinen kuluttajan kannalta järkevän hintainen järjestelmä, se maksoi lisävarusteena noin 195 dollaria (nykyrahassa noin 1200 dollaria). Esimerkiksi Lincoln Continental Mark III:n hinta oli noin 6500 dollaria nykyiseen arvoon muutettuna 40320 dollaria. ABS-järjestelmän hinta verrattuna auton hintaan oli siis hyvin kilpailukykyinen. /13; 14; 15./



KUVA 7. Sure-Track järjestelmäkaavio /16/

Ensimmäiset järjestelmät sai lisävarusteena Lincoln Continental Mark 3- ja Ford Thunderbird Mark 5 –henkilöautoihin vuonna 1969. Järjestelmän kaupp nimi oli

Sure-Track. Näissä autoissa on jarrujärjestelmä, joka on jaettu etu- ja takajarrupiireihin. Yksimäntäiseltä jarrupääsylinteriltä on suora yhteys etujarruille, mutta takajarrujen välissä on Sure-Trackin vaatima venttiili. Venttiili sijaitsee sähköohjatussa mutta alipainekäyttöisessä toimilaitteessa, jonka läpileikkaus on alla kuvassa 17.



KUVA 8. Sure-Track -järjestelmän jarrupaineensäätöventtiili /17/

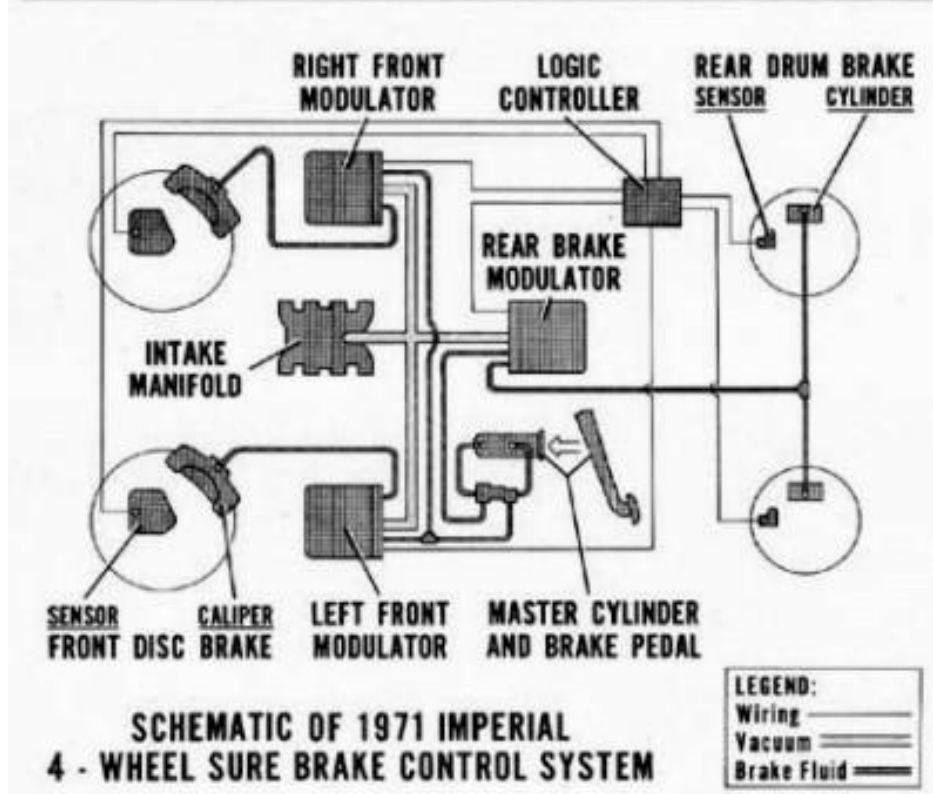
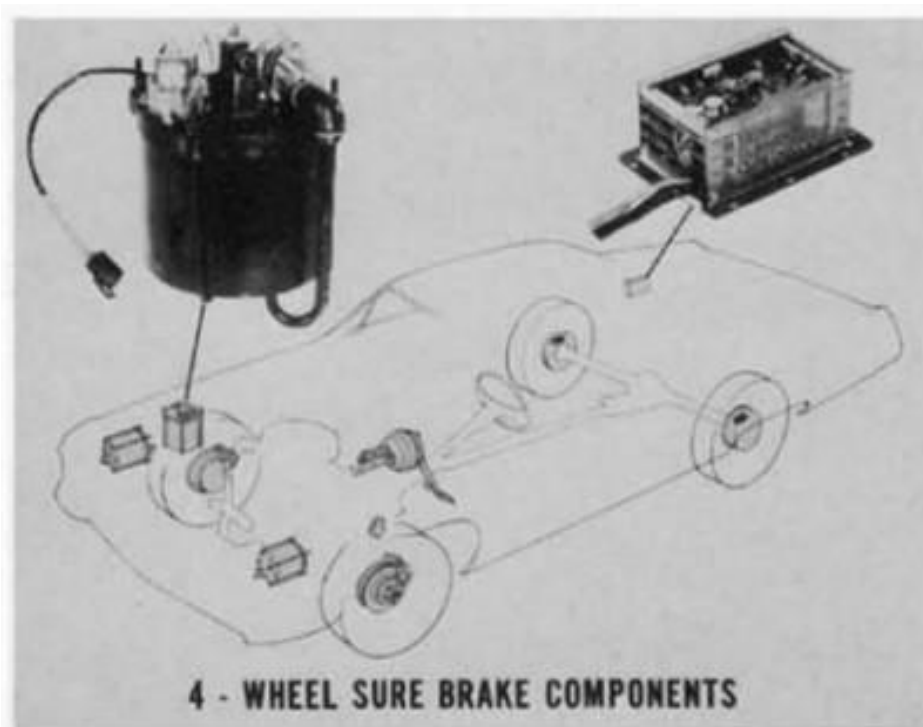
Sure-Trackin ohjainlaite oli täysin analoginen, koska mikroprosessoritekniikka oli vasta tulossa markkinoille. Järjestelmän toiminta oli yksinkertainen, takapyörien anturien nopeustietojen summaa tarkkailtiin, ja mikäli ennalta määrätty arvo alitettiin tarpeeksi nopeasti, yksikkö käytti solenoidin välityksellä alipainehjattua toimilaitetta takajarrupiirin paineen alentamiseksi, kunnes tavoiteltu pyörimisnopeus saavutettiin. Analogiaelektronikka vaatii runsaasti komponentteja. Niiden toleranssien on pysyttävä tarkasti samoina erilaisten värähtelypiirien toiminnan jatkumiseksi suunnitelmien mukaan. Järjestelmässä ilmeni aluksi melko paljon teknisiä ongelmia. Se oli kuitenkin käyttökelpoinen ja Maxaretia sivistyneempi, ja järjestelmä tuli vuonna 1971 vakiovarusteeksi Continental Mark IV -malliin. Sure-Trackin sähkö/alipainetoiminen venttiili pystyi moduloimaan jarrupainetta neljä kertaa sekunnissa, mikä oli edelleen melko hidaskin. Nopeus ei kuitenkaan merkinnyt pelkän

taka-akselin ohjauksessa yhtä paljon kuin neljän pyörän ohjauksessa, sillä se ei haitannut auton ohjaamista eikä lyhentänyt jarrutusmatkaa merkittävästi. /18./

3.3 Bendix Sure-Brake

Bendix Corporation on vuonna 1924 perustettu monialayritys, joka toimitti muun muassa autojen osia Chrysler Corporationille. Yhtiöt tekivät yhteistyötä myös lukkiintumattoman jarrujärjestelmän kehittämiseksi 1960-luvun lopulta alkaen. 1970-luvun alussa valmistui järjestelmä, joka nimettiin Sure-Brakeksi. Järjestelmä ohjasi kaikkia heinkilöauton neljää pyörää, ja siksi sitä pidetään ensimmäisenä, varsinaisena elektronisena lukkiintumattomana jarrujärjestelmänä. Se perustui ajanmukaisesti analogiseen ohjainlaitteeseen ja järjestelmä on esitetty kuvassa 9. Jokaisella pyörällä oli induktiivinen pyörintänopeusanturi, joiden signaalien summia ohjainlaite vertaili. Jarrujärjestelmä oli pääsylinteriltä alkaen jaettu kahteen piiriin. Toinen piiri jaettiin etupyörille ja toinen takapyörille. Molemmille etupyörille oli omat jarrupaineen modulaattorit sekä taka-akselille oli yhteinen modulaattori. Modulaattorit toimivat alipaineella, jonka määrää ohjattiin sähköventtiileillä. Mikäli etu- ja taka-akselien välillä havaittiin nopeuseroa, voitiin sitä tasata jarrupainetta moduloimalla ja lisäksi yksittäisen etupyörän nopeusero voidaan havaita ja kontrolloida.

Sure-Brakea myytiin erittäin vähän, mutta myydyt järjestelmät osoittautuivat käytännössä mukaviksi ja melko kestäviksi. Järjestelmä maksoi lisävarusteena 350 dollaria. Sitä asennettiin lisävarusteena Chryslerin luksusmerkkiin, Imperialiin vuodesta 1971 vuoteen 1973. /19./



KUVA 9. Bendix Sure Brake järjestelmä /19/

3.4 Bosch ABS 1

Robert Bosch GmbH oli jo vuonna 1936 patentoinut laitteen jarrujen lukkiintumisen estämiseksi, mutta ei saanut käytännössä menestyntä järjestelmää aikaiseksi yrityksen omin voimin.

Vuonna 1960 perustettu, Telefunken GmbH:n ja Bendix Corporationin tytäryhtiö Teldix GmbH valmisti aluksi elektroniikkaa lentokoneisiin. Teldixin kehityspäällikkö ja insinööri Heinz Leiberillä oli yrityksessä kokemusta erittäin nopeasti toimivista matala-inertiaisista venttiileistä. Samalla kun Teldix oli siirtymässä myös autotekniikan puolelle, Leiber ymmärsi, että yrityksellä voisi olla osaamista valmistaa nopeita venttiileitä lukkiintumattomiin jarrujärjestelmiin, koska myös hän oli havainnut Maxaretin heikkouden koskien hidasta toimintaa. Teldix GmbH kokosi ryhmän lukkiintumattomien jarrujen kehittämistä varten. Tähän asti autoissa käytetyt lukkiintumattomat jarrujärjestelmät oli kehitetty reagoimaan vasta sitten, kun rengas on oikeasti lukossa. Teldix vaihtoi lähtökohdan täysin toiseksi. Heidän täytyi suunnitella järjestelmä, joka pystyy reagoimaan jo alkavaan lukkiutumiseen. Järjestelmän piti pystyä tunnistamaan yksittäisen pyörän kulmakiilthyvyys, eli hidastuvuus, joka alkaa silloin, kun renkaan ja tien välinen luisto alkaa ilmetä. Siihen tarvittiin tieto auton oikeasta nopeudesta ja siitä, mikä pyörien pyörimisnopeus kuuluu olla. /7, s. 127/

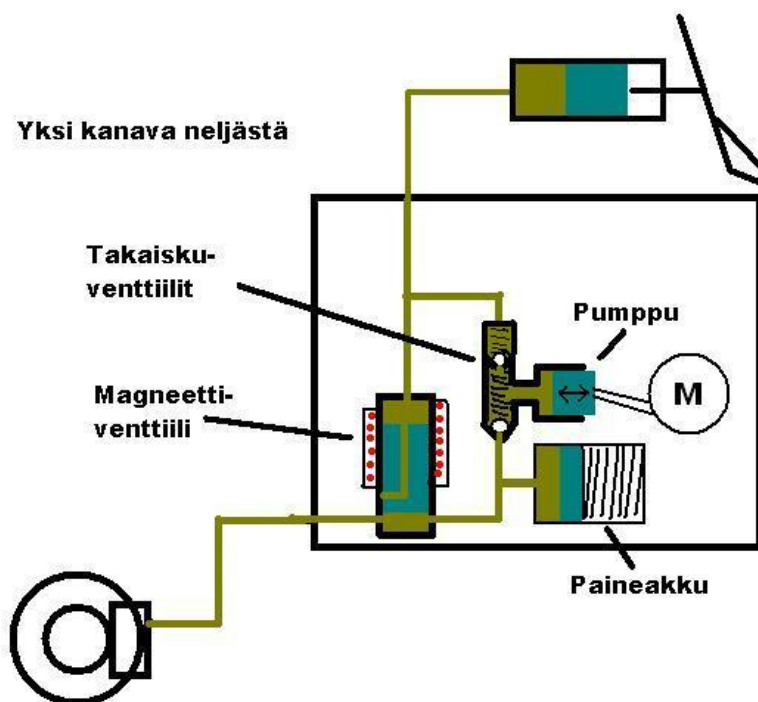
Teldix rakensi testiradan, jossa erilaisia jarrutustilanteita tutkittiin. Järjestelmä suunniteltiin säilyttämään ajoneuvon hallittavuus jarrutuksen aikana tilanteessa, jossa auton eri puolilla oli jopa 0.8 yksikön ero kitkakertoimessa. Tämä tarkoittaa käytännössä tilannetta, jossa auton toisen puolen pyörät ovat kuivalla asfaltilla ja toisen puolen pyörät märällä jäällä. Erilaiset autot käyttäytyvät jarrutuksissa eri tavalla, joten testiradalla oli löydettävä oikeanlainen algoritmi sille autolle, johon järjestelmä suunniteltiin. Teldix käytti jokaisessa pyörässä olevien pyörintänopeustunnistimien lisäksi myös kiihtyvyydestunnistimia etupyörissä.

/7, s. 127/

Ryhmä suunnitteli ohjausyksikön, joka pystyi tunnistamaan yksittäisen pyörän kulmakiilthyvyyden ja vertailemaan sitä muiden pyörien kulmakiilthyvyyksiin. Mikäli yksi arvo olisi poikkeava, yksikkö ohjaisi yhtiön nopeilla venttiileillä varustettua modulaattoria pyöräkohtaisesti. Järjestelmässä venttiileitä voitiin ohjata viidellä eri tavalla kolmessa vaiheessa: pulssitettu paineen nosto nopeasti tai hitaasti, paineen pito ja pulssitettu paineen lasku nopeasti tai hitaasti. Jarrutettaessa pinnalla, joka muuttuu kuivalta asfaltilta jääksi, järjestelmä ehtii reagoimaan jarrutukseen 0.2

millisekunnissa, minkä jälkeen lukkiutunut pyörä alkaa jälleen pyöriä ja kitkakerroin palaa maksimiarvoalueelle. /7, s. 127/

Hydrauliikkayksikössä magneettiventtiilejä oli neljä kappaletta, jokaiselle kanavalle omansa. Kahta kanavaa kohden oli yksi paineakku, ja yksikössä oli kaksi yhden sähkömoottorin käyttämää paluuvirtauspumppua. Järjestelmän toimintaa muihin järjestelmiin verrattuna nopeutti se, että jarruneste, joka vapautui paineen laskun aikana kierrättyi takaisin jarrupääsylinterille pumpun avulla ja näin ollen se oli uudelleen käytettävissä välittömästi. /7, s. 127/



KUVA 10. Bosch ABS

Mikroprosessoriteknikka oli edelleen vasta tulossa, joten järjestelmän ohjainlaite oli täysin analoginen. Se sisälsi yli tuhat puolijohdekomponenttia, ja Teldix haki ulkopuolisilta yrityksiltä, kuten Siemensiltä, apua ohjainlaitteen digitalisoimiseksi. Teldixin järjestelmän oli tarkoitus tulla käyttöön myös huipputekniseen Citroën SM:ään, mutta projekti oli ollut kallis ja Citroënin taloudelliset vaikeudet estivät Teldixin lukkiutumattomien jarrujen ostamisen Teldixiltä ja veivät sen muutamaa vuotta myöhemmin konkurssiin. Teldix jatkoi kuitenkin yhteistyötä Daimler-Benzin kanssa, kuten aiemminkin. Vuonna 1973 Robert Bosch GmbH osti 50 % Teldixin osakkeita Bendix Corporationilta ja siirsi projektin oman organisaatioonsa. Järjestelmän nimeksi tuli ABS, lyhenne tulee sanasta Antiblockiersystem. Analoginen

ABS-1 –järjestelmä ei tullut koskaan kaupallisesti myyntiin monimutkaisen elektroniikan rikkoutumisvaaran takia, mutta oli tärkeä kehitysaste Boschin ABS-järjestelmän historiassa. /8./



KUVA 11. Teldix ABS /20/

Kuvassa 11 näkyy prototyyppiasteella oleva Teldixin järjestelmä. Kuvassa osa numero 3 on elektroniikkayksikkö. Numero 2 on hydrauliyksikkö, jossa on käytössä Teldixin nopeatoiminen magneettiventtiili. Magneettiventtiilin toimintanopeus on jopa 60 kertaa sekunnissa, joten se on yli kymmenen kertaa nopeampi verrattuna aikaisemmin kehitettyihin järjestelmiin, kuten Sure-Brake ja Maxaret. Boschilla oli näin ollen valmiina tarpeeksi nopea hydraulikka, mutta elektroniikka vaati lisää kehittämistä. Prototyypin pohjalta olisi ollut myös valmis analoginen ohjainlaite, mutta sen luotettavuuteen ei uskottu, joten se ei päässyt massatuotantoon. /7, s. 122./

3.5 Bosch ABS 2

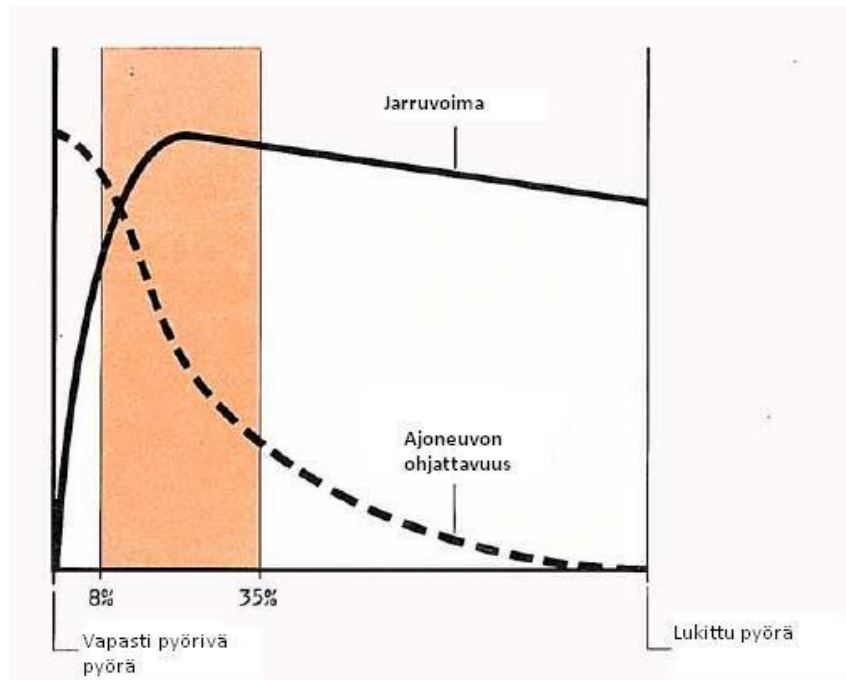
Robert Bosch GmbH jatkoi Teldixin kanssa ABS-järjestelmän kehittämistä tavoitteena saada tarpeeksi luotettava järjestelmä henkilöautoihin. Ratkaisuksi elektroniikan hinnan ja luotettavuuden ongelmaan muodostuivat digitaalitekniikka ja IC-piirit. IC-piireihin on piistä valmistetun kappaleen sisään rakennettu suuri määrä puolijohteita, jotka muutoin olisivat erilliskomponentteina piirilevyllä. /7, s. 121-122./

IC –eli integroiduilla piireillä Bosch ABS –järjestelmän komponenttien määrä saatiin laskemaan tuhannesta sataaneljäkymmeneen. Samalla ABS-jarrituksen

algoritmien suunnittelun luonne muuttui, sillä nyt ohjainlaitteessa oli mikroprosessori ja kaksi kilotavua muistia. Ohjainlaitteeseen kirjoitettiin ohjelmakoodi, jonka mukaan mikroprosessori ohjasi elektroniikkaa ja sen välityksellä hydraulikkayksikköä. Suuria muutoksia järjestelmän toimintaan voitiin siis tehdä muuttamatta mitään fyysisesti piirilevyitä, toisin kuin analogisessa tietokoneessa, jossa pienen muutoksen tekeminen olisi vaatinut useiden komponenttien vaihtamista. /21; 22./

Bosch ABS2-järjestelmä oli valmis massatuotantoon vuonna 1975. Öljykriisin takia autojen hintojen oli pysyttävä alhaisina, joten ABS-järjestelmiä ei myyty. Bosch suurena valmistajana ei ollut kuitenkaan riippuvainen yksin ABS2-järjestelmän myynnistä, joten järjestelmän käyttöönotto sai odottaa vuoteen 1978, jolloin sitä sai ensimmäisenä Mercedes Benz W116-henkilöautomalleihin ja BMW:n E23-mallisarjaan. Muutamaa vuotta myöhemmin myös Audi 200-henkilöautoa myytiin Bosch ABS2-jarrujärjestelmällä. /7, s. 33; 21./

Hydraulikkayksikön periaate säilyi samana ABS1-järjestelmään verrattuna. Siinä oli edelleen neljä kanavaa, kaksi paineakkua ja kaksi paluuvirtauspumpua. Yksikkö painoi 6,2 kg. Elektroniikka ja releet olivat erillään yksiköstä. Jokaisella pyörällä oli oma pyörintänopeustunnistin. Lisäksi joissakin automalleissa oli käytössä elohopeatäytteisillä viistoputkilla toimiva kiihtyvyytunnistin. /1./ Järjestelmää oli saatavana myös kolmekanavaisena. ABS2 käyttää pyöriä 8-35 % luiston alueella kitkaluistokäyrällä, mikä selviää alla olevasta Audi 200-järjestelmän kuvaajasta. Modulointi säilyi ABS-1 -järjestelmän tapaan kolmevaiheisena.



KUVA 12. Kitkaluistokäyrä, jossa Bosch ABS 2:n toiminta-alue /23/

ABS2-versiosta kehitettiin myös kehitysversioita, muun muassa 2E ja 2S. Suurimpana muutoksena alkuperäiseen yksiköt kevenivät (Vuonna 1989 esitellyn 2E-yksikön paino 5.0 kg verrattuna version 2 6.2 kilogrammaan). Lisäksi Bosch siirtyi käyttämään 2E-järjestelmän yksikössä käyttämään integroitua ohjauselektroniikkaa, mikä vähensi myös kaapeloinnin tarvetta merkittävästi. Ohjainlaitteessa oli 8 kilotavua muistia. /21; 24./

Ohjainlaitteisiin tuli myös vikadiagnostiikka. 2S-järjestelmässä oli 2-versioon verrattuna vaimennuskammio jarrupääsylinteriin hydraulisesti yhteydessä, mikä vähensi melua ja erityisesti jarrupolkimen värinää. ABS 2E oli hinnaltaan hieman 2S:ää edullisempi järjestelmä. Siinä nelikanavainen ABS-toiminta saatiin aikaan kolmella magneettiventtiilillä sekä taka-akselille yhteisellä mäntä-venttiili – asetelmalla. Järjestelmän huonona puolena se oli hieman 2S:ää äänekkäämpi ja jarrutus tuntui jarrupolkimessa enemmän. /4, s.728/

3.6 ATE ABS

Alfred Teves GmbH, joka oli perustettu 1906, oli noussut vuonna 1978 suurimmaksi levyjarrujen valmistajaksi. Lukkiintumattoman jarrujärjestelmän kehitys alkoi yrityksessä kuitenkin jo vuonna 1958, ja käytännössä toimiva, kuitenkin myyntiin

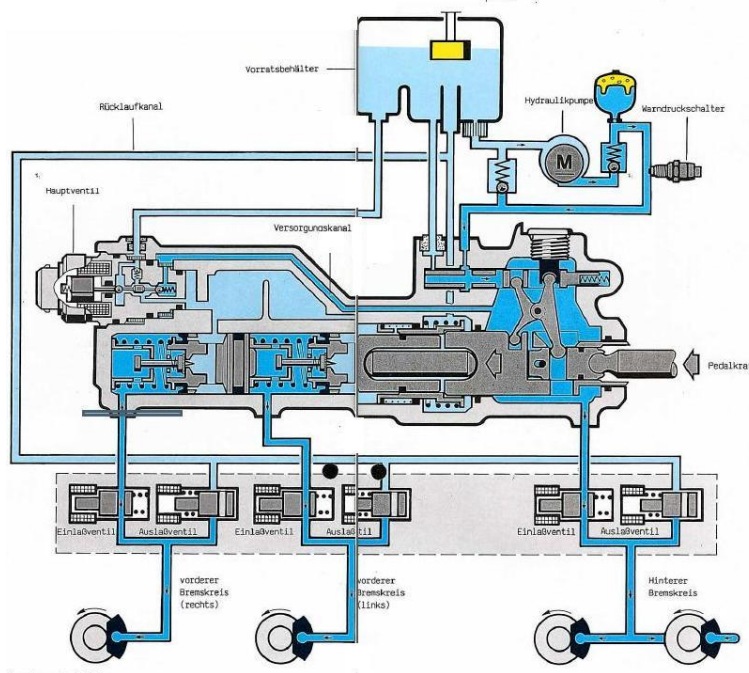
pääsemätön järjestelmä, Teves Mk1 oli valmis vuonna 1969. Järjestelmän kehitys jatkui, ja Tevesin päätavoitteena oli tehdä integroitu järjestelmä, jossa jarrutehostin/pääsylinteriyhdistelmä olisi ABS-yksikössä yhdysrakenteisena. Tällainen järjestelmä, Teves MKII, valmistui 1980-luvulla ja se oli ensimmäinen integroitu ABS-järjestelmä. Ensimmäisenä järjestelmä oli käytössä vuonna 1985 Ford Scorpio - henkilöautossa. Siinä se oli vakiovaruste, mikä oli merkittävä asia ABS-jarrujen historiassa ja pitkään ollut järjestelmien kehityksen tavoitteena. /7, s. 133./

Teves MKII on kolmikanavainen ABS-järjestelmä, jossa molempia etupyöriä ohjataan erikseen sekä taka-akselin pyöriä yhtä aikaa. Kaikilla pyörillä on induktiiviset pyörintänopeustunnistimet, joiden tieto kulkee erillisenä laitteena olevaan digitaaliseen ohjainlaitteeseen. Ohjainlaitteessa on kaksi mikroprosessoria, jotka ohjaavat hydraulikkayksikköä. Laite sisältää myös vikadiagnostiikan. /25./

Hydraulikkayksikkö on monimutkainen laitteisto, jossa on kaasutoiminen paineenvaraaja, hydraulipumppu, jarrunestesäiliö, jarrupääsylinterit ja niiden säätöventtiilit, painetunnistin ja seitsemän kappaletta magneettiventtilejä. /25./

Jarrutehostus on hydraulinen Teves MKII -järjestelmässä. Tärkeässä osassa on paineenvaraaja, joka sisältää kaasukammion ja nestekammion. Kammioita erottaa kalvo. Hydraulipumppu paineistaa tarvittaessa järjestelmää, jolloin paineenvaraajaan virtaa nestettä ja kaasun tilavuus pienenee. Kaasunpainetta voidaan tällöin käyttää välittömästi tehostamaan jarrutusta. Järjestelmä on jatkuvasti paineistettuna, ja mikäli järjestelmän paine jostain syystä häviää tai laskee, merkkivalo syttyy kojelautaan varoittaen kuljettajaa heikentyneestä jarrutustehosta. /25./

Kuvassa 13 on esitetty järjestelmän kaavio. Jarrupoljin on yhteydessä venttiiliin, joka avaa väylän paineenvaraajalta jarrusylinterille. Takajarrupiirille ei ole erillistä pääsylinteriä, vaan jarruvoima takajarruille tuotetaan suoraan painevaraajan paineella. Painevaraajan painetta käytetään tehostamaan myös etujarrujen pääsylinterien mäntiä. Molemmille etupyörille on siis omat pääsylinterit. Etujarrujen pääsylintereilta jarruneste kulkee magneettiventtiileille, jotka moduloivat jarrupainetta. Paineen laskulle ja nostolle on jokaista kanavaa kohden omat venttiilinsä. Paineen pitovaiheessa venttiilit ovat kiinni. Paineen laskuvaiheessa jarrunestettä ei kierrätetä pääsylinterien linjaan vaan jarrunestesäiliöön. Teves MKII -järjestelmä pystyy moduloimaan jarrupainetta korkeintaan kymmenen kertaa sekunnissa. /25./



KUVA 13. Teves Mk II -järjestelmä /25/

3.7 Japanilaiset ABS-järjestelmät

Japanilaiset kehittivät lukkiutumattomia järjestelmiä ensimmäisenä juniin 1960-luvulla. Henkilöautojen järjestelmät alkoivat tulla markkinoille kuitenkin vasta 1980-luvulla. /26; 27./

Ensimmäisten joukossa ABS-järjestelmän toi saataville Nissin Kogyo, joka on vuonna 1953 perustettu Honda Motor Companyn ajoneuvojen osia valmistava kumppaniyritys. Sen ensimmäinen ABS-jarrujärjestelmä oli vuonna 1982 valmistunut järjestelmä, jota Honda kutsui nimellä 4W ALB (Anti-Lock Brake). Järjestelmä oli saatavilla alkaen vuodesta 1982 Honda Preludeen ja 1983 Honda Accordiin lisävarusteena. /28./

Hondan 4WALB:n ensimmäinen versio oli kaksikanavainen, jossa etupyöriä sekä takapyöriä ohjattiin pareittain. Jokaisella pyörällä oli pyörintänopeustunnistimet, ja ohjainlaite sekä pääsylinteri olivat erillisenä yksikkönä. Kaksikanavainen konfiguraatio ei ollut paras mahdollinen jarrutustehon kannalta, sillä toisen etupyörän ollessa pitävällä alustalla järjestelmä laski sen jarrutustehoa yhtä paljon kuin liukkaalla olevan. Järjestelmä kuitenkin säilytti ajoneuvon ohjattavuuden jarrutuksen aikana eikä

kiertomomentin syntyminen ollut suuri ongelma. Järjestelmän suurin jarrupaineen modulointinopeus oli kymmenen kertaa sekunnissa. /28./

Robert Bosch GmbH ja Nippon Air Brake Co. Limited sopivat ABS-järjestelmien valmistamisesta ja perustivat yhteistyöyrityksen, Nippon ABS Limitedin vuonna 1984. Nippon ABS:n järjestelmät olivat teknisesti käytännössä Boschin järjestelmiä pieniä eroja lukuunottamatta. Yleisimpiin kuului muun muassa Subaru- ja Infiniti-henkilöautoissa käytetty ABS-2E sekä 5.3. Nippon ABS suunnitteli myös omia ohjainlaitteita, joita yhdistettiin Boschin ABS-hydrauliikkayksiköihin. Monet muut japanilaiset autovalmistajat käyttivät Bosch ABS 2S-järjestelmää sellaisenaan. /29; 30; 31./

Uusia ABS-järjestelmien valmistajia tuli markkinoille 1980-luvulla Japanissa. Niitä olivat muun muassa Sumitomo, jonka ABS-järjestelmä oli käytössä Mazda RX-7 – henkilöautossa vuonna 1987. Järjestelmää käytettiin myöhemmin myös monissa muissa Mazdan ja Hondan malleissa, joissa se oli Honda 4W ALB-nimellä edustaen järjestelmän toista sukupolvea. Sumitomo 1 -järjestelmä oli kolmekanavainen eli se ohjasi takapyöriä yhdessä sekä molempia etupyöriä erikseen. Kaikissa pyörissä oli pyörintänopeustunnistimet. Jarrupääsylinteri sekä digitaalinen ohjainlaite olivat erillään hydrauliikkayksiköstä ja ohjainlaitteessa oli vikadiagnostiikkaominaisuus. /32./

Nykyisin tärkeimpiä ABS-järjestelmien valmistajia Japanissa ovat ADVICS, Nisshinbo ja Nissin Kogyo. ADVICS on suurten yhtiöiden vuonna 2001 luoma yritys jarrujärjestelmien ja niihin liittyvien osien valmistukseen ja myyntiin. ADVICSin osakkeenomistajat ovat Aisin Seiki Co. Ltd, Denso Corporation, Sumitomo Electric Industries Ltd sekä Toyota Motor Co. Ltd. ADVICS valmistaa ABS-hydrauliikkayksiköitä, ajonvakautuksella varustettuja hydrauliikkayksiköitä sekä integroituja ABS-järjestelmiä hydraulisella tehostuksella. Suurin ADVICSin ABS-järjestelmiä käyttävä autovalmistaja on Toyota. /33; 34./

Monialayritys Nisshinbo Holdingsin osa Nisshinbo Mechantronics valmisti ABS-järjestelmiä Hamakitan tehtaalla, jonka perustaminen sai alkunsa vuonna 1984 tehdystä sopimuksesta Alfred Teves GmbH:n kanssa koskien ABS-jarrujen valmistusta. ABS-järjestelmiä valmistettiin yhteistyössä Tevesin ja myöhemmin Continental Tevesin kanssa vuoteen 2008, jolloin tuotanto siirtyi Continentalin ja

Nisshinbon perustamalle Continental Automotive Corporationille. Nisshinbon valmistamia järjestelmiä oli käytössä muun muassa Mitsubishillä, Mazdalla ja Suzukilla. /35./

3.8 Bosch ABS 5.0 ja 5.3

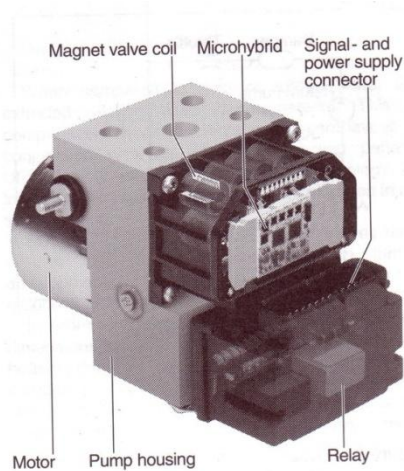
Vuonna 1992 Bosch esitteli jälleen kevyemmän version ABS-yksiköstä. Uusi versio, 5.0, oli edelleen kevyempi verrattuna 2E-versioon. Yksikön massa oli nyt alle neljä kg. Painon ja koon pieneneminen tarkoitti samalla valmistuskustannusten pienenemistä. Yksikkö vei vähemmän tilaa autosta ja sen pystyi asentamaan yhä useampaan ajoneuvoon. ABS 5.0 -version myötä Bosch siirtyi modulaattoriyksiköissään Tevesin aiemmin käyttämään kaltaiseen kaksoisventtiilijärjestelmään, jossa paineen lasku ja nosto tapahtuu eri venttiileillä kanavaa kohden. Jarrupaineen modulointi säilyi kolmivaiheisena aiempien versioiden tapaan sekä jarruneste kierrätettiin pääsylinterille. Myös ohjainlaitetta oli parannettu, se sisälsi 16 kilotavua muistia eli kaksinkertaisen määrän 2E:hen verrattuna. /2./

Päivitys 5.0 järjestelmään tuli vuonna 1995, kun ABS 5.3 esiteltiin. Se oli toiminnaltaan samankaltainen kuin 5.0, mutta yksikön paino oli vain 2.6 kg. Kokoa oli saatu pienemmäksi parantamalla erityisesti venttiilien sähkömagneetteja, jolloin venttiilit saatiin lähemmäs toisiaan. Sovellettavuuden monipuolistamiseksi yksikön rakenne oli lisäksi moduuliperustainen. Elektroniikkayksikköjä oli valittavissa kolme erilaista, jokaisessa eri liitännämahdollisuus. Sähkömoottoreita oli valittavissa kaksi eri kokoa sekä paineakkuja kolmea eri kokoa eri tilavuuksisia jarrujärjestelmiä varten. Myös itse hydrauliyksikön runko oli saatavana kolmena eri versiona, eroina hydraulikkaliitännät jarrupiirille. Järjestelmä oli saatavana myös kolmekanavaisena, jolloin etupyöriä ohjattiin omilla kanavilla ja molempia takapyöriä yhdellä kanavalla. /2, s.84-86./

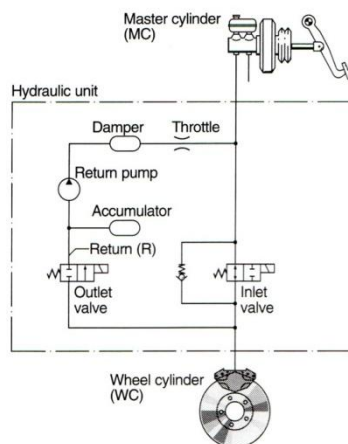
Ohjainlaite edusti myös uutta suunnittelua Boschilla. ABS-järjestelmien ohjainlaitteelle tuli uusi standardi, jonka mukaan mikro-ohjaimessa oli 32 kilotavua muistia, kahdeksan venttiilin ohjaus ja ohjaimella valmius niiden PWM-ohjaukseen, neljä pyörintänopeustunnistinten porttia sekä CAN-väyläliitäntä. Venttiilien releiden kuului olla lisäksi transistoritoimisia. Venttiileiden uudenlainen PWM-ohjaus oli tärkeää, sillä se pienentää niiden tuottamaa melua sekä vähentää moduloinnin

aiheuttamaa värinää jarrupolkimessa. /2. s.6./ Ohjainlaite oli toteutettu micro-hybrid – teknologialla jonka avulla koko piirilevy saatiin noin kymmenen neliösenttimetrin kokoinen. /2, s.87./

ABS 5.3 –järjestelmän ominaisuuksiin kuuluu myös elektroninen jarruvoimanjako. Se toimii siten, että ennen kuin pyörät luistavat jarrutuksessa, on olemassa ohjelma, jonka mukaan jarrupainetta jaetaan etu- ja taka-akselien välillä. Ominaisuuden avulla päästään eroon mekaanisesta jarruvoimien jakoventtiilistä. Myös vetoluistonesto on mahdollista tehdä ABS 5.3-järjestelmän ASR-version avulla. Siinä luistonestolle on varattu kaksi ylimääräistä venttiiliparia, eli ASR-hydrauliikkayksikössä on yhteensä kuusi venttiiliä. 5.3-järjestelmässä suurin jarrupaineen modulointinopeus on kymmenen kertaa sekunnissa. /36./



KUVA 14. Bosch ABS 5.3 yksikkö. /2, s. 83/



KUVA 15. Bosch ABS 5.3 hydrauliikkakaavio. /2, s. 84/

3.8.1 Bosch ABS 5.7

Vuonna 1998 tuli ABS 5.3:n päivitetty versio, 5.7, saataville. Erona edelliseen järjestelmään yksikkö oli keventynyt 2.5 kilogrammaan sekä uutena oli ABS-järjestelmän liittäminen ESP-järjestelmään ja hätäjarrutustehostinvalmius. Yksikön mäntätoiminen hydraulipumppu muuttui kaksitoimiseksi, eli mäntä pumppaa jarrunestettä sekä eteen että taakse työntyessään. Hätäjarrutuksen alun tunnistamiseksi jarrutehostimen painetta tarkkaillaan painetunnistimella sekä jarrupääsylinterin painetta sen lopettamiseksi. Hätäjarrutuksen aikana järjestelmä nostaa jarrupainetta käyttämällä hydraulipumppua sekä venttiileitä. Samalla venttiileitä käytetään pyörien luistaessa PWM-signaalilla, mikä mahdollistaa jarrupaineen nopeamman moduloimisen. Kun jarrupoljin nostetaan, järjestelmä palauttaa kuljettajan polkimella säätämän jarrupaineen piiriin. Myös ohjainlaitteen muistin määrää oli lisätty 48 kilotavuun. /36; 37./

3.8.2 Bosch ABS 8

Boschin uusiin ABS-järjestelmien sukupolvi esiteltiin jo vuonna 2001, joten se on ollut tuotannossa jo yli kymmenen vuotta. ABS 8 on moduulipohjainen järjestelmä, ja perustoiminnoilla olevan järjestelmän yksikkö painaa vain 1.6 kg. Jokaiselle pyörälle on edelleen kaksi kaksiasentoista magneettiventtiiliä, kuten 5-versioissakin. Sen ohjainlaitteessa on edelleen suurempi muisti edellisiin verrattuna, 128 kilotavua. Muistia tarvitaan monimutkaistuvien säätöalgoritmien takia, sillä ohjainlaitteella ohjataan monia toimintoja, kuten luistonestoa (TCS8) ja ajonvakautusta (ESP8). /37./

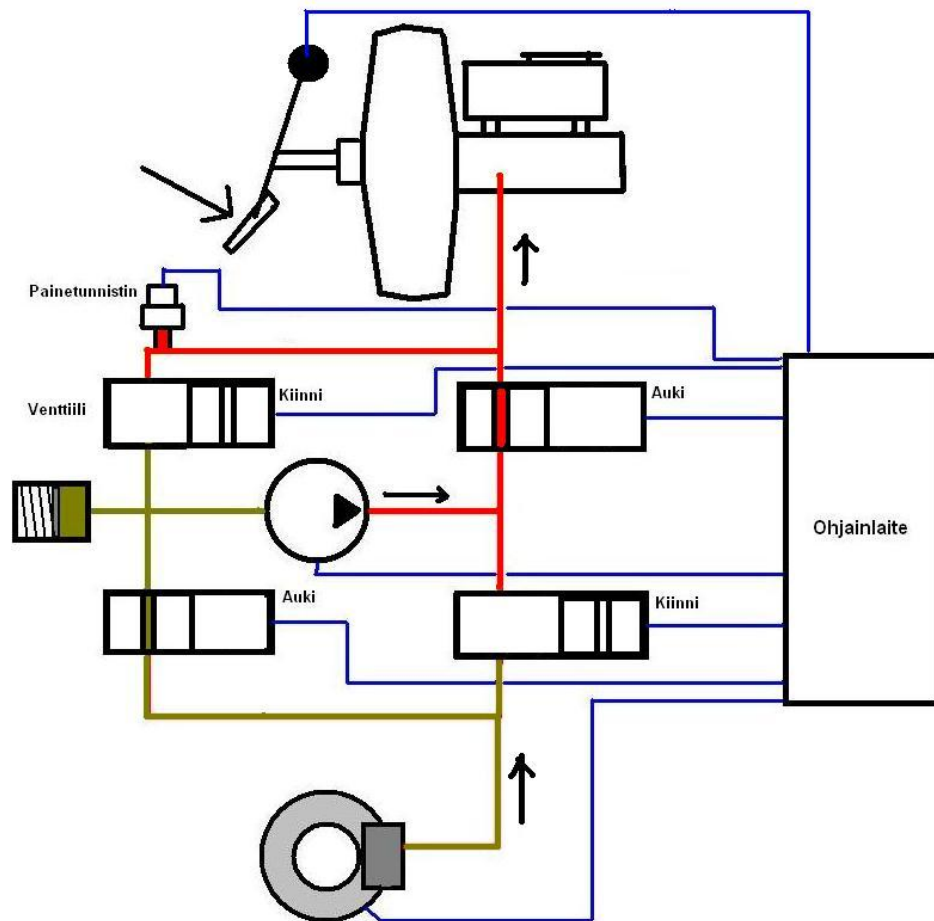
ABS8-järjestelmän yhteydessä voidaan käyttää myös aktiivisia pyörintänopeustunnistimia. Tunnistimissa on hall-anturi sekä elektroniikka, jotka muodostavat paremmin häiriötä sietävän digitaalisen signaalin. /38./

3.8.3 Hätäjarrutehostimen toteutus ABS-jarrujärjestelmällä

Ajoavustinjärjestelmillä pyritään vähentämään kuljettajasta johtuvia virheitä auton kuljettamisessa. Tyypillisin kuljettajan tekemä virhe on reagointi väärin hätäjarrutustilanteessa. Jarrupoljinta ei paineta tarpeeksi nopeasti suurimmalla mahdollisella voimalla, mikä johtaa heikkoon jarrutukseen jarrutuksen alkumetreillä.

On tärkeää, että jarrutus saadaan mahdollisimman tehokkaaksi jo varhaisessa vaiheessa ajonopeuden ollessa suurimmillaan. Silloin voidaan lyhentää ajoneuvon pysäytymismatkaa huomattavasti, koska jarrutustapahtuman alkuhetkellä vallitsevalla nopeudella ajoneuvo etenee aina pidemmän matkan tietyssä ajassa. Esimerkiksi 100 km/h nopeudella ajoneuvo etenee noin 27,8 metriä sekunnissa, joten jo puolen sekunnin aikaistaminen maksimijarruvoiman tuottamiseen lyhentää jarrutusmatkaa lähes 14 metriä. Hätäjarrutehostin auttaa myös niitä, jotka eivät pysty tuottamaan riittävää poljinvoimaa koko jarrutuksen aikana. Vaatimukset henkilöauton jarrujärjestelmälle sisältävät maksimipoljinvoiman vaatimuksen, mikä on 500 N. Kaikkien ajokortin omistavien tulisi pystyä saamaan aikaan 500 N poljinvoima, mutta käytännössä tätä ei vaadita ajokortin saamiseen. Citroën arvioi C5-henkilöautomallinsa pysähtyvän parhaimmillaan 25 % lyhyemmällä matkalla hätäjarrutehostimen ansiosta. Voidaan siis puhua todella merkittävästä turvallisuustekijästä. /39; 40/

Tässä selvitetään 2000-luvun alussa muun muassa Volkswagen-henkilöautoissa käytetty Bosch ABS 5.7-järjestelmään perustuva hydraulinen jarruassistenttijärjestelmä. Muutoksena vanhempaan ABS 5.3-järjestelmän yksikköön ABS 5.7-yksikön mäntätoiminen hydraulipumppu muuttui kaksitoimiseksi, eli mäntä pumppaa jarrunestettä sekä eteen että taakse työntyessään. Tämä lisää pumpun tilavuustuottoa, mikä on edellytyksenä jarruassistentin toiminnalle. Hätäjarrutuksen alun tunnistamiseksi tarkkaillaan jarrupääsylinterin piirin painetta. /36./



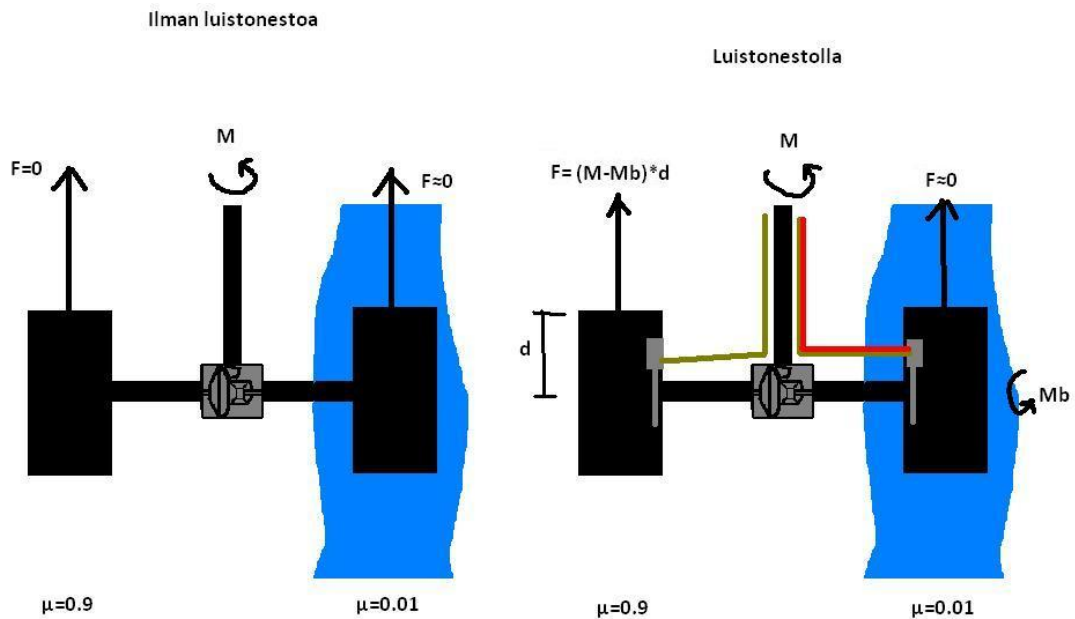
KUVA 17. Jarrupaineen lasku

Jarrupaineen lasku tapahtuu pumppaamalla jarrunestettä hydraulipumpulla takaisin jarruilta pääsylinterille. Vaiheita kierrätetään niin kauan, kunnes ajoneuvon nopeus on laskenut ohjelmoituun arvoon tai jarrupoljinta nostetaan tarpeeksi. Tällöin jarrupaineeksi palautetaan kuljettajan, jarrupääsylinterillä tuottama jarruvoima. /41./

3.8.4 Muut hätäjarruassistenttijärjestelmät

Hätäjarrutehostin on mahdollista toteuttaa myös käyttämättä ABS-järjestelmän hydraulikkua, ja se voidaan asentaa myös henkilöautoihin ilman lukkiutumattomia jarruja. Esimerkiksi Lucas ja Continental-Teves valmistavat järjestelmiä, joissa on mekaaninen, inertiaan perustuva mekanismi. Polkimen hidas liike käyttää jarruja ilman alipainetehostinta, kun taas nopea liike kytkee alipainetehostuksen käyttöön. Mekaniikat eroavat eri valmistajilla. Voidaan esimerkiksi säädellä tehostimen kammioden painetta venttiilin avulla tai käyttämällä kahta eri poljinvoiman kulkureittiä pääsylinterille, joista esimerkiksi vain toinen käyttää hyväksi jarrutehostinta. Elektronisessa hätäjarrutehostimissa periaate on lähes sama verrattuna

mekaaniseen, siinä jarrutehostus kytketään käyttöön magneettiventtiilillä. Elektroninen järjestelmä voi käyttää hyväksi tietoa ajoneuvon nopeudesta sekä jarrupolkimen käyttönopeudesta. /42; 43./



KUVA 18. Vetoluistonesto

Kuvassa 18 esitetään vetoluistoneston järjestäminen jarrujärjestelmällä. Auton avoin tasauspyörästö ei pysty jakamaan voimansiirron vääntömomenttia tasan molempien pyörien kesken, mikäli niiden välillä on suuri ero kitkakertoimessa tiehen nähden. Kun liikkeelle lähdeettä pyörien pyörintänopeustunnistimien avulla havaitaan pyörimisnopeuksissa eroa, voidaan nopeammin pyörivää pyörää jarruttaa käyttämällä hyväksi ABS-yksikön jarruvoiman tuottamista. Kuvan vasemmassa tilanteessa toinen vetävä pyörä on märällä jääpinnalla (kitkakerroin lähes nolla) ja toinen pyörä kuivalla asfalttipinnalla. Voimansiirrolta tulee vääntömomentti M , mikä aiheuttaa tasauspyörästön välityksellä momentin siirtymisen kokonaan jäällä olevalle pyörälle aiheuttaen se pyörimisen tyhjää toisen pyörän ollessa paikallaan. Näin ollen pyörät eivät välitä voimaa tiehen ja ajoneuvo ei liiku.

Kuvan 18 oikeanpuoleisessa tilanteessa jarrujärjestelmällä tuotetaan liukkaalla olevaan pyörivään pyörään pyörimissuunnan vastainen momentti M_b . Käytettävä jarrupaine tarvittavan momentin tuottamiseksi määräytyy jarrusylinterin pinta-alan ja levyjarrullisessa ajoneuvossa jarrusylinterin keskikohdan etäisyydestä akselin keskikohdasta. Tuotettava momentti vähentää voimansiirrolta tulevaa momenttia ja

aiheuttaa hukkalämmön muodostusta jarrujen kitkapinnoilta, mutta se saa voimansiirrolta tulevan jäljelle jäävän momentin välittymään paikallaan olevaan pyörään tasauspyörästä välityksellä.

3.9 Järjestelmien vertailu

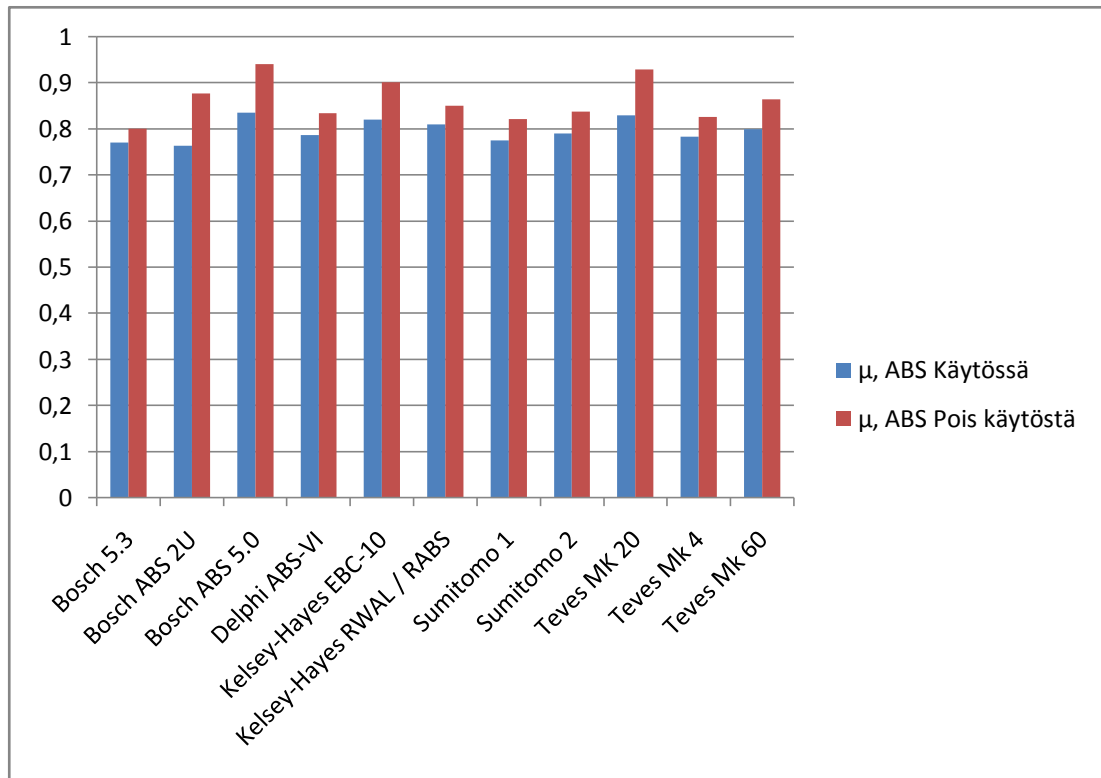
Teoksessa Electronic braking, traction and stability controls on koottu tulokset jarrutusmatkatestistä, joka on tehty 1990-luvun ABS-jarrullisilla henkilöautoilla noin 70 kilometrin tuntinopeudesta. Testissä on verrattu laskennallisia kitkakertoimia, joilla voidaan saada suuntaa antava luku ABS-järjestelmän jarrutustehokkuudesta.

Laskennallinen kitkakerroin voidaan määrittää kaavalla 1:

$$\mu = \frac{S^2}{254 * d} \quad (1)$$

jossa S on nopeus (km/h), d on jarrutusmatka (m) ja μ on kitkakerroin.

Laskennallisen kitkakertoimen ABS-jarrutuksella tulisi olla mahdollisimman lähellä jarrutusta kuivalla asfaltilla. Mikäli kitkakerroin ABS-jarruilla on merkittävästi pienempi kuin ilman ABS-jarruja, järjestelmä lisää silloin jarrutusmatkaa, mikä ei ole toivottavaa. Testissä on 19 henkilöautoa, joissa on yhteensä 11 erilaista ABS-järjestelmää. Usean samanlaisen järjestelmän arvoista on laskettu keskiarvo. Ajoneuvojen renkaiden kumikitka on oletettu samaksi. Muita arvoja väärentäviä seikkoja ovat esimerkiksi ajoneuvon massa ja painopisteen muuttuminen jarrutuksessa, joita ei tiedetä. Ne on kuitenkin otettava huomioon järjestelmiä suunniteltaessa. Epävarmuustekijöiden takia tämä kirjan tietojen pohjalta tehty tutkimus ei kerro suoraan eri järjestelmien suorituskykyä, mutta antaa suuntaa järjestelmien tehokkuudesta.



Kuva 19. Kaavio järjestelmien suorituskyvystä

Kuvasta 19 nähdään, että ainakin Boschin järjestelmien välillä on tapahtunut kehitystä ja jarrutus on tehokkaampi mitä uudempi järjestelmätyyppi on kyseessä. Kokeessa oli mukana kolme autoa varustettuna Bosch 2U –versiolla, kaksi autoa 5.0-versiolla ja yksi uusimmalla 5.3-versiolla. Myös Sumitomon ensimmäisen ja toisen sukupolven järjestelmien välillä on pieni ero uudemman hyväksi. Kelsey-Hayesin uudempi järjestelmä EBC-10 oli jarrutuksessa sen sijaan tehottomampi kuin vanhempi RWAL, mutta tämä selittyy sillä, että RWAL on ainoastaan takapyöriä ohjaava järjestelmä ja etupyörät saavat lukkiutua.

Delphin ABS-VI –järjestelmällä varustettuja autoja oli testissä kolme kappaletta ja sen osalta tulosta voidaan pitää luotettavana. Vuonna 1991 esitelty ja lähes kymmeneen vuoteen markkinoilla ollut järjestelmä oli yllättävän tehokas verrattuna esimerkiksi uudempaan Boschin 5.0 –järjestelmään. Toinen 1990-luvun alussa esitelty järjestelmä, Teves Mk4 oli asennettu kolmeen testiautoon. Se oli Tevesin järjestelmistä paras tässä vertailussa ollen tehokkaampi kuin 1990-luvun lopulla esitellyt Mk 20 ja Mk 60. Nämä järjestelmät olivat tosin asennettuna korkeisiin ajoneuvoihin, Dodge Caravaniin (Chrysler Voyager) ja Honda CR-V:hen, joissa painopiste siirtyi voimakkaasti etuakselille jarrutettaessa, keventäen taka-akselia ja siten pienentäen takapyörien kitkavoimaa. /2; 31./

4 BOSCH ABS 2E-JÄRJESTELMÄN TUTKIMINEN

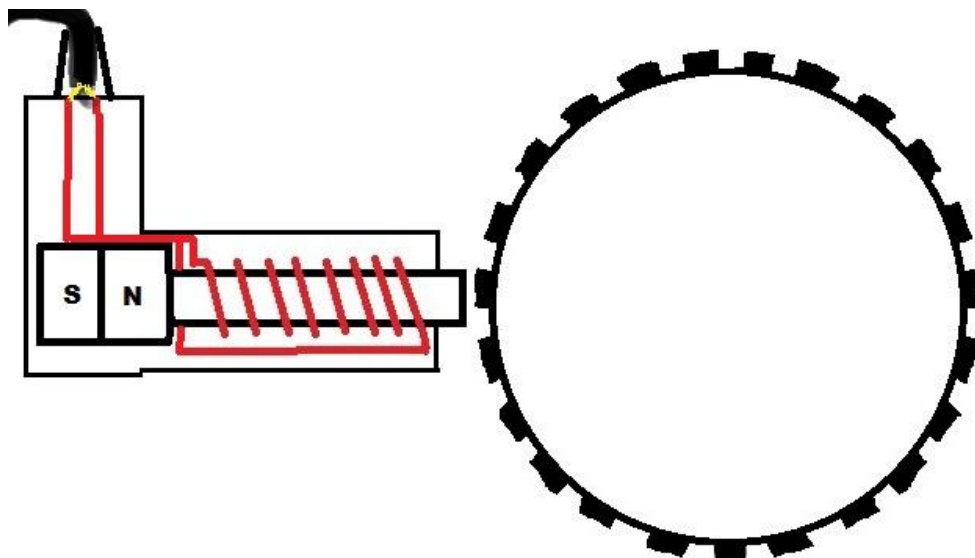
4.1 Kohdeauto

Tutkittava järjestelmä on vuoden 1995 Saab 900 –henkilöautossa. Auto on liitteen 2 kuvassa 32. Järjestelmä ei ole integroitu, vaan se on erillisenä yksikkönä jarrutehostin/pääsylinteri -asetelman vieressä. Elektroniikkayksikkö on samassa yksikössä hydraulikan kanssa. Auton perusjarrujärjestelmä perustuu Alfret Tevesin komponentteihin. Jarrulevyt ovat edessä halkaisijaltaan 284 mm ja takana 260 mm. Jarrusatulat edessä ovat yksimäntäiset, uivaa tyyppiä ja takana on kiinteät kaksimäntäiset jarrusatulat. Myös jarrupääsylinteri ja tehostin ovat ATE:n valmistamia. Ajoneuvon omamassa on 1380 kg.

4.2 ABS-järjestelmän komponentit

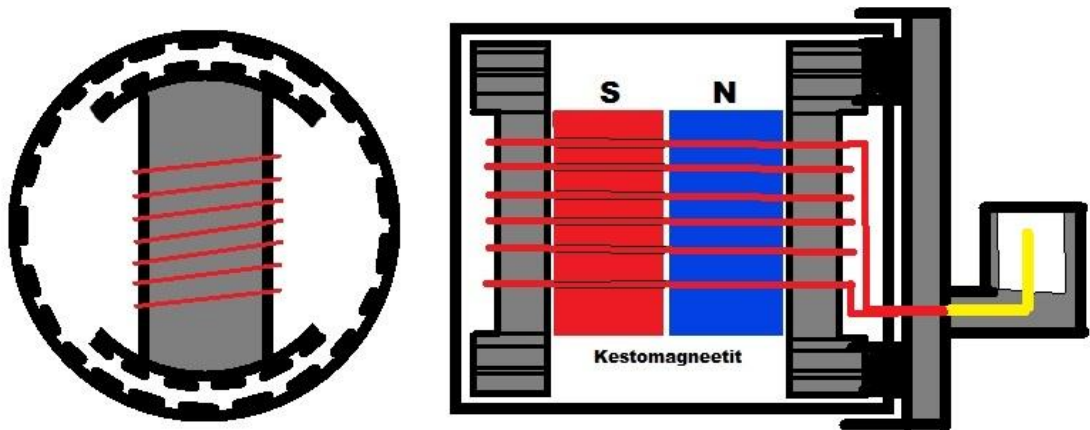
4.2.1 Pyörintänopeustunnistimet

Pyörintänopeustunnistimina käytetään yleisesti ABS-järjestelmissä käytössä olevia induktiivisia tunnistimia. Niiden toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon, jossa ferriittisen materiaalin liikkuminen magneettikentässä aiheuttaa siihen muutoksen. Muuttuva magneettikenttä aiheuttaa puolestaan magneettikenttään asetettuun kelaan jännitteen. Jännite on vaihtojännitettä, jota tulkitaan ABS-järjestelmän ohjainlaitteessa pyörimisnopeutena.



KUVA 20. Etupyörän pyörintänopeustunnistin

Kuvassa 20 esitetään periaatekuva etupyörän pyörintänopeustunnistimesta ja hammaskehästä. Hammaskehä sijaitsee vetonivelen päällä, ja nopeustunnistin on olka-akselissa. Nopeustunnistimessa on magnetoitu ydin, jonka ympärillä on kela. Lähellä ytimen päätä kulkee hammaskehän hampaita pyörän pyöriessä. Hammaskehä on valmistettu teräksestä, joten se aiheuttaa magneettikentän muutoksen ytimeen, mikä synnyttää vaihtojännitteen kelaan. Hammaskehät ovat melko alttiina sään vaikutukselle, mikä näkyi myös työn kohdeauton hammaskehissä korroosiona. Korroosio muuttaa hammaskehän pinnasta ferriittistä rautaa rautaoksidiksi eli ruosteeksi, mikä heikentää tunnistimeen indusoituvaa jännitettä.

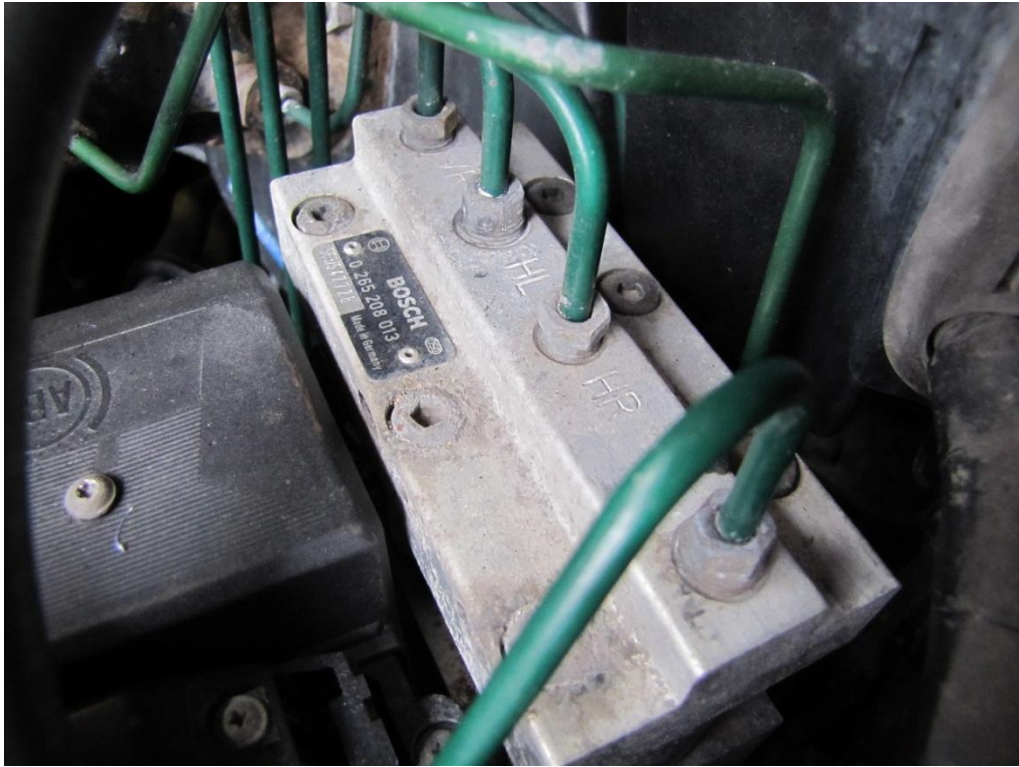


KUVA 21. Takapyörän pyörintänopeustunnistin

Kuvassa 21 on periaatekuva takapyörän pyörintänopeustunnistimesta. Koska auto on etuvetoinen, voidaan takana käyttää hyödyksi pyörännavan keskustaa nopeustunnistimen sijoituksessa. Tunnistin on asennettu keskelle napaa. Tunnistinjärjestelyyn takana kuuluu sisältä hammastettu leveä putki, joka napaan kiinnitettynä pyörii rungon ympärillä. Runko on kiinnitetty olka-akseliin, ja on paikallaan. Rungossa on kaksi hammastettua päätylevyä, jotka on magnetoitu kestomagneeteilla eri napaisiksi. Levyjen ja magneetin ympärillä on kela, johon magneettikentän muutoksen aiheuttama jännite indusoituu. Takapyörien tunnistimet ja kehät ovat suojassa lialta ja näin ollen ovat etupyörien vastaavia pitkäikäisemmät.

4.2.2 Hydraulikkayksikkö

Hydraulikkayksikkönä on Boschin 0 265 208 013. Yksikkö perustuu vanhaan, Boschin yhtä kanavaa ohjaavan, kolmetoimisten venttiilien periaatteeseen. Magneettiventtiileitä yksikössä on kolme, ja ne ovat todella suurikokoisia verrattuna moderneihin järjestelmiin.



KUVA 22. Hydraulikkayksikkö

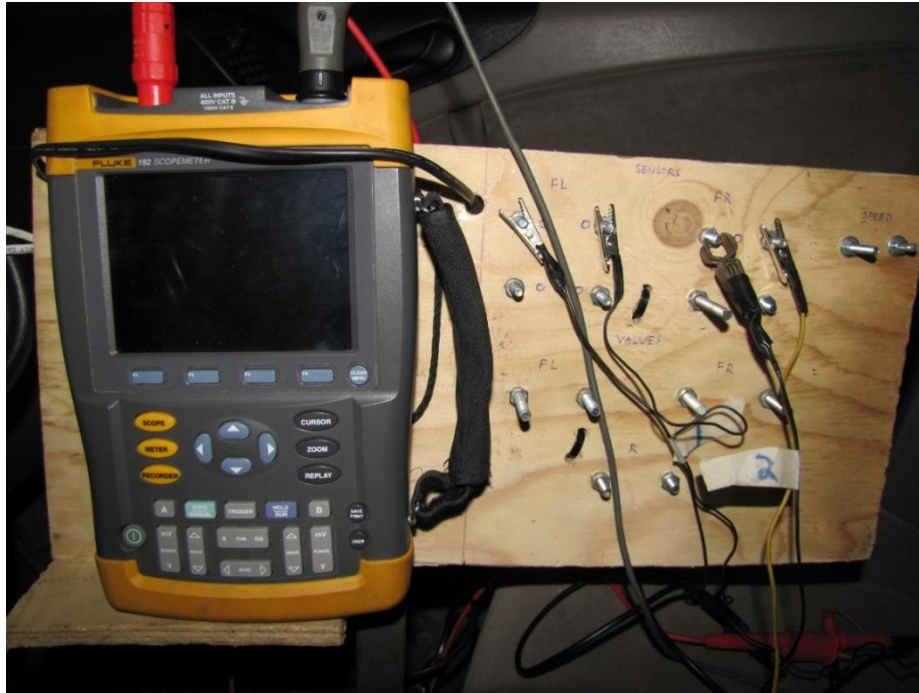
4.3 Mittaukset

4.3.1 Testilaitteisto

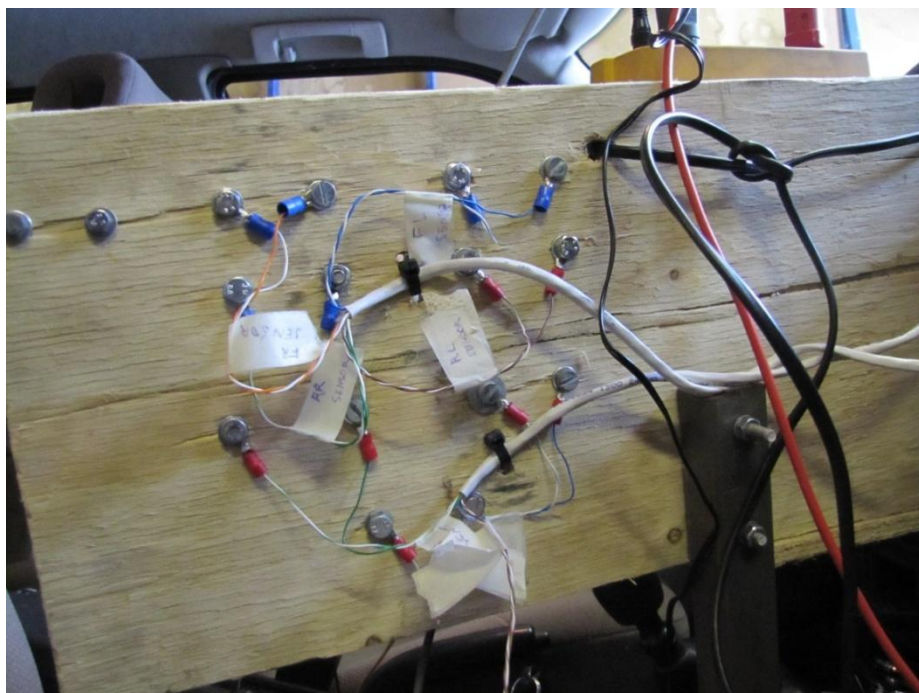
Mittauksia varten oli valmistettava erityinen testitaulu, jotta järjestelmän tutkiminen sekä kytkentöjen muuttaminen matkan aikana olisi mahdollista ilman autosta poistumista.

Testitaulun valmistus tapahtui käyttämällä helposti saatavilla olevia ylijäämämateriaaleja. Näitä olivat muun muassa vanerilevy, M6-pultteja, ruuveja ja muttereita, huonekaluputkea, ristiinkierrettyä CAT 5 verkkokaapelia, kytkentäjohtoa, hauenleukoja, liittimiä ja pieni määrä muita tarvikkeita kuten juotostinaa. Testitaulussa oleviin pultteihin oli sähköisesti kytkettyä magneettiventtiilien

ohjaussignaalit, sekä pyörintänopeustunnistimien signaalit. Hauenleuoilla saatiin oskilloskoopin mittajohdot kytkettyä nopeasti näihin signaaleihin. Oskilloskooppina toimi Mikkelin ammattikorkeakoulun kaksikanavainen Fluke 192, jolla saatiin seurattua kahta signaalia samanaikaisesti. Kuvassa 23 on testitaulu, jossa Fluke 192 –oskilloskooppi sekä testissä käytetyt hauenleukaliittimet.



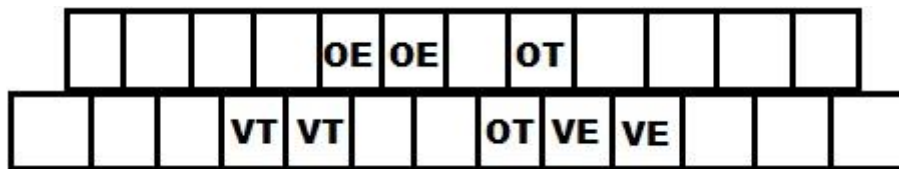
KUVA 23. Testitaulu ja Fluke 192 -oskilloskooppi



KUVA 24. Testitaulun kytkennät

Kuvassa 24 esitetään testitaulu takaa. Kuvassa näkyy CAT-5 verkkokaapelin liitännät pultteihin. Testitaulu on kiinnitetty oikean etuistuimen yhteen kiinnityspisteeseen huonekaluputkesta valmistetulla jalalla.

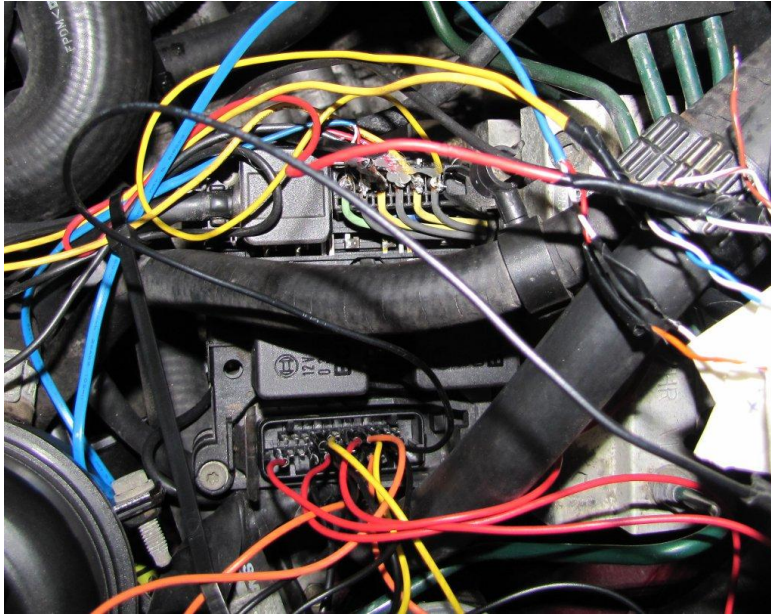
Testitaulun kytkeminen ABS-järjestelmään vaati liittimen signaalien selvittämistä pyörintänopeustunnistimien osalta. Jokaisen pyörän nopeustunnistimen liittimestä etsittiin yleismittarilla yhteys hydraulikkayksikön liittimeen ja näin selvitettiin tunnistimien johtimien sijainti yksikön liittimessä. Kuvassa 25 esitetään tunnistinten signaalien liitännät naarasliittimestä.



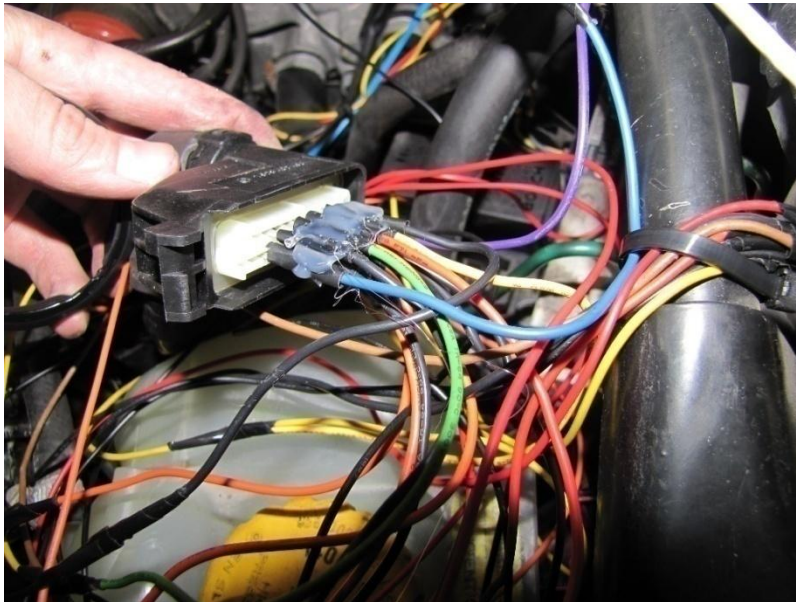
KUVA 25. Liitin

Koska liitin oli irrotettuna hydraulikkayksiköstä testien ajan, oli liittimen ja yksikön välille valmistettava hyppyjohdot, joiden liitännät toimisivat luotettavasti. Yksikköön johtimen päät kytkettiin PC-tietokoneen Molex Mini-fit -virtaliittimen yksittäisillä liittimillä. Johtosarjan liittimeen johdot kytkettiin erilaisten elektroniikkalaitteiden piirilevyistä saaduilla, muokatuilla alumiinisilla johdinnastoilla. Johdinten kiinnitys varmistettiin liimalla. 25-napaisesta liittimestä 15 napaa oli käytössä, joten hyppyjohtimia oli valmistettava 15 kappaletta. Pyörintänopeustunnistimien hyppyjohtimet valmistettiin siten, että testitaulun johdin voitiin juottaa suoraan hyppyjohtimeen.

Ventiilien liitännät eivät olleet yksikön liittimessä, vaan niiden johtojen juotokset olivat helposti näkyvillä hydraulikkayksikön elektroniikkaosan päällä. Testijohdot juotettiin näihin liittimiin suoraan. Kuvassa 26 esitetään testitaulun johdotuksen liittäminen hydraulikkayksikköön. Kuvassa 27 on sarja hyppyjohtimia liitettynä auton ABS-järjestelmän johtosarjaan.



KUVA 26. Liitännät hydraulikkayksikköön



KUVA 27. Liitännät johtosarjaan

Lisäksi testilaitteistoon kuului kannettavan tietokoneen laturi, jolla annettiin virtaa oskilloskoopille.

4.3.2 Mittaussuunnitelma

Mittauksia varten laadittiin suunnitelma, jonka perusteella mittauksissa edettiin. Mittausten tavoitteena oli selvittää seuraavat asiat:

1. Nopeustunnistimien signaalit
2. Taka-akselin ABS-ohjauksen toiminta (Mittajohtojen kytkeminen taka-akselin magneettiventtiiliin ja toiseen takapyörän nopeustunnistimeen)
3. Etuakselin ABS-ohjauksen toiminta (Mittajohtojen kytkeminen toisen etupyörän magneettiventtiiliin sekä saman pyörän nopeustunnistimeen, minkä jälkeen eri pyörän nopeustunnistimeen).
4. Moduloinnin vaiheet kolmitoimisilla venttiileillä ja sen signaalit.

Mittausten tulokset ovat oskilloskoopin näytöstä otetuissa valokuvissa, jotka ovat tämän työn liitteenä.

4.3.3 Nopeustunnistimien signaalit

Ensimmäisenä tutkittiin pyörintänopeustunnistimien signaaleja. Signaaleista voidaan päätellä hammaskehien, sekä tunnistimien kunto toisiinsa nähden. Liitteen 1 kuvassa 28 esitetään etupyörien pyörintänopeussignaali. Signaali on sinimuotoista vaihtosähköä, jonka amplitudia ja taajuutta ohjainlaite tarkkailee. Noin 30 km/h nopeudella tunnistin muodostaa noin 120 millivoltin jännitteen. Hammaskehällä on 29 hammasta, joten kuvan kahdeksassatoista millisekunnissa pyörä ehti pyöriä noin 37 astetta.

4.3.4 Taka-akselin toiminta

Tämän mittauksen tarkoitus oli selvittää, toimiiko yhdellä magneettiventtiilillä ohjattu taka-akseli Select low- vai Select high -periaatteella. Testissä kytkettiin oskilloskoopin toinen kanava mittaamaan taka-akselin magneettiventtiiliä ja toinen yksittäisen takapyörän pyörintänopeussignaalia (Liite 1, Kuva 29). Signaaleja tutkittiin, ja selvitettiin, aletaanko taka-akselin jarrupainetta moduloimaan heti, kun toinen takapyörästä luistaa. Liitteen 1 kuvassa 30 esitetään vasemman takapyörän pyörintänopeussignaali sekä venttiilin toiminta. Tästä kuvasta ja muistakin oskilloskoopin kuvista todettiin, että taka-akselin jarrupainetta moduloitiin myös silloin, kun mitatun pyörän nopeus ei pudonnut. Tällöin toisen takapyörän signaali vaikutti modulointiin. Taka-akselin ohjaus oli siis näiden mittausten perusteella Select Low-tyyppinen.

4.3.5 Etuakselin ABS-ohjauksen toiminta ja toimintanopeus

Etuakselia ohjataan yleensä joko yksittäisen pyörän ohjauksella tai Select High –ohjauksella. Select High –periaatteella paremmin pitävä pyörä määrää jarrupaineen moduloinnin, eli toinen pyörä saa luistaa, ennen kuin jarrupainetta aletaan moduloimaan. Yksittäisen pyörän ohjauksessa akselin molempien pyörien nopeus otetaan kyllä huomioon, mutta se ei vaikuta suoraan jarrupaineen modulointiin. Testissä voitiin olettaa järjestelmän käyttävän yksittäisen pyörän ohjausta, sillä hydrauliyksikössä on molemmille etupyörille oma magneettiventtiilinsä. Toiminnasta haluttiin kuitenkin varmistua. Liitteen 1 kuvassa 31 on oskilloskoopin näyttö jarrutuksesta noin 65 km/h nopeudesta. Oskilloskoopin kanava A on kytketty vasemman ja B oikean etupyörän piirin magneettiventtiliin. Kuvasta nähdään selkeästi, että pyöriä ohjataan yksittäisen pyörän ohjauksella.

Liitteen 1 kuvassa 30 näkyy testeissä nopein esiintynyt venttiilien toiminta. Kuvasta voidaan lukea, että 80 millisekunnin aikana venttiilin kolme vaihetta käytiin läpi kuusi kertaa, eri sekunnin aikana venttiili voi toimia jopa 75 kertaa.

4.3.6 Ajokoe

Jarrujärjestelmän toimintaa tutkittiin myös pienimuotoisella, jarrutusmatkoja testaavalla ajokokeella. Testiratana toiminut, noin 500m pitkä täysin suora tieosuus sijaitsee Äänekoskella, ja sitä käytetään tarvittaessa myös lentokoneiden laskupaikkana. Tiellä on 80 km/h nopeusrajoitus. Jarrutuskokeiden aikana tienpinta oli jäinen ja ilman lämpötila oli noin neljä astetta. Märän tienpinnan lämpötila oli nolla astetta. Tie oli keskeltä lievästi koholla, mikä teki jarrutuksesta haastavampaa, sillä auto pyrkii siirtymään jarrutettaessa tien sivuun. Tällainen tilanne on kuitenkin Suomen teillä erittäin yleinen, jopa päällystetyt tiet ovat keskeltä lievästi koholla. Testiajossa auto pyrittiin pitämään tien keskellä, jotta renkaita pystyttäisiin pitämään lukossa mahdollisimman pitkän ajan auton siirtyessä sivusuunnassa. Testirata on kuvattu liitteessä 1 kuvalla 31. Testiajoneuvossa oli uudenveroiset Goodyear Ultragrip Extreme 195/65 R15 –nastarenkaat.

Jarrutusmatkakokeessa testattiin auton pysähtymistä kolmenkymmenen, kuudenkymmenen ja kahdeksankymmenen kilometrin tuntinopeudesta ABS-jarrujärjestelmän ollessa toiminnassa, sekä poiskytkettynä. Poiskytkentä suoritettiin poistamalla ABS-järjestelmän pääsulake sulakerasiasta. Kuljettajan varoittamiseksi tämä aiheutti suuren kolmionmuotoisen merkkivalon syttymisen mittaristoon, lisäksi mittaristoon syttyi ABS-järjestelmän vikaa ilmoittava merkkivalo. Jarrutusmatkojen tulokset mitattiin mittanauhalla ja taulukoitiin taulukkoon 1.

TAULUKKO 1. Jarrutusmatkat.

	ABS Päällä	ABS Pois päältä
30 km/h	8,10 m	7,70 m
60 km/h	31,20 m	37,40 m
80 km/h	57,00 m	65,10 m

Taulukosta 1 voidaan havaita, että pienestä nopeudesta jarrutettaessa ABS-järjestelmä lisäsi jarrutusmatkaa lievästi lukkojarrutukseen verrattuna testialustalla. Testiradalla kumikitkalla ei ollut merkittävän suurta osuutta, vaan kitka syntyi lähes ainoastaan nastan puretumisesta tiehen. Tällöin ABS-järjestelmä ei pysty lisäämään jarrutuksen tehokkuutta, koska se ei pysty lisäämään kitkaa. Auto säilyy kuitenkin ohjattavissa koko jarrutuksen ajan.

Suuremmilla nopeuksilla nähdään kuitenkin, että jarrutusmatkat kasvoivat merkittävästi, kun ABS-järjestelmä oli poissa käytöstä ja jarrutus tapahtui lukkojarrutuksella. Tämä johtui siitä, että jarrupoljinta oli kevennettävä 60km/h nopeudesta jarrutettaessa keskimäärin kaksi- ja 80 km/h nopeudesta jarrutettaessa kolme kertaa auton pitämiseksi ajoradalla. Tässäkin tapauksessa auto oli pysähtyessään pahimmillaan noin kolmenkymmenen asteen kulmassa ajorataan nähden. Kahdeksan metrin eroa jarrutusmatkassa 80 km/h nopeudesta voidaan pitää turvallisuuden kannalta merkittävänä. Lisäksi auto on turvallisesti hallinnassa koko jarrutuksen ajan ABS-järjestelmän toimiessa.

5 POHDINTA

Autoteollisuuden historian tutkiminen ja eri lähteiden tutkiminen tätä työtä varten oli aikaavievää, mutta samalla todella mielenkiintoista. Erityisesti britannian teollisuuden

historia on henkilökohtaisesti aina kiinnostanut, ja tätä työtä tehdessä oppi mielenkiintoisia yksityiskohtia erityisesti maan autoteollisuudesta. Olisi ollut mukava perehtyä erityisesti Maxaret-järjestelmiin enemmänkin, mutta erityisesti lähteiden vähäisyys rajoitti työskentelyä. Työssä yritettiin tutkia järjestelmiä maailmanlaajuisesti, mutta erityisesti Boschin järjestelmät ovat eurooppalaisille autoilijoille merkittävimpiä, joten myös tässä työssä perehdyttiin eniten niihin. Amerikkalaiset ja japanilaiset järjestelmät ovat olleet myös merkittäviä, mutta niistä löytyi yllättävän vähän tietoa.

Olisin halunnut myös sisällyttää työhön enemmän käytännön tutkimista. Aluksi suunnitelmana oli asentaa ABS-jarrujärjestelmä henkilöautoon jälkiasennuksena, mutta aikataulu, budjetti, sekä varaosa-auton vaikea löytyminen estivät lopulta suunnitelmien toteuttamisen. Kuitenkin voidaan sanoa, että oppimisen kannalta asentamisesta ei olisi ollut merkittävää etua verrattuna nyt toteutettuun ratkaisuun tutkia valmiiksi autossa olevaa järjestelmää. Tutkittavat kohteet olisivat olleet molemmissa tapauksissa samat.

Kohdeauton järjestelmän tutkiminen oli mielestäni tärkeä osa tätä työtä. En ollut ennen tätä omistanut ainuttakaan autoa, jossa olisi ollut lukkiutumattomat jarrut, eikä minulla ollut paljoakaan tietoa komponenteista eikä järjestelmän toiminnasta. Suhtautumiseni ABS-jarrujärjestelmiin myös muuttui ajokokeiden aikana. Aikaisemmin olin ollut sitä mieltä, että poljinvoimaa säätelemällä voi hallita auton yhtä hyvin kuin ABS-järjestelmän avulla. Jarrutusmatkakokeiden perusteella näin ei kuitenkaan ole ainakaan minun taidoillani. Lumella jarrutettaessa ja hyvillä talvirenkailla ABS-järjestelmästä ei ole merkittävää hyötyä, mutta testiolosuhteiden määrällä, jäisellä ja epätasaisella tiellä ABS-järjestelmä toimi todella vakuuttavasti. Useiden metrien ero jarrutusmatkassa ABS-järjestelmän hyväksi voi tietyissä tilanteissa säästää peltivahingoilta ja parhaimmassa tapauksessa jopa pelastaa henkiä. Ja mikä tärkeintä, auto on ohjattavissa koko jarrutuksen ajan. Auto oli jarrutuksen aikana jopa vakaampi, mitä se oli tasaisella nopeudella edetessä. On kuitenkin muistettava, että liika turvallisuuden tunne saattaa aiheuttaa huomaamattoman ajonopeuden nousun, mikä taas vähentää turvallisuutta. Oikein käytettynä ABS-järjestelmä on siis todella tärkeä aktiivinen turvavaruste.

LÄHTEET

1. Antiblockiersystem im Volkswagen Transporter-Konstruktion und Funktion. Koulutusmateriaali. PDF-dokumentti.
http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_86.PDF Päivitetty 1987. Luettu 19.2.2012.
2. Jurgen, Ronald K 1999. Electronic Braking, Traction and Stability Controls, Society of Automotive Engineers (SAE); USA.
3. Limpert, Rudolf 1999. Brake Design and Safety, 2. painos, Society of Automotive Engineers; USA.
4. Robert Bosch GmbH 2002. Autoteknillinen Käsikirja. 6. painos. Jyväskylä; Gummerus.
5. Ebay-huutokauppasivusto. WWW-Dokumentti.
[http://i.ebayimg.com/21/!Brob5ugBGk~\\$%28KGrHqQH-DwEvE,kutZGBL0fV!W7Cg~~_35.JPG](http://i.ebayimg.com/21/!Brob5ugBGk~$%28KGrHqQH-DwEvE,kutZGBL0fV!W7Cg~~_35.JPG) Ei päivitystietoa. Luettu 18.2.2011.
6. Instrumentation Between Science, State and Industry – Bernward Jörges, Terry Shinn. Google-kirja.
<http://books.google.fi/books?id=38zfjaVzHGAC&lpg=PA65&ots=Zch7jFoOI&dq=Instrumentation%3A%20between%20science%2C%20state%2C%20and%20industry%202006&hl=fi&pg=PA65#v=onepage&q=Instrumentation:%20between%20science,%20state,%20and%20industry%202006&f=false> Ei päivitystietoa. Luettu 19.3.2012.
7. Johnson, Ann 2009, Hitting The Brakes, Duke University Press Books; USA
8. Culture of ABS – September 2010 Issue. WWW-dokumentti.
http://memagazine.asme.org/Articles/2010/September/Culture_ABS.cfm Ei päivitystietoa. Luettu 14.2.2012
9. Jensen Owners Club. Jensen FF. WWW-dokumentti.
http://www.joc.org.uk/newjoc/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=90 Päivitetty 2012. Luettu 14.2.2012
10. Motor Trend. Jensen FF. WWW-dokumentti.
http://m.motortrend.com/classic/features/1104_past_square_back_ferraris_original_ff/jensen_ff.html Päivitetty 2012. Luettu 14.2.2012.
11. Jalopnik Fantasy Garage. Jensen FF. WWW-dokumentti.
<http://jalopnik.com/267959/jensen-ff> Päivitetty 13.6.2007. Luettu 19.3.2012

12. По тормозам I (ABS и другое). WWW-dokumentti
<http://www.carexpert.ru/publp.php?publid= abs01> Päivitetty 12.1.2010.
Luettu 14.2.2012
13. Kelsey-Hayes Group of Companies. WWW-dokumentti.
<http://www.fundinguniverse.com/company-histories/KelseyHayes-Group-of-Companies-company-History.html> Ei päivitystietoa. Luettu 14.2.2012
14. Auto Brevity. anti-Lock Brake Systems. WWW-dokumentti
<http://automotivemileposts.com/autobrevity/antilockbrakes.html> Ei päivitystietoa. Luettu 14.2.2012
15. Conceptcarz. 1969 Lincoln Continental images, Information and History (Mark 3, Mark III). WWW-dokumentti.
<http://www.conceptcarz.com/vehicle/z10204/Lincoln-Continental.aspx> Ei päivitystietoa. Luettu 19.3.2012.
16. Mustangtek. Ford Sure Track braking. WWW-dokumentti.
<http://mustangtek.com/braking/FordSureTrackbraking.html> Päivitetty 4/1969.
Luettu 18.2.2012
17. Electronic Brake Control Systems 1970-73 Ford Motor Co. Sure Track Brake System. PDF-Dokumentti.
<http://vintage.mitchell1.com/PClubData/chassis/dch73/V2D738085.pdf>
Päivitetty 2003. Luettu 18.2.2012
18. Hitting the Brakes: A History of Automotive Brakes. Scribd-kirja.
<http://www.scribd.com/piety.h2462/d/61307028-A-History-of-Automotive-Brakes> Päivitetty 2012. Luettu 19.2.2012
19. Auto Brevity. Anti-Lock Brake Systems. WWW-dokumentti
<http://automotivemileposts.com/autobrevity/antilockbrakes.html> Ei päivitystietoa. Luettu 19.3.2012
20. Mercedesclass.net. Anti-lock braking system (ABS). WWW-dokumentti.
<http://www.mercedesclass.net/safety-2/anti-lock-braking-system-abs/>
Päivitetty 2012. Luettu 19.3.2012
21. Robert Bosch GmbH. Bosch Innovation. WWW-dokumentti.
<http://www.bosch.com/assets/en/company/innovation/theme03.htm> Ei päivitystietoa. Luettu 19.3.2012
22. Wikipedia. WWW-dokumentti. http://en.wikipedia.org/wiki/Analog_computer
Päivitetty 24.3.2012. Luettu 19.3.2012

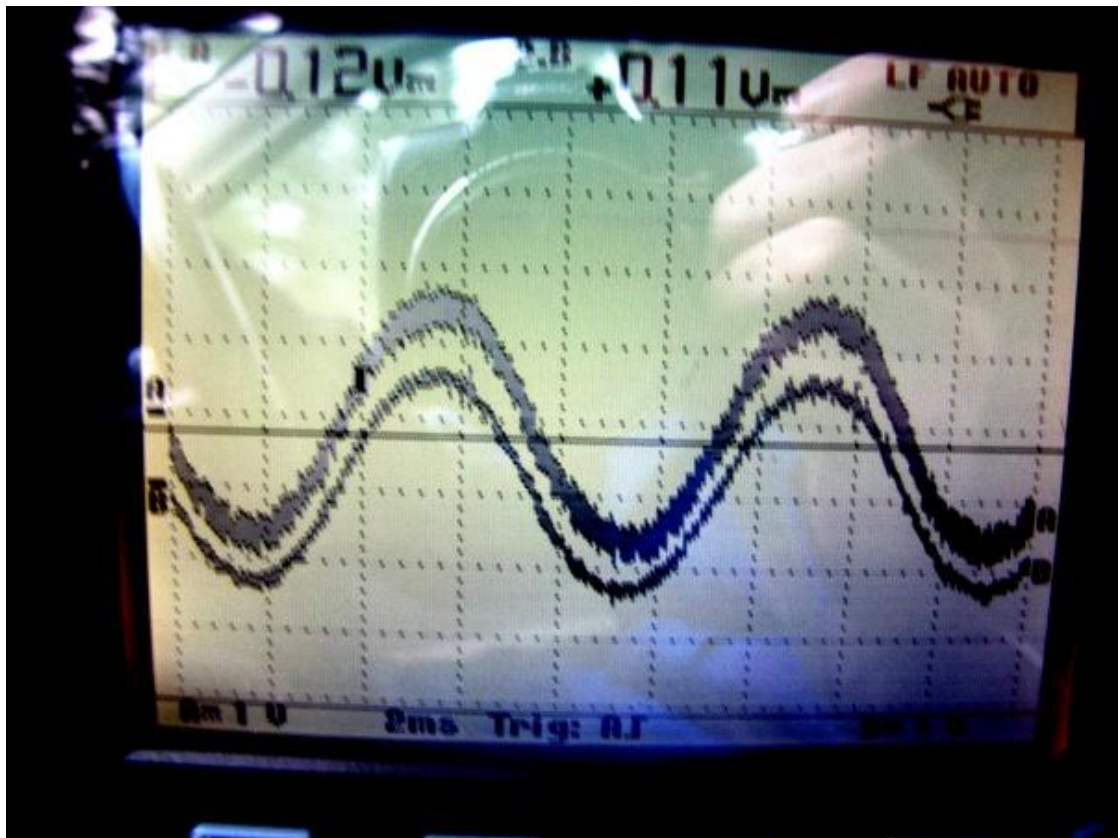
23. Volkswagen AG. Antiblockiersystem im Audi 200. PDF-dokumentti.
http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_36.PDF Päivitetty 7.1980.
Luettu 25.2.2012
24. Robert Bosch GmbH. From innovation to standard. PDF-dokumentti
http://www.bosch.de/start/media/BOSCH_ABS_Infowand_eng.pdf Ei
päivitystietoa. Luettu 19.3.2012
25. Volkswagen AG. Antiblockiersystem in dem Golf. PDF-dokumentti.
http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_81.PDF Päivitetty 1986. Luettu
19.3.2012
26. Wikipedia. ABS. WWW-dokumentti
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%A2%E3%83%B3%E3%83%81%E3%83%AD%E3%83%83%E3%82%AF%E3%83%BB%E3%83%96%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%82%AD%E3%83%BB%E3%82%B7%E3%82%B9%E3%83%86%E3%83%A0> Päivitetty 5.2.2012. Luettu 1.3.2012
27. Wikipedia. Honda Accord. WWW-dokumentti.
http://en.wikipedia.org/wiki/Honda_Accord Päivitetty 27.2.2012. Luettu
1.3.2012.
28. Society of Automotive Engineers of Japan. Inc. 240 Landmarks of Japanese
Automotive Technology. Electronically controlled 4W ALB. WWW-
dokumentti. http://www.jsae.or.jp/autotech/data_e/5-8e.html Ei päivitystietoa.
Luettu 1.3.2012.
29. Robert Bosch GmbH. Chronology: History of Bosch Group in Japan.
<http://www.bosch.co.jp/en/japan/history/chronology/> Päivitetty 2.11.2010.
Luettu 1.3.2012.
30. EndWrench. SUBARU Abs. Scribd-kirja.
<http://www.scribd.com/doc/20967125/SUBARU-Abs> Ei päivitystietoa. Luettu
2.3.2012
31. AA1Car. Antilock Brake Systems (ABS) System Application Chart. WWW-
dokumentti. http://www.aa1car.com/library/abs_list.htm Päivitetty 2003. Luet-
tu 2.3.2012.
32. AA1Car. Honda & Acura Antilock Systems. WWW-dokumentti.
http://www.aa1car.com/library/abs_honda.htm Ei päivitystietoa. Luettu
2.3.2012.

33. AISIN. Group Companies' Products. WW-dokumentti.
<http://www.aisin.com/product/group/advics.html> Ei päivitystietoa. Luettu 2.3.2012.
34. Wikipedia. ADVICS. WWW-dokumentti.
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%A2%E3%83%89%E3%83%B4%E3%82%A3%E3%83%83%E3%82%AF%E3%82%B9> Päivitetty 16.12.2011.
Luettu 2.3.2012.
35. Nisshinbo Inc. Hamakita Plant. WWW-dokumentti. <http://www.nisshinbo-mechatronics.co.jp/english/profile/hamakita.html> Päivitetty 2009. Luettu 30.3.2012
36. Audi of America Inc. Service Training. PDF-dokumentti.
<http://152.66.93.29/audi/download/audi/Chassis/Audi%20Handling%20and%20Control%20Systems.pdf> Päivitetty 7/2001. Luettu 19.3.2012
37. Robert Bosch GmbH. From innovation to standard. PDF-dokumentti
http://www.bosch.de/start/media/BOSCH_ABS_Infowand_eng.pdf Ei päivitystietoa. Luettu 19.3.2012
38. The Korean Car Guide. Hyundai Getz Part IV:ABS. WWW-dokumentti.
<http://www.koreancars.info/2010/05/hyundai-getz-part-iv-abs.html> Ei päivitystietoa. Luettu 19.3.2012
39. Autotieto. Ha-Alusta – Jarruvoimat. WWW-dokumentti.
http://www.autotieto.net/ha_alusta/jarruvoimat.htm Ei päivitystietoa. Luettu 30.3.2012.
40. GoAuto – Brakes. 2001 Citroen C5 Exclusive Sedan. WWW-dokumentti.
<http://www.goauto.com.au/mellor/mellor.nsf/story2/A30DCBBA773CBDB8CA256ABA005493F4> Päivitetty 2012. Luettu 30.3.2012
41. Volkspage. Volkswagen Self Study Programme 264. The Brake Assist System. PDF-dokumentti. http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_264_d1.pdf
Päivitetty 9/2011. Luettu 30.3.2012
42. Continental AG. ATE Brakes. Original ATE brake boosters. WWW-dokumentti.
http://www.ate.de/generator/www/com/en/ate/ate/themes/10_products/20_hydraulic-parts/40_brake-boosters/productinfo_brake-bosters_en.html Päivitetty 2012. Luettu 30.3.2012

43. Heissing, Bernard, Metin, Ersoy, Chassis Handbook. Scribd-kirja.

<http://www.scribd.com/doc/59998665/162/Brake-Assistant-MBA-EBA-HBA>

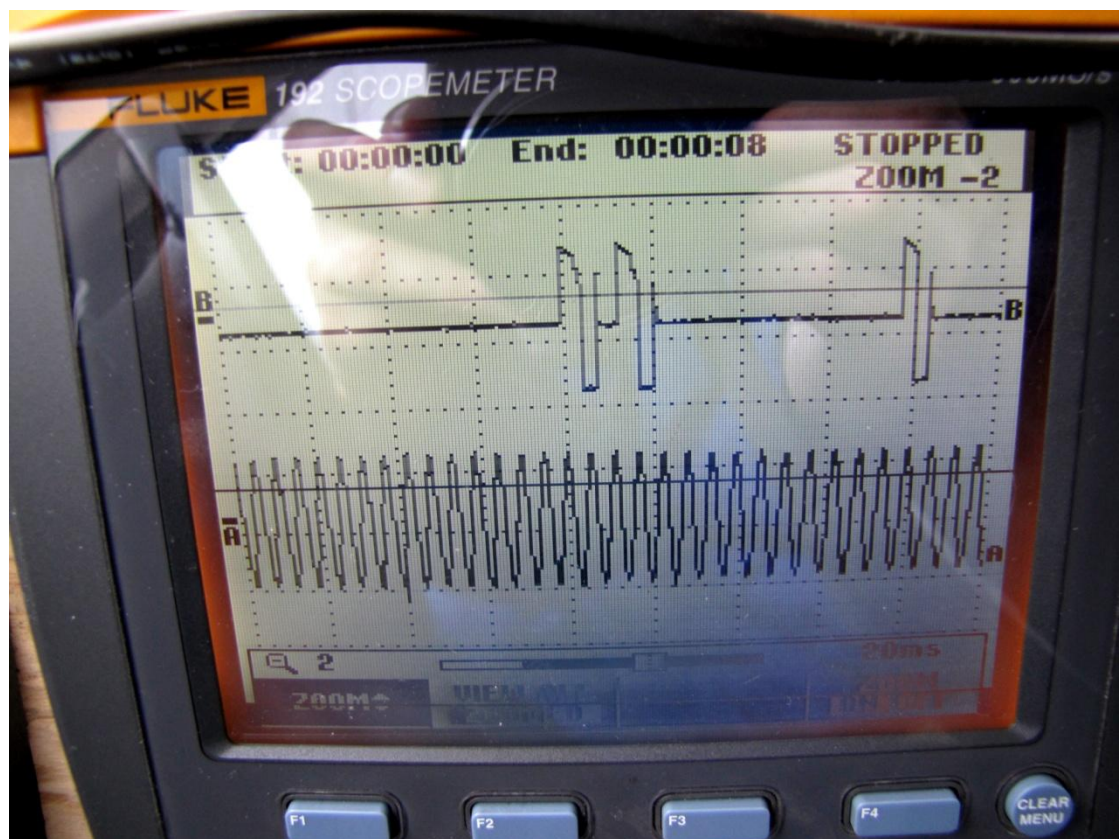
Ei päivitystietoa. Luettu 30.3.2012.



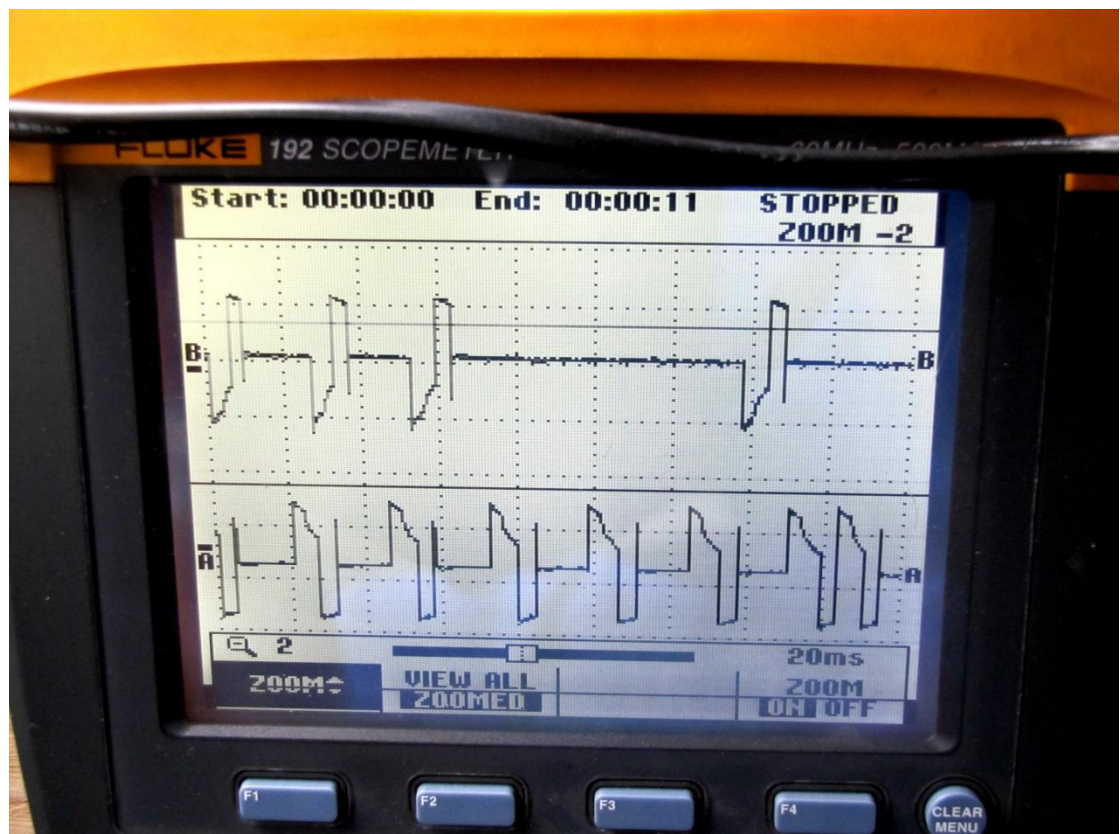
KUVA 28. Pyörintänopeustunnistimien signaali.



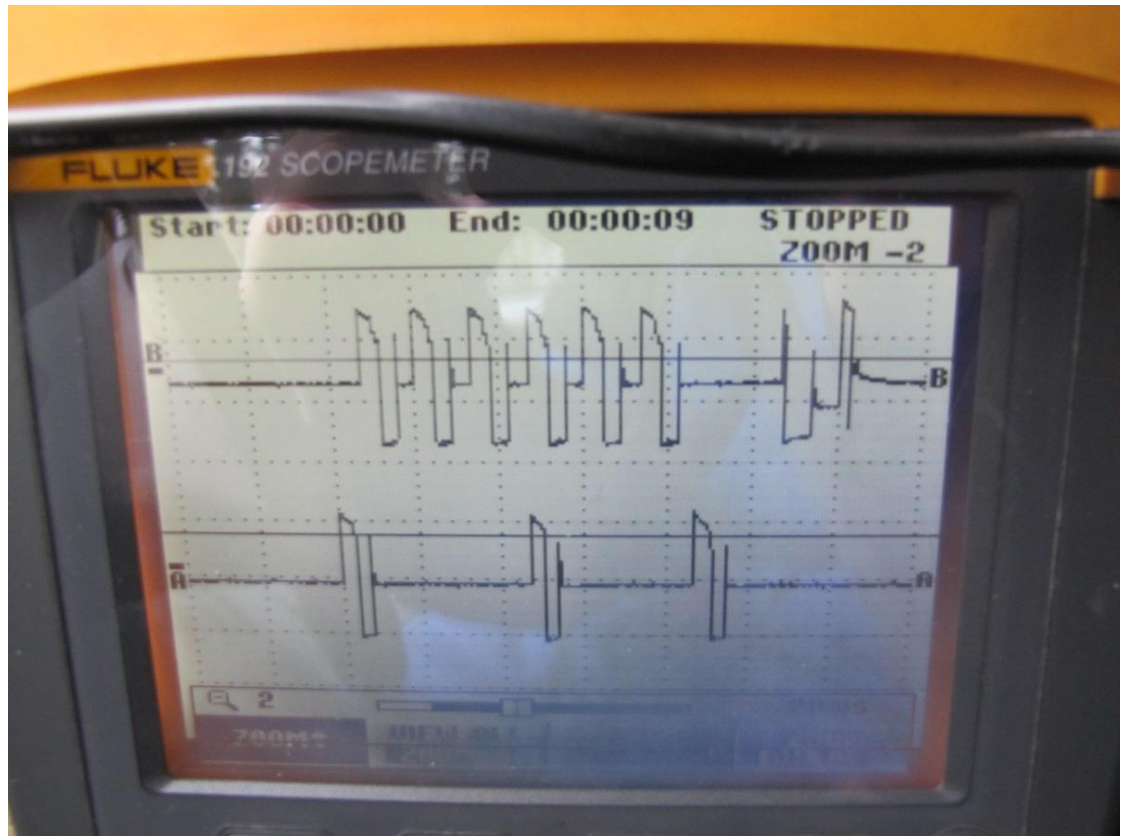
KUVA 29. Taka-akseli, vasen tunnistin.



KUVA 30. Taka-akseli



KUVA 31. Etuakselin modulointi.



KUVA 30. Modulointinopeus



KUVA 31. Jarrutusmatkatestien ajorata



KUVA 32. Testiauto Saab 900 SE 2.3