

Tampereen ammattikorkeakoulu
Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma
Auto- ja korjaamotekniikka
Toni Vuorinen

Opinnäytetyö

Raskaan kaluston paineilmajarrujärjestelmät

Työn ohjaaja
Työn tilaaja
Pori 6/2010

Tekniikan lisensiaatti Tauno Kulojärvi
Tampereen ammattikorkeakoulu

Tekijä(t)	Toni Vuorinen
Työn nimi	Raskaan kaluston paineilmajarrut
Sivumäärä	52
Työn valmistumis- kuukausi ja vuosi	6/2010
Työn ohjaaja	Tekniikan lisensiaatti Tauno Kulojärvi
Työn tilaaja	Tampereen ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus tutustua raskaan kaluston paineilmajarrujärjestelmiin ja koota saatu tieto yhteen paikkaan niin, että se on helposti saatavissa ja tiiviissä muodossa. Työssä tarkasteltiin jarrujärjestelmiä, missä jarruvaikutus ja sen säätäminen saadaan aikaiseksi paineilman avulla. Opinnäytetyössä on runsaasti kuvia havainnollistamassa erilaisia rakenteita ja niiden toimintaa.

Opinnäytetyö laadittiin niin, että sitä voidaan käyttää oppimateriaalina. Siksi opinnäytetyö laadittiin loogiseen ja informatiiviseen muotoon, mikä tukee ja on osa hyvää opetuskokonaisuutta. Opiskelijat voivat sisäistää oppimaansa tehokkaasti kertaamalla materiaalista tunneilla läpikäytyt asiat. Lisäksi opinnäytetyö tehtiin sähköiseen muotoon, joten sitä on helppo muokata tulevaisuudessa.

Opinnäytetyön loppuun kerättiin Suomen lainsäädännön vaatimusten muuttuminen ajan kuluessa raskaan kaluston paineilmajarrujärjestelmien osalta.

Writer(s)	Toni Vuorinen
Thesis	Compressed air brake systems in heavy-duty road vehicles
Pages	52
Month and Year of Completion	6/2010
Thesis Supervisor	Education manager, Lic.tech. Tauno Kulojärvi
Co-operating Company	Tampere University of Applied Sciences

Abstract

The purpose in this thesis was to access heavy-duty road vehicles air brake systems and collect data to one place so that it is easily accessible and concise form. The thesis examined the braking systems, where the braking effect and the adjustment to be achieved with compressed air. The thesis has a lot of pictures. Pictures demonstrate different types systems and components and visualize how they work.

The thesis was made so that it can be used as a teaching resource. Therefore, thesis was made a logical and informative form, which supports and is part of good teaching material. Students can internalize what they have learned effectively by recounting the material. Thesis was made into an electronic format, so it is easy to customize in the future.

In the thesis was collected from the Finnish legislation the requirements change over time in heavy-duty vehicles compressed air brake systems.

Keywords compressed air, brake, system, heavy-duty road vehicle

Esipuhe

Työn perusteena on ollut tekijän kiinnostus raskaan kaluston jarrujärjestelmiin ja tiedon hyödyntäminen tulevaisuudessa ammatinvalinnassa. Lisäksi toivon, että työlläni olisi oppimateriaalin ominaisuudessa lisäarvoa auto- ja kuljetustekniikan ammattikorkeakouluopiskelijoita ajatellen.

Haluan kiittää työn valmiiksi saattamisesta työn ohjaajaa tekniikan lisensiaatti Tauno Kulojärveä. Haluan myös kiittää perhettäni ja ystäviäni tuesta.

Tampereella 6/2010

Toni Vuorinen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	2
Abstract	3
Esipuhe	4
1 Johdanto.....	7
2 Raskaan kaluston paineilmajarrujärjestelmien vaatimukset.....	8
3 Paineilmajärjestelmät	10
3.1 Paineilman tuotto	11
3.2 Paineensäätö	12
3.3 Paineilman käsittely	12
3.4 Paineilman siirto	14
3.5 Äänenvaimennus	15
3.6 Jarrusylinteri.....	15
4 Jarrulaitteet	17
4.1 Rumpujarrut	17
4.2 Levyjarrut.....	18
4.3 Automaattinen säätö.....	20
4.4 Seisontajarru.....	21
4.5 Apujarrut	23
4.5.1 Moottorijarrujärjestelmä	24
4.5.2 Voimansiirtoon kytkettävät hidastimet	27
5 Paineilmatoimiset perävaunujarrut.....	29
6 Kuormantunteva venttiili.....	30
7 ABS - lukkiutumattomat jarrut.....	31
8 Sähköisesti ohjattu jarrujärjestelmä.....	37
8.1 EBS-järjestelmän komponentit	40
8.1.1 Sähköinen ohjauslaite.....	40
8.1.2 Jalkajarrumoduuli.....	40
8.1.3 Paineensäätömoduuli	41
8.1.4 Perävaunun ohjausmoduuli	41
8.2 Jarrupalojen kuluneisuus ja niiden hallinta	41
9 Jarrujen mittaus	42
9.1 Vierintävastus.....	43

9.2 Viivetestit	43
9.3 ALB-testi.....	44
9.4 Tasaisen paineen mittaus.....	44
Lähteet.....	45
Liitteet	46
9.5 Liite 1: Raskaan kaluston jarrumääräyksien voimaantuloajat	46
9.5.1 Käyttöjarru	46
9.5.2 Seisontajarru.....	50
9.5.3 Muut jarrut	52

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus tutkia ja tarkastella raskaassa kalustossa käytössä olevia paineilmalla toimivia jarrujärjestelmiä. Työhön on tarkoitus ottaa mukaan myös erilaiset jarrulaitteet, sähköisesti ohjatut jarrujärjestelmät sekä kertoa miten jarrujen toiminta todetaan mittausten avulla.

Opinnäytetyön tavoitteena on laatia se niin, että sitä voidaan käyttää oppimateriaalina. Siksi opinnäytetyö pyritään laatimaan loogiseen ja informatiiviseen muotoon, mikä tukee ja on osa hyvää opetuskokonaisuutta.

Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä alipainetehostettuja, paineilmatehostettuja tai paineilmakäyttöisiä nestejarrujärjestelmiä.

2 Raskaan kaluston paineilmajarrujärjestelmien vaatimukset

Ajoneuvoluokka (luokitus s. 791)	H-auto ja I-auto			K-auto			Perävaunut				
	M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	
Käyttöjarrut	Vaikuttaa kaikkiin pyöriin, jarruvoimien jako akselien kesken määrätty						Ei jarrukäyttöä tai kuten O ₂	Työntöjarru tai kuten O ₃			
ABS EU-dir. tai ECE ¹) muk. - (v _{max} ≥ 25 km/h)	+	+	-	+	+	-	-	+	+		
O-tyyppin koe (vapaalla)											
Koenopeus km/h	80	60	60	80	60	60	-	60	60	60	
Jarrutusmatka ≤ m	50,7	36,7	36,7	61,2	36,7	36,7		z ≥ 0,50, Puoliperäv.			
Jarrutusmatkakaava	$0,1v + \frac{v^2}{150}$			$0,15v + \frac{v^2}{130}$							
Keskim. max.hidastuvuus ≥ m/s ²	5,8			5,0							
Poljinvoima ≤ N	500			700						≤ 6,5 bar	
O-tyyppin koe (moott.kytk.)	Ajoneuvon käyttäytyminen jarrutettaessa 30...80 % v _{max} ja jarrutusulos										
Koenopeus v = 80 % v _{max} , mutta ≤ km/h	160	100	90	120	100	90	-	-	-	-	
Jarrutusmatka ≤ m	212,9	111,6	91,8	157,1	111,6	91,8					
Jarrutusmatkakaava	$0,1v + \frac{v^2}{130}$			$0,15v + \frac{v^2}{103,5}$							
Keskim.max.hidastuvuus ≥ m/s ²	5,0			4,0							
Poljinvoima ≤ N	500			700							
I-tyyppin koe	Toistuvia jarrutuksia kuormattuna, moottorikytkettynä 3 m/s ²										
v ₁ = 80 % v _{max} , mutta ≤ km/h	120	100	60	120	60	60	-			-	
v ₂ = 1/2 v ₁											
Jarruskerrat n	15	15	20	15	20	20					
Jarrutusjakson kesto s	45	55	60	55	60	60					
Kuumajarrutuskokeet I-tyyppin kokeen lopuksi	≥ 80 % O-tyyppin kokeessa (vapaalle kytkettynä) määrätystä jarrutusvaikutuksesta ja ≥ 60 % O-tyyppin kokeessa (vapaalle kytk.) saavutetusta tuloksesta										
								Jatkuva jarrutus, kuorm.			
								40 km/h			
								7 % alamäki			
								1,7 km			
								z ≥ 0,36 ja			
								z ≥ 60 %			
								O-tyyppin kokeessa			
								40 km/h			
								mitatusta arvosta			
II-tyyppin koe	Jarrutettavan energian tulee vastata 30 km/h, 6 % alamäessä 6 km matkaa, moottori ja ajohidastin kytkettynä.										
Pitkät alamäkimatkat	Mittaus kuten O-tyyppin kokeessa (vapaalle kytkettynä)										
Kuumajarrutuskokeet II-tyyppin kokeen lopuksi											
Jarrutusmatkakaava	M ₃ : $0,15v + \frac{1,33v^2}{130}$			N ₃ : $0,15v + \frac{1,33v^2}{115}$			-	-	-	40 km/h	
Jarrutusmatka ≤ m			45,8			50,6					
Keskim.max.hidastuvuus ≥ m/s ²	-	-	3,75	-	-	3,3				z ≥ 0,33	

Kuvio 1. Ajoneuvojen jarruille asetetut vaatimukset StVZO, EU-ohjeen 71/320 EEC ja ECE-säännön 13 mukaan /1/

Ajoneuvoluokka (luokitus s. 791)	H-auto ja I-auto			K-auto			Perävaunut			
	M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
II a-tyyppin koe Jatkuvatoimisille ajohidastimille	Jarrutettavan energian tulee vastata alamäkiäjoa kuorm. 30 km/h 7 %:n alamäessä 6 km matkan. Jarrutus vain ajohidast. vain M ₃ ja hinattaessa O ₄ , N ₃ . 2).									
III-tyyppin testi	-						-	-	-	3)
Jäännösjarrutuskyky siirtolait. pettämissen/ piirivaurion jälk. moottori kytkemättä							Perävaunun jarrujen tulee olla portaallisesti säätyen täysin tai osittain käytettävissä			
Koenopeus	km/h	80	60	60	70	50	40			
Jarrutusmatka kuormatt.	≤ m	150,2	101,3	101,3	152,5	80,0	52,4			
Jarrutusmatka tyhjänä	≤ m	178,7	119,8	101,3	180,9	94,5	52,4			
Keskim.max.hidast.										
Kuormattuna	≥ m/s ²	1,7	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3			
Tyhjänä	≥ m/s ²	1,5	1,3	1,5	1,1	1,1	1,3			
Poljinvoima	≤ N	700	700	700	700	700	700			
Apujarrut (kuten O-tyyppin koe, moottori kytkemättä)							Perävaunun jarrujen tulee olla portaal- lisesti säätyen käytettävissä			
Koenopeus	km/h	80	60	60	70	50	40			
Jarrutusmatka	≤ m	93,3	64,4	64,4	95,7	54,0	38,3			
Jarrutusmatkakaava		$0,1v + \frac{2v^2}{150}$	$0,15v + \frac{2v^2}{130}$		$0,15v + \frac{2v^2}{115}$					
Keskim.max.hidastuvuus	≥ m/s ²	2,9	2,5		2,2					
Käyttövoima, käsin jalalla	≤ N	400	600		600					
	≤ N	500	700		700					
Seisontajarru (koe kuormitettuna)										
Pidätyskyky ylä- tai alamäessä	≥ %		18		18			-		18
Yhdessä jarruttamat- toman O-lk ajon.kanssa	≥ %		12		12			-		-
Käyttövoima käsin jalalla	≤ N	400	600		600			-		600
	≤ N	500	700		700			-		-
O-tyyppin koe 4) (vapaalla, kuormattuna)										
Koenopeus	km/h	80	60	60	70	50	40	-		
Keskim.max.hidast. ja hidastuvuus ennen pys.	≥ m/s ²		1,5		1,5			-		
Itsekytkeytyvät jarrut Jarrutus perävaunulla aiheuttamalla painehäviö säiliöjohtoon.										
Koenopeus	km/h							-		40
Jarrutussuhde	≥ %							-		13,5

2) pois lukien julkisen liikenteen linja-autot.

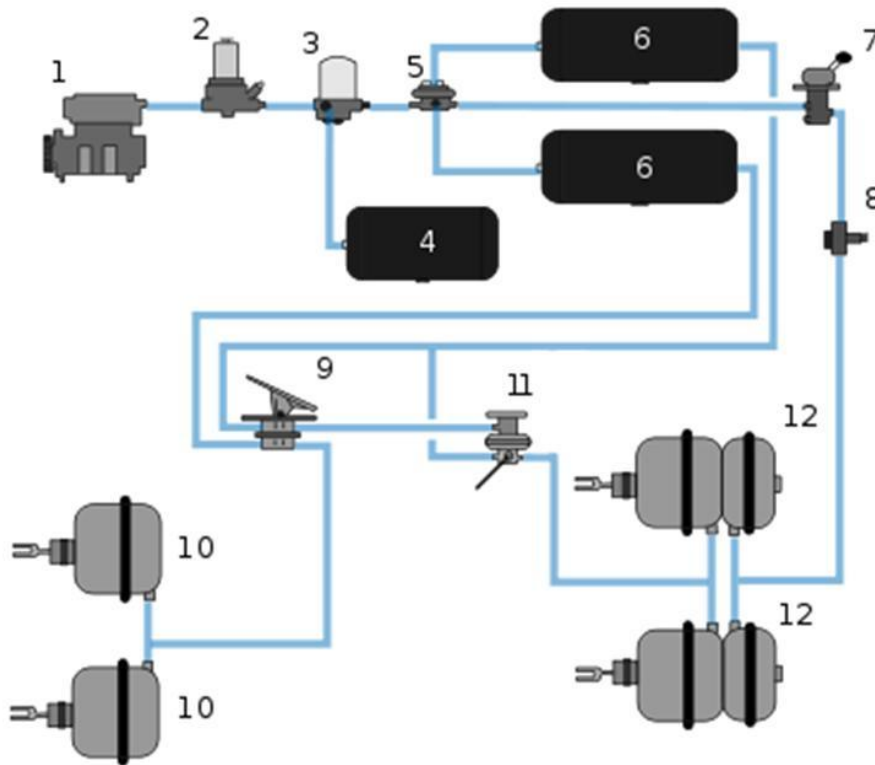
3) toistuva jarrutus kuten tyyppin I testi N₃:lle. Myöhemmin, jarrutusteho ≥ 40 ja ≥ 60% joka saavutettiin O-tyyppin testissä.

4) seisonta tai muun vastaavan ylimääräisen käyttöjarrujärjestelmän ohjauksen kanssa.

Kuvio 2. Ajoneuvojen jarruille asetetut vaatimukset StVZO, EU-ohjeen 71/320 EEC ja ECE-säännön 13 mukaan /1/

3 Paineilmajärjestelmät

Paineilmajarrulla tarkoitetaan jarrujärjestelmää, jossa jarruvaikutus aikaansaadaan ja sitä säädetään paineilman avulla. Kuviossa 3 on esitetty tällaisen järjestelmän periaatekuva.



Kuvio 3. Kuorma-auton kaksipiirinen paineilmajarrujärjestelmä.

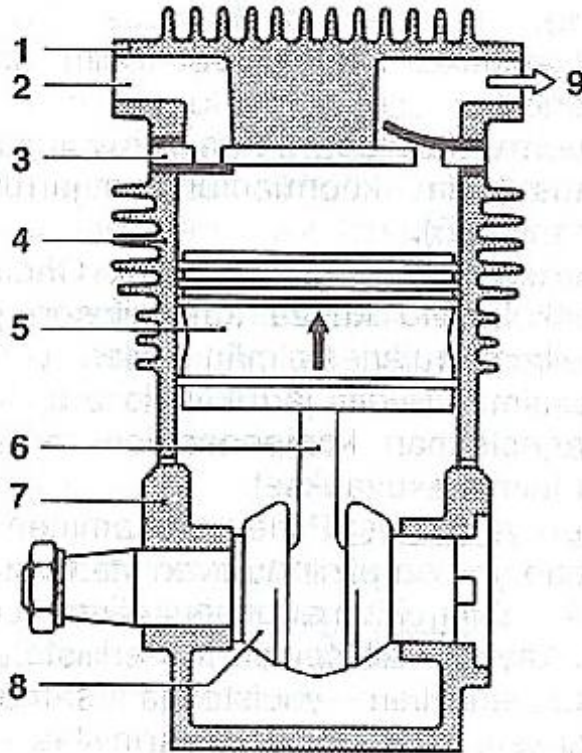
Järjestelmän pääosat ja niiden toiminnot ovat:

1. **Kompressori** on jarrujärjestelmään vaadittavan paineen tuottava laite
2. **Paineensäädin** säätelee jarrujärjestelmän painetta ohjaamalla kompressoria
3. **Ilmankuivain** poistaa kondenssiveden kompressorin tuottamasta paineilmosta
4. **Regenerointisäiliö** luovuttaa ilmankuivaimen regeneroimiseen tarvittavan kuivan ilman
5. **Nelipiirisuojaventtiili** varmistaa muiden piirien painetaso, jos yksi tai useampi muu piiri vaurioituu
6. **Paineilmasäiliö** on jarrujärjestelmän energiavarasto
7. **Seisontajarruventtiili** vapauttaa käytettäessä jousijarrusylinterin jarrutusjousta kokoon puristavan paineen

8. **Seisontajarrun suojavahti** estää käsijarrun tahattoman vapautumisen järjestelmän painesäiliöiden täyttämisen aikana
9. **Poljinventtiili** on käyttöjarrun hallintalaite
10. **Jarrusylinteri (etu-)**
11. **Jarruvoimansäädin (ALB) eli kuormantunteva venttiili**
12. **Jarrusylinteri (taka-) sekä jousijarrusylinteri (seisontajarru)**

3.1 Paineilman tuotto

Paineilmaa järjestelmään tuottaa kompressorin moottori, jota ajoneuvon moottori pyörittää jatkuvasti kiilahihnan tai hammaspyörien välityksellä. Kompressorin on kiinnitettävä laipalla moottoriin. Kuviossa 4 on esitetty mäntäkompressorin, jossa alas liikkuen mäntä imee ilmaa kompressorin sylinteriin, jolloin imu pitää samalla imuventtiilin auki. Mäntä nouseessa ylös imuventtiili sulkeutuu. Ilma puristuu saavuttaen riittävän paineen jolloin poistoventtiili avautuu päästämällä paineilman työntymään paineilmajärjestelmään./1/



Kuvio 4. Mäntäkompressorin poikkileikkaus, missä: 1) sylinterikansi 2) ilman sisääntulo 3) välilevy (imu- ja poistoventtiili) 4) sylinteri 5) mäntä 6) kiertokanki 7) kampikammio 8) kampiakseli 9) paineistettu ilma paineilmajärjestelmään /1/

3.2 Paineensäätö

Paineensäätöventtiili huolehtii järjestelmään menevän ilmanpaineen pysymisestä oikeana. Venttiili säätää järjestelmässä olevan paineen avulla kompressorin tuottamaa painetta, jotta kompressor ei tuottaisi järjestelmään liikaa painetta ja näin hukkaisi energiaa. /1/

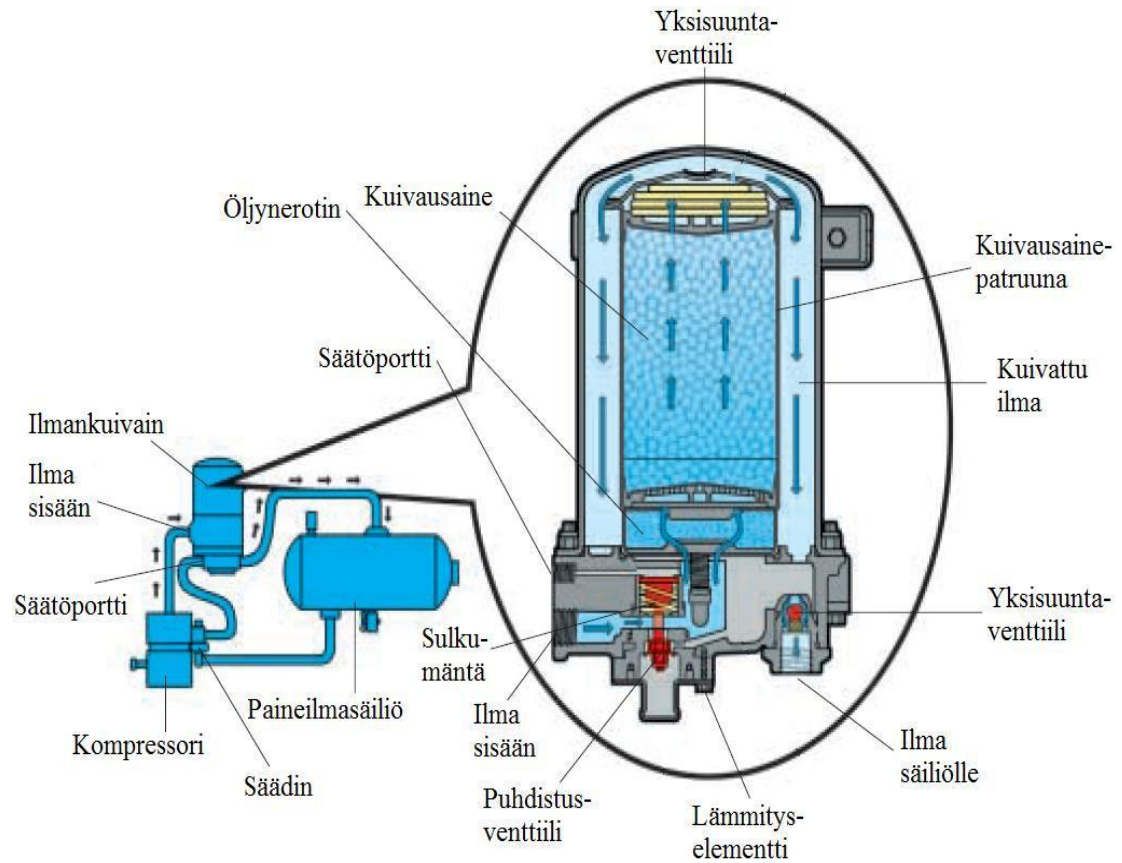
Paineensäädin avaa kompressorin imuventtiilin erityisen työmännän avulla, kun järjestelmän paine on noussut säädetyn suuruiseksi. Ilma kulkee sen jälkeen edestakaisin kompressorin imukanavassa. Kun paineilmasäiliön paine laskee säätimen alempaan raja-arvoon, palautuu kompressorin imuventtiili normaaliasentoon ja kompressor voi taas tuottaa paineistettua ilmaa säiliöihin. /1/

Raskaassa kalustossa käytetään nykyään järjestelmässä painetta, joka on välillä 7–10 baaria. On olemassa myös järjestelmiä jotka käyttävät paineena 14–20 baaria ja joita kutsutaan korkeapainejärjestelmiksi. Perävaunujen kaksijohtojärjestelmissä on painetta 6–8 baaria. /1/

3.3 Paineilman käsittely

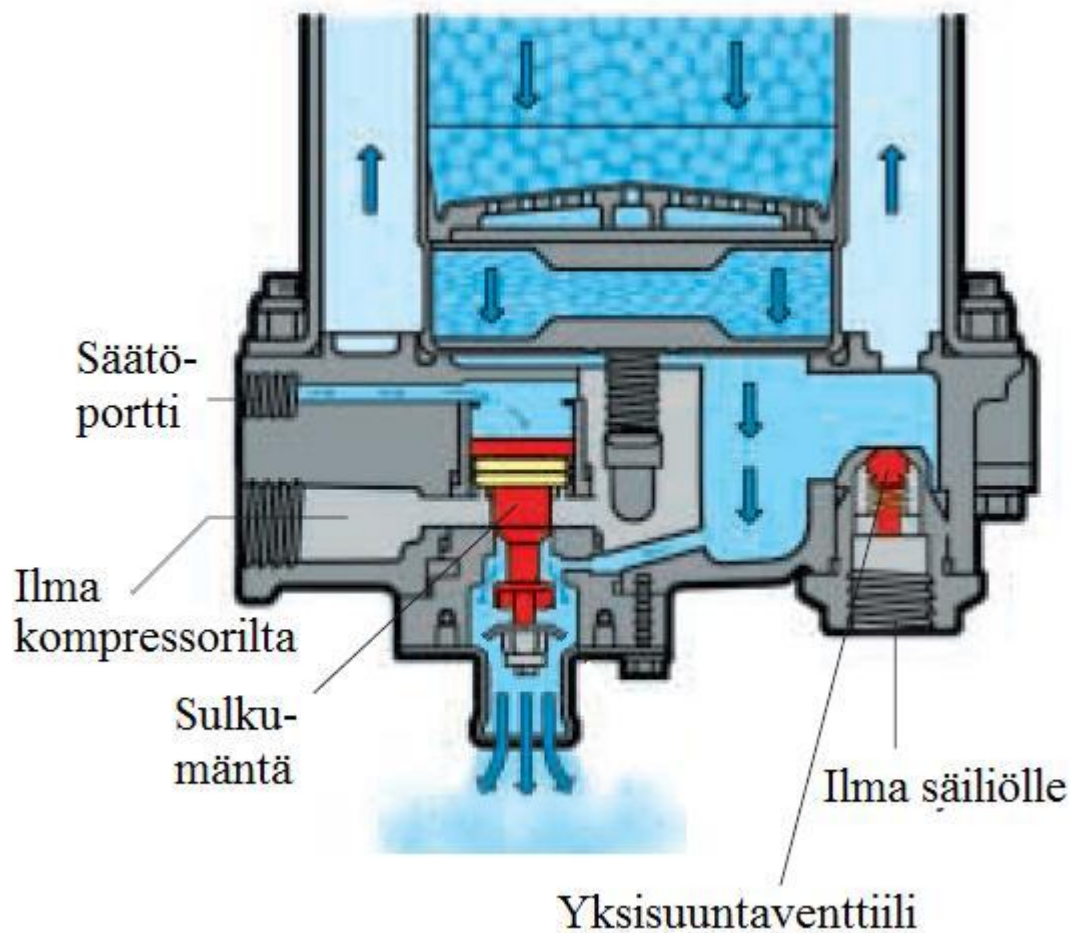
Ennen kuin paineilma päästetään putkistoon ja paineilmasäiliöihin, siitä täytyy poistaa epäpuhtaudet. Tämän takia järjestelmässä on suodatin ja ilmankuivain, jolla saadaan vesi ja epäpuhtaudet pois paineistetusta ilmasta ja estetään eri komponenttien jäätyminen pakkasella.

Ilmankuivain toimii niin, että kun tuuletusventtiili on kiinni, virtaa kompressorilta tuleva ”märkä” ilma kuivausainekammioon ja sieltä edelleen paineilmasäiliölle. Kostean paineilman virratessa kuivausaineen läpi tiivistyy kosteus kuivausaineeseen. Kuviossa 5 on esitelty ilmankuivaimen toimintaperiaate. /1/



Kuvio 5. 1-kammioisen ilmankuivaimen toimintaperiaate /2/

Kuivausainerakeiden veden imukyky on rajallinen, joten aine on välillä kuivattava. Kun kompressori kytkeytyy joutokäynnille, kuiva paineilma tulee regenerointisäiliöstä kuristimen läpi ja virtaa toiseen suuntaan, kuin kuivattava ilma, ja ottaa tästä kosteuden mukaansa ja virtaa tuuletusventtiilistä pois ulkoilmaan. Kaikki ilmankuivaimen tapahtumat toimivat automaattisesti paineensäätimen ohjaamina, mikä voi olla erillinen tai yhteen rakennettu ilmankuivaimen kanssa. Kuviossa 6 on havainnollistettu ilmankuivaimen kuivausprosessi.



Kuvio 6. Ilmankuivaimen kuivaus-toiminto /2/

3.4 Paineilman siirto

Paineilmansiirron komponenttien tehtävänä on siirtää paineilma paikkaan, missä sitä käytetään, ja varastoida sitä käyttöä varten. Tärkeimpinä komponentteina ovat paineilmasäiliöt ja paineilmaletkut. Paineilmasäiliön tehtävänä on täyttää kaikkien piirien vaatima paineilmatilavuus tapauksessa, jossa kompressorin tuotto loppuu. Tätä varten paineilmasäiliöille on asetettu tiukat rajat niiden ylipaineen kestolle ja ruosteenestolle.

3.5 Äänenvaimennus

Äänenvaimentimina käytetään yleensä absorptiotyyppisiä vaimentimia eli ääntä imeviä vaimentimia. Vaimennin on yleensä vaimennusaineella täytetty sylinteri, jossa on säteittäisiä ja aksiaalisia rakoja. Vaimennus saadaan aikaiseksi muuttamalla virtauksen geometriaa, imeyttämällä ääniaallot vaimennusaineeseen ja suuntaamalla virtausta aukoilla. Vaimentimet kiinnitetään poistoventtiileihin kierteillä, pika- tai putkiliittimillä. Tällä hetkellä ”vähämeluisen ajoneuvon” vaadittu meluarvo on 72 dB (A-asteikko) tai alle.

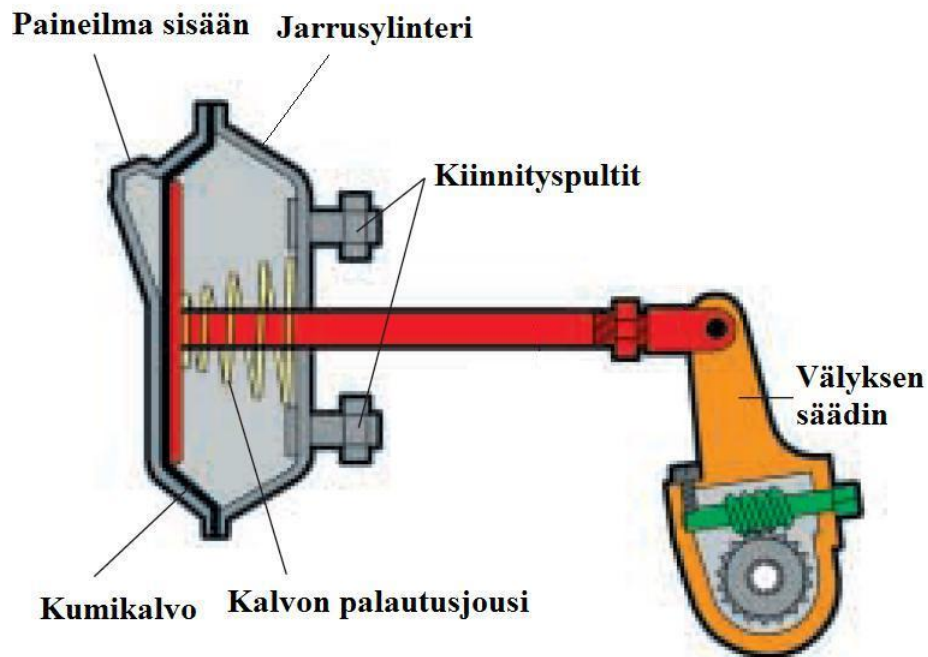


Kuvio 7. Paineilman poistokanavaan liitettävä äänenvaimennin

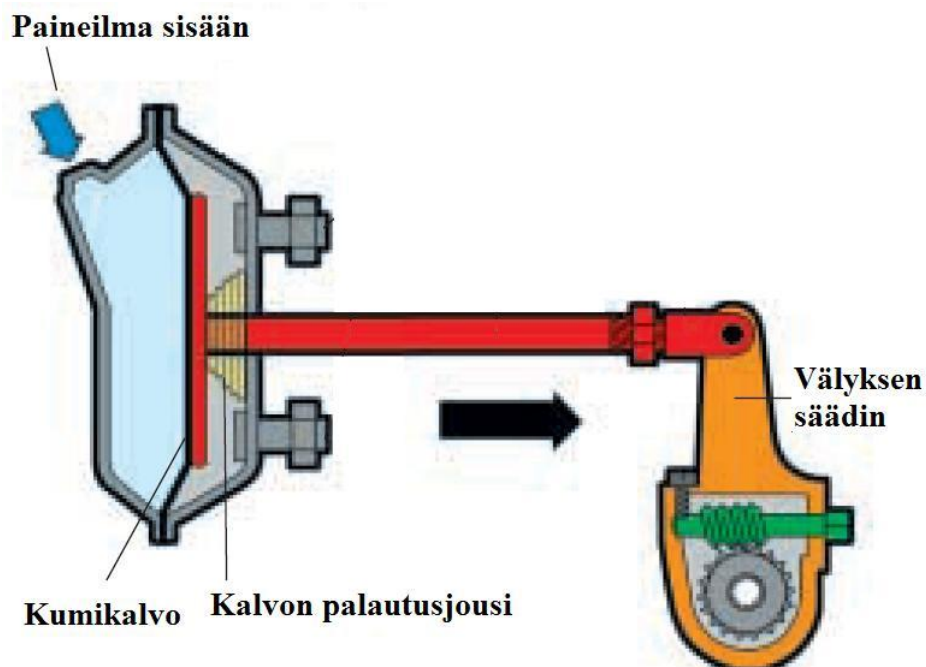
3.6 Jarrusylinteri

Jarrujen operointi tapahtuu ns. jarrusylintereillä. Jarrusylinteri on metallinen lieriö, jonka sisällä on kuminen kalvo. Tämä kalvo on toiselta puolelta kiinnitetty metalliseen varteen, joka työntyy jarrutettaessa ulos jarrusylinterillä. Tämä varsi on toisesta päästä kiinnitetty siten, että sillä saadaan aikaan jarrupalojen työntyminen kiinni jarrurumpuun tai -levyyn. Normaaliajossa jarrusylinteri on sisältä paineeton. Kun auton kuljettaja haluaa jarruttaa, jarrusylinterin sisälle ohjataan paineilmaa, joka puolestaan työntää kumista kalvoa edellään aiheuttaen siten metallisen varren työntymisen ulos.

Jarrusylinterin toiminta on esitelty seuraavissa kuvioissa. Kuviossa 8 on jarrusylinteri paineeton ja jarrut ovat pois päältä. Kuviossa 9 on jarrusylinteriin ohjattu paine ja jarrut ovat päällä.



Kuvio 8. Jarrusylinteri paineettomana ja välyksensäädin /2/



Kuvio 9. Jarrusylinteriin ohjattu paine ja jarrut päällä /2/

4 Jarrulaitteet

4.1 Rumpujarrut

Rumpurakenteiseen pyöräjarruun kuuluvat jarrurumpu, jarrurummun sisätilan suojaava jarrukilpi, jarrukengät, kitkapalat, jarrukenkien levitysmekanismi ja jarrusylinterin avulla levitysmekanismia käyttävät automaattisesti säätävät tai käsisäätöiset jarruvivut. Jarrutettaessa jarrukenkiä puristetaan jarrurumpuun, jolloin saadaan aikaan tarvittava kitka, joka muuttaa liike-energian lämpöenergiaksi. Jarrukenkä voi olla joko tehostettu tai tehostamaton, riippuen jarrurummun ja -hinnan välisistä kitkavoimien momenttivaikutuksesta.

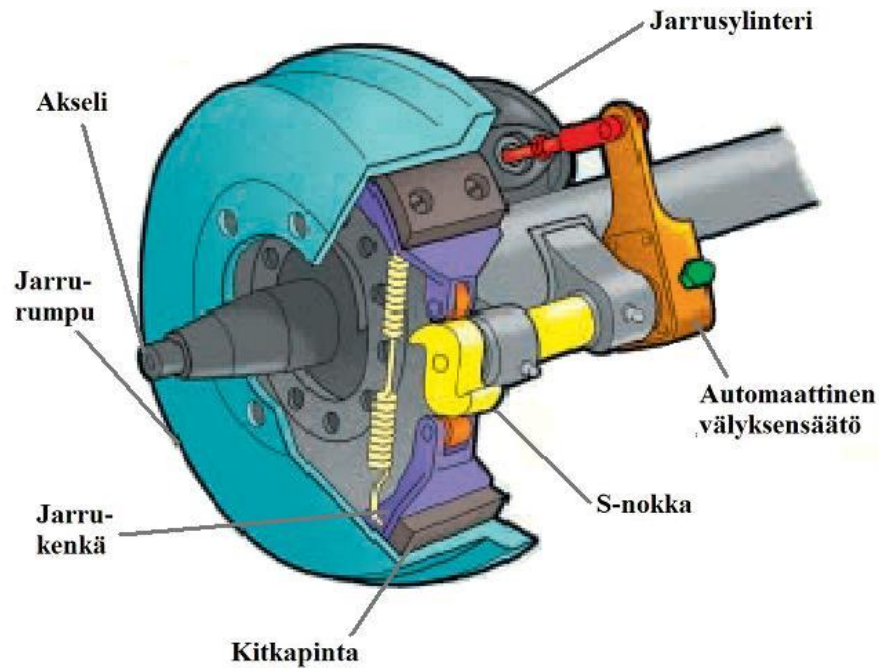
Erilaisia rumpujarruja on muun muassa Simplex-, Duo-Duplex- ja Duo-Servo rumpujarrut. Näistä yleisemmin käytössä on Simplex-rumpujarru, jotka jakautuvat muutamaaan erilaiseen toteutukseen, joissa on eroja kiristyksen (kiinteä ja uiva) ja kenkien tuennan (nivelkenkä ja liukukenkä).

Nykyään käytetään enimmäkseen Simplex-S-nokkarumpujarrua, jossa S-kirjaimen muotoista nokkaa käännetään, jolloin saadaan jarruhihnat työntymään jarrurumpua vasten. Simplex-jarrun sisäinen välityssuhde (C) saadaan etu- ja takakenkien erillisarvojen summana, jolloin se on noin 2 kitkakertoimen ollessa noin 0,38. Kuviossa 10 on esitetty eri Simplex-rumpujarrujen välityssuhteita.

Simplex-rumpujarrut			
Rakennetyyppi	Nivelkenkä	Levitinkila	S-nokka
Periaatekuva			
Välityssuhde	$C^* = C_1 + C_2$		$C^* = 4/(1/C_1 + 1/C_2)$
Jarrukengät	1 tehostava, 2 laahaava kenkä		

Kuvio 10. Simplex-rumpujarrujen välityssuhteet /1/

Simplex-rumpujarrun etuja ovat jarrupalojen yhtä suuri kuluminen, yksinkertainen, luotettava ja lämpötiloille tunteeton kiritysmekanismi. Hyvinä puolina voidaan pitää myös sitä, että sisäinen välityssuhde ei vaihtele paljoa ja rumpujarruissa on tarkka vällyksensäätö automaattisella säätövivulla. Simplex-rumpujarrun haittoja ovat puolestaan suuret sisäiset voimat ja siitä seuraava raskas rakenne ja suuri kiristysvoiman tarve pienen sisäisen välityssuhteen takia.



Kuvio 11. Simplex-S-nokka rumpujarru /2/

4.2 Levyjarrut

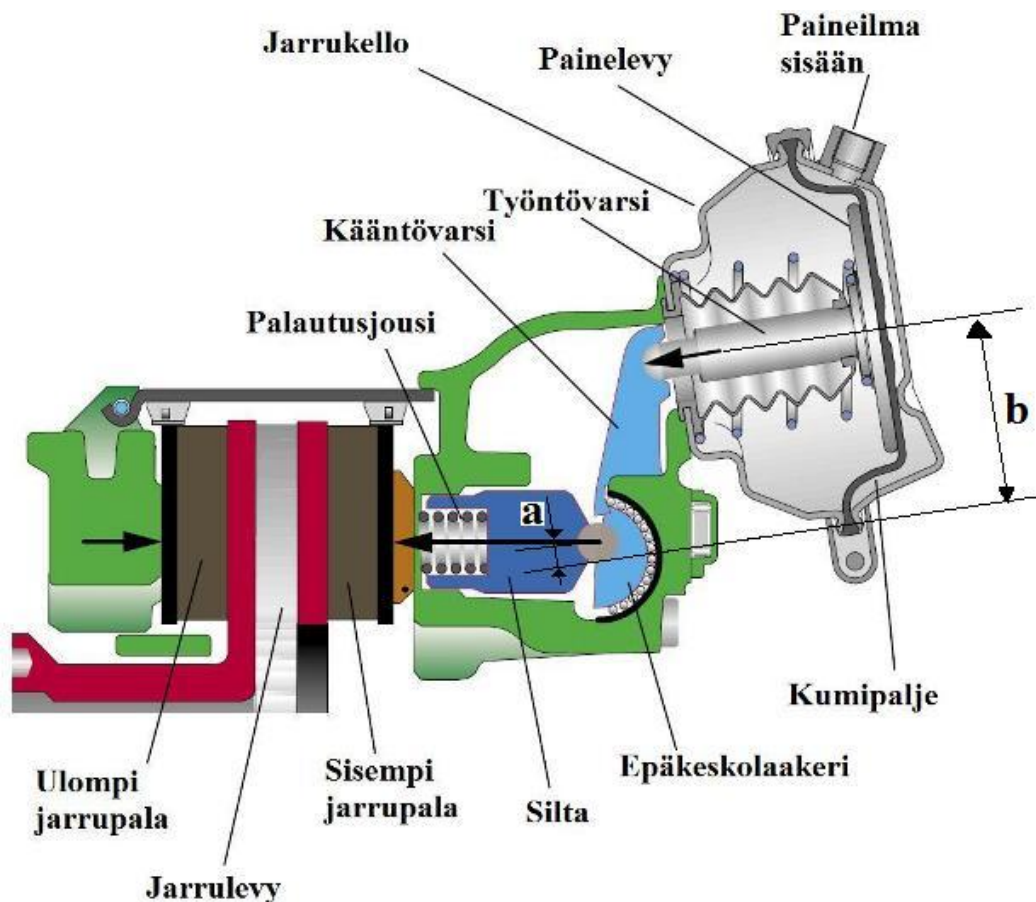
Levyjarrun käyttö on yleistynyt ja ne ovat vakiinnuttaneet asemansa uusissa raskaissa ajoneuvoissa. Niiden hyvinä puolina ovat jarrutusvoiman parempi säädettävyys, suhteellisen vakio sisäinen välityssuhde, vähäisempi häipymistäipumus ja jarrupalojen yhtä suuri kuluminen, mikäli jarrujen mitoitus on oikea lämpökuormitusten kannalta. Levyjarrujen huonoihin puoliin kuuluvat korkeammat hankinta- ja huoltokustannukset rumpujarruihin verrattuna ja kitkapintojen lyhyempi kestoikä. Levyjarrut ovat myös arempia lialle, joten esimerkiksi maansiirtoajoneuvoissa käytetään edelleen rumpujarruja. /1/

Aikaisemmin käytettiin kiinteäsatulaista levyjarrua, mutta liukusatulatyypiset levyjarrut ovat syrjäyttäneet ne, koska liukusatulatyypiset levyjarrut ovat rakenteeltaan kevyempiä, halvempia ja kestävät paremmin lämpökuormitusta. Liukusatula jää myös momenttivapaaksi, joka parantaa jarrutusvoiman tasaisuutta ja säädettävyyttä.

Levyjarrurakenteeseen kuuluvat jarrulevy, kitkapalat, jarrusatula ja mahdollinen suojakilpi. Levyjarrun idea perustuu akseliin, napaan tai vanteeseen kiinteästi kiinnitettyyn (tyypillisesti teräksiseen) levyyn sekä jarrupaloihin, jotka jarrutettaessa puristuvat pyörivää levyä vasten. Kitkavoiman ja männän puristusvoiman avulla saadaan jarruvoima, joka aiheuttaa liike-energian muuntumisen lämpöenergiaksi. Voima välitetään jarrusylinterin kautta jarrupaloihin.

Levyjarrun sisäinen välitys suhde on sama kuin kitkakerroin kertaa kaksi. $C = 2 \cdot \mu$
 Kitkakertoimen ollessa 0,38 sisäinen välityssuhde on $C = 0,76$.

Voima joka välittyy jarrusylinterin kumipalkeelta jarrupaloihin, suuruus on $F = \frac{b}{a}$.

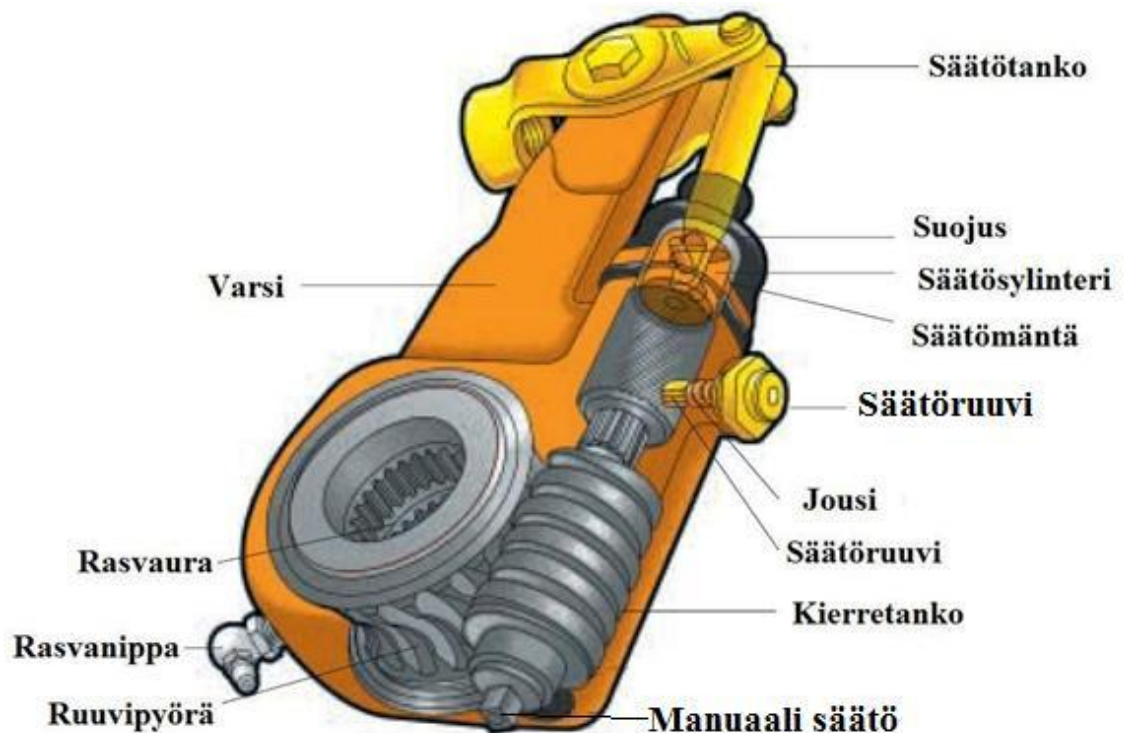


Kuvio 12. Levyjarrun toimintaperiaate /3/

4.3 Automaattinen säätö

Kitkapintojen kuluminen suurentaa kitkapinnan ja jarrurummun välistä etäisyyttä, minkä takia jarrukenkien siirtomatka kasvaa. Jos lepoetäisyyttä ei säädetä sopivaksi, tulee jarrumännän liike liian pitkäksi, jolloin se ei pysty enää aikaansaamaan vaadittavaa jarruvaikutusta. Pyöräjarruissa on olemassa erilaisia säätimiä tämän ongelman ratkaisemiseksi.

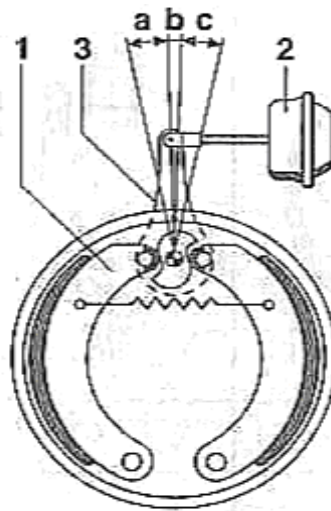
Välyksensäätimellä tehdään tarvittava säätö automaattisesti. Välyksensäätimessä oleva kierretanko pyörähtää aina seuraavaan loveen, kun välys on kasvanut tarpeeksi suureksi. Automaattista välyksensäädintä voidaan säätää myös manuaalisesti niissä tilanteissa, missä automaattisäätö liian tai muun vastaavan takia jumittuu.



Kuvio 13. Automaattinen välyksensäädin /2/

Jarrutuksessa kalvosylinterin ja jarrumännän liike voidaan jakaa kolmeen osaan:

- rakenteellinen kitkapinnan ja jarrurummun/-levyn välinen ilmapäli
- kitkapintojen kulumisesta aiheutuva ilmapälin kasvaminen
- osien joustamisesta aiheutuva joustovälitys, näitä ovat muun muassa:
 - jarrurumpu tai -levy
 - jarruhihnat tai -palat
 - jarrusylinterin ja pyöräjarrun väliset voimaa siirtävät osat.



Kuvio 14. Jarruissa esiintyvät välykset. a) osien jousto b) kuluminen c) rakenteellinen välyys 1) jarrukenkä 2) kalvosylinteri 3) automaattisäätöinen jarruvipu /1/

4.4 Seisontajarru

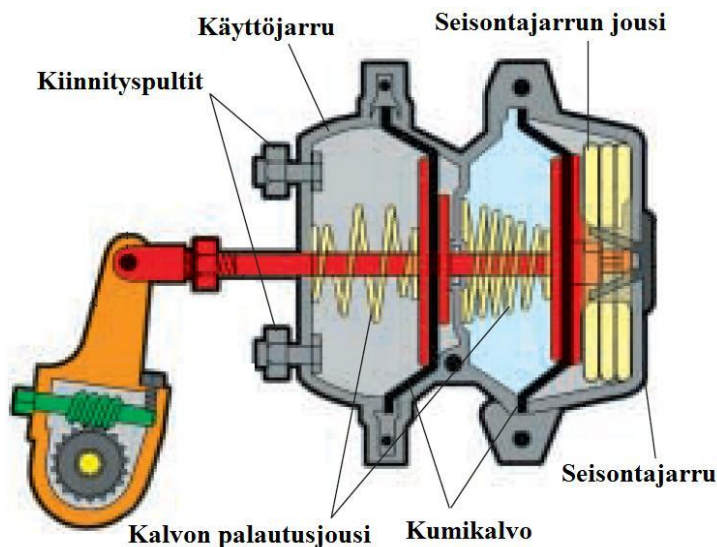
Raskaissa ajoneuvoissa käytetään tavallisesti seisontajarruna jousijarrua. Näin sama jarru toimii sekä seisontajarruna että varajarruna. Paineilmalla toimivassa järjestelmässä käytetään sylintereitä, joissa kalvosylinteri ja jousijarrusylinteri ovat samassa jarrusylinterissä.

Ajon aikana eli silloin, kun seisontajarru ei ole käytössä, pitää jousijarrusylinteriin yhdistetty säiliöpaine jousen kokoonpuristettuna. Jos säiliöstä katoaa paine, kytkeytyy jousijarru päälle ja estää ajoneuvon liikkumisen. Jarruissa on oltava myös jousijarrun

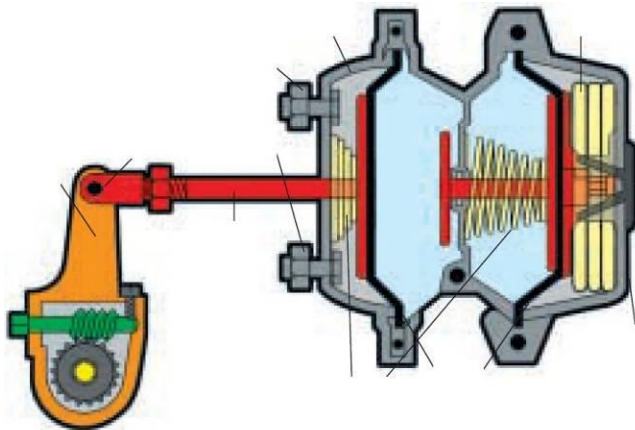
toiminnan osoittavat varoituslaitteet (painemittari ja varoitusvalo/-ääni) sekä hätäirrotusmahdollisuus esimerkiksi hinausta varten (kuvio 18).

Seisontajarru vaikuttaa akseleihin, joilla on jousijarrusylinterit. Seisontajarruventtiilillä ohjataan seisontajarrun releventtiiliä, joka vapauttaa paineen jousijarrusylintereistä ja aiheuttaa jarrun kytkeytymisen. Seisontajarrupiirissä on lisäksi suojaventtiili, joka estää tyhjän järjestelmän täytyessä seisontajarrun tahattoman vapautumisen. Seisontajarru toimii myös järjestelmän varajarruna.

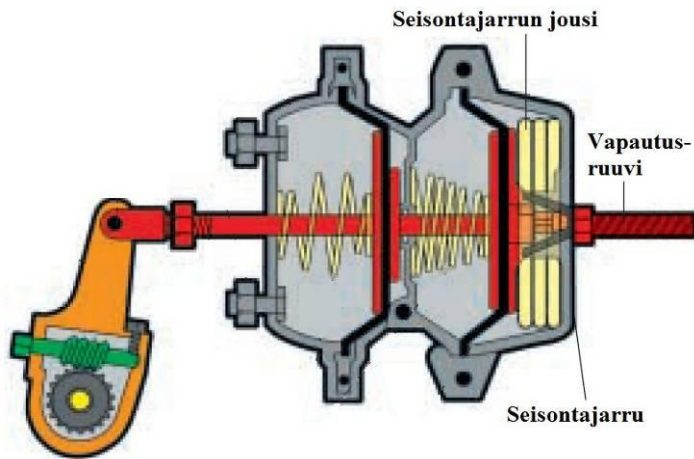
Seuraavissa kuvioissa 15, 16 ja 17 on esitetty seisontajarrun toiminta yhdessä käyttöjarrun kanssa. Kuviossa 18 on esitetty tilanne, joka on estetty voimien liian suureksi kasvamisen takia. Tilanne estetään ohjaamalla jousijarrusylinterin kumipalkeen vasemmalle puolelle painetta aina, kun käyttöjarrua käytetään.



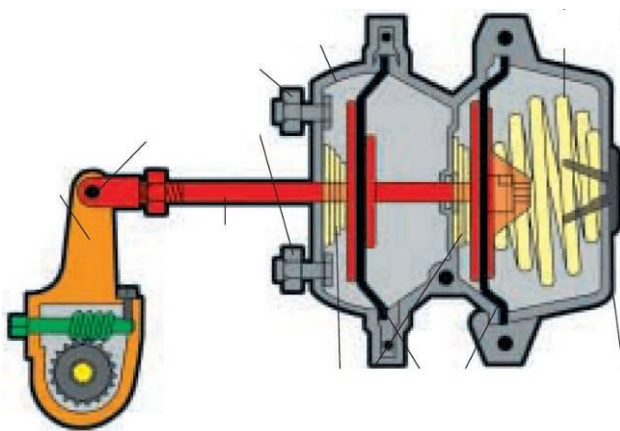
Kuvio 15. Jarrusylinteri, käyttöjarru ja seisontajarru pois päältä /2/



Kuvio 16. Jarrusylinteri, käyttöjarru päällä ja seisontajarru pois päältä /2/



Kuvio 17. Jarrusylinteri, mistä seisonta-/hätäjarru vapautettu mekaanisesti /2/



Kuvio 18. Jarrusylinteri, missä käyttöjarru ja seisontajarru päällä. Tilanne ei mahdollinen normaali tilanteessa /2/

4.5 Apujarrut

Koska ajoneuvoa ei voida hidastaa pitkäaikaisesti ja yhtäjaksoisesti pyöräjarruilla niiden häipymisilmiön takia, asennetaan ajoneuvoihin pitkäaikaiseen jarrutukseen soveltuva, pyöräjarruista riippumaton ja kulumaton apujarru eli hidastin. Tällaisia hidastimia asennetaan esimerkiksi ajoneuvoihin, jotka ajavat vuoristoissa ja mäkisissä olosuhteissa. Nykyään voidaan hidastimia käyttää myös normaalien jarrun korvikkeena hitaissa jarrutuksissa ja näin säästää varsinaisia pyöräjarruja. Tämä lisää myös turvallisuutta ja

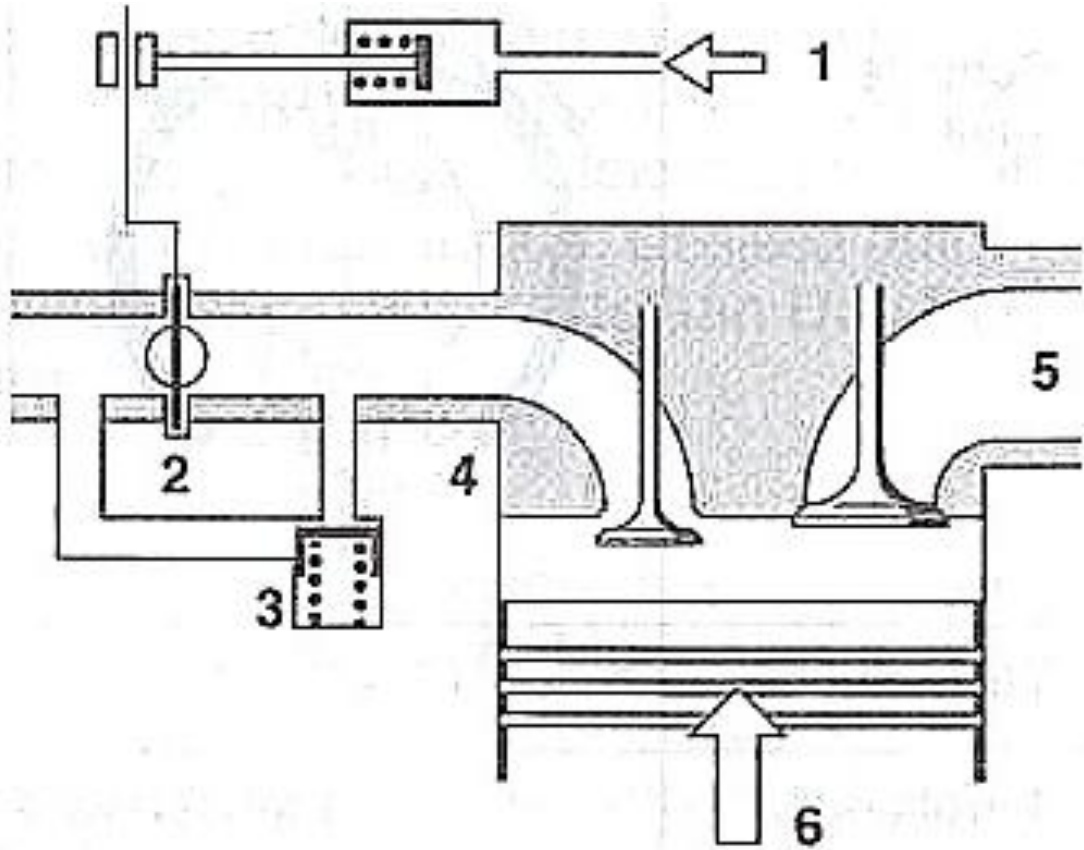
taloudellisuutta, koska pyöräjarruja joudutaan kuormittamaan huomattavasti vähemmän ja sen seurauksena jarruhinnat tai -palat kuluvat vähemmän.

Hidastimia on kahta eri päätyyppiä: moottorijarrutukseen perustuvia ja voimansiirron yhteyteen tulevia hidastimia.

4.5.1 Moottorijarrujärjestelmä

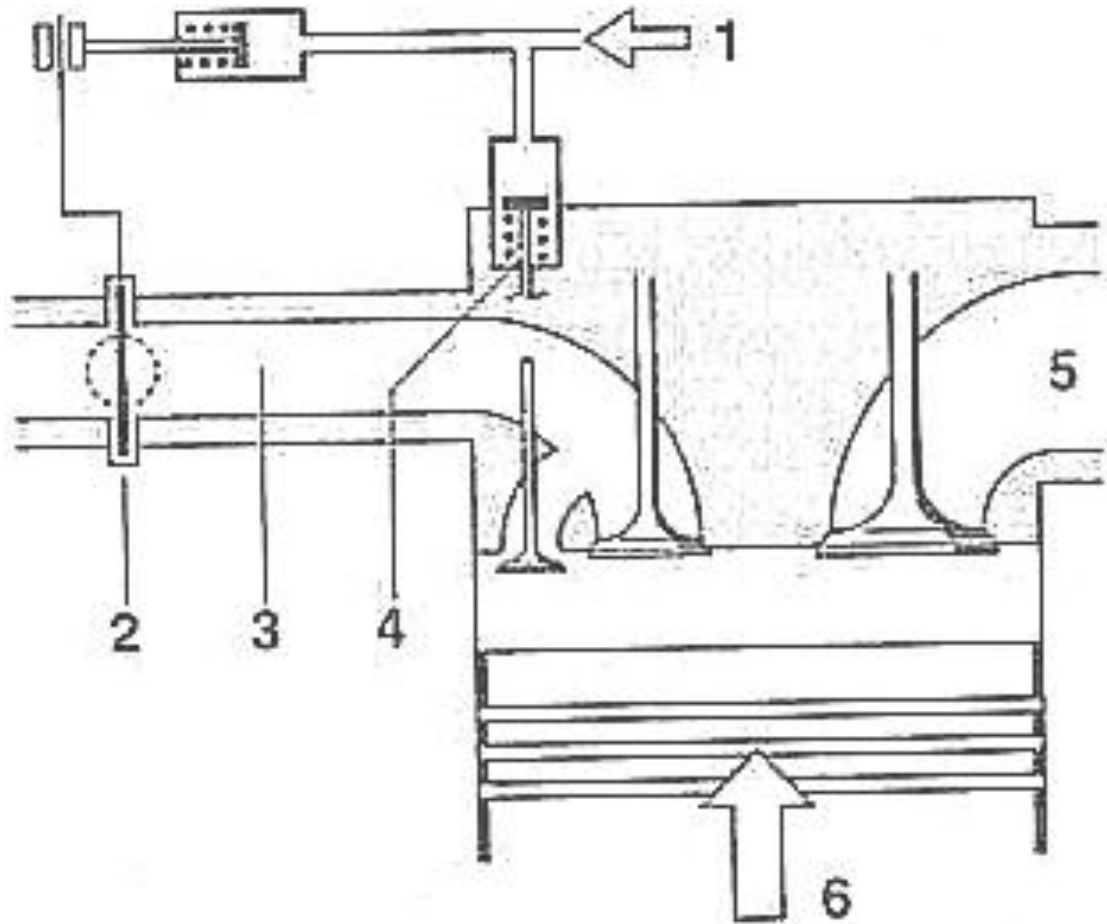
Moottorijarrutuksen teho muodostuu moottorin pyörittämiseen menevästä tehosta ja pakokaasuvirtauksen kuristamisesta aiheutuvasta tehosta. Normaali olosuhteissa moottorin pyörittämiseen käytetään iskuilavuuteen verrattuna enintään noin 5–7 kW/l. Tavallisella pakokaasujarrulla, missä on sulkuläppä pakosarjassa, päästään 14–20 kW/l jarrutustehoon. Suurempi jarrutusteho saadaan aikaiseksi erillisillä lisärakenteilla, esimerkiksi vakiokuristimella.

Yleisin ratkaisu toteuttaa moottorijarrutus tähän asti on ollut asentaa pakosarjan jälkeen pakoputken sisälle erillinen paineilmakäyttöinen läppä, jonka kuljettaja on voinut halutessaan sulkea. Kun läppä on suljettuna, syntyy vastapaine, jota vastaan mäntien on liikuttava poistotahdin aikana. Paineenrajoitusventtiili mahdollistaa jarrutustehon noston pienillä ja keskisuurilla kierroksilla. Se ohittaa pakokaasuläpän toimien hukkaporttina ja estää paineen nousun liian suureksi. Tämä estää moottorin venttiilien tai koko venttiilikoneiston vahingoittumisen suurilla kierroksilla.



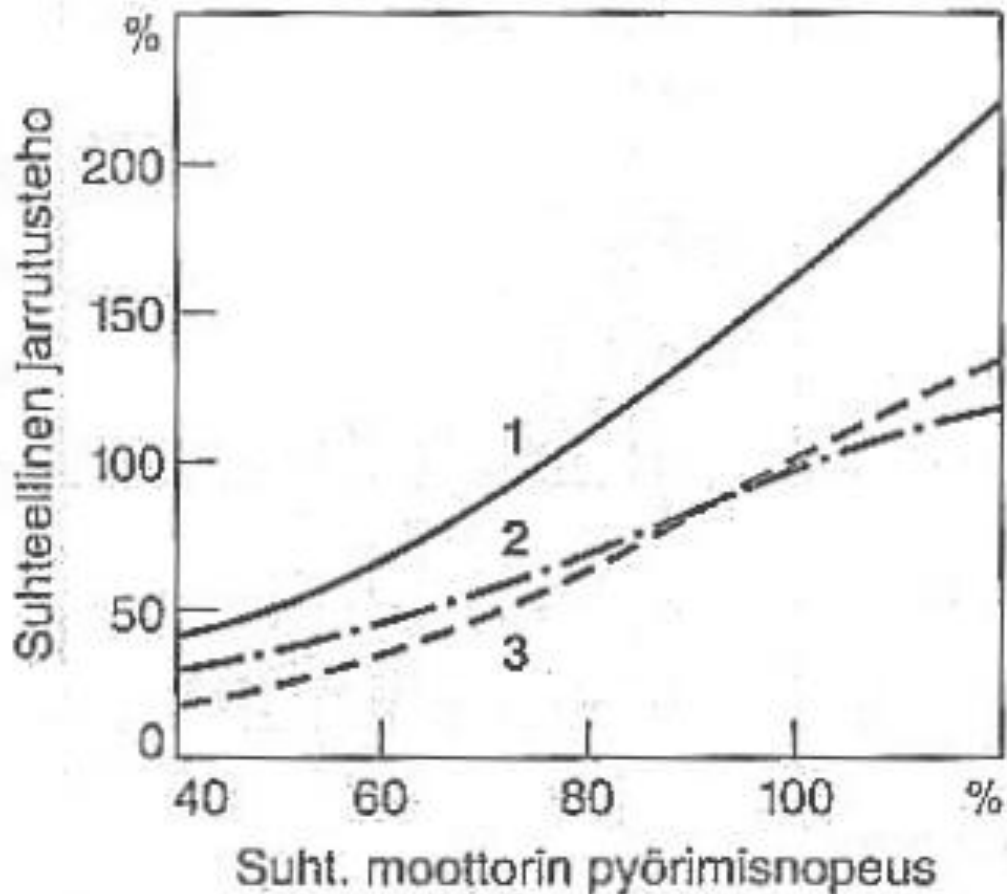
Kuvio 19. 1) sulkuläpän käyttösylinteri (paineilma) 2) ohituskanava 3) paineenrajoitusventtiili 4) pakokanava 5) imukanava 6) mäntä (poistovaiheessa) /1/

Sulkuläpällä toimiva pakokaasujarru hyödyntää vain kaasunvaihtoon liittyvän työn (poisto- ja imutahti). Puristus- ja työtahdin aikana tapahtuva puristetun ilman takaisinlaajeneminen vapauttaa osan puristustyöstä. Tämän takia ajoneuvoihin on asennettu vakiokuristimia, joiden ansiosta moottorijarrutus on tehokkaampi kuin pelkällä pakoputkessa olevalla sulkuläpällä. Pieni kuristinventtiili on pakoventtiilin rinnalla. Venttiili avataan paineilmalla samalla, kun paineilma sulkee sulkuläpän pakoputkessa. Koko moottorijarrutuksen ajan on venttiili auki ja muodostaa vakiosuuruisen kuristinaukon.



Kuvio 20. Pakokaasujarru vakiokuristimella 1) paineilma 2) pakokaasuläppä 3) pakoputki 4) vakiokuristin 5) imusarja 6) mäntä (puristusvaiheessa) /1/

Kuviossa 21 on esitetty suhteellisen moottorin pyörintänopeuden suhteen suhteellinen jarrutusteho käytettäessä pakokaasuläpällä varustettua moottorijarrua, vakiokuristimella varustettua moottorijarrua ja näiden molempien yhdistelmää.

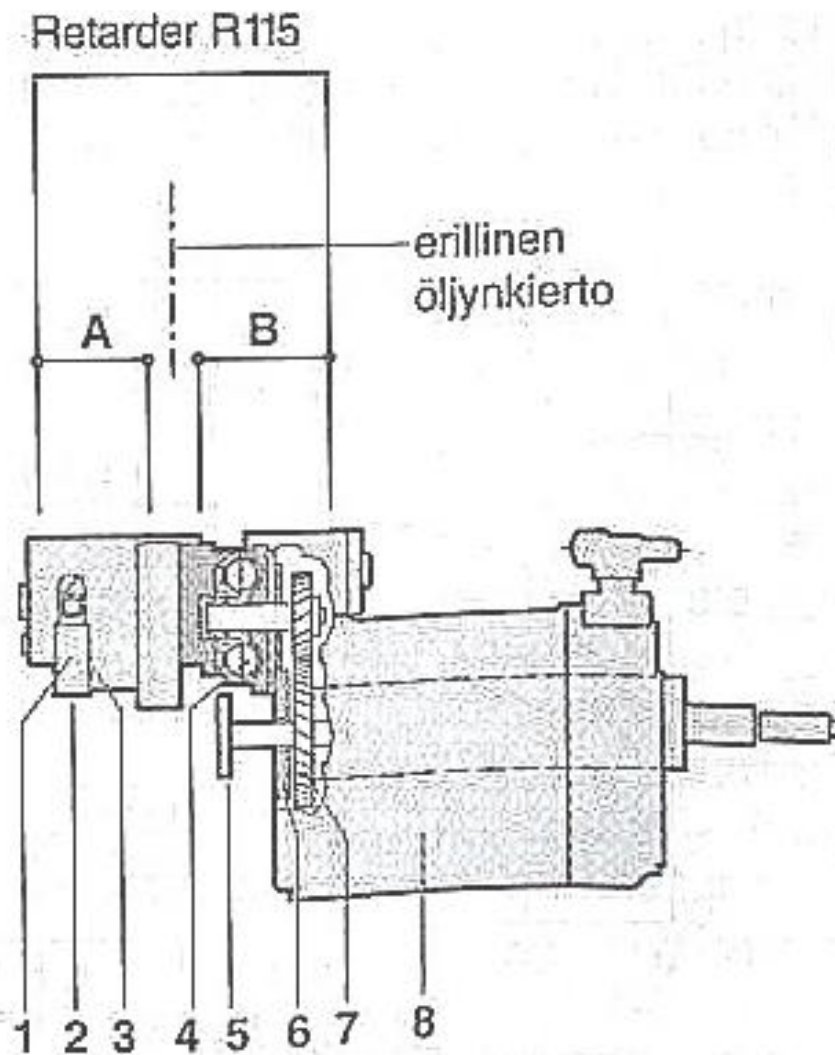


Kuvio 21. Jarrutustehon kuvaajat 1) pakokaasuläppä ja vakiokuristin 2) vakiokuristin 3) pakokaasuläppä /1/

4.5.2 Voimansiirtoon kytkettävät hidastimet

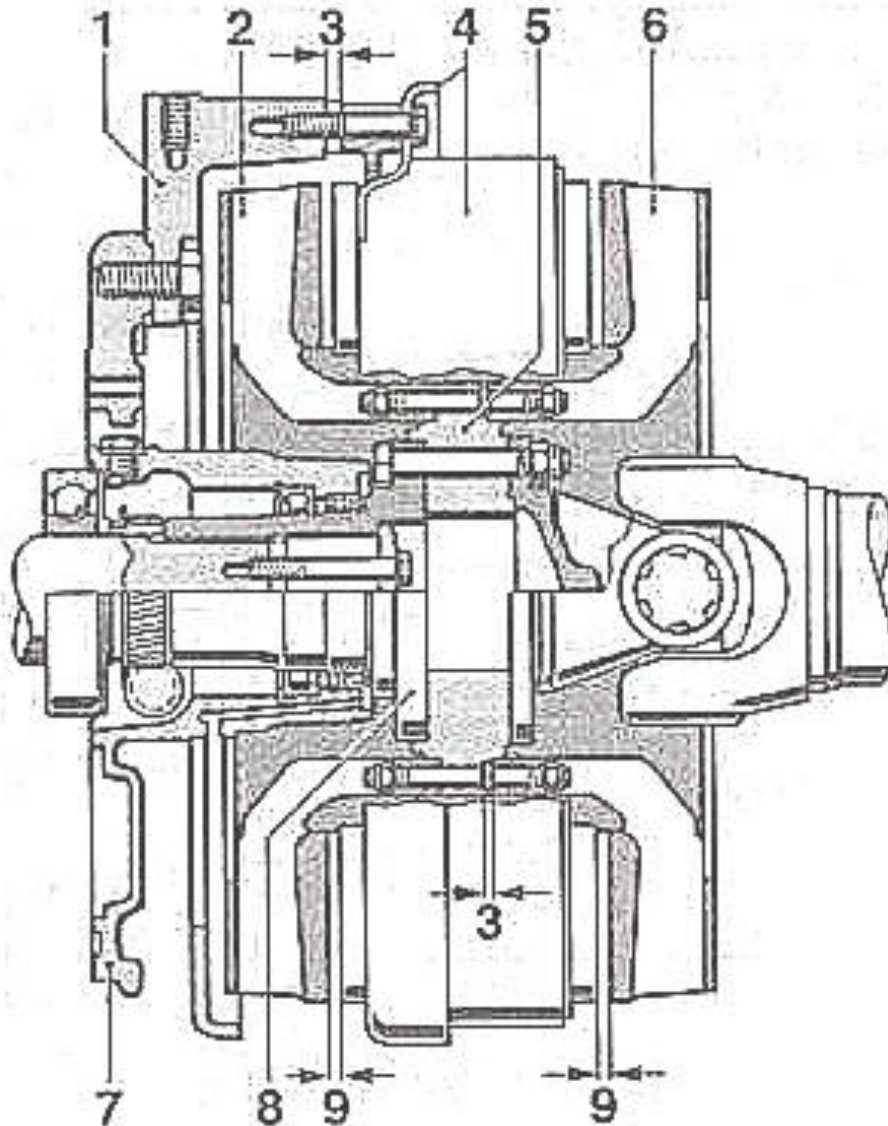
Voimansiirtoon kytkettävä hidastin voi olla ennen vaihteistoa (ensiöhidastin) tai vaihteiston jälkeen (toisiohidastin). Ensiöhidastimia käytetään vain sellaisissa vaihteistoissa, joissa veto ei keskeydy vaihtamisen ajaksi (automaattivaihteisto). Muutoin jarrutus loppuisi vaihtamisen ajaksi. Ensiöhidastimen asennus ennen vaihteistoa on myös etu jyrkissä alamäissä, joissa käytetään pientä nopeutta. Voimansiirtoon kytkettäviä hidastimia on sekä nesteeseen perustuvia että sähköön perustuvia.

Hydrodynaamisen hidastimen toimintaperiaate on sama kuin nestekytkimellä, jossa roottori muuttaa mekaanisen energian nesteen liike-energiaksi. Tämän jälkeen liike-energia muutetaan staattorissa lämpöenergiaksi, joka johdetaan pois järjestelmästä jäähdytyksen avulla.



Kuvio 22. Hidastin 1) sähköliitin 2) paineilmailiitin 3) proportionaaliventtiili 4) nestekytin 5) nivelakselin laippa 6) pääakseli 7) välityspyörä 8) vaihteisto /1/

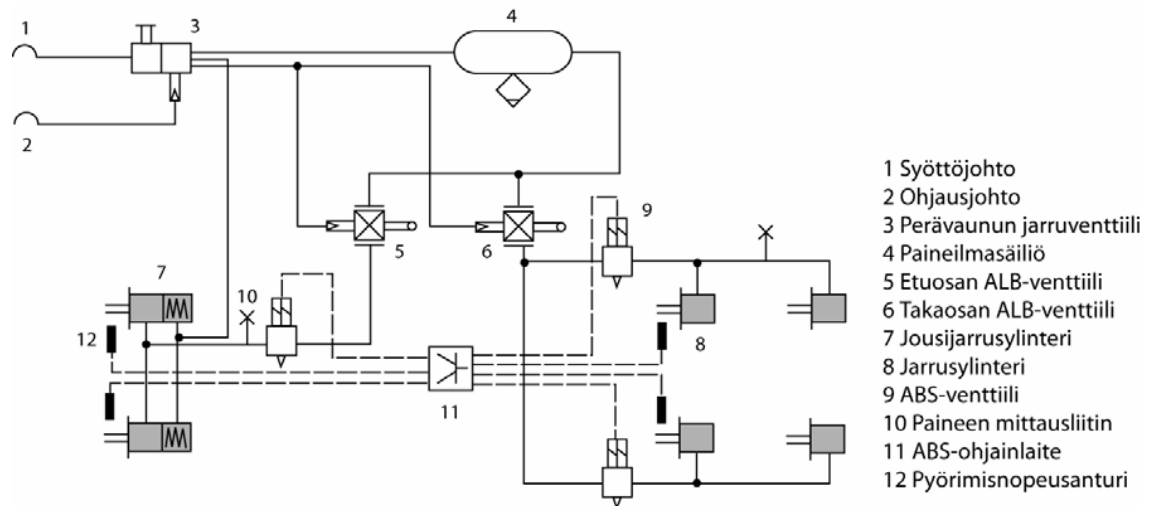
Sähködynaamisessa hidastimessa, eli pyörrevirtahidastimessa, jarrutusta varten johdetaan magnetointikeloille virta akusta tai laturista, jolloin syntyy magneettinen kenttä. Kun roottori pyörii tämän kentän läpi, siihen indusoituu pyörrevirtoja. Ne aiheuttavat jarrumomentin, jonka suuruus riippuu staattorikelojen herätevirran suuruudesta ja roottorin ja staattorin välisestä ilmavälisestä.



Kuvio 23. Sähködynaaminen hidastin 1) kiinnityslaippa 2) vaihteiston puoleinen roottori 3) välilevyt (ilmavälin säätö) 4) staattori keloineen 5) välilaippa 6) taka-akselin puoleinen roottori 7) vaihteiston kansi 8) vaihteiston akseli 9) ilmaväli /1/

5 Paineilmatoimiset perävaunujarrut

Kuviossa 24 on kolmiakselisen varsinaisen perävaunun paineilmajarrujärjestelmä. Perävaunun jarrujen ohjaukseen ja energiantuottoon käytetään kaksijohtojärjestelmää. Syöttöjohdossa (1) on aina paine, joka siirtää paineilmaa perävaunun jarrujärjestelmän säiliöihin. Ohjausjohdossa (2) on paine jarrutettaessa. Jarruventtiilin (3) tehtävä on jarruttaa perävaunua vetoautosta tulevan ohjausjohdon paineen perusteella.



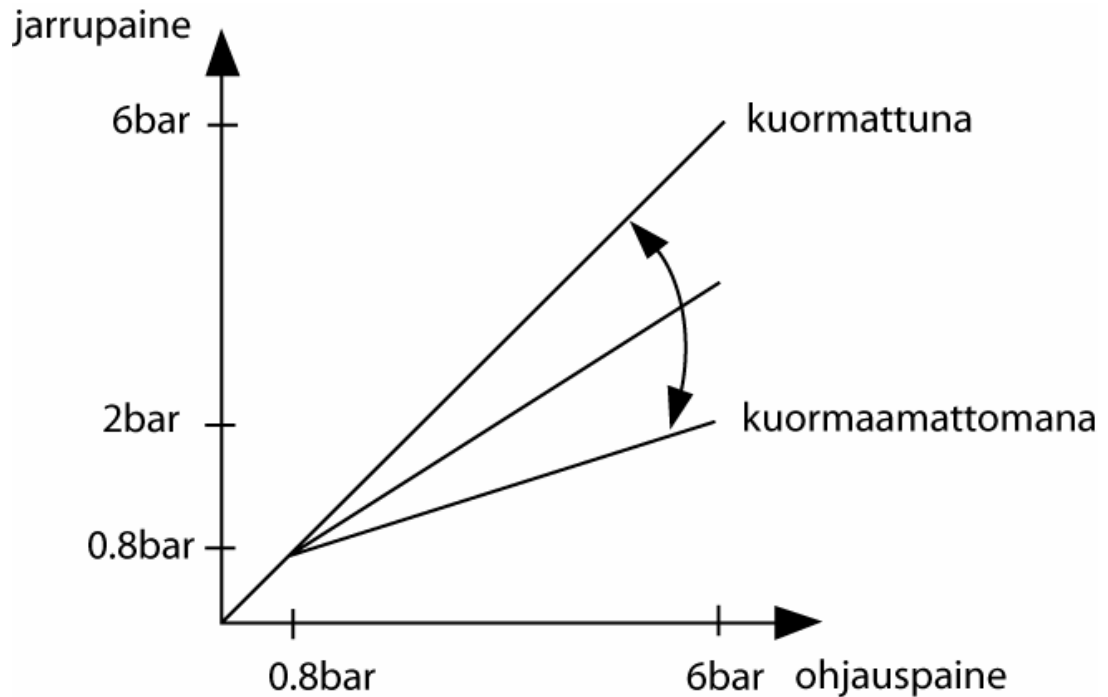
Kuvio 24. Kolmiakselisen varsinaisen perävaunun kuormantuntevilla jarruvoimansäätimillä varustettu lukkiutumaton paineilmajarrujärjestelmä (ALB ja ABS). /4/

Sekä edessä että takana on omat ALB-säätimet (5) ja (6), jotka vähentävät jarruventtiililtä tulevaa painetta perävaunun kuormituksen mukaan. ALB-säätimen yhteyteen rakennetut releventtiilit huolehtivat jarrusylintereiden (7) ja (8) jarrupaineen syöttämisestä ja poistamisesta.

6 Kuormantunteva venttiili

Jarruvoiman säätölaitteena käytetään kuormituksen tuntevaa jarruvoimansäädintä (ALB). ALB-säätimen tehtävänä on muun muassa muuttaa jarruvoimanjako pienillä ajoneuvon kuormituksilla ja siten estää pyörien enneaikainen lukkiutuminen. ALB-säädin alentaa poljinventtiililtä tulevaa ohjauspainetta ajoneuvon kuormituksen mukaan (kuvio 25). Säätimen ohjaussuure saadaan lehtijousilla varustetuissa ajoneuvoissa vivuston välityksellä jousien painumasta ja ilmajousilla varustetuissa autoissa jousipalkeen paineesta.

ALB-säädin on pakollinen kuorma-auton taka-akselilla ja perävaunun akseleilla, jos kuormattujen ja kuormaamattomien kokonaismassojen suhde ylittää viisi kolmasosaa lukuun ottamatta lukkiutumattomalla jarrujärjestelmällä varustettuja ajoneuvoja.



Kuvio 25. Kuormantuntevalta venttiililtä lähtevän paineen riippuvuus ohjauspaineesta sekä ajoneuvon kuormituksesta. /4/

Vetoautossa ALB-säädin asennetaan takajarrupiiriin. Paineilmajarruärjestelmässä etupiiriin asennettu suhdeventtiili saa ohjauksen takajarrupiiriin ALB-säätimeltä, jolloin myös etujarrupiirin jarrupainetta pienennetään kuormituksen keventyessä.

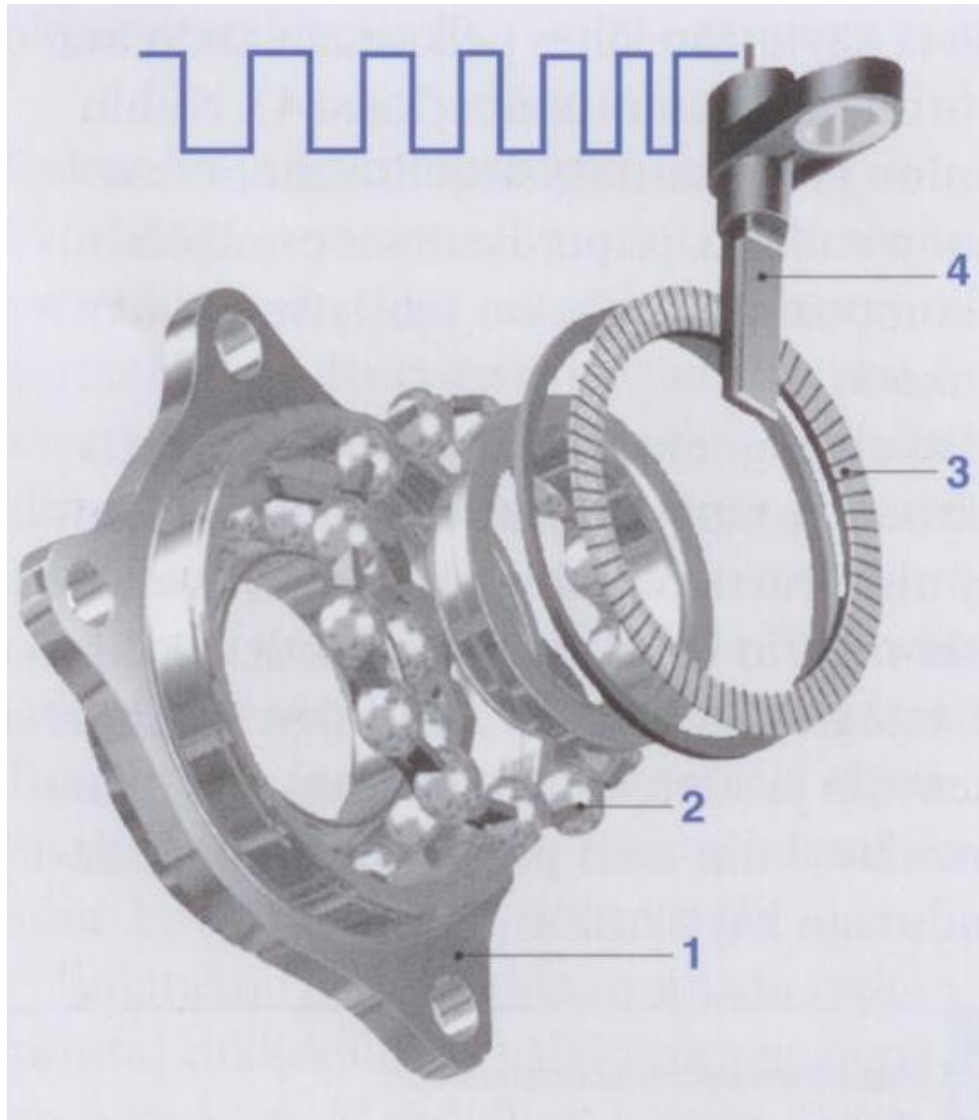
Jarrutettaessa poljinventtiili päästää halutun ohjauspaineen sekä etu- että takajarrupiireihin. Tämä ohjauspaine ohjaa releventtiiliä, jonka tehtävänä on huolehtia jarrusylintereille menevien suurten ilmamäärien nopeasta syöttämisestä sekä poistamisesta. Paineilmajarruärjestelmässä releventtiilit ovat rakennettu etujarrupiirissä suhdeventtiilin yhteyteen ja takajarrupiirissä ALB-säätimen yhteyteen.

7 ABS - lukkiutumattomat jarrut

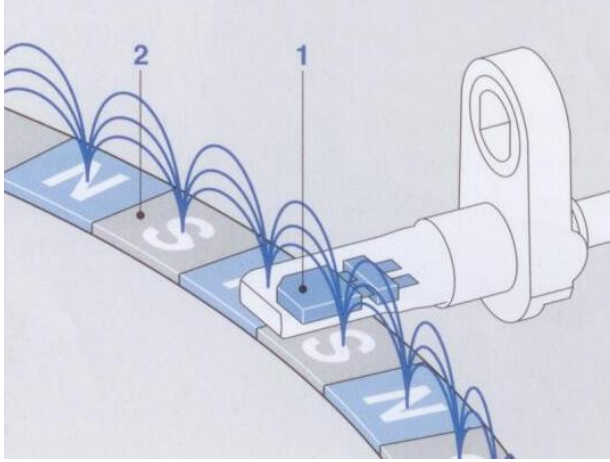
Lukkiutumattoman jarrujärjestelmän (**Antiblockiersystem**) tehtävänä on estää pyörien lukkiutuminen vähentämällä jarrupainetta silloin, kun pyörät alkavat lukkiutua. Tällöin ajoneuvon suuntavakavuus ja ohjattavuus säilyy myös täysjarrutuksessa liukkaalla ajoradalla. Erityisesti ajoneuvoyhdistelmissä lukkiutumaton jarrujärjestelmä estää

perävaunun linkkuun menon. Suomessa muun muassa linja-autot ja säiliöajoneuvot on ollut pakko varustaa lukkiutumattomalla jarrujärjestelmällä 1.10.1991 alkaen.

Raskaan kaluston ABS-järjestelmään kuuluvat pyörimisnopeusanturit pyörissä (kuvio 26 ja 27), sähköinen ohjainlaite ja jarrupaineen ohjausventtiilit. Järjestelmä ohjaa jokaisen jarrusylinterin painetta lisäten, vakiona pitäen tai vähentäen. /1/



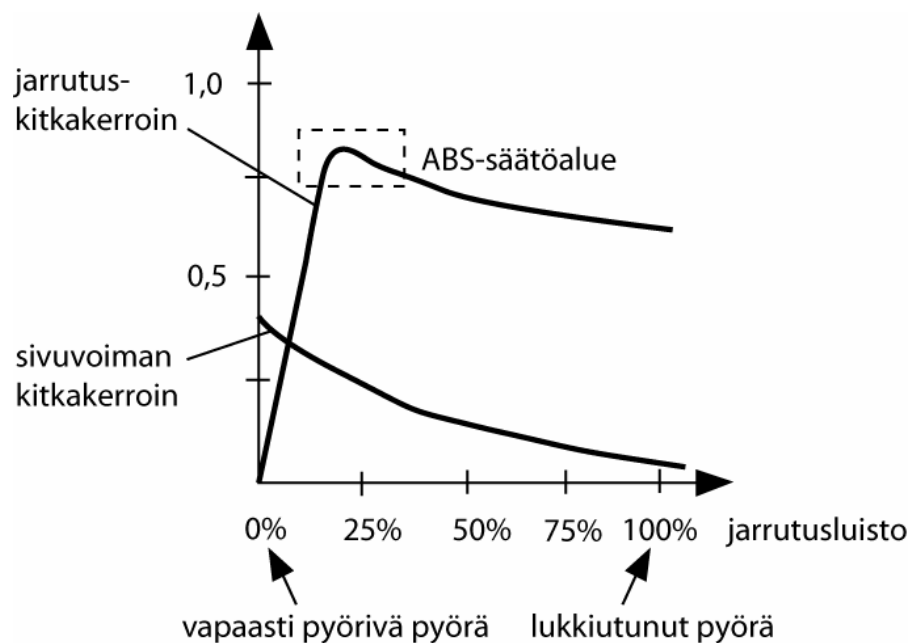
Kuvio 26. Moninapaisen pulssilähettimen räjäytyskuva 1) pyörän napa 2) kuulalaakeri 3) moninaparengas 4) pyörinnopeusanturi /5/



Kuvio 27. Aktiivisen pyörintänopeusanturin leikkauskuva 1) anturielementti 2) moninaparengas, jossa magneettinen pohjois- ja etelänapa vuorottelee /5/

Järjestelmässä on sekä vetoautolle että perävaunulle varoitusvalo, joka ilmaisee kuljettajalle järjestelmien kunnan. Varoitusvalojen on syyttävä vähintään kahdeksi sekunniksi kytkettäessä ajoneuvon virta päälle. Järjestelmän vioittuessa jarrut toimivat normaalisti kuitenkin ilman ABS-toimintoa. Eri valmistajien ABS-varustettuja vetoautoja ja perävaunuja voidaan kytkeä halutusti, kun vetoauto ja perävaunu ovat varustettuja ISO 7638 -standardin mukaisella 5-napaisella pistokkeella. /1/

Kuviossa 28 on esitetty jarrutuskitkakerroin ja sivuvoiman kitkakerroin jarrutusluiston funktiona. ABS-järjestelmän tehtävänä on säätää jarrupaineet siten, että pyörien luisto on kitkakertoimen kannalta optimialueella noin 20 %:ssa.



Kuvio 28. Jarrutuskitkakerroin ja sivuvoiman kitkakerroin jarrutusluiston funktiona. /1/

Kuviossa 29 on esitetty jarrujen säätö tapahtuma pidon ollessa hyvä, ja kuviossa 30 on esitetty jarrujen säätö pidon ollessa huono, missä

$v_F =$ ajoneuvon nopeus

$v_{Ref} =$ vertailunopeus

$v_R =$ pyörän kehän nopeus

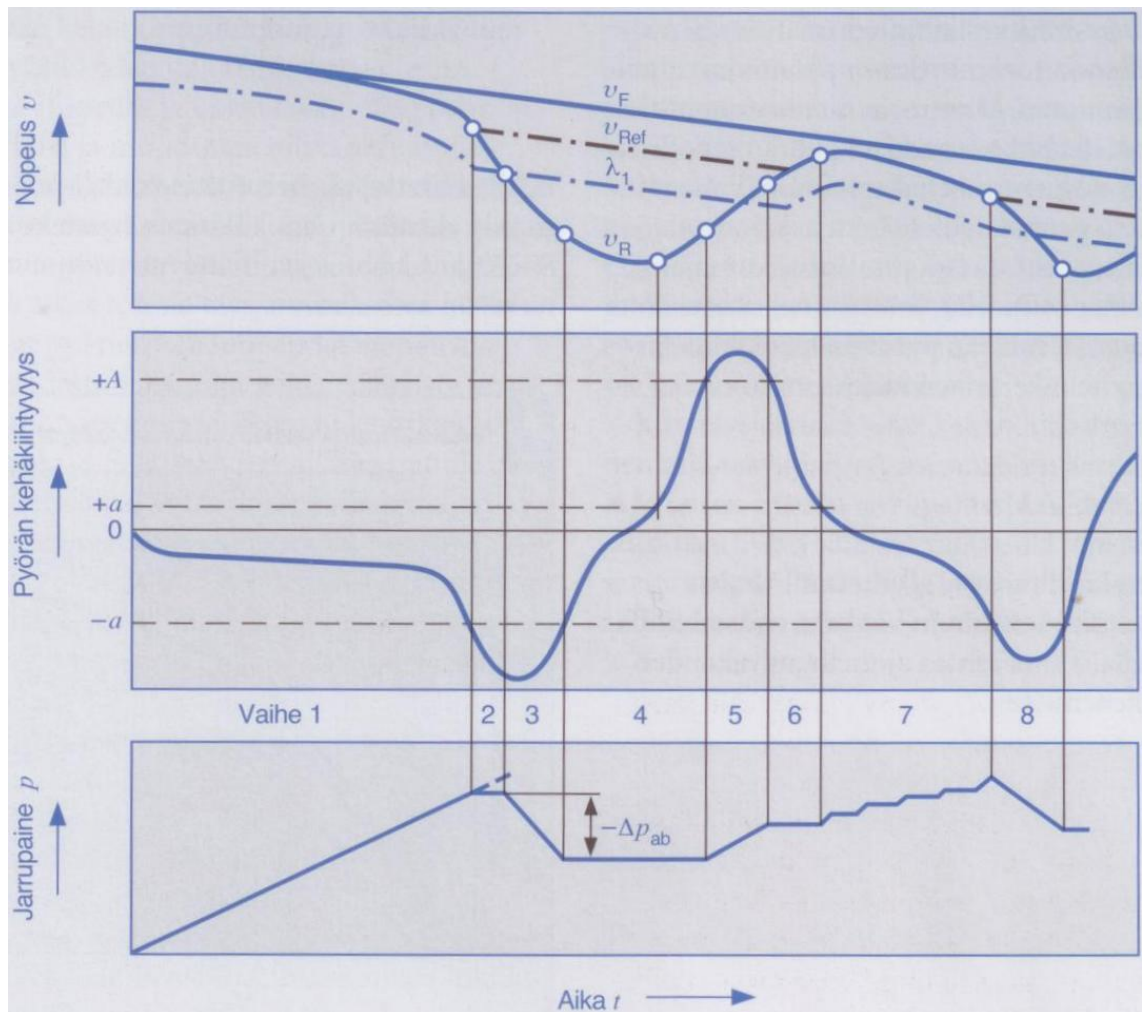
$\lambda_1 =$ luiston raja-arvo

kytkentäsignaalit:

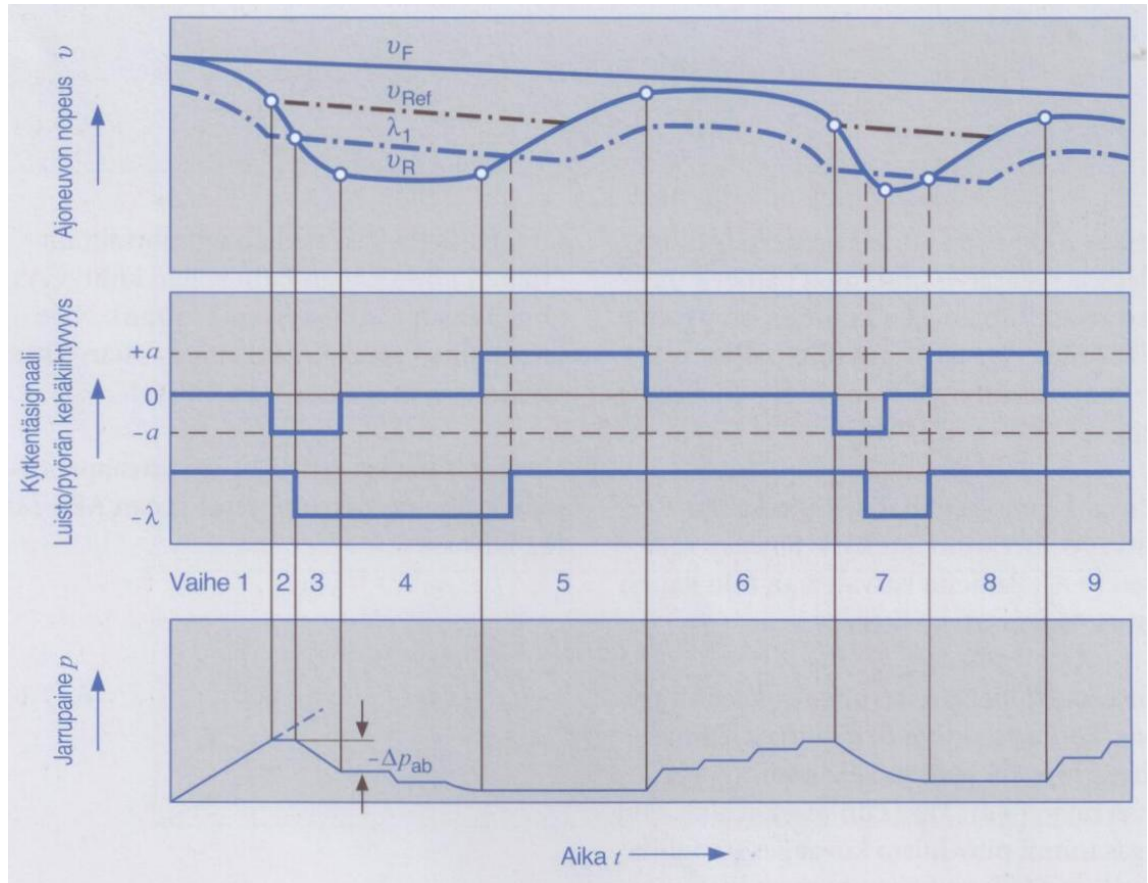
+A, +a pyörän kehäkiiihtyvyyden kytkentäpisteet

-a pyörän kehähidastuvuuden kytkentäpiste

$-\Delta p_{ab}$ jarrupaineen vähennys



Kuvio 29. Jarrujen säätö pidon ollessa hyvä /5/



Kuvio 30. Jarrujen säätö pidon ollessa huono /5/

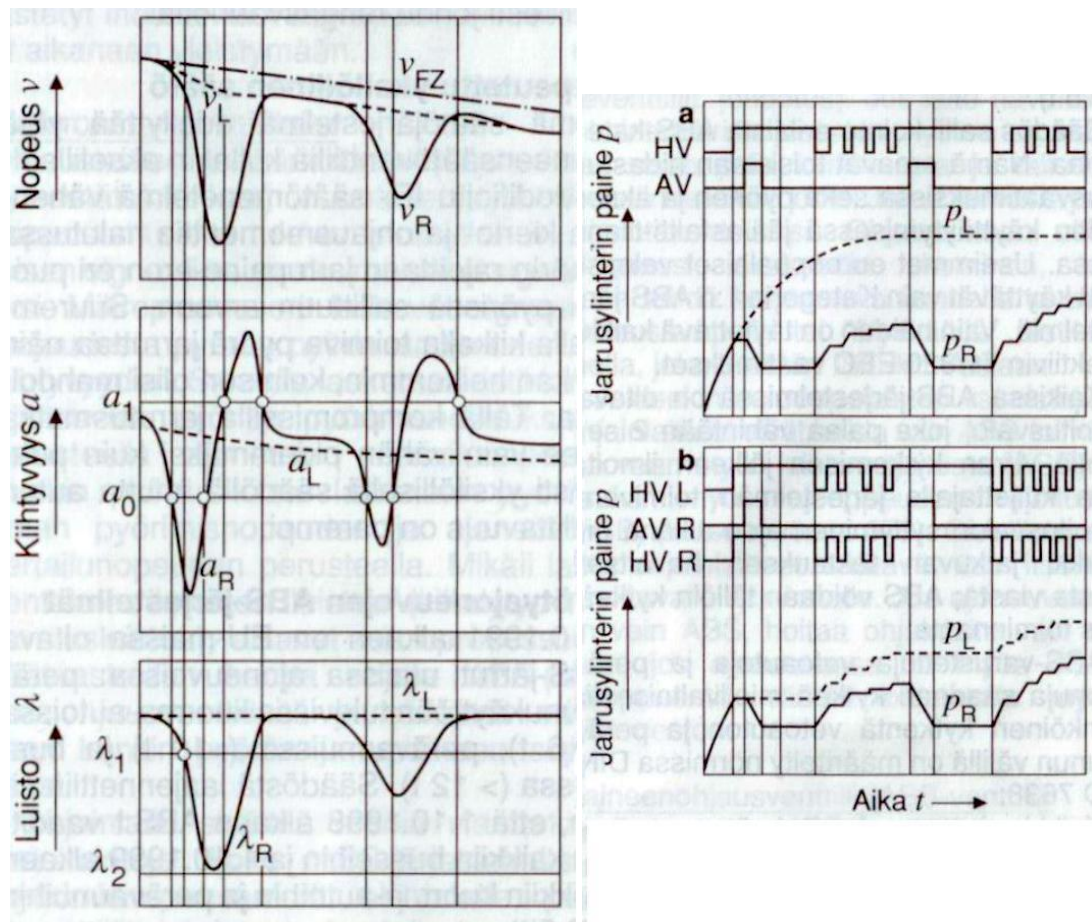
Akselikohtaisten jarrupaineiden säätötapa voi olla yksilöllinen (molemmilla pyörillä oma paineensäätöventtiili ja jarrupaine), valikoiva säätö (akselilla yksi paineensäätöventtiili ja molemmilla pyörillä sama jarrupaine) tai sopeutettu yksilöllinen.

Lyhin jarrutusmatka saadaan yksilöllisellä säädöllä, jossa jokaiselle pyörälle säädetään erikseen optimaalinen jarrutuspaino. Kun kitka on toisella puolella hyvä ja toisella puolella huono (esimerkiksi asfaltti ja jää), syntyy jarruttaessa suuri kiertomomentti auton pysty akselin suhteen. Tämä vaikeuttaa erityisesti lyhytakselisten ajoneuvojen hallittavuutta. Lisäksi syntyy suuria momenteja ohjauspyörälle. /1/

Valikoivan säädön ansiosta ei synny kierto- ja ohjausmomenteja, kun jarrupaine on saman akselin molemmilla pyörillä yhtä suuri. Painetaso säädetään sen pyörän mukaan, jolla kitka on pienempi. Akselille tarvitaan vain yksi paineensäätöventtiili. Jää/asfaltti-yhdistelmätilanteessa jarrutusmatka muodostuu pidemmäksi kuin edellisellä rakenteella, mutta ajoneuvon suuntavakaumus ja ohjattavuus säilyvät. Jos molemmilla puolilla on sama

tilanne kitkan suhteen, muodostuvat jarrutusmatka, ohjattavuus ja suuntavakaus yhtä hyväksi kuin yksilöllisellä säädöllä. /1/

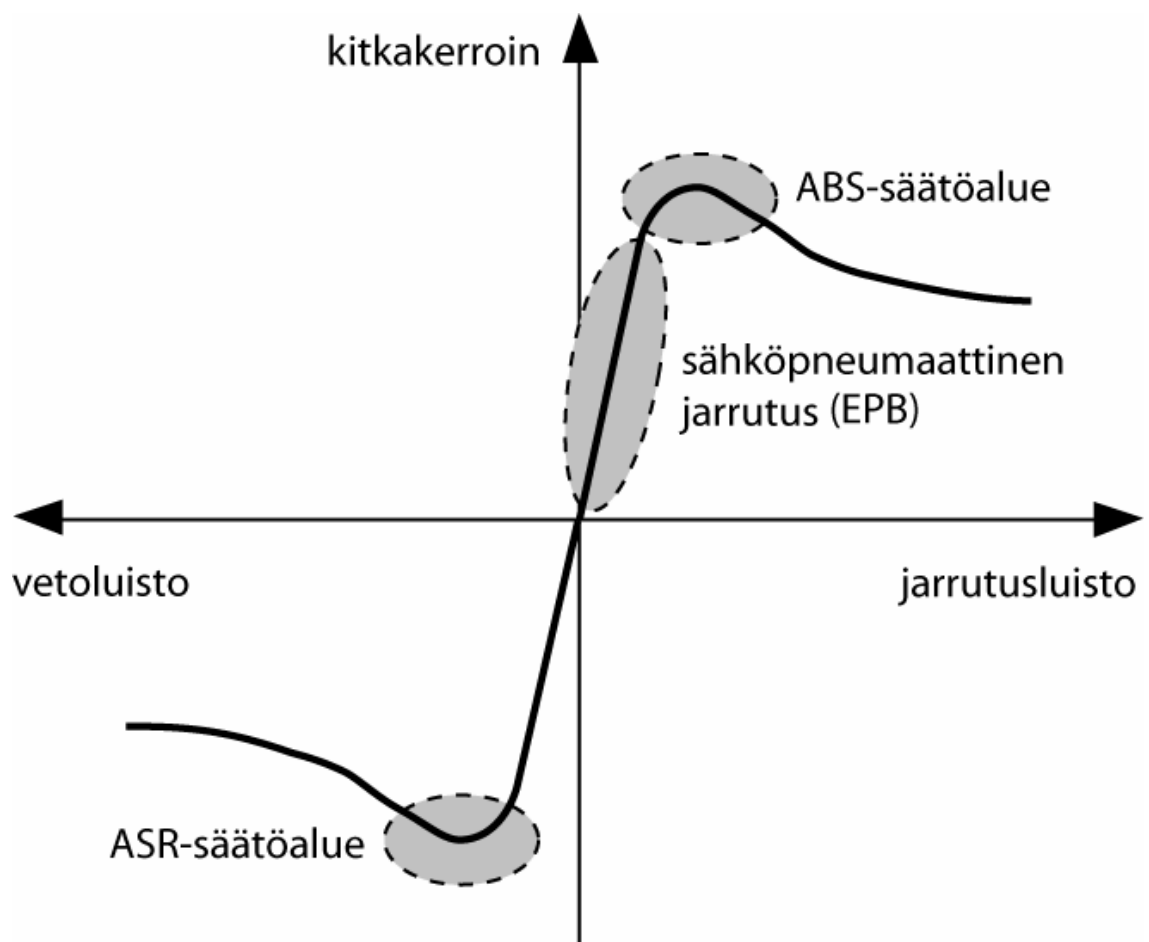
Sopeutettu yksilöllinen säätö ottaa molemmat säätötavat huomioon niitä yhdistämällä. Sopeutettu yksilöllinen säätö vähentää kierto- ja ohjausmomenttia halutussa määrin rajoittaen jarrupaine-eron eri pyörissä haluttuun raja-arvoon. Suuremmalla kitkalla oleva pyörä jarruttaa näin hiukan heikommin, kuin sen olisi mahdollista. Tällä tavalla saadaan tehtyä kompromissi, jossa jarrutusmatkaa saadaan lyhennettyä valikoivaan säätöön verrattuna ja kierto- ja ohjausmomentti pienennettyä yksilölliseen säätöön verrattuna.



Kuvio 31. ABS-säätövaiheet, missä ajoradan toinen puoli on liukas a) yksilöllinen säätö (taka-akseli) b) sopeutettu yksilöllinen säätö (etuakseli) HV/AV sulkuventtiili/poistoventtiili. FZ) ajoneuvo R/L oikea(vasen pyörä 0,1,2) vaiheet /1/

8 Sähköisesti ohjattu jarrujärjestelmä

Sähköisesti ohjattu jarrujärjestelmä EBS (Electronically controlled Brake system) on paineilmajarrujärjestelmän sähköinen ohjausjärjestelmä. Sen tehtävänä on nopeuttaa ja optimoida jarrutustapahtumaa lyhyemmän jarrutusmatkan, paremman jarrutusstabiliteetin ja tasaisemman jarrujen kulumisen kannalta. Järjestelmässä on varmistuksena paineilmaohjaus, joka on käytössä myös sähköiseen ohjausjärjestelmään toimiessa. /1/

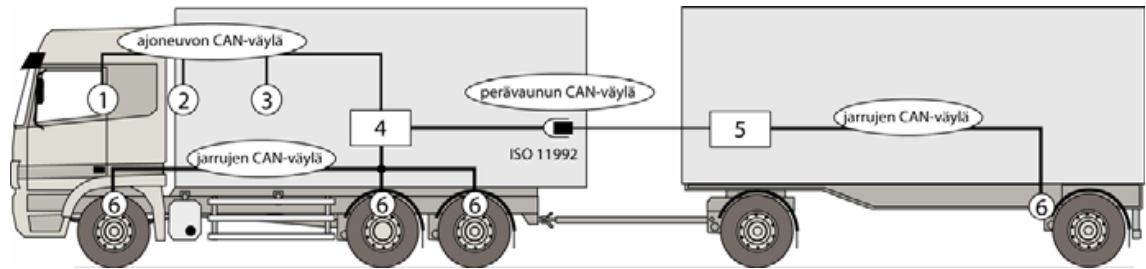


Kuvio 32. Kitkakerroin luiston funktiona jarrutuksessa ja vedossa. /1/

Sähköisesti ohjattu paineilmajarrujärjestelmä (EBS) sisältää sähköpneumaattisen jarrujärjestelmän lisäksi vähintään lukkiutumattoman jarrujärjestelmän (ABS) ja luistonestojärjestelmän (ASR). Nämä toiminnot ovat toteutettu EBS-järjestelmällä. Kuviossa 32 on esitetty osajärjestelmien toiminta-alueet kitkakerroin-luistokuvaajalla. Sähköpneumaattinen jarrutus toimii stabiilin kitkan alueella. Tällöin järjestelmä optimoi

pyörä- tai akselikohtaiset jarrupaineet jarrujen tasaisen kulumisen ja jarruvoimanjaon kannalta. Pienillä hidastuvuuksilla järjestelmä vain havahduttaa pyöräjarrut ja pyrkii saavuttamaan halutun hidastuvuuden moottorijarrun tai hidastimen avulla.

Hätäjarrutuksen tapauksessa järjestelmä säätelee jarrupaineita maksimaalisen stabiilin jarrutuksen aikaan saamiseksi ABS-säätöalueella. Jarrujärjestelmän toiminta määrätään jarrutusalgoritmissa, jonka toteutuksessa on ajoneuvokohtaisia eroja.

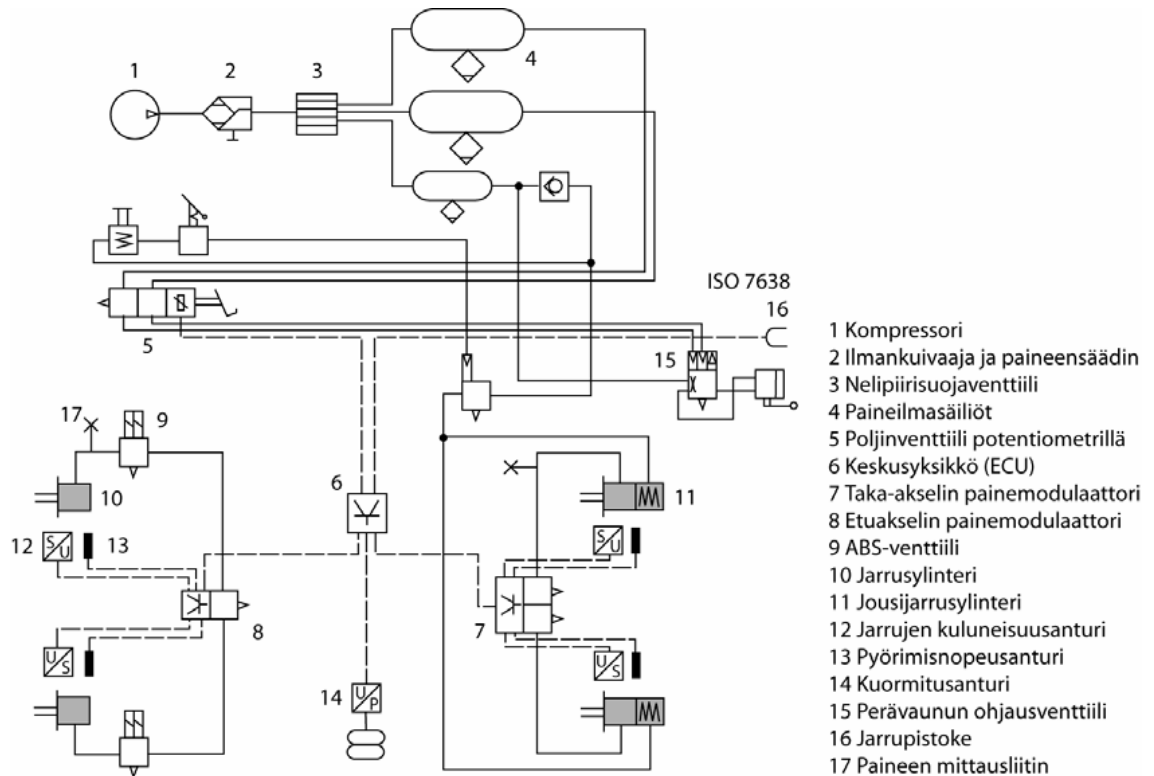


Kuvio 33. Ajoneuvoyhdistelmän sähköisesti ohjatun jarrujärjestelmän CAN-väylät. /4/

Kuviossa 33 on esitetty ajoneuvoyhdistelmän sähköisesti ohjatun jarrujärjestelmän väylärakenne. Jarrutustapahtumaa ohjaava keskusyksikkö ECU (Engine Control Unit) (4) on yhteydessä painemodulaattoreihin (6), jotka säätelevät pyöräkohtaisesti jarrupaineita CAN-väylän avulla. Perävaunun keskusyksikköön (5) vetoauton keskusyksikkö liittyy perävaunun CAN-väylällä, jossa käytetään ISO 11992-standardin mukaista tiedonsiirtoa. Perävaunun keskusyksikkö on yhteydessä perävaunun painemodulaattoreihin omalla CAN-väylällä. Vetoauton keskusyksikkö liittyy muihin elektroniisiin järjestelmiin, kuten moottorin (1), vaihteiston (2) ja hidastimen (3) ohjausjärjestelmiin, ajoneuvon CAN-väylän avulla. /1/

Kuviossa 34 on esitetty kuorma-auton (4x2) EBS-järjestelmä. Paineilman tuotto, varastointi sekä pyöräjarruvarusteet ovat samanlaisia kuin edellä kuvatussa paineilmajarrujärjestelmässä. EBS-järjestelmä koostuu keskusyksiköstä (ECU), poljinventtiilin anturista sekä painemodulaattoreista. Jarrutettaessa poljinventtiilin anturi (5) lähettää keskusyksikölle (6) polkimen painamista vastaavan indeksiarvon. Tämän perusteella keskusyksikkö laskee haluttua hidastuvuutta vastaavat painemodulaattoreille lähetettävät indeksiarvot. Etuakselin jarrutuspaineen säätelee yksikanavainen painemodulaattori (8), jolloin jarrutuspainee on molemmilla pyörillä yhtä suuri. Painemodulaattorin jälkeen on ABS-venttiilit (9), joten etuakselin säätötapa on yksilöllinen. Taka-akselin jarrutuspaineen säätelee

kaksikanavainen painemodulaattori (7), joten jarrupaineet ovat yksilölliset. Taka-akselin ABS-säätö on toteutettu painemodulaattorissa. Kaikkien jarrutuspainneiden asettamiseen käytetään painemodulaattoreissa takaisinkytkettyä säätöä, jolloin sylinteripaine saavutetaan tarkasti. /1/



Kuvio 34. Kuorma-auton (4x2) sähköisesti ohjattu paineilmajarrujärjestelmä. /1/

Perävaunun jarruohjausventtiilin ohjaus tapahtuu joko sähköisellä ja pneumaattisella signaalilla tai kahdella pneumaattisella signaalilla. Vetoauton jarruvoimanjako määritetään järjestelmä kohtaisesti kuormitusta mittaavan anturin avulla (14) tai renkaiden pyörimisnopeusantureiden (13) arvoista saatavan pyörien luiston perusteella. Jälkimmäisessä tapauksessa ajoneuvon kuormitusta mittaavaa anturia ei ole, vaan jarruvoimanjako saavutetaan tasaamalla eri pyörien kiihtyvyydet samanarvoisiksi. Jarruvoiman jakoon vaikuttaa suuresti jarrujen kulumisaste, joka pyritään saamaan mahdollisimman tasaiseksi, jotta etujarrujen suurempi kuluminen voidaan eliminoida. Pienempitehoisissa jarrutuksissa etupyöriä jarrutetaan huomattavasti vähemmän kuin takapyöriä, jotta jarruhihnat tai -palat kuluvat kaikilla akseleilla samanlaisesti. Pyrkimys ideaaliseen jarruvoiman jakoon korostuu vasta sellaisilla jarrutuspainneilla, jolloin pyörät ovat lähempänä lukkiutumisrajaansa. Pienen kitkan olosuhteissa tämä tilanne

saavutetaan jo pienillä jarrutuspaineilla. EBS-järjestelmä valvoo tunnistimien ja painemodulaattoreiden toimintaa sekä tiedonsiirtoa CAN-väylillä. Häiriöistä ilmoitetaan kuljettajalle varoitusvaloin. Vikatapauksessa paineilmajarrut toimivat, mutta tällöin ABS-toiminto ja jarruvoimanjakoa varten tarvittava luiston mittausta ja kuormituksen tunnistus eivät toimi. /1/

8.1 EBS-järjestelmän komponentit

Tässä luvussa esitellään tärkeimmät komponentit, jotka eroavat paineilmasäätöisestä paineilmajarrujärjestelmästä. Näitä ovat muun muassa ohjauslaite, jarrupoljin eli jalkajarrumoduuli, paineensäätömoduuli ja perävaunun ohjausmoduuli.

8.1.1 Sähköinen ohjauslaite

Keskeisin osa EBS-järjestelmää on yksi tai useampi kappale sähköisiä ohjauslaitteita. Ohjausjärjestelmiä on kahta erilaista tyyppiä. Keskitetyssä ohjausjärjestelmässä yhden ohjainlaitteen läpi kulkee kaikki tieto ja toiminnot tapahtuvat tämän laitteen käskyttämällä. Erillisohjatuissa järjestelmissä on useampia ohjainlaitteita, joilla on kaikilla oma tehtävänsä.

8.1.2 Jalkajarrumoduuli

Jalkajarrumoduulilla on kaksi eri tehtävää järjestelmässä. Ensimmäinen tehtävä on kertoa järjestelmälle kuljettajan haluama jarruvoima mittaamalla polkimen liikematka ja siirtää tieto ohjauskeskukseen. Toinen tehtävä on ohjata analogisesti tavanomaisen (paineilmaohjatun) paineilmajarrujärjestelmän kanssa yhtä tai kahta varmistus- eli back-up-painetta kuljettajan painaman polkimen liikkeen perusteella.

8.1.3 Paineensäätömoduuli

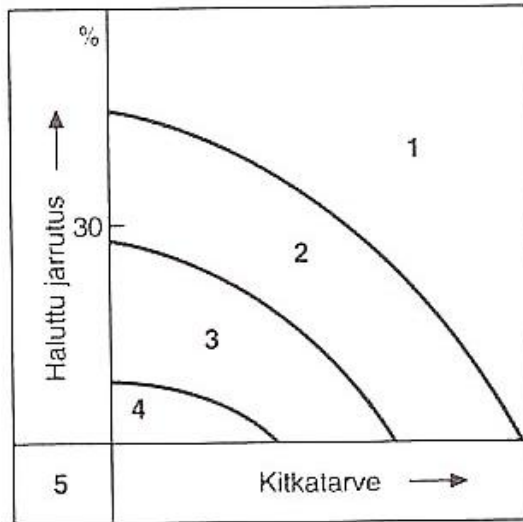
Paineensäätömoduuli sijaitsee ajoneuvossa sähköisen ja pneumaattisen jarrujärjestelmän rajapinnassa. Paineensäätömoduuli muuttaa CAN-väylästä tulevan sähköisen tiedon halutusta jarruvoimasta jarrupaineeksi. Jarrupaineen säätö tapahtuu proportionaalimagneettien tai sisään/ulos-magneettien avulla.

8.1.4 Perävaunun ohjausmoduuli

Elektroninen perävaunun jarrujen ohjausmoduuli mahdollistaa perävaunun jarrupaineen säädön ESB-järjestelmän vaatimusten mukaan. Perävaunun jarrujen ohjaamisen tulee tapahtua kahden toisistaan riippumattoman ohjaussignaalin avulla. Erillisinä signaaleina voivat toimia kaksi pneumaattista signaalia kahdesta eri jarrupiiristä tai yksi pneumaattinen ja yksi sähköinen signaali. Kahden sähköisen signaalin käyttäminen ei ole sallittua, koska myös perävaunun ohjaamisessa täytyy olla käytössä niin sanottu back-up-paine.

8.2 Jarrupalojen kuluneisuus ja niiden hallinta

EBS-järjestelmän yksi etu on myös siinä, että se huomioi jarrupalojen kuluneisuuden ja ohjaa jarrutustehoa vähemmän kuluneille jarruille, jolloin edessä ja takana saavutetaan samanlainen kuluminen. Kulumissäätöä varten on jokaisessa pyörässä oltava jatkuvasti toiminnassa oleva kulumisanturi. Antureista saadut tiedot käytetään hyväksi niin, että kaikki jarrupinnat saavuttavat kulumisrajansa samanaikaisesti. Näin meneteltäessä kulutettavissa oleva kitkamateriaali tulee käytettyä optimaalisesti. Tämän takia myös huoltojen väliajat pitenevät. Kuviossa 35 on havainnollistettu EBS-järjestelmän kulumissäädön toiminta-alueet.



Kuvio 35. EBS-järjestelmän kulumissäädön toiminta-alueet 1) ABS:n toiminta-alue 2) jarrut toimivat hidastusoptimoituna 3) jarrut toimivat kulumisoptimoituna 4) moottorijarrutus 5) luistonesto toiminnassa /1/

9 Jarrujen mittaus

Raskaan kuorma-auton ja perävaunun jarrujärjestelmän suorituskyky määritetään jarrudynamometrimittauksilla. Jarrujärjestelmän mittaussuureiden tiedonkeräys suoritetaan tiedonkeruujärjestelmän avulla. Mittaustiedot tallennetaan mittaustietokantaan. Jarrujärjestelmän suoritusarvot määritetään laskentaohjelmalla tallennetun mittaustietokannan tiedoista.

Ajoneuvon pyöräjarrut mitataan itsenäisesti toisistaan riippumatta. Jarrujen suorituskyky määritetään pyöräkohtaisesti ja akseleittain. Mitattujen jarruvoimien perusteella määritetään ajoneuvon jarrujärjestelmän aikaansaama hidastuvuus.

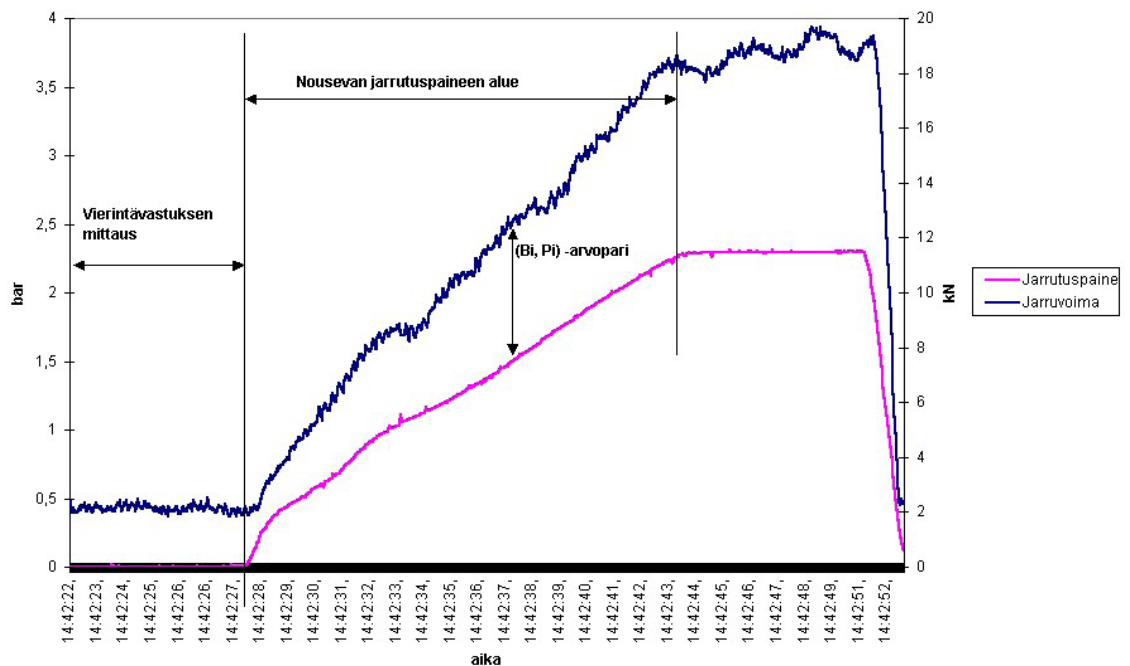
Mittausten päävaiheet ovat seuraavat:

- vierintävastusmittaus
- viivetestit
- ALB -testi
 - paine-ennakot vetoauto ja perävaunu
- jarruvoiman mittaus nousevalla paineella
- tasaisen paineen mittaus
 - suurin jarruvoima
 - Jarruvoimapoikkeamat.

9.1 Vierintävastus

Vierintävastus F_{rd} mitataan pyöräkohtaisesti ja lasketaan keskiarvona akselille.

Vierintävastus mitataan pyöräkohtaisesti dynamometrin rullilla jarrupoljin vapautettuna varmistaen, että renkaiden kunto ja ilmanpaine on riittävä mittauksien suorittamiseksi. Mittauksen aikana pyörän on pyörähdettävä vähintään kaksi kierrosta. Kuviossa 36 on esitetty erään kuorma-auton jarrupaine ja jarruvoima-kuvaaja mittausajan funktiona.

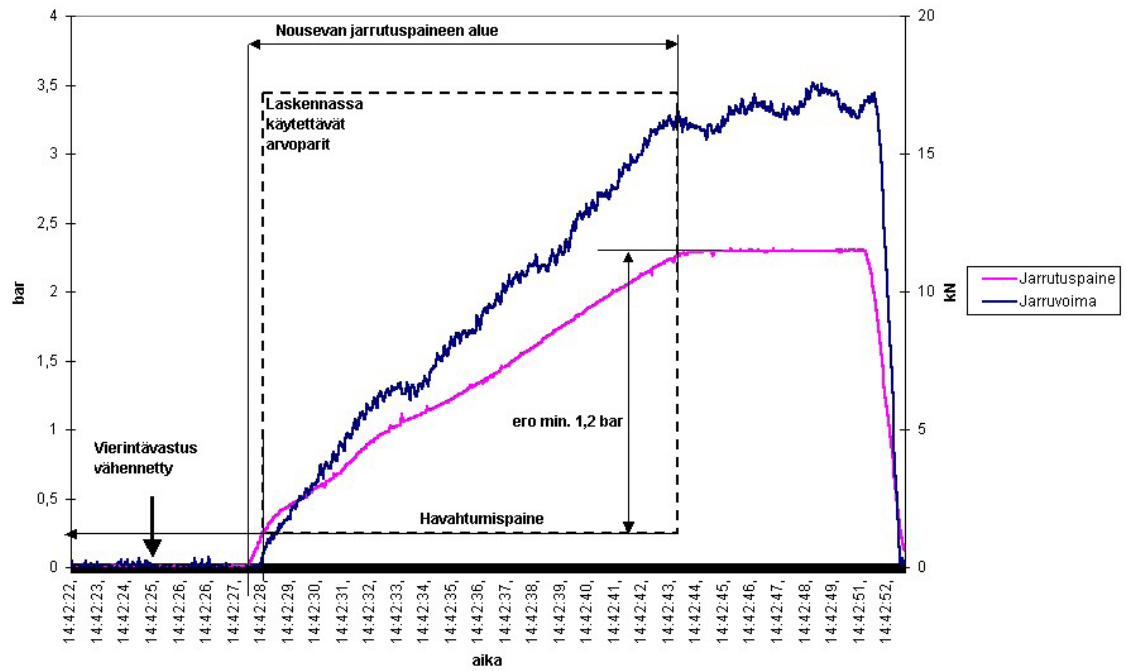


Kuvio 36. Mitatut kokonaisjarruvoima-jarrutuspainearvoparit mittausajan funktiona.

Kuvioon on määritetty vierintävastuksen ja nousevan jarrutuspaineen mittausalue. /6/

9.2 Viivetestit

Jarrujen havahtumispainet mitataan pyöräkohtaisesti. Havahtumispainet määritetään vertaamalla tasaisesti nousevalla jarrutuspainella mitattuja kokonaisjarruvoimia B_{di} mitattuun vierintävastukseen F_{rd} . Vertailu suoritetaan alkaen suurimmasta mittauspainesta p_{mitmax} , jossa kokonaisjarruvoima on B_d ja edetään pienemmän paineen suuntaan, kunnes luettu kokonaisjarruvoima on ensimmäisen kerran pienempi kuin vierintävastuksen keskiarvo.



Kuvio 37. Laskennassa käytetään jarruvoima-jarrutuspainearvopareja, jotka ovat havahtumispaineen ja laskentapaineen välisellä nousevan paineen alueella. /6/

9.3 ALB-testi

ALB-venttiilin toiminta tarkastetaan mittaamalla nousevalla jarrujen ohjauspaineella jarrusylinterin painetta. ALB-testi tehdään tasaisella alustalla, kevennettävät akselit ylhäällä tai säätöarvokilven edellyttämässä asennossa. Ajoneuvon valmistajan ohjeita pitää noudattaa. Mittaus suoritetaan vähintään säätöarvokilpeen merkittyyn tai valmistajan ilmoittamaan painearvoon arvoon asti.

9.4 Tasaisen paineen mittaus

Tasaisen jarrutuspaineen mittauksessa mitataan pyöräjarrun suurin keskimääräinen jarruvoima ja jarruvoimien poikkeamat pyöräkohtaisesti (jarrurummun tai -levyn soikeus) ja pyörien keskinäiset poikkeamat akselilla.

Lähteet

1. Haapaniemi, Heikki 2003. Autoteknillinen taskukirja, Bosch, 6. painos. Jyväskylä: Gummerus Oy
2. Brunswick. Air Brake Manual. [online] [viitattu 25.5.2010].
http://www.gnb.ca/0276/vehicle/pdf/ab_manual-e.pdf 25.5.2010
3. Bendix Spicer Foundation Brake LLC 2005. Service data [online] [viitattu 25.5.2010].
www.roadranger.com/ecm/idcplg?IdcService=GET_FILE&dID=9205
4. Leppälä, Hannu & Rahkola, Pekka 2005. Sähköisesti ohjatuilla paineilmajarrujärjestelmillä varustettujen kuorma-autojen ja perävaunujen katsastusvaatimusten määrittäminen. [online] [viitattu 25.5.2010].
<http://www.ake.fi/NR/rdonlyres/1CDAEE9F-BDF7-454E-865E-D99DD0DA9FD8/0/AKE12005S%C3%A4hk%C3%B6isestiohjatuillapaineilmajarruj%C3%A4rjestelmill%C3%A4luvut15.pdf>
5. Juhala, Matti 2005. Ajonvakautusjärjestelmät. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy
6. Liite B Jarrudynamometrin laskentaohjeliite [online] [viitattu 25.5.2010]
http://www.ake.fi/NR/rdonlyres/A0EA54BC-307C-4918-96C2-5284B637BA6E/0/15492082008_Liite_B_jarrudynamometrin_laskentaohje.pdf 25.5.2010

Liitteet

9.5 Liite 1: Raskaan kaluston jarrumääräyksien voimaantuloajat

Voimaantuloajat on saatu Katsastajan käsikirjasta (AKE, versio 2.0, 22.10.2008). Alla voimaantuloajat on esitetty erikseen käyttöjarrun, seisontajarrun ja muiden jarrujen (esimerkiksi varajarrun) osalta.

9.5.1 Käyttöjarru

01.01.1923 tai sen jälkeen automobiilin varustukseen piti kuulua kaksi helposti ulottuvissa olevaa toisistaan riippumatonta tehokasta jarrua.

A Automobiililiikenteestä 237/22

01.06.1955 tai sen jälkeen käyttöön otetussa autossa jarrut kaikissa pyörissä.

KYMP autoasetuksen täytäntöönpanosta 88/55

01.07.1961 tai sen jälkeen käyttöön otetussa

- puoliperävaunussa, jonka akseli- tai telimassa > 7.2 tonnia oltava jarrut.

30.06.1962 tai sen jälkeen käyttöön otetussa

- linja-autossa oltava 2- piirijarrut

- milloin auton kokonaismassa > 7 tonnia, oltava tehostin

KYM 504/60 21.12.1960

01.01.1967 tai sen jälkeen käyttöön otetussa

- milloin perävaunussa on useampia akseleita, tulee jarruin varustettuja akseleita olla vähintään kaksi.

- jarruin varustettujen akselien akselimassa tulee olla 75 % akselimassojen summasta

KYM 406/66 15.7.1966. (ennen em. päivämäärää 50 %)

01.01.1981 tai sen jälkeen käyttöön otetussa

- autossa 2- piirijarrut

- kaikissa perävaunuissa oltava jarrut, pl. O1- luokka.

- hidastuvuusvaatimukset määritelty

ANA Tpp 13 ja 157 §, 150/83

01.03.1983 tai sen jälkeen käyttöön otetussa

- perävaunussa, jonka kokonaispaino enintään 32 tonnia, tulee olla jarrut kaikissa pyörissä.

ANA Tpp 157 §, 150/83

01.01.1989 tai sen jälkeen käyttöön otetut ajoneuvot

- LMp 509/01/88 31.3.1988, joka kumottu ja korvattu KM:llä 631/90 29.06.90, LM 246/92 18.03.92 ja 111/93 14.1.1993

01.01.1990 tai sen jälkeen käyttöön otetuissa ajoneuvoissa

lukkiutumattomat jarrut

- kokonaismassaltaan > 12000 kg VAK-säiliöautossa

- VAK-säiliöperävaunun kokonaismassaltaan > 6000 kg vetoautossa.

- kokonaismassaltaan > 6000 kg säiliöperävaunussa.

- paineilmajarruin varustetussa linja-autossa.

ANA 18 §, 233/82 + 290/88

01.01.1992 tai sen jälkeen käyttöön otetuissa ajoneuvoissa

lukkiutumattomat jarrut

- kokonaismassaltaan > 10000 kg perävaunun vetoon tarkoitettussa kuorma-autossa, kokonaismassaltaan > 16000 kg.

- kokonaismassaltaan > 10000 kg perävaunussa.

ANA 18 §, 233/ 82 + 706/90

01.01.1993 tai sen jälkeen käyttöön otetut ajoneuvot

- 71/320/ETY, muutettuna 88/194/ETY

- E 13/05

- FMVSS 105 tai

- LMp paineilmajarruista 631/90, 246/92 ja 111/93.

- lukkiutumattomat jarrut (1. luokan)

- N3- luokan, jonka kokonaismassa > 16000 kg ja joka on tarkoitettu O4- luokan perävaunun vetoon
 - O4- luokan perävaunussa.
 - M3- luokan autossa, jonka kokonaismassa > 12000 kg.
- ARVA 41 ja 218 §, 1256/92

Olennaisimmat vaatimuserot LM:n jarrupäätöksen ja E- säännön 13, sekä vastaavien direktiivien välillä.

- perävaunun paineilmasäiliöiden tilavuuden määrittäminen.
- paineastia-asetuksen noudattaminen (säiliön kilpi).
- varoventtiili (ulkopuolinen paineilman syöttö).
- putkiston osien merkintä (SAE, DIN, muovi, kumi).
- kitkapalojen merkintä (valmistajan tunnistetiedot).
- ALB-venttiilin asennusvelvoite.
- ilmankuivain ja pakkassuojalaite.
- etujarruvoiman puolitin (sallittu autoissa).
- seisontajarrun suoventtiili.
- paine-ennakkoasetuksen enimmäisraja.
- vetoautossa perävaunun jarrujen käsiohjausventtiili (vapaaehtoinen).

LMp:n vaatimukset ovat em. osin eurooppalaista tasoa ankarammat.

01.12.1994 tai sen jälkeen käyttöön otetut ajoneuvot.

- 71/320/ETY muutettuna 91/422/ETY
- E 13/06 ja
- FMVSS 105 tai
- LMp paineilmajarruista 631/90, 246/92 ja 111/93 mukaiset.

ARVA 41 ja 218 §, 1256/92

01.01.1995 kuormantuntevan jarruventtiilin saa poistaa kuorma-autosta käyttöönotto vuoden 1988 loppuun saakka, milloin se ei ole tarkoitettu (varustettu) perävaunun vetoon. Venttiilin poistaminen edellyttää muutoskatsastusta, LM 1433/94

Vuoden 1995 vuosikatsastukseen mennessä

- kaikki paineilmajarrulliset ajoneuvoyhdistelmät, joiden vetoauton kokonaismassa >12000 kg ja perävaunun kokonaismassa yhtä suuri tai suurempi kuin 6000 kgarustettava akseli- tai telikohtaisilla kuormantuntevilla jarruvoiman säätimillä.
LMP 631/90 paineilmajarruista 97 § 5. mom, 631/90 + 1433/94

01.01.1997 tai sen jälkeen EY - tyyppihyväksytyssä tai uuteen mallisarjaan kuuluvana tyyppikatsastetussa

- autossa ja sen perävaunussa jarrujen tulee vastata 71/320/ETY + 91/422/ETY tai E 13/06 taikka ministeriön paineilmajarrupäätöksen vaatimuksia.

- FMVSS 105 ei enää kelpaa

ARVA 41 ja 218 §, 1256/92 + 849/95 + 965/96

01.01.1998 tai sen jälkeen käyttöön otettavan auton ja sen perävaunun jarrujen tulee vastata edellisessä kohdassa mainittuja vaatimuksia.

ARVA 41 ja 218 §, 1256/92 + 849/95

01.10.1999 tai sen jälkeen uuteen mallisarjaan tyyppikatsastettavan tai EU-tyyppihyväksyttävän auton ja sen perävaunun jarrujen tulee vastata edellisessä kohdassa mainittujen vaatimusten lisäksi direktiivin 98/12/EY tai E-säännön 13/09 vaatimuksia ja M2-, M3-, N2- ja N3-luokan ajoneuvossa tulee olla edellä mainitussa direktiivissä tai E-säännössä tarkoitetut 1 luokan lukkiutumattomat jarrut.

31.03.2001 tai sen jälkeen käyttöön otettavan auton ja sen perävaunun jarrujen tulee vastata edellisessä kohdassa mainittuja vaatimuksia. M2-, M3-, N2- ja N3-luokan ajoneuvossa tulee olla edellä mainitussa direktiivissä tai E-säännössä tarkoitetut 1 luokan lukkiutumattomat jarrut.

ARVA 41 ja 218 §, 1256/92 + 665/1998

01.01.2003 2002/78/EY (jarrupäällysteiden merkinnät ja pakkaus) direktiivin vaatimukset täyttävät jarrupäällysteet ja niiden pakkaukset tunnustettiin.

9.5.2 Seisontajarru

01.06.1955 tai sen jälkeen käyttöön otetussa autossa tuli olla seisontajarru.

Seisontajarrussa tuli olla pidätyslaite.

KYMP autoasetuksen täytäntöönpanosta 88/55

01.12.1957 tai sen jälkeen käyttöön otetut ajoneuvot, ANA Tpp 4, 35 ja 40 §.

- auton seisontajarrun tulee 392/57
 - olla varustettu pidätyslaitteella
 - vaikuttaa yhteen tai useampaan akseliin siten, että jarrutettujen akselien massa on vähintään 50 % auton kokonaismassasta.
 - olla varustettu käyttöjarrun laitteista riippumattomilla voimansiirtolaitteilla.
 - voida pitää auto paikallaan sellaisessa mäessä, joka autoa käytettäessä voi tulla kysymykseen.
- perävaunun seisontajarrun tulee
 - olla varustettu pidätyslaitteella.

30.06.1962 tai sen jälkeen rakennekatsastetun linja-auton seisontajarrun tulee

- rakenteeltaan soveltua käytettäväksi myös hätäjarruna.
- vaikuttaa taka-akselin pyörien jarrukenkiin, kokonaismassaltaan yli 7 tonnia.
- olla varustettu tehostimella, milloin kokonaismassa yli 10 tonnia, kuitenkin siten, että voimansiirto ja pidätys tapahtuu puhtaasti mekaanisin laittein.

LM 504/60 21.12.1960

01.01.1983 tai sen jälkeen käyttöön otetut autot ja perävaunut

- ylä- tai alamäen kaltevuus 16 %, muutoin kuin seuraava kohta, ANA Tpp 13 §, 150/83

01.01.1990 tai sen jälkeen käyttöön otetut ajoneuvot

- auton ja perävaunun seisontajarrun tulee ANA Tpp 13 ja 158 § mukaan vaikuttaa yhteen tai useampaan akseliin
- voida pitää auto ja kuormattu perävaunu ylä- tai alamäessä, jonka kaltevuus on 18 % kitkakertoimen ollessa 0.6.
- olla varustettuna pidätyslaitteella, perävaunussa mekaanisella.
- oltava käyttöjarrun laitteista riippumattomat voimansiirtolaitteet.

- autoissa
- perävaunuissa, joiden kokonaismassa > 3500 kg.
- käsikäyttöisen seisontajarrun käyttölaitteen käyttövoima enintään 400 N henkilöautossa ja muussa autossa 600 N.

150/83 + 291/88

01.01.1993 tai sen jälkeen käyttöön otetut ajoneuvot

- auton ja perävaunun seisontajarrun tulee vastata E- sääntöä 13/05 tai 71/320/ETY muutettuna 88/194/ETY tai FMVSS 105 tai LMp 631/90 vaatimuksia, varustettuna laitteella, joka saa jarrut toimimaan kytkennän pettäessä, ARVA 41 ja 218 §, 1256/92

01.12.1994 tai sen jälkeen käyttöön otetut ajoneuvot

- auton seisontajarrun tulee vastata E 13/06, 71/320/ETY muutettuna 91/422/ETY tai FMVSS 105 tai LMp 631/90 vaatimuksia. ARVA 41 §, 1256/92
- perävaunussa tulee edellä mainittujen vaatimusten lisäksi olla laite, joka saa jarrut toimimaan kytkennän pettäessä, ARVA 218 §, 1256/92

01.01.1995 nopeuskilpailuun käytettävä auto, sääntöjenmukaisesti viritetty.

- mekaanisen seisontajarrun saa korvata valmistajan kilpailukäyttöön tarkoittamalla hydraulisella seisontajarrulla. Saa soveltaa myös aikaisemmin käyttöön otettuihin autoihin.

ARVA 41 §, 1256/92 + 1122/94 **Kumottu** (902/30.09.1997)

9.5.3 Muut jarrut

01.12.1957 tai sen jälkeen käyttöön otetut auton perävaunut pl. jarruttomat
- tulee olla "katastrofijarru", joka aiheuttaa itsetoimivan jarrituksen kytkennän
pettäessä, MaA Tpp 40 §, 392/57

01.01.1975 VAK-säiliöperävaunussa tulee olla siirtelyventtiili, KTM 387/74 42 §.

01.01.1989 tai sen jälkeen käyttöön otetut ajoneuvot

- paineilmajarruin varustetussa M3- luokan autossa, jonka kokonaismassa yli 12 tonnia
- ja paineilmajarruin varustetussa linja-autossa tulee olla varajarru. LMp 631/90 54 §
- paineilmajarruin varustetussa perävaunussa, jonka kokonaismassa on vähintään 6 tonnia, tulee olla siirtelyventtiili, LMp 631/90 62 §.

Autoon saa asentaa apujarrun (hydrodynaamisen tai sähkömagneettisen ajohidastimen, pakokaasujarrun tai sähköisesti ohjatun erityisen venttiilin, jolla käytetään pyöräjarruja) vain auton valmistajan luvalla, LMp 631/92 56 §.

Perävaunuun saa asentaa apujarrun vain katsastustoimipaikan luvalla. LMp 631/90 67 §.