



OULUN YLIOPISTO  
UNIVERSITY of OULU

KONETEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA

**Raskaan kaluston paineilmajarrut**

Terho Tuohineva

**KANDIDAATINTYÖ**

**2016**

Ohjaaja: M.H

# TIIVISTELMÄ

Raskaan kaluston paineilmajarrut

Terho Tuohineva

Oulun yliopisto, Konetekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2016, 37 s

Työn ohjaaja: Mauri Haataja

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on antaa selkeä kuva raskaassa kalustossa käytettävistä paineilmajarruista sekä niihin kohdistuvista tärkeimmistä vaatimuksista. Työssä on käytetty lähdeaineistona internetsivuja sekä aiheeseen liittyvää lähdekirjallisuutta.

*Asiasanat: Paineilmajarrut, raskas kalusto, ajoneuvotekniikka*

## **ABSTRACT**

The air brake system in the heavy road-vehicle

Terho Tuohineva

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2016, 37 p

Supervisor: Mauri Haataja

The purpose of this Bachelor's work is to give a clear picture of the compressed air brake systems to be used in heavy commercial road-vehicles as well as the major requirements of this kind of brake systems. Both internet sites and literature have been used as source material for this study.

*Keywords: compressed air brake system, heavy-duty road vehicles, automotive engineering*

## **ALKUSANAT**

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on antaa lukijalle selkeä kuva nykypäivänä käytettävistä raskaan kaluston paineilmajarruista sekä niihin kohdistuvista vaatimuksista. Työhön olen käyttänyt tietolähteinä internetsivuja, ajoneuvolainsäädäntöjä sekä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Työ on kirjoitettu Oulun yliopiston konetekniikan osaston kirjoitusohjeiden mukaan.

Kiitän ohjaajaani professori Mauri Haatajaa työhön antamista neuvoista sekä työn tarkastamisesta.

Oulu, 12.12.2016

Terho Tuohineva

# SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	5
2 Paineilmakäyttöinen jarrujärjestelmä.....	6
2.1 Paineilmapiiri .....	7
2.2 Paineilmakompressori .....	9
2.2.1 Paineensäädin .....	11
2.2.2 Ilmankuivain .....	12
2.3 Nelipiiri-suojaventtiili .....	14
2.4 Paineilmasäiliö .....	15
2.5 Ohjausventtiilit .....	15
2.6 Kuormantunteva jarruvoimansäädin .....	18
2.7 Jarrusylinteri.....	20
2.8 Pyöräjarrurakenteet .....	22
2.8.1 Levyjarrut .....	22
2.8.2 Rumpujarrut.....	24
3 Perävaunun jarrut .....	26
3.1 Toimintatapa .....	26
3.2 Perävaunun jarrujen komponentit .....	27
4 Sähköohjattu jarrujärjestelmä.....	31
4.1 Toimintaperiaate .....	31
4.2 Sähköisen jarrujärjestelmän komponentit .....	33
5 Yhteenvedo .....	35
6 LÄHDELUETTELO.....	36

## 1 JOHDANTO

Tässä kandidaatintyössä perehdytään raskaan kaluston jarrujärjestelmiin, erityisesti paineilmajarruihin. Kiinnostuin aiheesta, sillä paineilmajarrut ovat hyvin vanha keksintö, yli 100 vuotta vanha, ja siitä huolimatta ne ovat edelleen raskaan kaluston parissa ylivoimaisesti paras ratkaisu vastaamaan tiukkoja lainsäädäntöjä.

Työssä esitellään paineilmajarrujen historiaa, jarruihin kohdistuvia vaatimuksia sekä jarrujen yksityiskohtainen toiminta. Työn luettua lukijalla pitäisi olla selkeä kuva siitä, miten raskaassa kalustossa käytettävät paineilmajarrut toimivat

Työhön olen käyttänyt lähdeaineistona suurimmaksi osaksi luotettavaksi todettua aineistoa, kuten ajoneuvokirjallisuutta, sekä ajoneuvolainsäädäntöjä. Myös nykypäivänä toimivien paineilmajarrujen valmistajilta saatavissa olevaa tietoa olen käyttänyt hyödyksi. Lähdeaineisto oli suurimmaksi osaksi joko englannin- tai saksan-kielistä.

## 2 PAINEILMAKÄYTTÖINEN JARRUJÄRJESTELMÄ

Nykyään lähes kaikki raskaan kaluston ajoneuvot on varustettu paineilmakäyttöisillä jarruilla. (Becker et al. 1998: 82) Paineilmajarrut otettiin ensimmäisenä käyttöön rautatieliikenteessä, jo vuonna 1872. Tämän jälkeen ne todettiin toimintavarmiksi, ja 1900-luvun alkupuolella ne tulivat käyttöön myös raskaan ajoneuvoliikenteen parissa. Vuonna 1996 tuotiin markkinoille sähköistä ohjausta paineilmaohjauksen rinnalle. (www.europeanbrakingsystems.co.uk)

Paineilmakäyttöisessä jarrujärjestelmässä pyöräjarrujen kitkaelementtien kiristämiseen vaadittava voima tuotetaan paineilmalla. Vaadittava paineilma tuotetaan paineilmakompressorilla, joka saa käyttövoimansa ajoneuvon moottorin kampiakselilta kiilahihnan välityksellä. Kuljettajan fyysistä voimaa vaaditaan vain käyttöjarruventtiilin ja seisontajarruventtiilin ohjaamiseen joko kädellä taikka jalalla. (Klug.H.-P 1993: 14-19) Paineilmakäyttöinen jarrujärjestelmä käsittää kolme jarrutussysteemiä; käyttöjarrun, seisontajarrun ja toissijaisen jarrujärjestelmän, jota voidaan sanoa myös hätäjarruksi. (Becker et al. 1998: 88) Nämä kolme eri jarrujärjestelmää on määrätty UNECE:n lainsäädännössä 13. säännöksessä.

*Käyttöjarru*, paremmin tunnettu nimellä jalkajarru, on tarkoitettu hidastamaan ajoneuvon nopeutta, pitämään ajoneuvon nopeus alamäessä vakiona ja tarvittaessa pysäyttämään ajoneuvon liike kokonaan. Käyttöjarrua käytetään ajoneuvon normaalissa ajotilanteessa kuljettajan toimesta jarrupolkimen avulla. Käyttöjarru on portaaton ja vaikuttaa kaikkiin ajoneuvon renkaihin. Raskaassa kalustossa yleisesti käytetyssä kaksipiirisessä jarrujärjestelmässä on kummallekin, etu- ja taka-akseleille, rakennettu oma erillinen, toisistaan riippumaton jarrupiiri. Tapauksessa, kun toinen jarrupiiri jostain syystä rikkoontuu, toinen vahingoittumaton jarrupiiri säilyy toimintakuntoisena. Tällä ehyeksi jääneellä jarrupiirillä voidaan vielä saavuttaa riittävä jarrutusteho, jotta se voi toimia hätäjarruna. (Becker et al. 1998: 88)

*Hätäjarrujärjestelmällä* täytyy käyttöjarrun rikkoontuessa kyetä hidastamaan ajoneuvon vauhtia sekä pysäyttämään se kokonaan, tosin sille riittää matalampi jarrutushidastuvuus kuin käyttöjarrulla. Hätäjarrujärjestelmä ei tarvitse omaa erillistä riippumatonta jarrupiiriä, vaan hätäjarruksi luetaan joko vahingoittumaton piiri kaksipiirisestä jarrujärjestelmästä taikka seisontajarrun jarrupiiri. (Becker et al. 1998: 88)

*Seisontajarrun*, tunnetaan myös käsijarruna, tehtävä on pitää ajoneuvo paikoillaan, myös kaltevalla alustalla, ja silloin, kun kuljettaja on poissa ohjaamosta. Turvallisuussyistä seisontajarrun täytyy toimia myös tilanteessa, kun paineilman tuotto keskeytyy. Tämä voidaan toteuttaa joko mekaanisella jarrusylintereiden ohjauksella ohjaamosta käsin taikka jousipuristeisilla käsijarrusylintereillä, jotka ovat mekaanisesti yhdistetty rengasjarruihin, ja näin ollen alkavat jarruttaa automaattisesti, kun paineilma piiristä katoaa. Käsijarrua tulee voida käyttää ohjaamosta käsin ja se vaikuttaa yhdelle tai useammalle akselille. (Becker et al. 1998: 89)

## **2.1 Paineilmapiiri**

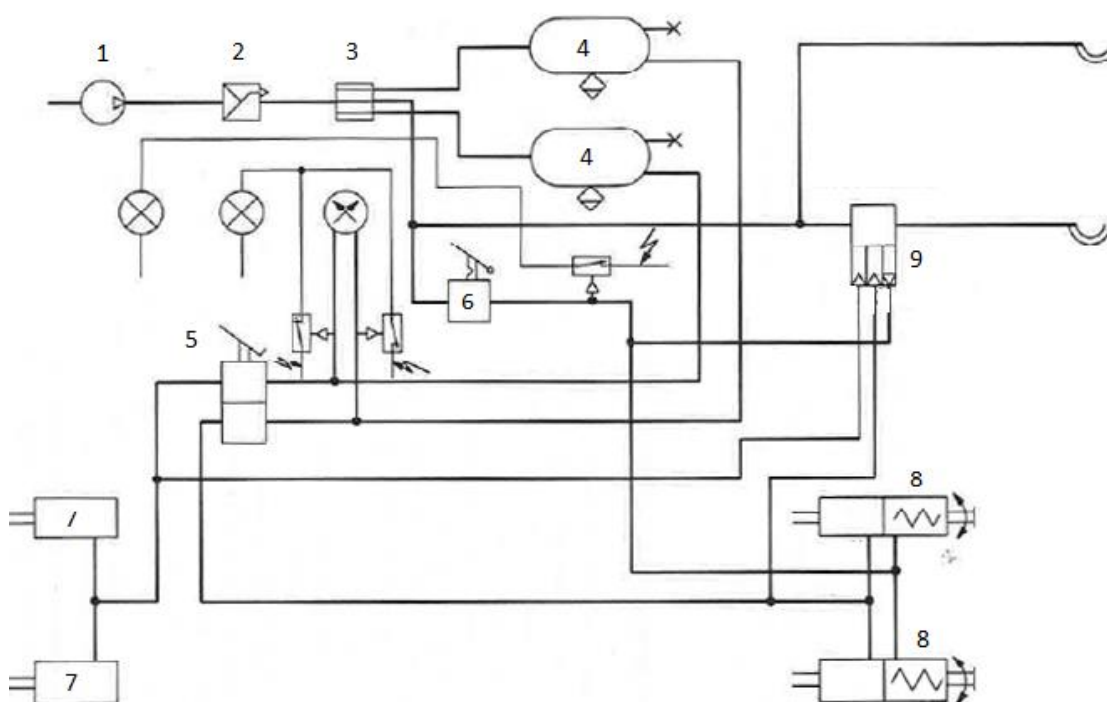
Kuvassa 1 on esitetty kaksi-akselisen vetoauton kaksipiirisen jarrupiirin havainnekuva sekä vaadittavat elementit. Kyseessä on täysin pneumaattinen järjestelmä, eli paineilmatoiminen, jossa kaikkien toimilaitteiden ohjaus tapahtuu paineilmaa hyväksikäyttäen. Paineilmalla venttiilejä ohjattaessa, etenkin pitkillä ajoneuvoyhdistelmillä, viive jarrupolkimen ja jarrujen välillä voi olla kohtalaisen suuri. Jarrujen vastaavuutta jarrupolkimeen voidaan nopeuttaa erilaisin releventtiilein, jolloin käyttöjarruventtiilin kautta johdetaan vain ohjauspaine ja varsinainen käyttöpaine saadaan mahdollisimman lähelle pyöräjarruja. Näin voidaan vähentää viiveaikaa. (Fitch 1993: 244)

Jarrutusviiveen suuruus on määrätty lainsäädännöissä, ja muun muassa liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on määrännyt Suomessa raskaan kaluston katsastusohjeen jarruviiveille. Sen mukaan kytkentäviive vetoautossa saa olla korkeintaan 0,8 sekuntia,



eli aika, minkä sisällä jarrutuspainetta ylittää 75 % maksimipaineesta. Perävaunun kytkeväviive on suurempi, 0,8 sekuntia + ohjausjohdon kytkeväviive, joka saa olla maksimissaan 0,6 sekuntia. Vapautusviiveillekin on määritetty aika, vetoautossa 1,0 sekuntia, jonka sisällä jarrutuspainetta täytyy laskea 10 %:iin maksimipaineesta. Perävaunun vapautusviive on vastaavasti 1,8 sekuntia.(www.trafi.fi)

Kuvasta 1 havaitaan, että paineilmasäiliöistä, tässä mallissa kaksi kappaletta, etu- ja taka-akselille omat säiliöt, lähtee paineilmalinjat suoraan käyttöjarruventtiilille. Jarrupoljinta painettaessa paineilmaa siirtyy käyttöjarruventtiiliin läpi jarrusylinterille, jotka kiristävät kitkaelementit aiheuttaen jarrutustapahtuman. Taka-akseli on varustettu jousipuristeisella seisontajarrulla, jossa jarrut pidetään vapautettuina paineilmailla, joka puristaa jousen kasaan. Kun seisontajarru kytketään päälle, paineilma purkautuu seisontajarruventtiiliin kautta pois sylinteristä ja jousi kiristää pyöräjarrun kitkaelementit.(Fitch 1993: 241–253)



Kuva 1 Kaksiakselisen vetoauton pneumaattisesti toimiva kaksipiirinen paineilmajarrupiiri

1 paineilmakompressori, 2 paineensäädin sekä ilmankuivain, 3 nelipiirisuojaventtiili, 4 paineilmasäiliö, 5 käyttöjarruventtiili, 6 seisontajarruventtiili, 7 käyttöjarrusylinteri, 8 yhdistetty käyttö- ja seisontajarrusylinteri, 9 perävaunun säätöventtiili (mukaillen Klug.H-P 1993: 114)

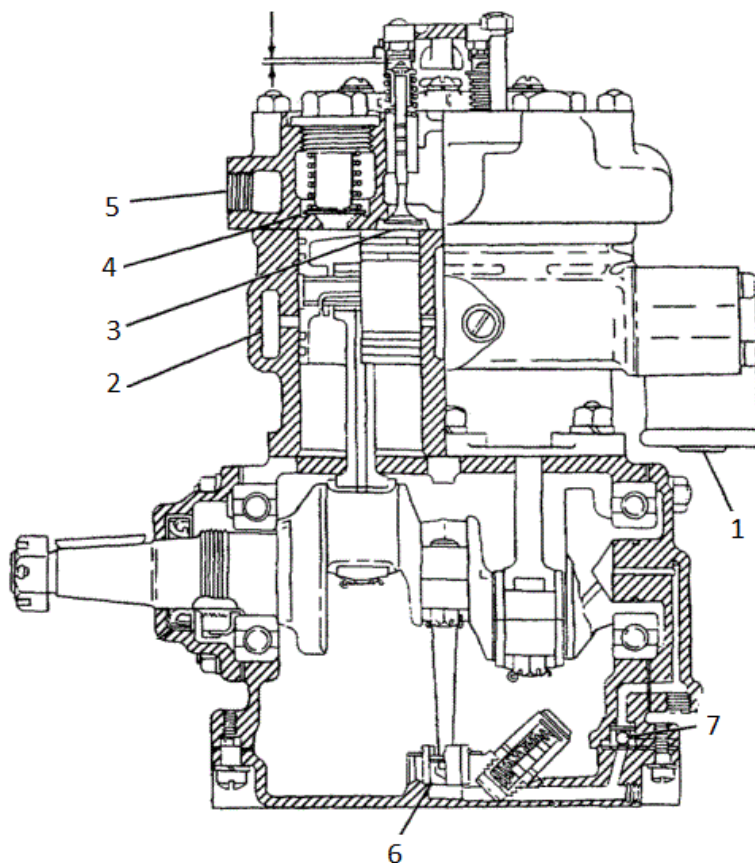
## 2.2 Paineilmakompressori

Paineilmakäyttöisen jarrujärjestelmän lähtökohtana on paineilmakompressori, jolla tuotetaan piirin tarvitsema paineilma. Samalla kompressorilla tuotetaan paineilmaa myös jousitukselle sekä muille paineilmaa tarvitseville toimilaitteille. Ajoneuvoihin kohdistuvat vaatimukset, energiatehokkuus ja päästörajat, tiukentuvat jatkuvasti, ja tämän vuoksi myös kompressorin valinnassa on huomioitava riittävän tuottokyvyn lisäksi myös energiatehokkuus. ([www.truckinginfo.com](http://www.truckinginfo.com))

Paineilmakompressorin valintaan liittyen ovat olemassa olevat lainsäädännöt. Yksi kompressorin tärkeimmän ominaisuuden, tehon määrittäminen kyseisen lainsäädännön avulla: paineen paineilmasäiliöissä täytyy saavuttaa valmistajan ilmoittama normaali käyttöpaine normaalista ilmanpaineesta 3 minuutin sisällä siitä, kun kompressorilla aletaan tuottamaan paineilmaa, kun perävaunu ei ole kytkettynä. Vastaavasti perävaunun ollessa kytkettynä, säiliöiden täyttöaika saa maksimissaan olla 9 minuuttia. ([www.unece.org](http://www.unece.org): 94)

Raskaassa kalustossa käytetyin kompressori on mäntäkompressori. Kompressori saa käyttövoimansa ajoneuvon moottorilta, jossa kemiallinen energia muutetaan mekaaniseen muotoon. Kompressoria käytetään joko suoraan hihnan välityksellä ajoneuvon moottorin kampiakselilta, taikka hammasvaihteiston välityksellä.(Klug.H-P 1993: 26-27) Tällöin paineilmaa ei tuoteta muulloin kuin ajoneuvon ollessa käynnissä. Vaadittava, maksimissaan noin 8-12 baarin paine, saadaan tuotettua yksi-sylinterisellä kompressorilla, mutta käytössä on myös kaksi-sylinterisiä kompressoreita. (Reif.K et al. 2011: 787–788)

Kuvassa 2 havaitaan kompressorin kampiakselin vasemmassa päässä oleva kartiosovitus kiilahihnarullalle. Tähän kytketään ajoneuvon moottorilta kiilahihna, jolla kompressoria käytetään. Kompressorin vaatii voitelun, joka toteutetaan joko omalla öljypumpulla taikka ajoneuvon moottorin öljyvoitelun avulla. Kompressorin toimiessa muodostuu myös lämpöä, jonka vuoksi täytyy huomioida riittävä jäähdytys. Ilmajäähdytteinen kompressorin saa jäähdytysilmansa ohi virtaavasta ilmasta, esimerkiksi ajoviimasta, kun taas nestejäähdytteiseen kompressorin kytketään nesteliitäntä ajoneuvon moottorin jäähdytysnestejärjestelmästä. Tässä mallissa jäähdytysneste-liitäntä on vasemmassa laidassa. (Klug, H.-P 1993: 26-27)



Kuva 2 Kaksisynterinen paineilmakompressorin

1 ilmansuodatin, 2 imusarja, sisään tuleva ilma, 3 pakoventtiili, paineistettu ilma, 4 poistoventtiili, 5 vesiliitäntä, 6 öljypumppu, 7 öljypumpun tarkistusventtiili (mukaiillen [www.free-ed.net](http://www.free-ed.net))

Kompressorin täytyy olla riittävän tehokas, jotta se saa helposti tuotettua riittävän paineen kaikille toimilaitteille. Sen täytyy myös kyetä täyttämään pitkään seisseen ajoneuvon tyhjäksi vuotanut paineilmapiiri kohtuullisen nopeasti, jotta kyseinen ajoneuvo pääsee liikenteeseen. Toisaalta, kun paineilmapiiri on kerran saatu täyteen, ei sen jälkeen enää kompressorilta vaadita niin suurta tehoa paineen ylläpitämiseen. Kompressorin tuottoa täytyy siis kyetä säättämään, turhan hukkakäytön ja sitä kautta polttoaineenkulutuksen kasvamisen hillitsemiseksi. ([www.truckinginfo.com](http://www.truckinginfo.com))

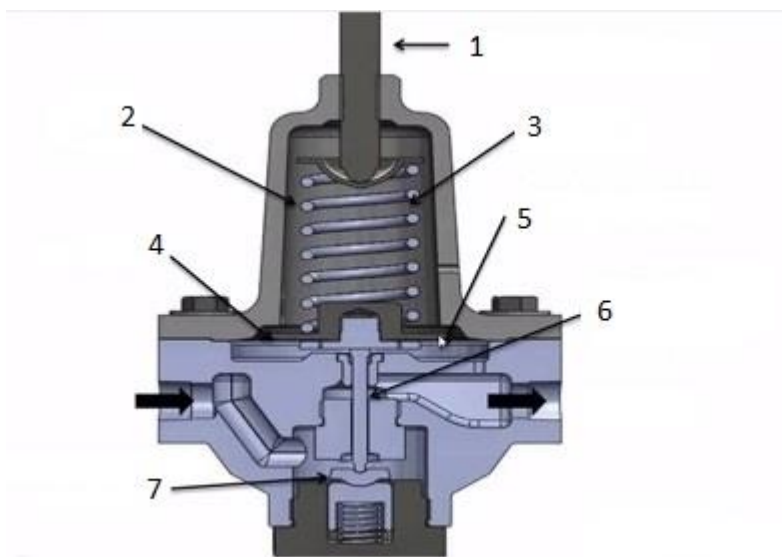
Tähän ongelmaan mäntäkompressoreille on jo olemassa ratkaisu: ESS (Energy saving system), energian säästöjärjestelmä. ESS toimii siten, että sillä voidaan ohjata kompressorin sylinterin imu- ja painepuolella kompressorin tuottamaa painetta. Jos paineilmapiiri on tarpeeksi täynnä, ESS voi aukaista sylinterin imuventtiilin pysyvästi siten, että kompressorissa ilma sukkeloi imu- ja painepuolelta sisään ja samaa reittiä takaisin ulos. Tämän seurauksena kompressorin pyörittäminen ei vaadi juurikaan energiaa, ja ajomoottorin polttoaineenkulutus pienenee. Lisäksi, kun tuotettavaa painetta ohjataan paineilmapiirin alkupäästä, ei piiri joudu suurten painevaihteluiden alle, ja muun muassa paineensäätimen kestoikä kasvaa. ([www.truckinginfo.com](http://www.truckinginfo.com))

### **2.2.1 Paineensäädin**

Paineensäätimellä säädetään kompressorilta tulevan ilman painetta niin, että jarrupiirin paine pysyy haluttujen rajojen sisäpuolella. Kuvassa 3 on esitetty pneumaattisesti toimiva paineensäädin. Tällainen säädin kykenee yksinään pitämään jarrupiirissä olevan paineen haluttujen rajojen sisäpuolella, kun kompressorilla tuotetaan riittävästi painetta. ([www.automationforum.co](http://www.automationforum.co))

Kun piirin paine on säädetyn arvon alapuolella, ja kompressorilla tuotetaan paineistettua ilmaa säätimen vasempaan sisääntuloon, ilma pääsee virtaamaan suoraan ulostuloon. Kun ulostulon paine kasvaa säädetyn arvon ylärajaan, paine kohdistuu kalvoon, joka edelleen

työntää joustaa ylöspäin ja samalla sulkee palautusmekanismilla ilman pääsyn kompressorilta jarrupiiriin. Ulostulevan ilman painetta voidaan säätää joustaa kiristämällä tai löystyttämällä säätöruuvia pyörittämällä. (Reif.K et al. 2011: 788)



Kuva 3 Paineensäädin

1 säätöruuvi, 2 jousi, 3 ohjain, 4 kalvo, 5 painesensori, 6 palautusmekanismi, 7 venttiilitulppa (mukaiillen [www.automationforum.co/](http://www.automationforum.co/))

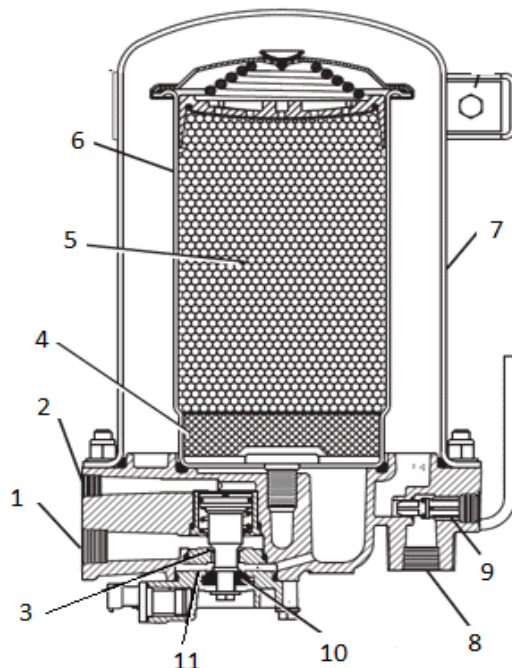
### 2.2.2 Ilmankuivain

Ilmankuivaimella puhdistetaan ja kuivataan paineistettu ilma, jotta estetään jarrupiirin korroosio sekä jäätyminen talvisissa olosuhteissa. Ilmankuivain käsittää öljynerottimen, ilmankuivaimen, kotelot sekä vaadittavan ohjauksen ja puhdistusilmasäiliön, jotta suodatintäyttö voidaan puhdistaa. (Reif.K et al. 2011: 788)

Kuvassa 4 on esitetty Bendix:n valmistama AD-9 – ilmankuivain, josta käy ilmi sen toimintaperiaate. Kun ohjausventtiili on kiinni, pääsee paineistettu ilma kompressorilta suodatinkoteloon. Ensimmäisenä ilma ohjataan öljynerottimen läpi, jossa ilmasta suodattuu öljy sekä epäpuhtaudet ja osa vedestä pois. Tämän jälkeen kostea ilma menee

suodatinrakeiden läpi, jotka kykenevät erottamaan jopa 95 % ilmassa olevasta vedestä pois. Lopuksi puhdistettu ja kuivattu ilma pääsee kotelon ja suodatinkotelon väliseen tilaan ja sitä kautta sulkuventtiilin kautta edelleen paineilmasäiliöihin ja puhdistusilmasäiliöön. (www.anythingtruck.com)

Öljynsuodattimeen ja suodatinrakeisiin kertyneet epäpuhtaudet ja nesteet täytyy puhdistaa aika-ajoin. Kun paineensäädin antaa paineilmakompressorille tiedon, että paine on riittävän korkea, kompressorin lakkaa tuottamasta painetta piiriin. Tämän jälkeen ilmankuivaimessa oleva ohjausventtiili kytkeytyy toiseen asentoon ohjausporttiin tulevan ohjauksen vuoksi siten, että ilman sisääntuloportti sulkeutuu ja poistohana aukeaa. Sen jälkeen suodattimiin johdetaan puhdistusilmasäiliöstä puhdasta ja kuivaa ilmaa, joka vie epäpuhtaudet sekä veden poistohanan kautta ulkoilmaan. Ilman kulkusuunta on tällöin päinvastainen verrattuna ilman puhdistusprosessiin. (www.anythingtruck.com)



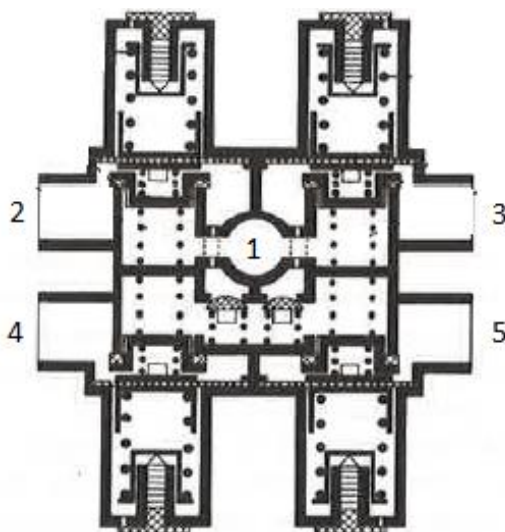
Kuva 4 Ilmankuivain

1 ilman sisääntulo, 2 ohjausportti, 3 ohjausventtiili, 4 öljynerotin, 5 suodatinrakeet, 6 suodatinkotelo, 7 kotelo, 8 ilman lähtö, 9 sulkuventtiili, 10 tyhjennysventtiili, 11 poistohana (mukaillen www.anythingtruck.com)

### 2.3 Nelipiiri-suojaventtiili

Kompressorilla tuotettu paineilma täytyy jakaa useisiin erillisiin piireihin, jotka täytyy voida turvallisesti erottaa toisistaan. Tämän vuoksi normaalisti käytetään erityistä nelipiiri-suojaventtiiliä, jolla tuotettu paineilma jaetaan erillisiin jarru- ja lisälaittepiireihin. Nelipiirisuojaventtiilissä on yksi sisääntuloliitântä ja neljä lähtöliitântää, eli paine jaetaan neljään erilliseen piiriin. Venttiili on suunniteltu rakenteeltaan siten, että piirit täyttyvät vuoron perään ennalta määrättyyn paineeseen. Lisäksi, jos yksi neljästä paineilmapiiristä rikkoontuu, muissa piireissä paine pysyy vielä minimipaineen yläpuolella. (Reif.K et al. 2011: 788–790)

Kuvassa 5 on esitetty kalvotoiminen nelipiirisuojaventtiili, joka tarkoittaa venttiiliin tulevien ja lähtevien porttien erottamista toisistaan paineenvälittäjäkalvon avulla. Venttiilejä on myös mäntätoimisia, jolloin portit on erotettu toisistaan männän avulla. Kalvotoimisella venttiilillä on kuitenkin parempi resistanssi ulkoista likaantumista vastaan, jonka ansiosta saavutetaan luotettavampi tiiveys verrattuna mäntätoimiseen venttiiliin. (Klug.H-.P 1993: 147)



Kuva 5 Nelipiirisuojaventtiili

1 ilman sisääntuloportti, 2.-5. lähtöportti (mukaillen Klug.H-.P 1993: 147)

## 2.4 Paineilmasäiliö

Raskaan kaluston jarrujen käytön vaatima energia toimitetaan ja varastoidaan riittävän suuriin paineilmasäiliöihin. Sekä vetoautossa että mahdollisessa perävaunussa on omat paineilmasäiliönsä, jotka täytetään samalla paineilmakompressorilla. Säiliöiden täytyy olla yhteistilavuudeltaan niin suuret, että niihin varastoidulla ilmalla voidaan suorittaa kahdeksan täyden voimakkuuden jarrutusta, joiden jälkeen paine säiliöissä täytyisi riittää vielä hätäjarrujen kytkemiseen päälle. Jarrutukset täytyy voida suorittaa niin, että säiliöt ovat testin alussa 850 kPa:n paineessa, eikä testin aikana tuoda säiliöihin uutta paineilmaa. Myös vetoauton perään kytketyllä perävaunulla täytyy kyetä tekemään kahdeksan täyttä jarrutusta, jonka jälkeen paineen pitäisi olla vähintään puolet säiliöissä vallinneesta paineesta ennen ensimmäisen jarrutustapahtuman alkua. Myös tässä tapauksessa säiliöitä ei saa täyttää testin aikana. (www.unece.org: 92–93)

Piirin jokainen paineilmasäiliö on varustettu tyhjennysventtiilillä mahdollisen säiliöön kertyneen veden vuoksi. Lisäksi kuvan 1 piirissä, etu- ja taka-akseleiden säiliöissä molemmissa on takaiskuventtiilit. Tämä mahdollistaa toisen jarrupiirin ainakin osittaisen käytön siinä tapauksessa, jos toinen piireistä rikkoutuu. (Reif.K et al. 2011: 789–790)

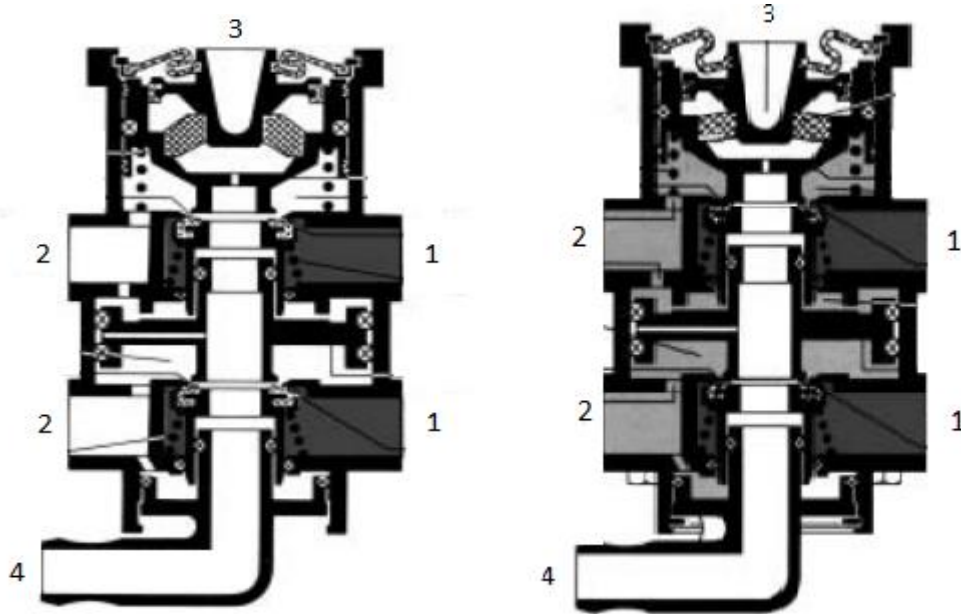
## 2.5 Ohjausventtiilit

Ohjausventtiilit on tarkoitettu toimittamaan paineilmaa, jolla ohjataan jarrujen käyttöä. Venttiilit ovat mekaanisesti ohjattuja, ja niitä säädetään kuljettajan lihasvoimalla. Normaalisti ajoneuvossa on kaksi erillistä jarrujen ohjausventtiiliä; käyttöjarrun ohjausventtiili sekä seisontajarrun ohjausventtiili. Kansankielisiä nimiä näille ovat jarrupoljin ja käsijarruvipu. Käyttöjarrun ohjausventtiiliä täytyy kyetä käyttämään ajon aikana niin, että molemmat kädet ovat ohjauspyörässä, kun taas seisontajarrun venttiiliä käytettäessä ainakin toista kättä voidaan pitää ohjauspyörässä. (www.unece.org: 16–17)



*Käyttöjarrun ohjausventtiilissä on integroituna kaksi erillistä piiriä, etu- ja taka-akselin jarrupiirit. Piirit on erotettu ja riippumattomia toisistaan, mikä mahdollistaa toisella piirillä jarruttamisen, jos toinen piiri rikkoontuu. Jarrupoljin toimii siten, että ennen venttiiliä ja venttiilin jälkeen on tietty paine-ero. Jarrupoljinta painaessa paine kasvaa jarrupiirissä. Mitä enemmän poljinta painetaan, sitä suuremmaksi paine kasvaa jarrupiireissä ja sitä kautta myös jarrukammioissa, joka aiheuttaa itse jarrutustapahtuman. Vastaavasti jarrupoljinta ylöspäin päästettäessä paine pienenee jarrupiirissä ja jarrutusteho pienenee. Jarrupiirin paine sekä venttiilin palautusjouset pyrkivät työntämään poljinta ylöspäin, joka antaa polkimeen hieman niin sanottua ”vastetta”, eli antaa kuljettajalle tuntumaa jarrutuksen voimakkuudesta.([www.wabco-auto.com](http://www.wabco-auto.com))*

Kuvassa 6 on esitetty kaksipiirinen käyttöjarruventtiili jarruttamattomassa sekä osittain jarruttavassa asennossa. Jarrupoljinta painaessa kuljettajan jalan voima kohdistuu vastimeen ja sitä kautta mäntään, joka liikkuu alaspäin aukaisten samalla venttiiliä. Tämän jälkeen paineilma virtaa sisääntuloportista lähtöporttiin ja edelleen jarrusylintereille. Kun jarrupoljin vapautetaan, vastin nousee ylöspäin palautusjousten avulla ja mäntä liikkuu ylöspäin sulkien sisääntuloportin ja samaan aikaan yhdistää lähtöportin poistoporttiin, josta ilma virtaa ulos.([www.wabco-auto.com](http://www.wabco-auto.com))



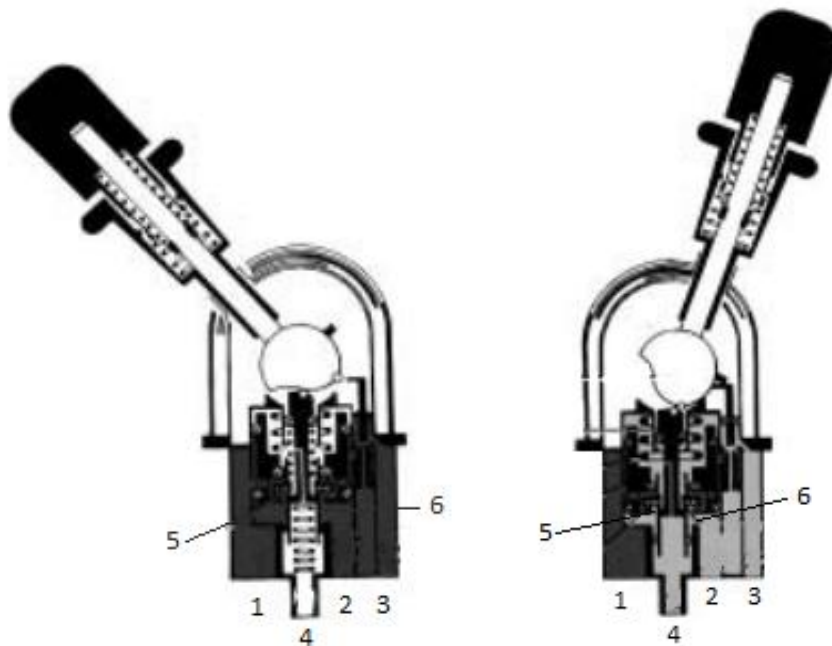
Kuva 6 Kaksipiirinen käyttöjarruventtiili, vasemmalla vapaa-asennossa ja oikealla osittainen jarrutustapahtuma

1 sisääntuloportti, 2 lähtöportti, 3 jarrupolkimen vastin, 4 poistoportti (mukaillen [www.wabco-auto.com](http://www.wabco-auto.com))

*Seisontajarrun ohjausventtiili* toimii päinvastoin kuin käyttöjarrun ohjausventtiili, eli se päästää paineilman virtaamaan pois jousitoimisesta jarrukammioista. Seisontajarrun ohjausvipu on porrastetusti toimiva, ja sen täytyy olla lukittavissa kiinni- ja auki-asentoon pysyvästi ja turvallisesti siten, että jarrut pysyvät lukittuina myös silloin, kun kuljettaja ei istu ohjaamossa. Kun käsijarru ei ole kytkettynä päälle, ei ennen ja jälkeen ohjausventtiiliä ole paine-eroa ollenkaan. Kun käsijarru kytketään päälle, seisontajarrun piiristä ja samalla seisontajarrun jarrukammioista paine pääsee virtaamaan pois, paine-ero ennen ja jälkeen ohjausventtiilin kasvaa, ja jousipuristeinen seisontajarru kytkeytyy päälle. ([www.wabco-auto.com](http://www.wabco-auto.com))

Kuvassa 7 on esitetty seisontajarruventtiili kytkettynä ja vapautettuna. Kuvasta havaitaan paineen ennen ja jälkeen venttiilin olevan yhtä suuri seisontajarrun ollessa vapautettuna. Kun seisontajarru kytketään päälle, sisääntuloportti sulkeutuu ja ulostuloportti avautuu,

jolloin paine purkautuu pois piireistä 2 ja 3, ja sitä kautta myös seisontajarrusylintereistä.  
(www.wabco-auto.com)



Kuva 7 Seisontajarruventtiili, vasemmalla ajoasennossa ja oikealla jarruttavassa asennossa.

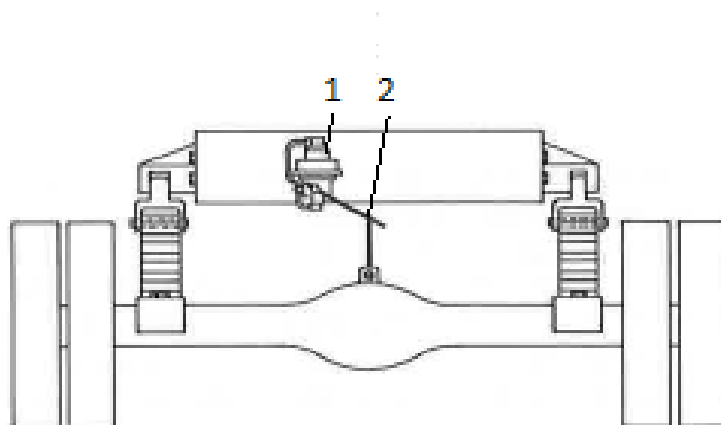
1 sisääntuloportti, 2 portti vetoauton seisontajarrusylinterille, 3 portti perävaunun säätöventtiilille, 4 poistoportti, 5 sisääntuloventtiili, 6 ulostuloventtiili

## 2.6 Kuormantunteva jarruvoimansäädin

Automaattinen kuormantunteva jarruvoimansäädin (ALB) on ehdottoman tärkeä elementti raskaan kaluston pneumaattisissa jarrujärjestelmissä. Säätimillä ohjataan jokaiselle akselille toimitettavaa jarrusylintereiden käyttöpainetta. Painetta säädetään akselin kuorman mukaan; suuremmalla kuormituksella olevaa akselia jarrutetaan voimakkaammin kuin pienellä kuormituksella olevaa akselia. Voimakkaasti jarruttaessa renkaat lukkiutuvat, ja jos akselien kuormitukset eivät ole tasapainossa, akselit lukkiutuvat eri aikoihin ja ajoneuvon hallittavuus menetetään. (Reif.K et al. 2011: 792)

Säädin sijoitetaan käyttöjarrun ohjausventtiiliin ja jarrusylinterin väliin. Säädin ohjaa jarruille toimitettavaa painetta voimansiirtokalvon avulla. Kyseisen kalvon voimansiirron välityspinta-ala on säädettävissä, ja tätä pinta-alaa säädetään akselien kuormitusten mukaan. (Reif.K et al. 2011: 792)

Ajoneuvon jousituksesta riippuu, millä tavalla säädintä ohjataan. Mekaanisella jousituksella, yleensä lehtijousilla, varustetuissa ajoneuvoissa käytössä on mekaanisesti ohjattu säädin, kuten kuvassa 8. Säädintä ohjataan vivulla, joka on yhdistetty kyseisen jarruttavan akselin ja rungon väliin siten, että akselin ja rungon välisen mitan muuttuessa kuorman mukaan, vipu säätelee venttiiliin vastaamaan kyseistä kuormaa. Ilmajousituksella varustetuissa ajoneuvoissa akselin ja rungon välinen mitta säilyy vakiona. Erona kuormatulle ja kuormamattomalle ajoneuvolla on vain ilmanpaine ilmajousipalkeissa. Tällaisessa tapauksessa käytetään myös mekaanisesti ohjattua ALB-säädintä, mutta ohjaus tapahtuu paineilmasylintereillä, joissa vallitsee jousipalkeiden paine. Suuremmalla kuormalla jousipalkeissa on suurempi paine, jonka johdosta paineilmasylinterin varsi liikkuu ja samalla säätää venttiiliä päästämään enemmän paineilmaa jarruille. (Klug.H.-P 1993: 198)



Kuva 8 Mekaanisesti kytketty ALB-venttiili

1. ALB-venttiili, 2. säätövipu (mukaillen Klug.H.-P 1993: 198)

## 2.7 Jarrusylinteri

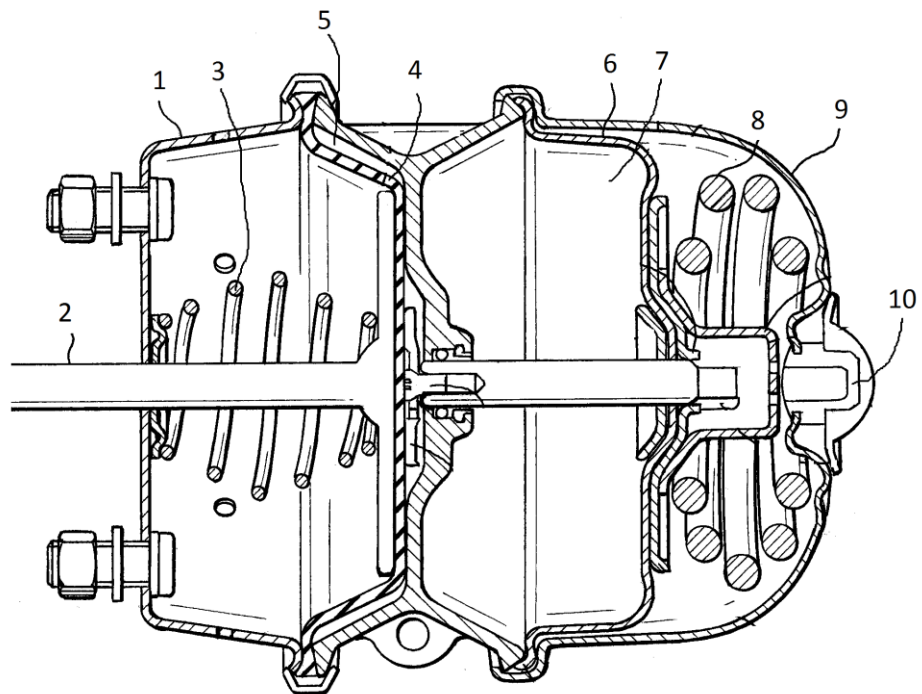
Jarrusylinterin tehtävä on välittää jarrupaloille ja sitä kautta jarrulevyille vaadittava voima, joka vastaa jarrupolkimen asentoa. Jarrusylinterit voidaan jaotella kahteen toimintatavaltaan erilaiseen sylinteriin; mäntäsylinteriin sekä kalvotoimiseen sylinteriin. Nykypäivänä raskaassa kalustossa käytetään lähes poikkeuksetta kalvotyypistä sylinteriä, mäntäsylinteri on vanhempaa tekniikkaa. (Klug.H.-P 1993: 47)

Raskaassa kalustossa käytetään akseleilla, jotka on varustettu seisontajarrulla, yhdistettyä jarrusylinteriä, jossa on integroituna seisontajarrun sylinteri sekä käyttöjarrun sylinteri. Jarrusylinterit ovat riippumattomia toisistaan, ja niitä voidaan käyttää myös yhtä aikaa. Kuitenkin, molempien sylintereiden yhtä aikainen käyttäminen voi aiheuttaa jarrumekanismille ylikuormitustilanteen ja osien rikkoontumisen. Tämä estetään erityisellä venttiilillä, joka automaattisesti estää jarrujen yhtä aikaa päälle kytkeytymisen. (Reif.K et al. 2011: 793)

Käyttöjarru ja seisontajarru ovat molemmat kalvosylintereitä, mutta ne toimivat eri tavoin. Käyttöjarrun sylinteri työntyy ulos, kun kammioon johdetaan paineilmaa, ja vastaavasti vetäytyy sisään, kun kammiossa ei ole ylipainetta. Seisontajarru toimii juuri päinvastoin, eli se pysyy vapautettuna ainoastaan silloin, kun jarrukammiossa on ylipaine. Poikkeustilanteessa seisontajarru voidaan vapauttaa ilman paineilmaa erillisestä vapautusruuvista, jolla saadaan jousesta jännitys pois. (Reif.K et al. 2011: 793)

Kuvassa 9 on esitetty jarrusylinterin toimintaperiaate. Kuvassa jarru on vapautettuna ja ajoneuvolla voidaan ajaa. Kun käyttöjarrun jarrupoljinta painetaan, ilmaa pääsee virtaamaan käyttöjarrun ilmatilaan, joka pakottaa kalvon laajenemaan, joka taas pakottaa työntötangon liikkumaan ulospäin. Kun jarrupoljin taas vapautetaan, palautusjousi työntää kalvon alkuperäiseen asentoon paineen laskiessa ilmatilassa. Seisontajarru toimii

siten, että seisontajarrun ilmatilassa on jatkuva ylipaine, joka puristaa jousen kasaan. Kun seisontajarru kytetään päälle, ilma purkautuu ulos ja jousi pakottaa työntötangon siirtymään. Kun seisontajarru taas vapautetaan, ilmaa virtaa takaisin ilmatilaan ja puristaa jousen kasaan. Työntötanko kiinnitetään toisesta päästään jarruvipuun, jolla mekaanisesti jarrutetaan ajoneuvoa joko levyjarruilla taikka rumpujarruilla. (Reif.K et al. 2011: 793)



Kuva 9 Yhdistetty jarrusylinteri seisontajarrulle ja käyttöjarrulle

1 käyttöjarrun kotelo, 2 työntötanko jarruvivulle, 3 palautusjousi, 4 käyttöjarrun kalvo, 5 käyttöjarrun jarrukammio, 6 seisontajarrun kalvo, 7 seisontajarrun jarrukammio, 8 seisontajarrun jousi, 9 seisontajarrun kotelo, 10 vapautusruuvi.(Mukaillen <https://www.uspto.gov/>)

## 2.8 Pyöräjarrurakenteet

Jarruiksi lasketaan osat, joissa tuotetaan ajoneuvon liikkeeseen nähden vastakkaisuuntaista voimaa. Keskitymme nyt rengasjarruihin, joissa ajoneuvon liike-energia muutetaan lämpöenergiaksi kahden ajoneuvon kuuluvan, vastakkaisiin suuntiin liikkuvien osien välisellä kitkavoimalla. Kyseessä oleviin jarrujen osiin kohdistuu suuria termisiä vaatimuksia; jarrujen ei pitäisi olla herkkiä lämpenemään, ja toisaalta lämpenemisen ei pitäisi vaikuttaa negatiivisesti jarrujen toimintaan. Jarruille täytyy huomioida riittävä jäähdytys, kuten ajoviima. Jarrujen kokoa kasvattamalla voidaan hidastaa jarrujen lämpenemistä, mutta vastaavasti ajoneuvon massa lisääntyy. Jarrujen koon kasvattaminen vaikuttaa myös akselikonstruktioon, eikä kokoa voi loputtomasti kasvattaa. (Klug.H.-P 1993: 293)

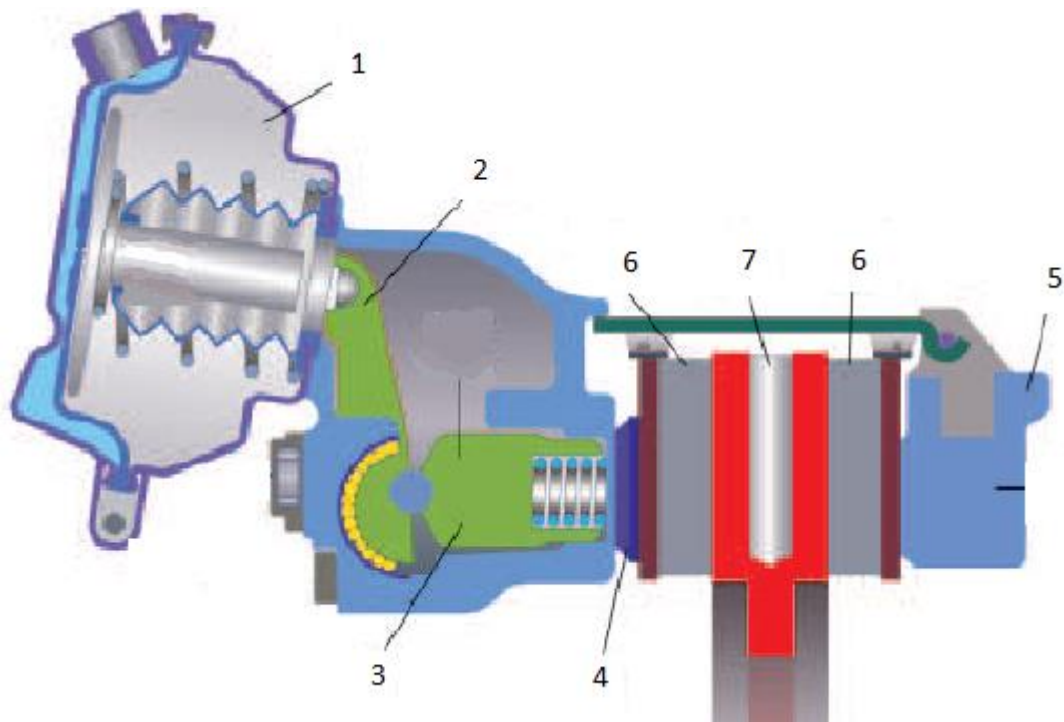
Jarruihin liittyen jokaisella jarrulla on oma sisäinen välityssuhde  $C$ , joka on riippuvainen jarrujen konstruktiosta.  $C$ -arvo lasketaan jarrurummun kehävoiman ja jännitysvoiman suhteesta. Mitä suurempi  $C$ -arvo, sitä pienempi jännitysvoima voi olla, jotta päästään samaan jarrutustehoon kuin pienemmällä  $C$ -arvolla. Vastaavasti mitä pienempi  $C$ -arvo, sitä suurempi on jännitysvoima ja sitä enemmän kitka-arvo vaihtelee jarrupalan ja jarrurummun välillä. Tämä taas aiheuttaa suuria värinöitä ajoneuvon. Toisin sanoen suurempi  $C$ -arvo on pienempää parempi. Jarrukonstruktiot voidaan jakaa toimintatavaltaan kahteen ryhmään, levyjarruihin ja rumpujarruihin. (Klug.H.-P 1993: 293)

### 2.8.1 Levyjarrut

Levyjarrut tulivat yleisesti käyttöön 1990-luvun alkupuolella, ja nykypäivänä Euroopassa lähes kaikki rekisteröity raskas kalusto on varustettu levyjarruilla. (Breuer.B et al 2003: 243) Levyjarruilla on useita hyviä ominaisuuksia, kuten  $C$ -arvon vakaa käyttäytyminen lämpötilavaihteluissa ja jarrutuspinnan kitka-arvon muutoksissa. Levyjarruilla on myös vähäinen jarrutustehon häipyminen ja jarruosien vaihtaminen on suhteellisen helppoa. (Klug.H.-P 1993: 320)

Kuvan 10 mukainen levyjarrurakenne on yleisesti hyväksytty levyjarrusovellus markkinoilla. Tämän tyyppisellä rakenteella saavutetaan hyvä, yli 95 % hyötysuhde, sekä parhaat edellytykset sähköisten jarrujen ja dynaamisten ajonhallintajärjestelmien käyttöön. Käytössä on erikokoisia levyjarruja, ja pienissä levyjarruissa käytetään yhtä sylinteriä kun taas suurimmissa levyjarruissa voidaan käyttää kahtakin jarrusylinteriä. (Breuer.B et al. 2003: 249)

Levyjarrussa jarrulevy on kiinnitetty pyörännapaan ja pyörii kiinteästi renkaan mukana. Kun ajoneuvolla jarrutetaan, jarrusylinterin tanko työntyy ulos ja työntää työntötankoa kohti jarrupalaa epäkeskovivun välityksellä. Työntötanko puristuu paininta vasten, josta jarrutusvoima jakaantuu molemmille jarrupaloille tasaisesti jarrusatulan välityksellä. (Breuer.B et al. 2003: 249-250)



Kuva 10 Levyjarrun ja käyttöjarrun jarrusylinterin kombinaatio

1 käyttöjarrun jarrusylinteri, 2 epäkesko vipuvarsi, 3 työntötanko, 4 painin, 5 jarrusatula, 6 jarrupala, 7 jarrulevy (mukaiillen [www.foundationbrakes.com](http://www.foundationbrakes.com))

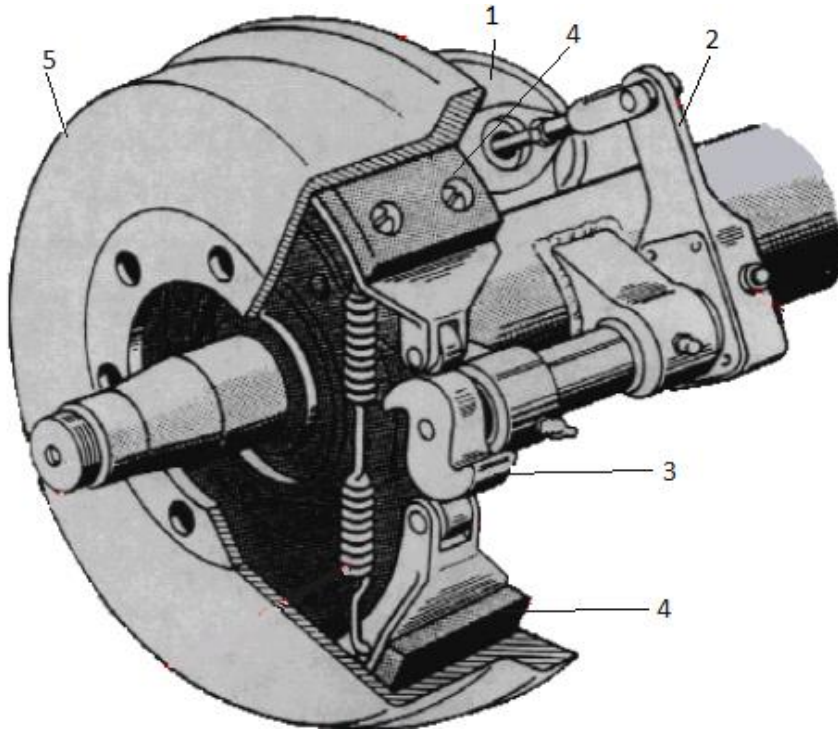


### 2.8.2 Rumpujarrut

Vaikka levyjarruilla on monia ominaisuuksia, mitkä rumpujarruilla ovat huonompia, ei rumpujarruja silti ole vielä korvattu täysin levyjarruilla. Monissa ajoneuvoyhdistelmissä käytetään edelleen rumpujarruja ainakin osalla akseleista, ja erityisesti Yhdysvalloissa rumpujarrut ovat edelleen suuremmassa suosiossa levyjarruihin verrattuna. Rumpujarrujen suurimpana etuna nähdään alhaisemmat elinkaarikustannukset sekä käyttövarmuus. Yhdysvalloissa yleinen käytäntö on, että etuakselistolle asennetaan levyjarrut, mutta taka-akselistolle rumpujarrut, ja levyjarrut ovat kallis lisävaruste. (www.truckinginfo.com)

Rumpujarrujen parissa esiintyy kuitenkin monia haittapuolia. Jarrutuksen aikana jarruosiin varastoitunut lämpöenergia ei pääse suljetun rummun sisältä poistumaan niin tehokkaasti kuin se poistuu avonaisesta levyjarrusta. Rumpujarrun jarrukenkien vaihto on työlästä verrattuna levyjarrujen jarrupalojen vaihtoon, ja jarrukengät täytyy uusia useammin kuin jarrupalat. Lisäksi rumpujarru vaatii toimiakseen enemmän yksittäisiä osia verrattuna levyjarruun, joka aiheuttaa lisää huoltokohteita. Myös Yhdysvalloissa ollaankin siirtymässä koko ajan kiihtyvällä tahdilla rumpujarruista levyjarruihin. (www.truckinginfo.com)

Rumpujarruissa jarruttava kitkavoima tuotetaan jarrurummun sisäpinnalla, jota vasten jarrukengät painautuvat jarrutettaessa. Jarrurumpu on kiinnitetty kiinteästi pyörännapaan ja pyörii renkaan mukana. Rumpujarruja on jaoteltu toimintatavoiltaan eri ryhmiin, mutta raskaassa kalustossa käytetään nykyään useimmiten S-nokkajarrua. (Reif.K et al. 2011: 804) Kuvassa 11 on esitetty rumpujarrun toimintaperiaate. Ajoneuvolla jarrutettaessa jarrutanko työntyy jarrusylinteristä ulos, joka aiheuttaa jarrun säätövivun välityksellä rotaatioliikkeen S-nokkaan. S-nokan kääntyessä jarrukenkien välissä, jarrukengät työntyvät toisistaan kauemmas ja puristuvat jarrurummun sisäpintaa vasten aiheuttaen kitkavoimaa. (Breuer.B et al 2003: 249-250)



Kuva 11 S-nokkarumpujarru

1 Jarrusylinteri, 2 Jarrun säätövipu, 3 S-nokka, 4 Jarrukenkä, 5 Jarrurumpu (mukaiillen  
<http://dnr.louisiana.gov/>)

### 3 PERÄVAUNUN JARRUT

Vetoauton perään kytketyn perävaunun paineilmatoimiset jarrut voidaan toteuttaa monella tapaa. Ennen on käytetty yksi-piiristä järjestelmää, eli perävaunuun kytkettiin vain yksi paineilmaletku vetoautosta. Kuitenkin lainsäädäntö StVZO§41 lause 17 sanoo seuraavaa: Paineilmajarruilla varustetun perävaunun kanssa ajaessa, täytyy perävaunussa sijaitsevan paineilmasäiliön tulla täytetyksi myös siinä tilanteessa, kun käyttöjarruja käytetään. Lause tulee voimaan ajoneuvoissa, jotka ensimmäisen kerran otetaan liikenteeseen, 1.4.1974, muille ajoneuvoille 1.6.1989. Jotta edellä esitetyn lakipykälän ehdot saadaan täytettyä, on nykyään käytössä vain kaksipiirisiä järjestelmiä, jossa perävaunun ja vetoauton väliin kytketään kaksi paineilmaletkua. Tämän vuoksi keskityn vain kaksipiiriseen järjestelmään. (Klug.H.-P 1993: 107)

#### 3.1 Toimintatapa

Kaksipiiriseissä paineilmajarrujärjestelmässä vetoauton ja perävaunun välillä on kaksi paineilmaliihtäntää. Toinen on paineletku ja toinen on ohjauspaineletku. Paineletku sijaitsee ajoneuvon kulkusuuntaan nähden oikealla puolella ajoneuvon keskilinjasta ja ohjauspaineletku taas vasemmalla puolen. Letkujen ristiin kytkemisen estämiseksi käytetään letkuissa värimerkkejä; punainen letku on paineletku ja keltainen on ohjauspaineen letku.

Paineletkun tehtävä on toimittaa perävaunun jarrusäiliölle paineilmaa jatkuvasti, myös jarrutustapahtuman aikana. Tämä ehkäisee sen, että paineilmaparastot perävaunussa voisivat loppua, mikä oli mahdollista yksipiiriseissä jarrujärjestelmässä. Paineletkussa vallitsee kokoajan käyttöpaine. Nykyään moderneissa paineilmapiiireissä paineensäädin rajoittaa käyttöpaineen 8,1 bar tai jopa korkeammalle.

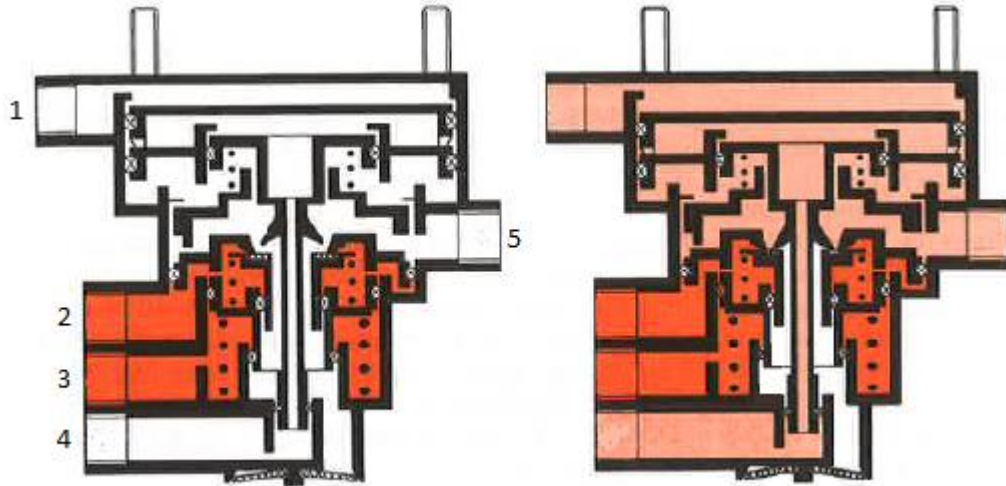
Ohjauspaineletkun tehtävä sen sijaan on ohjata perävaunussa oleviin jarruihin paineilmaa sisään tai ulos niistä. Ajoasennossa, eli jarruttamattomassa tilassa, ohjauspaineletkussa

vallitsee normaali ilmanpaine. Kun kuljettaja käyttää jarrua, (samantekevää kumpaa, seisonta- vai käyttöjarrua) ohjauspaineletkuun tulee ylipainetta samassa suhteessa vetoauton jarrutuspaineen kanssa, ja tämä aiheuttaa perävaunun jarrujen jarruttamisen.

Letkujen kytkentäpääät ovat toimintatavoiltaan erilaiset vetoauton ja perävaunun päässä. Vetoauton päässä on letkujen päissä takaiskuventtiilit, jotka estävät paineilman karkaamisen letkujen irrotessa toisistaan, ja mahdollistavat vielä vetoautolla jarruttamisen letkujen irtoamisen jälkeen. Perävaunun päässä taas letkuissa ei ole takaiskuventtiilejä vaan vapaa läpimeno, ja paineilma pääsee purkautumaan perävaunun jarrupiiristä ulos. Tämä aiheuttaa jousipuristeisten jarrusylinterien kytkeytymisen päälle, joka toimii perävaunun hätäjarruna tilanteessa, kun letkujen irtoaminen ei ole tarkoituksenmukaista. (Klug.H.-P 1993: 113–125)

### **3.2 Perävaunun jarrujen komponentit**

Perävaunun säätöventtiilin tehtävänä on huolehtia perävaunun jarrujen tila vastaamaan joka hetkellä vetoauton jarrujen tilaa. Säätöventtiili sijaitsee vetoautossa, ja siihen liittyy viisi paineilmaliihtäntää, kuten kuvasta 12 havaitaan. Säätöventtiililtä lähtee perävaunuun vain yksi paineilmaletku, joka on ohjauspaineletku. Muut neljä liitääntää tulevat vetoauton jarrujärjestelmästä. Yksi tulee suoraan nelipiiri-suojavaentiililtä, jossa on koko ajan käyttöpainne. Toinen liitääntä tulee seisontajarrun jarrusylinteriltä, ja siinä liitännässä on jatkuvasti sama paine kuin vetoauton seisontajarrun jarrukammiossa. Kaksi viimeistä liitääntää tulevat vetoauton käyttöjarrusylinteriltä. Niissä vallitsee sama paine kuin vetoauton käyttöjarrun jarrukammioissa. Säätöventtiili siis ohjaa perävaunun ohjauspaineen letkuun paineilmaa välittömästi, kun joko käyttöjarrun piirissä paine kasvaa, taikka vaihtoehtoisesti seisontajarrun piirissä paine laskee. (Klug.H.-P 1993: 120-122)



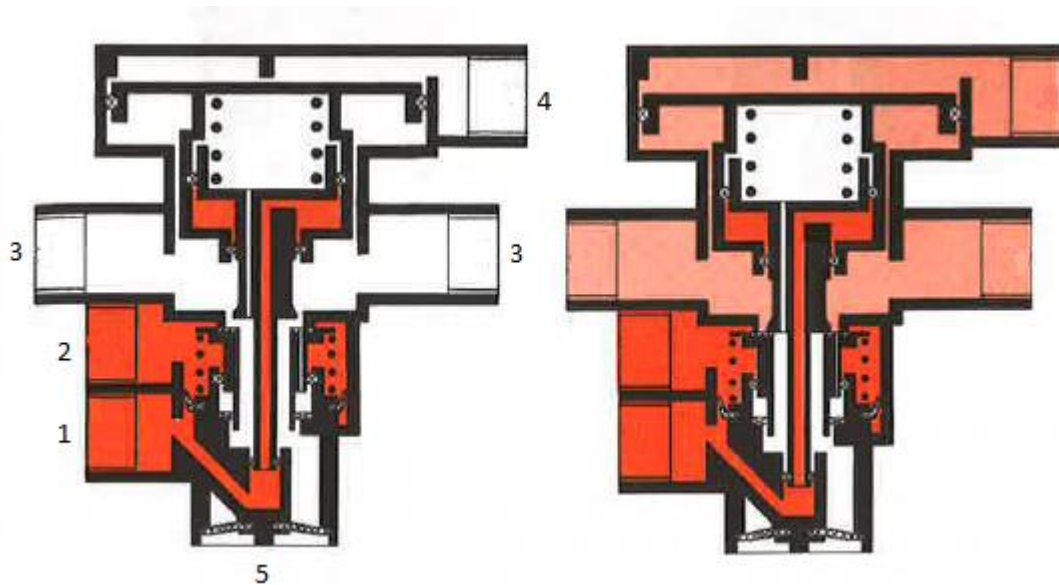
Kuva 12 Perävaunun säätöventtiili, vasemmalla kuvassa jarruttamattomassa tilassa ja oikealla osittain jarruttavassa tilassa

1 liitäntä käyttöjarrupiiriltä, 2 liitäntä nelipiirisuojaventtiililtä, 3 liitäntä seisontajarrusylinteriltä, 4 liitäntä käyttöjarrupiiriltä, 5 perävaunun ohjauspaine (mukaillen Klug.H.-P 1993: 121)

Perävaunun säätöventtiilillä ohjataan ohjauspaineletkun välityksellä perävaunun jarruventtiiliä. Perävaunun jarruventtiili sijaitsee perävaunussa. Sen tehtävänä on huolehtia että perävaunun jarrujärjestelmän paine vastaa ohjauspaineletkussa vallitsevaa painetta sekä hätäjarrutustilanteessa päästää paineilman purkautumaan paineletkun portista ulos.

Kuvassa 13 on esitetty perävaunun jarruventtiili. Havaitaan, että jarruventtiiliin tulee viisi paineilmaporttia. Yhteen porttiin tulee paineletku vetoautosta, ja siinä vallitsee koko ajan käyttöpaine. Toiseen porttiin kytketään perävaunun paineilmasäiliö, joka täytetään venttiiliin tulevalla paineletkulla. Yksi portti on kytketty ohjauspaineletkuun, ja kaksi viimeistä porttia on kytketty perävaunun jarrusylintereille meneviin letkuihin. Vetoauton jarrua käytettäessä porttiin neljä tulee ohjauspainetta, jonka seurauksena portista kaksi alkaa virtaamaan paineilmaa porttiin kolme. Paineilmaa virtaa niin kauan, kunnes paine

porteissa kolme ja neljä ovat yhtä suuria. Kun jarru vapautetaan, paineilma portista kolme virtaa poistokanavan kautta ulos.



Kuva 13 Perävaunun jarruventtiili, vasemmalla kuvassa jarruttamaton tila ja oikealla osittain jarruttava tila

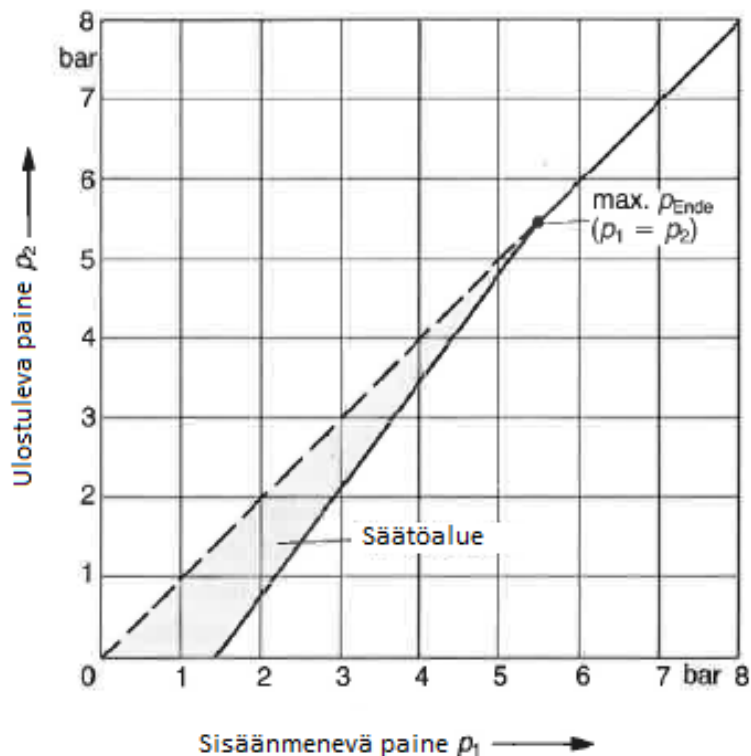
1 käyttöpaine vetoautolta, 2 perävaunun paineilmasäiliön liitäntä, 3 käyttöpaine jarruille, 4 ohjauspaine vetoautolta, 5 poistokanava (mukaiillen Klug.H.-P 1993: 131)

Perävaunun jarruventtiililtä jarrusylintereille lähtevissä jarruletkuissa vallitsee sama paine kuin vetoauton jarrusylintereillä. Jos tämä paine ohjattaisiin suoraan jarrusylintereihin, perävaunun jarrutusteho olisi perävaunun ollessa kuormaamaton aivan liian suuri, ja perävaunun renkaat lukkiutuisivat ennenaikaisesti. Ennen jarrusylintereitä käytetäänkin paineenrajoitusventtiiliä, jota voidaan säätää manuaalisesti kuormasta riippuen, rajoittamaan jarrutuspainetta ja sitä kautta myös jarrutustehoa. Näin voidaan säätää suurelle raskaalle kuormalle suurempi jarrutusteho ja vastaavasti kuorman ollessa kevyempi myös jarrutustehoa vähentää.

Perävaunuissa käytetään normaalisti etuakselilla suurempia jarrusylintereitä kuin takaakselilla suuremman jarrutustehon aikaansaamiseksi, johtuen akselien dynaamisista

kuormituksista. Kuitenkin, etenkin jarrutettaessa kevyesti, dynaamiset vaikutukset ovat pieniä ja jarrutusteho etuakselilla kasvaa suuremman jarrusylinterin vuoksi liian suureksi. Tämä vältetään käyttämällä etuakselilla erityistä taittoventtiiliä, jolla alennetaan etuakselille menevää jarrutuspainetta kevyesti jarrutettaessa.

Kuvaajassa 1 on esitetty taittoventtiilin kuvaaja sisään menevän paineen funktiona. Kuvaajassa on esitetty säätöalue, jonka sisällä ulostuleva paine voi olla suhteessa sisään menevään paineeseen. Kuten kuvaajasta havaitaan, painetta rajoitetaan pienillä jarrutuspainilla paljon, kun taas jarrutuspainoiden kasvaessa paine-ero vähenee lineaarisesti maksimi paineeseen asti, jossa paine-eroa ei ole enää ollenkaan. (Klug.H.-P 1993: 130-139)



Kuvaaja 1 Taittoventtiilin kuvaaja sisään menevän paineen funktiona (mukaillen Klug.H.-P 1993: 139)

## 4 SÄHKÖOHJATTU JARRUJÄRJESTELMÄ

Edellä on esitelty puhtaasti pneumaattinen jarrujärjestelmä ilman minkäänlaista sähköohjausta. Pneumatiikalla saadaan toteutettua toimiva ja turvallinen järjestelmä, ja sitä on käytetty raskaassa kalustossa ennen sähköisen ohjauksen yleistymistä. Sähköinen ohjaus tuli 1990-luvun puolivälin tienoilla yleisesti käyttöön. Sähköisesti ohjatulla jarrujärjestelmällä (EBS) on useita etuja pneumaattiseen ohjaukseen verrattuna. Jarrujen vastaavuus jarrupolkimeen on nopeampaa, jarruvoima kyetään jakamaan tasaisemmin akselikohtaisesti, sekä jarrutustapahtuman alku alkaa akseleilla yhtä aikaa, myös vetoautossa ja perävaunussa. Sähköohjaus ja niihin liittyvät ohjausyksiköt mahdollistavat myös paljon turvallisuutta edistäviä toimintoja, kuten ABS sekä ajonvakautus- ja luistonestojärjestelmän. Lisäksi sähköohjauksella vähennetään jarrujen kulumista. (Reif.K et al. 2011: 795–796)

### 4.1 Toimintaperiaate

Sähköisesti ohjattu jarrujärjestelmä on toimintaperiaatteeltaan juuri samanlainen kuin edellä esitelty pneumaattinen järjestelmä. Sähköinen järjestelmä vaatii saman paineilman tuoton jarrujen käyttöön sekä paineilman varastoinnin ja sen kuljettamisen paineilmasäiliöistä jarruille. Sähköinen ohjaus on kuitenkin mahdollistanut toimilaitteiden modulaarisen suunnittelun, jonka ansiosta voidaan toteuttaa hyvin erilaisia järjestelmiä vain vähäisellä määrällä komponentteja. Ajoneuvokohtaiset ominaisuudet laajallakin skaalalla voidaan määritellä ohjelmoimalla halutut arvot elektroniseen ohjausyksikköön. (Reif.K et al. 2011: 794)

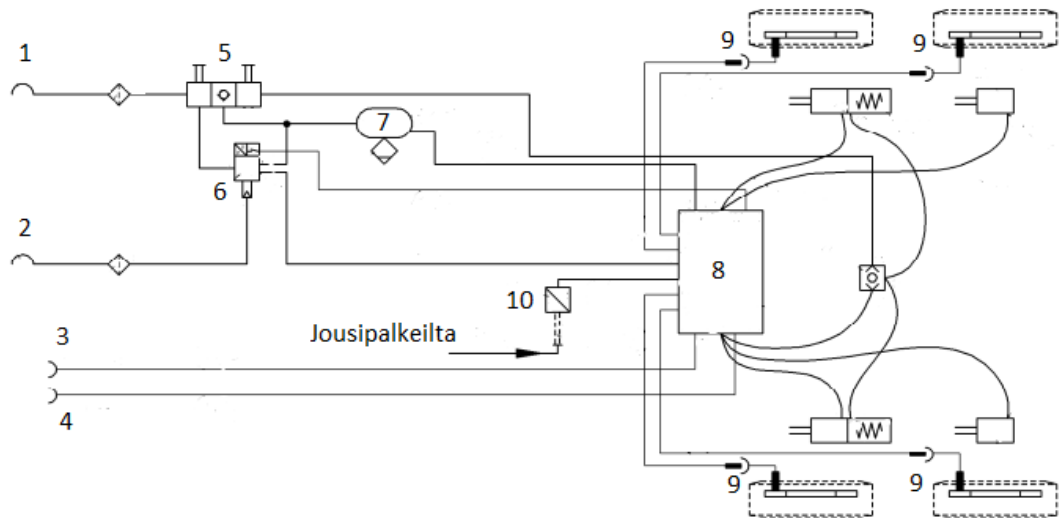
Paineilman ohjausyksikkö (EAC) muodostuu paineensäätimestä, ilmankuivaimesta sekä monipiiri-suojaventtiilistä. Samalla ohjausyksiköllä voidaan ohjata myös muita paineilman tuottoon liittyviä vaihteita, kuten paineilman tuottoa ja ilmankuivaimen puhdistusta. Vastaavasti keskusohjausyksiköllä (ECU) ohjataan jarrupiiriin ja



paineilmanohjaukseen liittyviä toimilaitteita, kuten venttiileitä. (Reif.K et al. 2011: 794–795)

Kun jarrupoljinta painetaan, välittyy sähköiseltä jarrupoljinanturilta informaatio ECU:lle, kuinka voimakkaasti poljinta painetaan. ECU laskee saadusta informaatiosta, mikä on riittävä jarrutusteho ja välittää tiedon eteenpäin paineensäädinyksiköille kullekin akselille, josta edelleen päästetään jarrusylintereille oikea määrä paineilmaa. Paineensäädinyksiköissä on paineanturit, jotka jatkuvasti lähettävät ECU:lle informaatiota jarruissa vallitsevasta paineesta. Lisäksi jokainen rengas on varustettu pyörimisantureilla, jotka lähettävät ECU:lle tai paineensäädinyksiköille renkaan pyörimisnopeuden. Näistä tiedoista ohjausyksikkö säätää jarrutustehon vastaamaan jarrupolkimen asentoa. ECU:lla ohjataan myös ABS-jarruja, eli renkaita ei päästetä lukkiutumaan edes täysjarrutuksessa, vaan ECU säätelee jarrutusvoimia kullekin renkaalle erikseen parhaan jarrutustehon aikaansaamiseksi. (Reif.K et al. 2011: 795–796)

EBS:llä varustetun vetoauton perään voidaan kytkeä millä tahansa jarrujärjestelmällä varustettu perävaunu. Perinteisillä jarruilla toimiva kärry kytketään aivan samoin kuin aiemminkin. Vetoautoon asennetaan perävaunun säätöventtiilille korvaajaksi perävaunun ohjausmoduuli. Perävaunun ohjausmoduulia ohjataan ECU:lla, ja se ohjaa perävaunun ohjauspaineletkuun kuhunkin tilanteeseen sopivan paineen. Jos perävaunu on varustettu sähköisellä jarrujärjestelmällä, kuten kuvassa 14, sitä ohjataan sähköisellä liitännällä ISO 2638- pistokkeen välityksellä. Joka tapauksessa, perävaunuun täytyy myös olla paineilmayhteys, sillä se on ainoa reitti saada paineilmaa perävaunun jarrujen operointiin. (Reif.K et al. 2011: 795)



Kuva 14 Puoliperävaunun sähköinen jarrujärjestelmä

1 käyttöpaine, 2 ohjauspaine, 3 ja 4 ISO 2638 pistokeliitântä, 5 vapautusventtiili, 6 perävaunun jarruventtiili, 7 paineilmasäiliö vedenpoistoveniilillä, 8 kaksipiirinen paineensäädinyksikkö, 9 renkaan pyörimisanturi (mukaillen [www.wabco-auto.com](http://www.wabco-auto.com))

## 4.2 Sähköisen jarrujärjestelmän komponentit

Käyttöjarrun ohjausventtiili on toiminnaltaan samanlainen sähköisessä järjestelmässä kuin myös aiemmin esitellyssä pneumaattisessa järjestelmässä. Sähköisessä järjestelmässä jarruventtiilillä on pneumaattisen jarrujen ohjauksen lisäksi myös sähköinen ohjaus. Jarruventtiilissä on kaksi potentiometrissä sensoria, joilla mitataan jarrupolkimen liikettä. Tämä mitattu arvo lähetetään ECU:lle, joka täällä muunnetaan jarrutuskäskyksi. Kuitenkin jarruventtiililtä vaaditaan edelleen myös paineilmatoimista ohjausta, jolla varmistetaan jarrujen toimivuus myös tilanteessa, jos sähköjärjestelmä lakkaa toimimasta. (Reif.K et al. 2011: 796)

Paineensäädinyksiköt toimivat rajapintana sähköisen ja pneumaattisen piirin välillä. Ne muuttavat ECU:lta tulleen informaation pneumaattiseksi jarrupaineeksi CAN-väylän

kautta. Paineensäädinyksiköissä paineilmaventtiilit ovat solenoiditoimisia, ja jokainen paineensäädinyksikkö on varustettu paineantureilla, jotka mittaavat vallitsevaa jarrutuspainetta. Jarrutuspainetta voidaan ohjata myös täysin ilman paineilmaohjausta sähköisesti kytkettävän varmistusventtiilin avulla. Kyseisellä venttiilillä suljetaan paineilmaohjauksen piiri käyttäjarrun venttiililtä, jotta sähköinen ohjaus voi toimia täysin häiriöttömästi. (Reif.K et al. 2011: 796–797)

Perävaunun sähköisen ohjausyksikön täytyy täyttää lainsäädännössä määritellyt ehdot koskien perävaunun ohjauspaineen säätämistä. Sähköisen ohjauksen ehdot on määritelty lainsäädännössä. ECU:lta tulevasta informaatiosta muutetaan sähköisessä muodossa oleva jarrutuspainetta pneumaattiseksi paineeksi perävaunun ohjausyksikössä samalla tavalla kuten paineensäädinyksikössä. Perävaunun ohjausyksikkö täytyy olla ohjattavissa kahden, toisistaan riippumattoman reitin kautta; joko kaksi pneumaattista ohjausta kahdesta eri paineilmapiiiristä taikka yksi pneumaattinen ja yksi sähköinen ohjaus. (Reif.K et al. 2011: 797)

## 5 YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä perehdyttiin raskaan kaluston, sekä vetoauton että perävaunun paineilmajarruihin sekä niiden toimintaperiaatteeseen. Lähdin liikkeelle yleisesti jarrujen määritelmästä sekä siitä, mitä raskaan kaluston jarruilta vaaditaan. Tämän jälkeen työstä käy ilmi paineilmatoimisen jarrujärjestelmän toiminta yksityiskohtaisesti niin vetoautossa kuin myös sen perään kytketyssä perävaunussa. Loppuosassa on kerrottu modernimman, sähköisen jarrujärjestelmän toimintaa ja sen etuja perinteiseen pneumaattiseen jarrujärjestelmään verrattuna.

Materiaalin etsiminen ja saatavuus oli helppoa, kyseisestä aiheesta löytyi hyvin kirjallisuutta. Ainoana ongelmana olivat uusimmat tekniikat, joista oli vähemmän kirjallisuutta. Työ oli hyvin opettavainen, opin asioita huomattavasti laajemmalta alueelta kuin kandidaatintyöstä käy ilmi. Työtä tehdessä opin myös teknisen kirjoittamisen taitoja.

## 6 LÄHDELUETTELO

1. AnythingTruck.com, Bendix AD-9 Air Drying Process, <https://www.anythingtruck.com/htp-brake-air-dryers-ad9-works.html> [25.10.2016]
2. Automationforum, Basics of Pressure Regulator (Pressure Reducing Valve - PRV) <http://www.automationforum.co/2015/06/basics-of-pressure-regulator-pressure.html> [25.10.2016]
3. Becker.R, Pfäffle.J, Sowa.P, Czinczel.A, Schmidt.G, Gerstenmaier.J, Knust.A, Kühner.K, Reinke.K.-H, Stegmaier.A, Meissner.M & Sigl.A, [1998], Fahrsicherheitssysteme: Grundlagen, Systeme und Pläne für Nutzfahrzeuge, 2. painos, Braunschweig/Wiesbaden: Robert Bosch GmbH
4. Bendix Spicer Foundation Brake, Bendix Air Disc Brakes <http://www.foundationbrakes.com/media/documents/airdiscbrakes/overviewbrochure.pdf> [28.10.2016]
5. Berg.T [07.2104] Heavy Duty Truckinginfo HDT, Brake Trends: Drums vs. Discs <http://www.truckinginfo.com/article/story/2014/07/brake-trends-drums-vs-discs.aspx> [28.10.2016]
6. Breuer.B & Dausend.U [2003] Advanced Brake Technology, 1. painos, Warrendal PA, USA: SAE International
7. Department of Natural Resources, <http://dnr.louisiana.gov/assets/TAD/education/ECEP/diesel/d/dsl-d25.gif> [10.10.2016]
8. European Braking System, History of Air Braking, <https://www.europeanbrakingystems.co.uk/history>, [20.10.2016]
9. Fitch.J.M, [1993], Motor Truck Engineering Handbook, 4. painos, Warrendale PA, USA: Society of Automotive Engineers

10. Heavy Duty Truckinginfo HDT, Air System Maintenance: Focusing on the Compressor [12/2014], <http://www.truckinginfo.com/article/story/2014/12/air-system-maintenance-focusing-on-the-compressor.aspx>
11. Klug.H-P [1993] Nutzfahrzeuggesteueranlagen, 3. painos, Würzburg: Vogel Verlag und Druck KG
12. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, Raskaiden ajoneuvojen paineilmajarrujen tarkastus katsastuksessa, <http://www.trafi.fi/filebank/a/1336051997/27637c287322ccaea63ccb374a482a38/9571-Jarruohje.pdf> [20.11.2016]
13. Plantan.R.S & Darner.B.S [28.09.2011], United States Patent and Trademark Office, Parking Brake Piston for a Parking Brake Chamber <http://pdfaiw.uspto.gov/.aiw?Docid=20130075211&homeurl=http%3A%2F%2Fappft.uspto.gov%2Fnetacgi%2Fnph-Parser%3FSect1%3DPTO1%2526Sect2%3DHITOFF%2526d%3DPG01%2526p%3D1%2526u%3D%2Fnethtml%2FPTO%2Fsrchnum.html%2526r%3D1%2526f%3DG%2526l%3D50%2526s1%3D20130075211.PGNR.%2526OS%3D%2526RS%3D&PageNum=&Rtype=&SectionNum=&idkey=2591FBF4FD72> [01.11.2016]
14. Reif.K & Dietsche.K.-H, [2011] Automotive Handbook: 784-841, 8. painos, Plochingen: Robert Bosch GmbH
15. Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung StVZO, § 41 Bremsen und Unterlegkeile [https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo\\_2012/\\_\\_41.html](https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/__41.html) [10.11.2016]]
16. The Free Education Network, Components of the air-hydraulic brake system, Figure 14, <http://www.free-ed.net/free-ed/Courses/15%20Transportation/AutoTruck03/AutoTruckShow.asp?iNum=080201> [25.10.2016]
17. The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) [14.01.2008], Regulation No. 13
18. WABCO-auto, Basic training, <http://inform.wabco-auto.com/intl/pdf/815/00/57/8150100573-08.pdf> [20.09.2016]

19. WABCO-auto, Basic training, <http://inform.wabco-auto.com/intl/pdf/815/00/19/8150200193.pdf> [20.11.2016]