

Henry Holm

Paineilmajäähdytteiset rumpujarrut

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinööriytyö

29.8.2022

Tekijä(t) Otsikko	Henry Holm Paineilmajäähdytteiset rumpujarrut
Sivumäärä Aika	18 sivua + 1 liite 29.8.2022
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Ajoneuvotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaaja(t)	Laboratorioinsinööri Teemu Laine
<p>Insinöörityön tarkoituksena on tutkia rumpujarrujen jäähdyttämistä paineilman avulla. Lisäksi työssä tarkastellaan jarrupölyn haittoja, jarrujen häipymisilmiötä sekä niiden vaikutusta rumpujarrujen jarrutusongelmiin.</p> <p>Työssä rakennettiin autoon paineilmalla toimiva rumpujarrujen jäähdytysjärjestelmän prototyyppi, jota testattiin Metropolia Ammattikorkeakoulun autolaboratorion jarrudynamometrissa. Järjestelmässä oli kompressori, joka sai virran auton akusta ja tuotti paineilmaa säiliöön. Paineilma vapautettiin katkaisimella ohjattavan magneettiventtiin avulla säiliöstä, josta se siirtyi paineilmaletkua pitkin auton rumpujarruun.</p> <p>Jarrujen lämpötilamittaukset osoittivat, että jarrujen jäähdyttäminen paineilmalla on mahdollista ja rumpujarrun lämpötila laskee nopeasti noin 10–15 celsiusastetta voimakkaitten jarrutusten jälkeen.</p>	
Avainsanat	Jarrut, paineilma, jarrupöly, jäädytysjärjestelmä

Author(s) Title	Henry Holm Compressed Air-cooled Drum Brakes
Number of Pages Date	18 pages + 1 appendixes 29 August 2022
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Vehicle Engineering
Specialisation option	Vehicle Design Engineering
Instructor(s)	Teemu Laine, Laboratory Engineer
<p>The purpose of this Bachelor`s thesis was to study and design the cooling for drum brakes with the help of compressed air. In addition, the thesis examines the disadvantages of brake dust, the phenomenon of brake fading and how they affect the braking problems of drum brakes.</p> <p>A prototype of a compressed air drum brake cooling system was built in the car, which was tested in the brake dynamometer of the automotive laboratory of Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>The system had a compressor, what was powered by the battery of the car and produced compressed air into the tank. The compressed air was released from the tank by means of a solenoid valve controlled by a switch, from where it was transferred along the compressed air hose to the drum brake of the car.</p> <p>Temperature measurements of the brakes showed that it is possible to cool the brakes with compressed air and the temperature of the drum brake drops rapidly by about 10 to 15 degrees Celsius after heavy braking.</p>	
Keywords	Brake, Compressed air, Brake dust, Heat

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Paineilmajäähdytetyt rumpujarrut	1
2.1 Rumpujarrujen tekniikka	1
2.2 Paineilman käyttö jarruissa ja soveltaminen jarrujen jäähdyttämiseen	3
2.3 Jarrupöly, sen mahdolliset haitat ja ongelmat	4
3 Rumpujarrujen paineilmajäähdytyksen prototyypin toteutus	6
3.1 Järjestelmän komponentit	6
3.2 Järjestelmän rakentaminen	7
4 Lämpötilamittaukset tuloksineen	13
5 Yhteenveto projektista	16
Lähteet	18

Liitteet

Liite 1: Fleetwood resource management, air cooled brakes

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on selvittää, onko pneumatiikkaa mahdollista hyödyntää ja sovittaa rumpujarrujen jäähdyttämiseen tarkoituksena parantaa rumpujarrujen toimintatehokkuutta.

Tietoa paineilmajäähdytteisistä rumpujarruista on erittäin niukasti niin kirjallisuudessa kuin internetissä. Kirjoista löytyy ainoastaan yleistietoa jarrujen tekniikasta. Työssä on vähäisten lähteiden lisäksi hyödynnetty tekijän omaa tietämystä aiheesta.

Perusajatuksena työssä oli se, että paineilma ohjattaisiin rumpujen sisälle niin, että se jäähdyttäisi niitä ja samalla poistaisi jarrupölyä rummista. Auton taka-akselistoon rumpujarrujen jarrukilpiin tehtäisiin joko lisäreikä tai hyödynnettäisiin jarrukenkien pintojen tarkistusreikää. Siihen liitettäisiin paineilmasuutin, josta lähtee letku magneettiventtiilille, ja venttiilistä menisi letku pieneen paineilmasäiliöön, joka on autoon asennetun sähköisen 12 V:n paineilmakompressorin rinnalla. Järjestelmässä olisi noin 3–5 bar:n paine, joka jäähdyttäisi jarrurumpuja ja puhaltaisi jarrupölyn pois niistä. Jäähdytys ei olisi kuitenkaan niin äkillinen, että se soikeuttasi rumpuja.

2 Paineilmajäähdytetyt rumpujarrut

Tässä osiossa tarkastellaan rumpujarruja, paineilmatekniikkaa, jarrupölyä sekä paineilmajäähdytteisen rumpujarrun toteutusta.

2.1 Rumpujarrujen tekniikka

Rumpujarrussa on rummun sisällä jarrukengät, joiden kitkapinnat jarruttaessa painuvat vasten rumpua, joka on kiinnitetty pyörän napaan. Kitkapinnoista käytettiin aiemmin nimeä jarruhihnat. Ensimmäiset rumpujarrut toimivat mekaanisesti vivuilla, tangoilla tai vaijereilla. 1930-luvun puolivälistä alkaen rumpujarruissa käytettiin nesteinä öljyä ja pientä jarrusylinteriä. Joissakin autoissa käytettiin kuitenkin vielä monta vuotta puhtaasti mekaanisia järjestelmiä. Nykyajan autoissa käytetään paremmin lämpöä kestävästä jarrunestettä, kun normaali öljy ei suoriutunut suurissa lämpötiloissa hyvin.

Rumpujarrut eivät ole jarrutuksessa yhtä tehokkaita kuin levyjarrut, ja niitä käytetään nykyautoissa yleisesti vain etuvetoisten autojen takapyörissä. Jarrutettaessa rummun pyörimisliike puristaa auton kulkusuunnassa etummaista jarrukenkää (ensiökenkää) lujemmin rumpua vasten, kun taas takimmainen jarrukenkä puristaa vähemmän. Tätä kutsutaan itsetehostumiseksi, ja sen takia rumpujarrut olivat suositumpia vanhoissa autoissa. Rumpujarrullisessa autossa ei välttämättä ole jarrutehostinta lainkaan toisin kuin levyjarrullisissa autoissa.

Rumpujarruissa on itsestään säätävä tai käsin säädettävä säätömekanismi, joka säätää jarrukengät mahdollisimman lähelle rummun sisäpintaa kenkien kitkapinnan kulumisesta huolimatta. Rumpujarruissa on vähintään kaksi jäykkää joustaa, jotka pitävät jarrukenkiä irti rummista silloin, kun ei jarruteta, ja estävät niiden jummutumisen jarrutusasettoon.

Rumpujarruissa on usein yhdistetty käyttöjarru ja seisontajarru samaan rumpuun. Käsijarru toimii useimmiten mekaanisesti vaijerin välityksellä ja käyttöjarru jarrupolkimen tuottaman poljinpaineen avulla jarrupääsylinteristä siirtyvällä jarrunesteellä, joka taas työntää rummuissa olevan jarrun työsylinterin mäntien avulla jarrukenkiä. Joissain autoissa takalevyjarrun sisällä on pienet jarrukengät, joita käytetään vain seisontajarruna, kun auto on pysäköitynä. Rumpujarruja käytetään kaikenkokoisissa autoissa, mutta kuorma- ja linja-autoissa ne ovat yleinen jarrujärjestelmä, joka toimii paineilmalla. [1]

Kuvissa 1 ja 2 näkyy Metropolia Ammattikorkeakoulusta testikäyttöön saadun Suzuki SX4 -henkilöauton rumpujarrun osat.



Kuva 1. Suzuki SX4:n jarrurumpu [2].



Kuva 2. Rumpujarrun sisäosat: 1. Jarrukenkä, 2. Jarrusylinteri, 3. Jarrukenkien kiinnitystappi, 4. Alempi palautusjousi, 5. Ylempi palautusjousi, 6. Säättömekanismin jousi, 7. Jarrukenkien Säättömekanismi, 8. Pyörän napa, 9. Jarrukilpi, 10. Käsijarruvaijeri.

2.2 Paineilman käyttö jarruissa ja soveltaminen jarrujen jäähdyttämiseen

Paineilma on ylipaineiseksi paineistettua eli kompressoitua ilmaa, jota käytetään muun muassa työkalujen ja koneiden käyttövoimana sekä hengityslaitteissa. Paineistetun kaasun käyttötekniikkaa kutsutaan pneumatiikaksi.

Paineilmaa käytetään raskaan kaluston ajoneuvojen jarruissa ja alustassa, ja paineilma korvaa jarrunesteen. Raskaan ajoneuvon jarruissa paineilma tuottaa jarruihin jarrutustehon. Liitteessä 1 oleva kuva havainnollistaa jäähdytystekniikkaa raskaassa kalustossa. Paineilma tuotetaan kuorma-auton moottoritallassa olevan mekaanisen kompressorin avulla. Kompressorissa muodostuva ilma menee talteen ilmankuivaimen ja nelipiiriventtiilin kautta paineilmasäiliöihin, joista se tarvittaessa ohjataan joko

ilmajousitukselle tai jarruihin. Jarruihin ohjautuessaan paineilma kulkee jarrujen ABS-yksikön läpi. Siinä releventtiilit ohjaavat sen jokaisen akselin jarrukelloihin, joiden työntötangot on yhdistetty jarruräikkiin eli säätövipuun. Niillä säädetään jarrukenkien S-muotoista nokka-akselia, joka taas liikuttaa jarrukenkiä rummuissa. Tätä paineilmatekniikan sovellusta hyödynnetään tässä opinnäytetyössä jarrujen jäähdyttämiseen.

2.3 Jarrupöly, sen mahdolliset haitat ja ongelmat

Rumpujarruissa on huonot puolensa: jarrutustilanteissa rumpujarrut lämpenevät, minkä takia niistä katoaa jarrutusteho. Ne lasittuvat nopeasti jarrutustilanteessa muodostuneen lämmön ja jarrutuksen aikana syntyvän jarrupölyn takia. Jarrupöly ei nimittäin pääse pois rummun sisältä vaan jää sinne ja ajan myötä jämähtää jarrukenkien pintaan ja edesauttaa kenkien lasittumista. Paljonkaan ei kuitenkaan ole tehty jarrupölyn vähentämiseksi.

Jarrupöly on rumpujarrujen ikuinen ongelma. Jarrupöly koostuu mikroskooppisen pienistä metallihiukkasista. Sitä muodostuu jarrutuksen aikana jarrutuspintojen kitkan vaikutuksesta. Jarrutuksen aikana kenkien kitkapintaa painetaan rumpua vasten. Tämä tuottaa kitkavastusta, joka hidastaa pyörän liikettä ja lopulta pysäyttää ajoneuvon. Sitä on haitallista hengittää suuria määriä, koska se voi aiheuttaa ihmiselle syöpää.

Jarrujen kitkapinnat ovat materiaaliltaan keraamisia yhdistelmiä, ja ennen niissä käytettiin asbestia. Yleisesti jarrupaloissa tai jarrukengissä on antimonimetallia, joka sisältää monia terveysriskin aiheuttajia. Kitkapintojen materiaaleissa yleisesti käytetystä antimoni-trisulfidista irtoaa suurissa lämpötiloissa syöpää aiheuttavaa antimonitrioksidia.

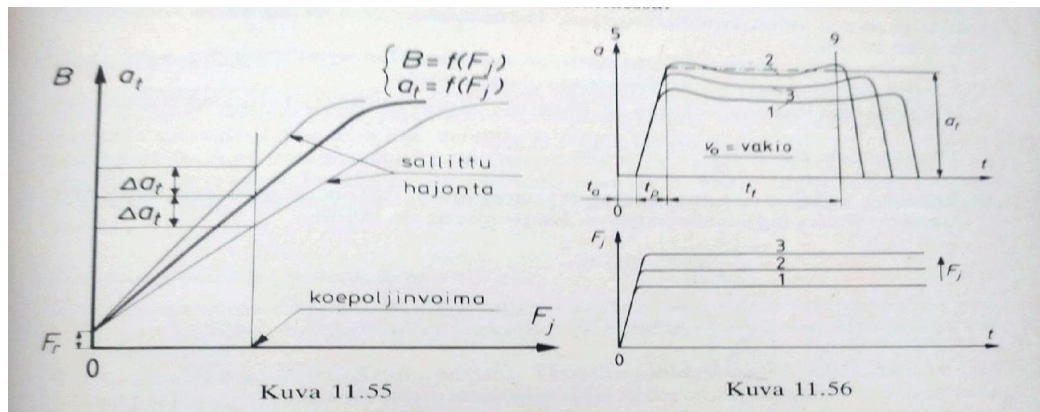
[3]

Jarrujen häipymisilmiö

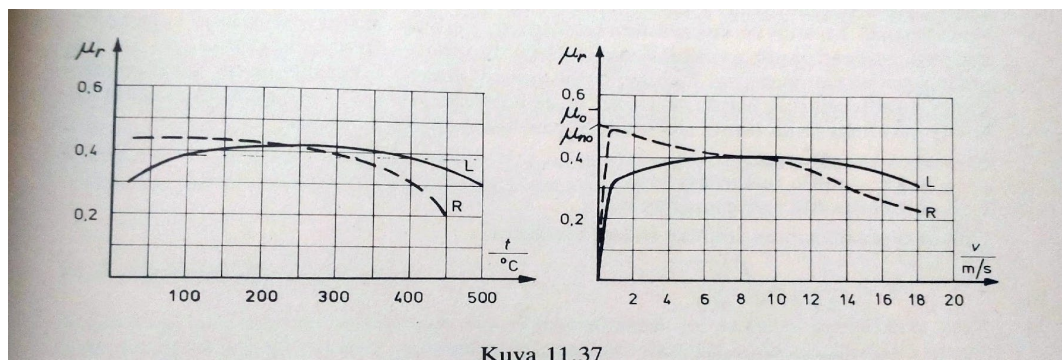
Jarrujen häipymisilmiö eli jarrujen katoamisella tarkoitetaan jarruvoiman (momentin (N)) alenemista, vaikka jarrupoljinta painetaan samalla jalkavoimalla eli vakiolla. Syy tähän ilmiöön on se, että kitkapintojen välisen lämpötilan kasvaessa kitkakerroin alenee ja sen vaikutuksesta jarrujen välityssuhde pienentyy. Tätä kompensoidaan lisäämällä poljinvoimaa, sillä muuten auton jarrutusmatka pitenee ja vaaratilanteiden riski kasvaa.

Jarrujen häipymisilmiötä, joka tapahtuu jarrutuksessa, voidaan tutkia ja tarkastella hidastuvuusmittapiirrosten (kuva 3 ja 4) avulla.

Tässä nähdään hidastuvuusarvojen huonontuminen jarrutuksessa, vaikka poljinvoima on vakio, tai kun poljinvoima on kasvanut vakion hidastuvuuden ylläpitämiseksi. Kuvasta pystytään seuraamaan myös jarrupolkimen liikematkaa vakiohidastuvuudella.



Kuva 3. Hidastuvuus-mittauksen esimerkki kuvaaja, kun poljinvoima pysyy vakiona [4, s. 83].



Kuva 4. Kuvaajat kitkakertoimesta. Niistä näkee, että kitkakerroin muuttuu jarrujen lämmitessä ja liukunopeuksilla. Kuvaajissa L= levyjarru ja R = rumpujarru. [4, s. 57.]

Syyt kitkakertoimen alentumiseen ovat seuraavat:

- Kitkapinnat kovettuvat (hartsintuminen eli lasittuminen) vanhetessaan, tai jarrutuksessa irtoavan jarrupölyn kiinnittyminen kitkapintoihin.
- Kitkapinnat kastuvat, levyjarrut ovat tälle alttiimpia, mutta se on myös rumpujarruille mahdollista.
- Pintoihin joutuu rasvaa tai likaa, esimerkiksi pyöränlaakerin rasvaa tai jarrunestettä vuotaa työsylinteristä.
- Tapahtuu fading-ilmiö: lämpöfading, liukufading, painefading. Sana fading tulee englannin kielestä ja tarkoittaa suomeksi häipymistä.

Häipymisilmiöihin voidaan lukea myös jarrujärjestelmän eri voimansiirtohäviöt:

- painehäviöt (vuodot, vähäinen jarruneste, ilmaa järjestelmässä)
- jarrunesteen kuumeneminen, jolloin se kiehuu tai kuohuu.

Painefading-ilmiötä voi juuri esiintyä, kun jarruneste kiehuu, riippuen siitä, kuinka voimakasta jarrutusta tapahtuu jatkuvasti ajon aikana. Lämpöfading-ilmiötä taas esiintyy yleisesti jarrutuksen aikana, sitä enemmän, mitä suuremmaksi lämpötila kasvaa. Kitkakerroin saavuttaa parhaan arvonsa 200–300 °C:n lämpötilassa, mutta sen jälkeen alkaa häipyminen. Laskennallinen käyttökitkakerroin on 100 °C, jota käytetään. [4, s. 56.]

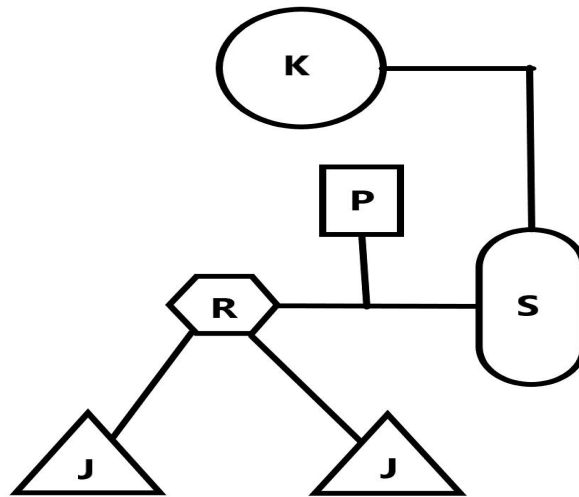
3 Rumpujarrujen paineilmajäähdytyksen prototyypin toteutus

Tässä osiossa kuvataan, kuinka tekniikka sovitetaan projektautoon. Tarkoitus oli selvittää, voiko kyseistä tekniikka soveltaa henkilöautoissa.

3.1 Järjestelmän komponentit

Jäähdytysjärjestelmä koostuu kompressorista ja joko rele- tai magneettiventtiilistä, jonka toimivuusluokka on vähintään 4 bar, paineilmaputkista, joiden materiaali on nailonmuovia tai polyuretaania, takaiskuventtiilistä, virtakatkaisimista ja sähköjohdoista. Järjestelmän komponentteja on havainnollistettu kuvassa 5 ja seuraavassa luvussa kuvassa 10.

Järjestelmän kompressori ja rele- tai magneettiventtiili toimivat auton 12 V:n akulla. Rele- tai magneettiventtiiliä ohjataan jarrupolkimen yhteyteen kytketyllä katkaisimella. Kompressori lähtee käyntiin, kun auto käynnistetään, ja käy, kunnes ilmasäiliöön on kertynyt maksimikäyttöpaine (8 bar). Jarruttaessa paineilma kulkeutuu jarruihin jarrupoljinta poljettaessa, jolloin rele- tai magneettiventtiili avautuessaan vapauttaa paineilman ilmaletkuja pitkin. Tämän seurauksena ilma jäähdyttää rumpuja ja puhaltaa jarrupölyä pois.



Kuva 5. Paineilmajähdytteisten rumpujarrujen prototyypin komponentit: K = kompressori, S = ilmasäiliö, P = poljin, R = rele-/magneettiventtiili, J = rumpujarrut.

3.2 Järjestelmän rakentaminen

Pääideana on yksinkertaisuudessaan jäähdyttää rumpujarruja useista jarrutuksista ja kovien jarrutustilanteiden jälkeen. Prototyypimalli on toteutettu helposti tehtäväksi testauksessa käytettävään henkilöautoon, ja sitä pystyy mahdollisesti jatkokehittämään raskaan kaluston paineilmajarrujärjestelmään tai nykyisiin henkilöautoihin.

Rakennelman kokoamisessa ensin piti selvittää, kuinka jäähdytysjärjestelmän saa sovitettua projektautoon. Kävi ilmi, että virta oli mahdollista ottaa suoraan auton 12 V:n akusta järjestelmän kompressorille ja magneettiventtiilille käyttäen apuna 1,5 mm:n sähköjohtoja ja kahta sähkökatkaisijaa, joiden jälkeen johtolinjaan oli lisätty vielä kaksi sulaketta, toinen 5 A ja toinen 10 A. 5 A:n sulake oli magneettiventtiilille, jolla suojataan venttiiliä lämpövaurioilta, koska ilman sitä se olisi lämmennyt liikaa ja todennäköisesti sulanut. 10-ampeerin sulake oli kompressorille, ja se suojasi kompressoria varmuuden vuoksi ylikuormalta. Kompressorin valmistaja myös suosittelee lisäämään ylimääräisen sulakkeen, jos sen asentaa autoon kiinteänä erikseen.

Johtojen vetämisen jälkeen paineilmajärjestelmän komponentit yhdistettiin toisiinsa paineilmamuoviputkilla ja -letkulla, niin että kompressorilta lähti ilmaletku ilmasäiliöön ja ilmasäiliöstä ilmaputki magneettiventtiilille. Rakennelma sijoitettiin auton takakonttiin,

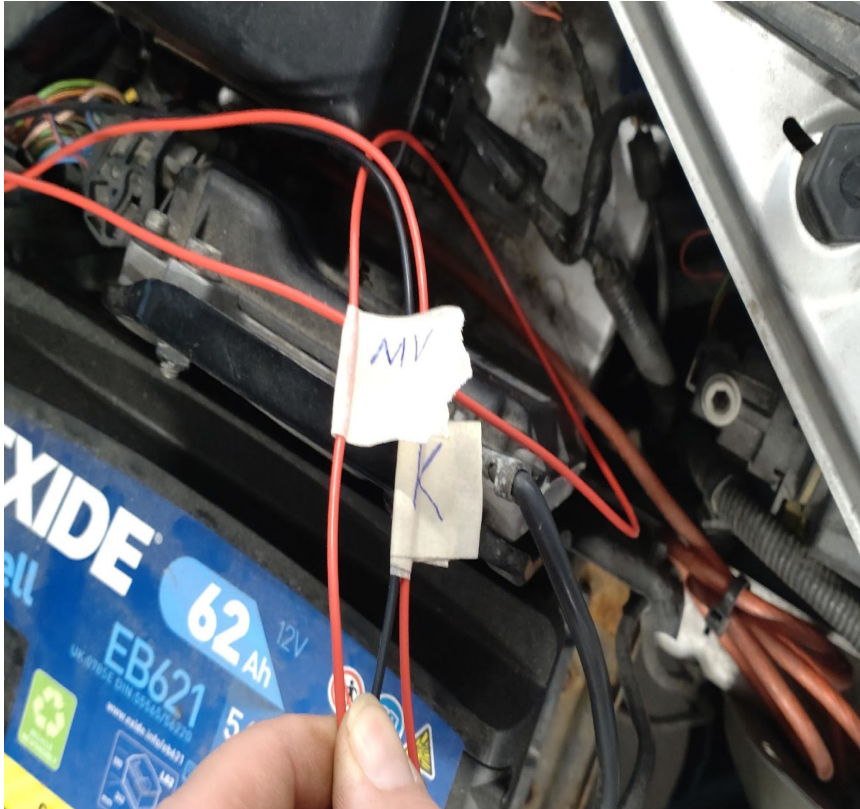
lähelle taka-akselia, mistä on lyhyempi matka paineilmaletkun mennä rumpujarruun kuin jos rakennelma olisi edessä moottoritallassa.

Näiden jälkeen järjestelmän toimivuutta kokeiltiin, ennen kuin magneettiventtiililtä asennettiin ilmaletku, joka menee rumpujarrun jarrukilpeen kiinni. Testauksessa huomattiin, että magneettiventtiili ei jaksanut pitää yli 2,5 bar:n painetta, jolloin se alkoi ohi vuotaa, vaikka venttiilin valmistajan mukaan sen piti kestää 6 bar:n paine, joten projektiin tarvittiin lisäksi takaiskuventtiili.

Projektiin hankittiin sellainen takaiskuventtiili, jonka olisi pitänyt pitää 1,2 bar:n painetta mutta joka ei pitänyt, ja ohivuotoa oli vielä havaittavissa. Uusien testauksien jälkeen huomattiin kuitenkin, ettei järjestelmä ole vielä ohi vuodon takia tiivis, niin että se pitäisi vähintään 4,5 bar:n painetta. Ongelma korjaantui vaihtamalla magneettiventtiiliin jäykempi jousi, niin että se painoi jäykemmin alaspäin venttiilin sisällä olevaa pientä mäntää, joka rajoittaa paineen virtausta, silloin kun venttiilissä ei virtaa sähköä. Uusien testien ja kaikkien hienosäätöjen jälkeen järjestelmä toimi. Järjestelmä tuotti melkein 5 bar paineilmaa, eikä mitään ohivuotoa esiintynyt järjestelmän linjoissa. Paineilma vapautui odotetusti, kun virta kytkettiin katkaisimella magneettiventtiiliin ja sammutettiin kompressori, jottei se kuumennu liikaa. Paineilma virtasi melko voimakkaasti paineilmaletkun päästä, joten seuraavaksi oli mahdollista kiinnittää letku auton taka-akselin toiseen rumpujarrun jarrukilpeen.

Letkun vienti auton sisältä onnistui niin, että kun järjestelmä oli sovitettu auton takakonttiin, letku vedettiin auton korissa olevan pohjatulpan läpi, niin ettei se hinkannut koria vasten. Läpiviennin jälkeen letku kiinnitettiin nippusiteiden avulla auton alustan tukivarteeseen, joka ei liiku liikaa auton alustan joustaessa töyssyissä. Letkulle kannattaa jättää myös löysiä kohtia alustan liikkumista varten. Ilmaletku kiinnitettiin pienellä läpivientikumilla, jossa oli vähän liimaa, jotta se pysyisi kumissa kiinni. Letku kiinnitettiin jarrukilvessä olevan jarrukenkien tarkastusreikään.

Tämän jälkeen tehtiin koetesti sen varmistamiseksi, että järjestelmä toimii suunnitellusti. Seuraavista kuvista näkyy, miten järjestelmä on rakennettu autoon sekä millä järjestelmän prototyyppi näyttää ja millaisia sen komponentit ovat.



Kuva 6. Virta- ja maadoitusjohdot asennettuna. K = kompressorille ja MV = magneettiventtiilille. Kuvassa näkyy myös auton akun jännite määrä 12 V ja kuinka moniampeerituntinen se on.

Johdot kannattaa aina merkitä, jotta tietää, mille järjestelmän osalle ne menevät. Se helpottaa paljon ongelmatilanteissa, esimerkiksi jos ne menisivät sekaisin kytkemisvaiheessa.



Kuva 7. Johdotukset, jotka lähtevät auton akusta kohti ohjaamo nippusiteillä tuettuna, niin että ne eivät roiku ympäri moottoritilaa.

Johdot tulee sitoa nippusiteillä kiinni, koska aina on mahdollista, että ne voivat osua johonkin kuumaan tai pyörivään osaan. Turvallisuudesta pitää huolehtia aina.



Kuva 8. Johtojen läpivienti sisäilmanottokanavan kautta. Se oli helpompi toteuttaa kuin tehdä erillinen läpivientiä johdoille.

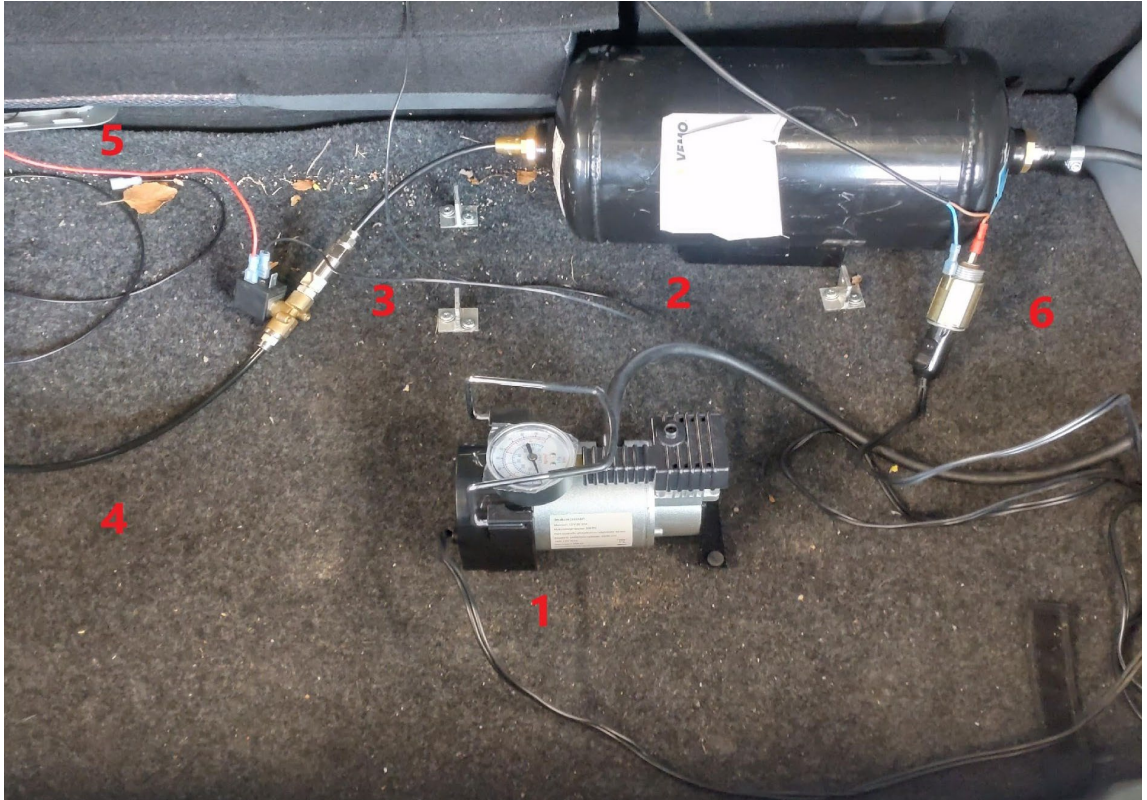


Kuva 9. Johtojen väliin kompressorille ja magneettiventtiilille tarkoitetut sulakkeet, jotka suojaavat ylijännitteestä tulevaa mahdollista oikosukua tai ylikuormitusta. Katkaisijoiden avulla kompressoria ja venttiiliä voidaan ohjata eri aikaan päälle ja pois.

Oikosulku tarkoittaa kahden sähköjohtimen välitöntä kosketusta, jota ei saisi tapahtua. Siitä voi aiheutua johtojen kuumentuminen tai sähkölaitteiden hajoaminen. Ylikuormitus tapahtuu silloin, kun samassa virtapiirissä on monta sähkölaitetta päällä samaan aikaan. Se voi polttaa piirissä olevan sulakkeen, kun tämän vastusarvon määrä ylitetään.

Johtosarjojen suunnittelussa on tärkeää muistaa valita sopiva johdot huomioiden niiden paksuus eli halkaisija, oikea pituus ja olosuhteet, joissa niiden on kestettävä.

Aiemmin nähty havainnekuva järjestelmästä (kuva 5) esittää seuraavassa kuvassa näkyvää järjestelmää pääkomponentteineen, jossa "jarrupoljin" on korvattu katkaisijalla (kuva 10).



Kuva 10. Järjestelmän pääkomponentit: 1. Kompressori, josta lähtee ilmaletku säiliöön, 2. paineilmasäiliö, 3. magneettiventtiili takaiskuventtiilin kanssa, 4. ilmaputki, joka menee kuljettajan puolen rumpujarrun jarrukilpeen, 5. johdot magneettiventtiilille, 6. johdot kompressorille.

Jos järjestelmää jatkokehitetään, niin autoon pitäisi tehdä kunnolla omat paikat osille, niin että ovat piilotettuina auton sisäverhoilun ja korin väliin jäävään tyhjään tilaan. Tällä vältetään tilan vieminen tavaratilasta.

Olennaista on myös varmistaa komponenttien laatu, ilmasäiliön koko, paineilmakompressorin tuotto ja venttiilien ominaisuudet.

4 Lämpötilamittaukset tuloksineen

Jäähdytystesteissä (kuva 11, 12) käytettiin Raytek-laserlämpömittaria, jolla sai mitattua jarrun lämpötilan ennen ja jälkeen jäähdytyksen.

Testimittaukset suoritettiin Metropolian autolaboratorion jarrudynamometrillä, jossa jarruja lämmitettiin demonstroiden kovia jarrutustilanteita. Parin jarrupoljinpainalluksen jälkeen jarrutettiin niin, että jarrut menivät lukkoon ja auto ajettiin dynamometrin jarrurullilta pois. Tämän jälkeen rumpujarruista mitattiin lämpötila ja rumpujarruja jäähdytettiin. Paineilma oli laitettu kerääntymään jarrutustilanteiden aikana valmiiksi järjestelmään. Nämä vaiheet suoritettiin neljä kertaa, joista ensimmäinen oli järjestelmän testaus ja loput kolme mittaustestejä, joissa mitattiin lämpötila ennen jäähdytystä ja jäähdytyksen jälkeen ja kirjattiin lämpötilaero.

Testin mittaukset yllättivät, koska niissä odotettiin paljon pienempiä lämpötilamuutoksia jäähdytyksen jälkeen. Lämpötilat vaihtelivat noin 10–15 °C:n asteen välillä. Testeillä pystyi toteamaan, että järjestelmän periaate toimii ja rumpujarrun jäähdyttäminen on mahdollista.

Kuvissa 11 ja 12 sekä taulukosta 1 näkee, kuinka paljon lämpötila laskee jäähdytyksen jälkeen. Lämpötila on mitattu niin, että on odotettu, että lasermittauslaite tasaa lämpötilan näytöllä. Näytöstä näkyy myös maksimilämpötila ennen jäähdytystä ja jäähdytyksen jälkeen. Testeistä pystyy havaitsemaan, että paineilmajäähdytyksellä on teoreettisesti ja

käytännössä vaikutusta rummun lämpötilan jäähtymiseen. Lämpötilat on mitattu kuljettajan puolen rumpujarrusta.

Viimeisen mittauksen jälkeen havaittiin, että kuljettajanpuoleinen taka-akselin rumpujarru jäähtyi nopeammin kuin apukuljettajan puoleinen, jossa ei ole paineilmajäähdytystä.

Asian pystyi huomaamaan, kun jäähdytettyä kuljettajanpuoleista rumpua pystyi koskettamaan paljain käsin, kun apukuljettajan puoleista ei voinut edes koskettaa kuumuuden takia.



Kuva 11. Rummun lämpötila ennen jäähdytystä.



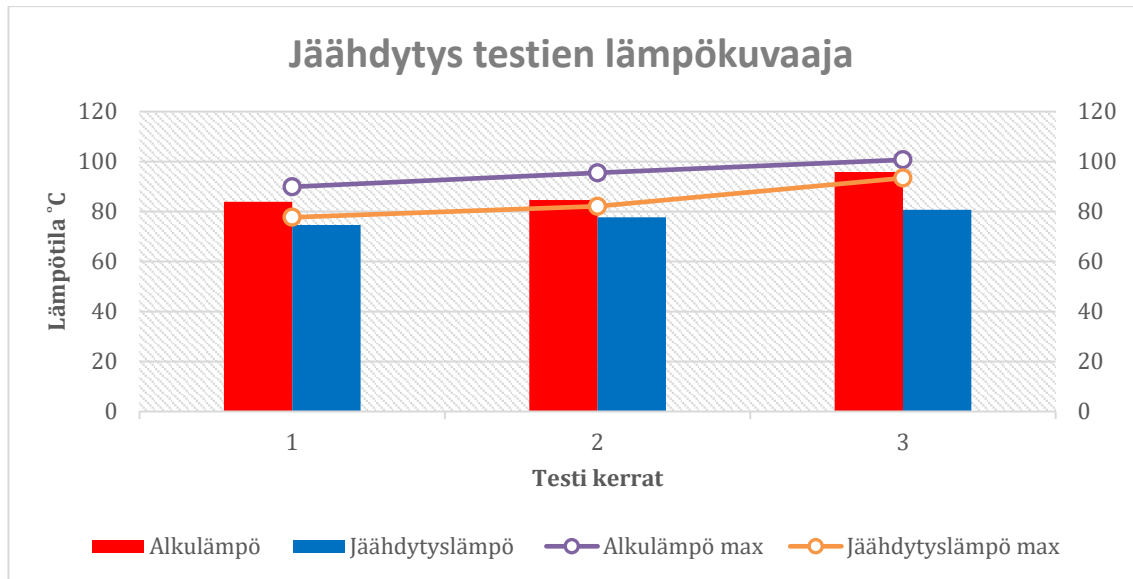
Kuva 12. Lämpötila jäähtytyksen jälkeen.

Taulukosta 1 ilmenee lämpötilojen muutos, kun jarrun lämpötila on tasaantunut. Maksimiarvot kertovat jarrun lämpötilan, kun se mitattiin heti (maksimiarvo).

Taulukko 1. Testien lämpötilat alussa ja jäähtytyksen jälkeen. Ensimmäiset kolme riviä kertovat testien määrän eli 3 kpl, joista on laskettu testien lämpötilat yhteensä ja niiden keskiarvot jakamalla ne testikertojen määrällä.

Alkulämpö	Jäähdytys lämpö	Alkulämpö Max	Jäähdytysläm- pö Max
83.9	74.6	89.9	77.7
84.6	77.7	95.5	82.1
95.8	80.7	100.7	93.4
=264.3	=233	286.1	253.2
Alkulämpötila a keskiarvo	Jäähdytyksen lämpötila keskiarvo	Maksimilämpö keskiarvo	Max jäähdytykseen keskiarvo
$264,3:3=88,1$	$233:3=77,43$	$286,1:3=95,36$	$253,2:3=84,4$

Alla oleva kuvaaja (kuva 13) havainnollistaa, miten lämpötilat muuttuivat jokaisella testimittauksella.



Kuva 13. Testien lämpötilat. Kuvaajan vasemmassa laidassa on lämpötila-asteikko (°C).

Taulukosta ja kuvaajasta pystytään havaitsemaan, että paineilmajäähdytys on rumpujarruissa toimiva idea käytännössä ja teoreettisesti. Oikeanlaisia osia käytettäessä voi järjestelmästä olla hyötyä raskaassa kalustossa, koska siellä on isommat ilmanpaineet paineilmajärjestelmässä. Näitä asioita ei nyt ollut mahdollista kokeilla ajan ja rajallisen budjetin takia.

Testit osoittivat myös sen, että jarrupölyä ei pölähdä juuri jarrukilven välistä 4,5 bar:n ilmanpaineen vaikutuksesta. Tietenkin asia voi olla toisin, jos järjestelmässä käytettäisiin suurempaa baarimäärää, minkä lisäksi ilmiöön vaikuttavat järjestelmän komponentit.

5 Yhteenveto projektista

Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia ja selvittää, onko mahdollista jäähdyttää rumpujarruja paineilman avulla, joka on tuotettu kompressorilla (jälkiasennettu tai auton omaan kalustoon kuuluva osa). Kompressori löytyy nykyään useasta ajoneuvosta, jossa on ilmajousitus tai paineilmajarrut. Työssä rakennettiin autoon paineilamalla toimiva rumpujarrujen jäähdytysjärjestelmän prototyyppi, jota testattiin Metropolia Ammattikorkeakoulun autolaboratorion jarrudynamometrissa.

Projektin toteutuksen alussa oli haasteita, jotka hidastavat etenemistä. Ongelmia olivat paineilman ylivirtaus venttiiliin läpi ja Covid-19-pandemia, joka esti mittausten tekemisen

Metropolian autolaboratoriossa. Pienet ongelmat saatiin ratkaistua ja jarrujen paineilmajäädytyksen prototyyppi rakennettua toimivaksi kokonaisuudeksi. Insinööriyötä vaikeutti myös asiaan liittyvän lähdetiedon niukkuus. Ei siis ollut vertailukohdetta, johon järjestelmän toimivuutta ja jäähdytysominaisuuksia olisi voinut verrata.

Paineilmajäädytyksestä voidaan todeta olevan hyötyä. Sen ansiosta rumpujarrujen tehokkuus paranee, koska rumpuihin ei kohdistu niin suurta lämpöä, joka aiheuttaisi jarrujen häipymisen, ja tämä taas lisää turvallisuutta. Jarrujen paineilmajäädytys myös vähentäisi huoltokustannuksia, koska jarrurumpuja ja -kenkiä ei tarvitsisi huoltaa niin usein, koska ne eivät lasittuisi nopeasti jarrupölyn ja lämmön vaikutuksesta. Varsinkin rekoissa jarrupöly ja jarrujen lämpötila on ollut pitkäaikainen ongelma.

Mielestäni järjestelmä toimii asianmukaisesti, ja sitä olisi mahdollista jatkokehittää henkilöautoihin ja isompiin ajoneuvoihin niin kun sitä on yritetty tehdä Fleetwood resource managementin toimesta paremmilla laitteilla ja osilla [5; 6]. Esimerkiksi jarrupolkimen vapauduttua ohjainyksikkö havaitsee sen ja ohjaa magneettiventtiiliä niin, että se päästää paineilmaa kovalla paineella rumpujarruihin.

Toisin sanoen järjestelmän toteuttaminen ja toimiminen käytännössä on mahdollista ja siitä olisi hyötyä. Järjestelmää kannattaisi kehityksen aikana testata lisää, esimerkiksi tutkia, miten järjestelmä toimii eri sääolosuhteissa, sekä seurata jarrujen kulumista ja lasittumista. Järjestelmää voisi soveltaa myös levyjarruihin. Tässäkin asiassa pitää kuitenkin ottaa huomioon muuttuvat ja mahdolliset tulevat säädökset liittyen jarrupölyn haittoihin.

Lähteet

- 1 Jarrut. Rumpujarrut. Verkkoaineisto. Autowiki.
<<https://www.autowiki.fi/index.php/Jarrut>>. 14.1.2018. Luettu 12.12.2021.
- 2 Varaosat. Suzuki SX4. Rumpujarru. Triscan. Verkkoaineisto. Autodoc.
<<https://www.autodoc.fi/autosat/jarrurumpu-10133/suzuki/sx4/sx4-ey-gy/19550-1-6-vvt>>. Luettu 26.3.2022.
- 3 Jarrupöly voi aiheuttaa syöpää. 2014. Verkkoaineisto. Autobild.
<<https://autobild.fi/uutinen/vaittely-kiihtyy-automaailmassa-aiheuttaako-autojen-jarrupoly-syopaa-6.182.116963.2862fd90bd>>. 6.5.2014. Luettu 9.1.2022.
- 4 Laine, Olavi. 1981. Autotekniikka, osa 2. Alusta ja pyörän tuenta. Toinen, uusittu painos. Kustannusyhtymä: Sonator Oy.
- 5 Air cooling for drum brakes. 2016. Verkkoaineisto. Trucking Info. Fleetwood Resource Management. < <https://www.truckinginfo.com/203996/air-cooling-for-air-brakes>> 7.1.2016. Luettu 10.11.2021.
- 6 Air brake cooling systems. 2016. Verkkoaineisto. Truck Parts and service. Fleetwood Resource Management.
<<https://www.truckpartsandservice.com/maintenance/components/article/14981742/air-brake-cooling-system>>. 19.1.2016. Luettu 23.5.2022.

Raskaan kaluston paineilmajähdytteiset rumpujarrut [6]

