

Peik Ruuhiala

# Vesi-ilmavälijäähdytinsijärjestelmän toteuttaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

7.5.2016

Tekijä(t) Otsikko	Peik Ruuhiala Vesi-ilmavälijäähdytinjärjestelmän toteuttaminen
Sivumäärä Aika	35 sivua + 1 liite 7.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaaja(t)	Vesa Linja-aho, Lehtori
<p>Tämä insinööri työ käsittelee vesi-ilmavälijäähdytinjärjestelmän valmistamista harrastajatasoisessa toimintaympäristössä. Siinä kuvataan myös, onko järjestelmän toteutus mahdollinen tällaisessa toimintaympäristössä.</p> <p>Välijäähdytinjärjestelmän eri osien valintaa ja valmistusta kuvataan asteittain valmistusprosessissa. Valmistusprosessi kuvautuu tiedonhankinta, suunnittelu, toteutus ja arviointiprosessin kautta.</p> <p>Tässä työssä kuvataan välijäähdytinjärjestelmän sijoittamista projektin kohteena olevan auton moottoritilaan. Kuvauksessa tarkastellaan sijoitusympäristön mahdollisimman hyvää tilankäyttöä ja järjestelmän kompaktia asettelua moottoritilaan.</p> <p>Työn alussa kuvataan välijäähdytinjärjestelmään tarvittavat rakenneosat ja niiltä vaadittavia ominaisuuksia. Tämän jälkeen kuvataan järjestelmän eri osien toiminnallista taustaa ja järjestelmän toiminnalliseen kokonaisuuteen vaikuttavia tekijöitä joiden perusteella järjestelmän osia hankitaan.</p> <p>Lopuksi kuvataan, kuinka välijäähdytinjärjestelmän kokonaisrakenne syntyy. Tarkastellaan järjestelmään rakennettavien osien valmistusta ja niiden rakenteeseen liittyviä muutoksia ja muutosten perusteita.</p>	
Avainsanat	välijäähdytin, vesi-ilmavälijäähdytin, välijäähdytinjärjestelmä

Author(s) Title	Peik Ruuhiala Implementation of a Water to Air Intercooler System
Number of Pages Date	35 pages + 1 appendix 7 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor(s)	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis deals with the production of a water to air intercooler system in an enthusiast-level operating environment. It also describes whether the implementation of this system is possible in such an environment.</p> <p>The selection and production of the different parts of the intercooler system are explained step by step during the process. The process is described through information gathering, planning, execution and evaluation.</p> <p>The project begins with a description of the parts necessary for this intercooler system and their properties. After this, the functional background of the different parts and factors that affect the system's functionality are explained. They are used to determine the selection of the parts.</p> <p>Finally, the thesis explains how the complete structure of the intercooler system is created, and the fabrication of the parts and customization of their structure are described.</p>	
Keywords	intercooler, water to air intercooler

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Insinööriyössä kuvattava projekti	2
3	Vesi-ilmavälijäähdytinjärjestelmän rakenneosat	4
3.1	Välijäähdytin	5
3.2	Jäähdytysnesteen jäähdytin	5
3.3	Jäähdytysnestesäiliö	5
3.4	Paisuntasäiliö	5
3.5	Letkut ja niiden liitännät	6
3.6	Kiertovesipumppu ja sen ohjaus	6
3.7	Sähkötuuletin ja sen ohjaus	6
3.8	Mitta-anturit	7
4	Rakenneosien valinta valmistettavaan järjestelmään	7
4.1	Välijäähdytin	7
4.2	Jäähdytysnesteen jäähdytin	8
4.3	Jäähdytysnestesäiliö	8
4.4	Paisuntasäiliö ja sen valinnan perusteet	8
4.4.1	Paine	9
4.4.2	Välijäähdytinjärjestelmän nestetilavuuden mittaaminen	10
4.5	Letkut ja niiden liitännät	12
4.6	Kiertovesipumppu ja sen ohjaus	13
4.7	Sähkötuuletin ja sen ohjaus	14
4.8	Mitta-anturit	15
5	Välijäähdytinjärjestelmän tekninen toteuttaminen ja valmistus	15
5.1	Laitteiston modifiointi hitsaamalla ja siihen käytetyt lisämateriaalit	15
5.2	Välijäähdyttimen asennus imusarjaan	16
5.3	Jäähdytysnesteen jäähdyttimen sijoitus, muokkaus ja asennus	22
5.4	Jäähdytysnestesäiliön sijoitus, suunnittelu ja valmistus	25
5.5	Paisuntasäiliö muokkaus ja asennus	28

5.6	Kiertovesipumpun kiinnitystuen valmistus ja asennus	29
5.7	Letkujen valmistus	30
6	Välijäähdytinjärjestelmän jäähdytysneste	31
7	Välijäähdytinjärjestelmän ohjainlaite	31
8	Yhteenveto	31
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. Kuvia vesi-ilmavälijäähdytinprojektista	

## Lyhenteet

PWM Pulse-Width modulation, pulssinleveysmodulaatio.

EPDM Ethylene propylene diene monomer rubber, eteenipropeenikumi.

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena on selvittää, voiko harrastelijatasoisessa työskentely-ympäristössä rakentaa autoon toimivan vesi-ilmavälijäähdytinjärjestelmän. Insinööri-työssä kuvataan ja selvitetään laitteiston osien toimintatapoja, toteutettavien osien valin-  
taprosessia, suunnittelua ja valmistusta.

Järjestelmän toiminnalle asetetaan tavoite, jossa oletetaan laitteiston kykenevän jäähdyttämään välijäähdyttimen läpi virtaavaa ilmaa. Laitteiston toimivuuden kautta oletetaan saavutettavan moottorin tehon säädettävyyttä siten, että moottorista saatavaa tehoa voidaan lisätä.

Asetetuille hypoteeseille kerätään näyttöä teoreettisen tietoaaineiston ja tuottamistaitoku-  
vauksien kautta. Tuottamisprosessissa käytetään hankittuja tietoja ja taitoja parhaiden  
suunnittelu- ja tuottamisratkaisujen aikaansaamiseksi tuotantoprosessissa. Tuotantoon  
valitaan ratkaisuja, jotka syntyvät toteuttajan valintahetkellä vallitsevaan parhaaseen tie-  
totaitoon tukeutuen. Insinööriyö saa näin tapaustutkimuksen luonteen (case study), jol-  
loin tavoitteena ei ole löytää laitteistoon liittyviä yleistyksiä ja tyypillisiä piirteitä eikä syy-  
seuraussuhteita, vaan pikemminkin kuvailla laitteistoa ja tehdä uusia havaintoja raken-  
nettavan laitteiston ominaisuuksista sekä toimivuudesta [1].

Toimintaprosessin kehässä korostuu toiminnan evaluointi, koska on kyse pitkälti oppi-  
misprosessista, jossa suurin osa toiminnoista ja niihin liittyvistä tiedoista ja taidoista  
avautuvat ensimmäistä kertaa tekijälle. Omat havainnot ohjaavat huomattavissa määrin  
toimintaa ja tiedonhankintaa, johon muutossuunnittelu, kehitystyö ja valitut muutosrat-  
kaisut perustuvat. Tämän insinööriyön rakennusprojektissa lähdetään liikkeelle määrit-  
telemällä ne osakomponentit, joita vesi-ilmavälijäähdytin laitteiston rakentamiseen tarvi-  
taan. Osakomponentteihin liittyvää teoreettista taustaa selvitetään rakentamisen ja tek-  
nisten rakenteiden valinnan tueksi. Laitteiston kokonaisuutta rakennettaessa pyritään  
optimoimaan myös valmiiden osakomponenttien käyttö teoreettisesti perustelluista läh-  
tökohdista maksimaalisen laitejärjestelmän toimivuuden saavuttamiseksi tämän insinöö-  
riyön kontekstissa.

Timo Tuomivaara luonnehtii insinöörin tieteellistä asiantuntemusta siten, että insinööri 1) osaa tai taitaa 2) tietää osaavansa tai taitavansa ja 3) kykenee tieteellisesti perustelemaan osaamisensa [2, s. 60 – 61]. Tässä insinööriyössä pyritään perustelemaan teknisiä ratkaisuja ja toimintoja tieteellisen tiedon lähtökohdista.

## 2 Insinööriyössä kuvattava projekti

Välijäähdytin on autoissa oleva laitteisto, jolla jäähdytetään ahtimelta imusarjaan syötettävää paineistettua ilmaa. Paineistettaessa ilman lämpötila kasvaa ja sen tiheys laskee. Lämpimän ilmamassan sisältämä hapen määrä on pienempi kuin viileämmän alkuperäisen imuilman [3 s.142; 4]. Ilmaa jäähdytetään hapen määrän lisäämiseksi palotilassa, jolloin polttoainetta voidaan syöttää polttomoottoriin enemmän. Ilman jäähdyttämällä parannetaan moottorin täyttösuhdetta ja tehoa.

Insinööriyö sisältyy osaksi laajempaa Nissan Patrol Gr -maastoauton kunnostus- ja kehitysprojektia. Tässä insinööriyössä on tarkoituksena selvittää, kyetäänkö vesi-ilmavälijäähdytinjärjestelmä rakentamaan harrastajatasoisessa työskentely-ympäristössä. Lisäksi työssä pohditaan, mitkä laitteiston rakenneosat on järkevää tehdä itse ja mitkä osat hankkia valmiina markkinoilla olevista käyttötarkoitukseen soveltuvista osista. On myös ratkaistava, kuinka muuttaa ja liittää ne valmiina hankittavat osat, jotka eivät sovellu sellaisenaan valmistettavaan välijäähdytinjärjestelmään asennettaviksi. Insinööriyön tarkoituksena on myös systemaattisesti kuvata itse valmistusprosessin kulkua ja toiminnan sisältöä (tiedonhankinta – suunnittelu – toteutus - reflektointi).

Välijäähdytin on ahtimen ja imusarjan välissä toimiva jäähdytyskenno, jolla ahtoilmaa jäähdytetään. Imusarja kiinnittyy moottorin sylinterikanteen ja ahdin moottorin pakosarjaan. Ahdin saa käyttövoimansa moottorin pakokaasuvirrasta. Tässä auton rakentamisprojektissa tehtiin täydellinen moottorin remontti, uusittiin ahdin ja rakennettiin uusi pakoputki.

Pakoputki muodostuu neljästä osasta. Ensimmäinen osa toimii sovitteena ahtimen ja lopun pakoputken välissä (kuva 1). Ahtimen pakoaukko on ellipsin muotoinen, ja se muodostuu pakoaukosta ja hukkaportista. Ensimmäinen osa muuttaa elliptisen muodon pyöreäksi. Pakoputken osat liittyvät toisiinsa putken liitospäihin hitsattavilla v-pantaliitoksilla.



Toinen pakoputken osa kiinnittyy vaihdelaatikkoon ja päättyy jakolaatikon kohdalla. Kolmannen pakoputken osan alussa on jousto-osa ja se jatkuu taka-akselin etupuolelle. Neljäs pakoputken osa ylittää taka-akselin ja päättyy vasemman takarenkään taakse (kuva 2). Kaksi viimeistä pakoputken osaa kiinnitetään auton runkorakenteisiin. Pakoputki on valmistettu ruostumattomasta teräksestä.

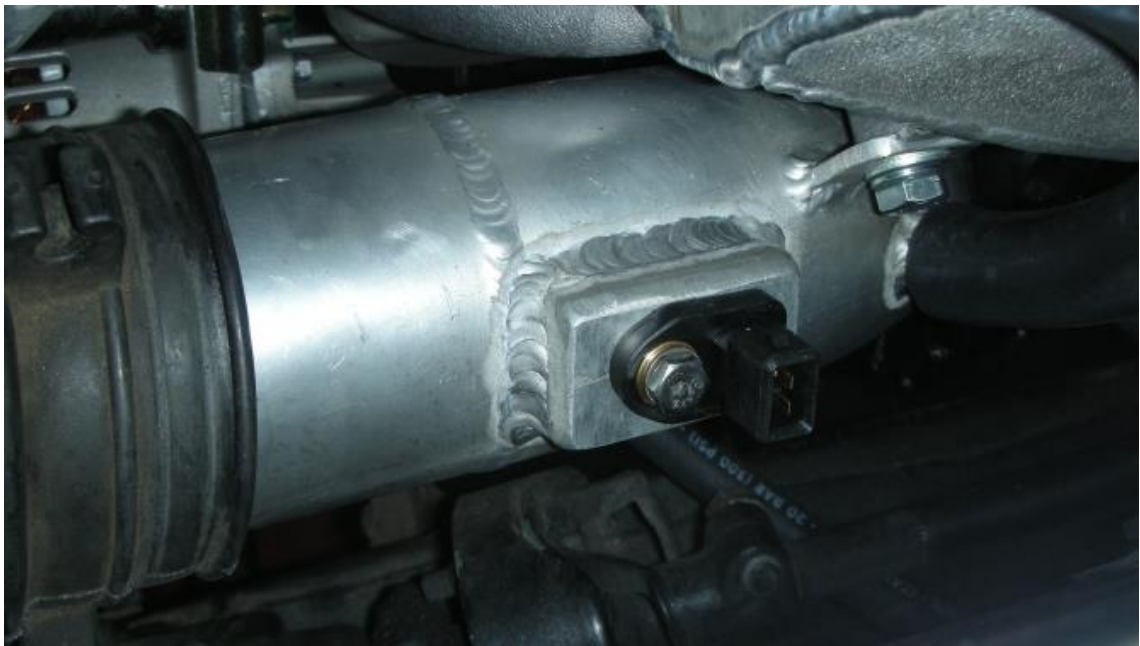


Kuva 1. Pakoputken ensimmäinen osa.



Kuva 2. Pakoputken muut osat; kuvasta puuttuu yksi liitoskohta ja jousto-osa.

Ahtimelle tuleva imuputkisto uusittiin osittain. Ilmansuodatinkotelo ja siihen kiinnittyvä kuminen joustinosa käytettiin alkuperäisestä imuputkistosta. Joustinosan ja ahtimen väliin valmistettiin hitsaamalla uusi väliosa yhdestä suorasta ja yhdestä 90°:n alumiiniputkesta [5], joka kiinnittyy ahtimen ilmanottoaukkoon 90° supistavalla silikonimutkalla. Imuputkeen tehtiin paikka imuilman lämpötila-anturille ja moottorin huohotin letkulle. Siihen rakennettiin myös kannatinosa, joka kiinnittyy imusarjaan (kuva 3). Ahtimen hukkaportinkellolle jouduttiin rakentamaan uusi kannake, joka kiinnittyy ahtimen kompressorikoteloon. Uusi tuki jouduttiin rakentamaan, koska ahtimen mukana ollutta alkuperäistä kannaketta ei voitu käyttää hukkakellon asennuspaikan muututtua.



Kuva 3. Imuputki.

### 3 Vesi-ilmavälijäähdytinjärjestelmän rakenneosat

Tässä luvussa esitellään insinööriyössä tarvittavia vesi-ilmavälijäähdytinjärjestelmän osia. Lisäksi nimetään järjestelmän osat ja kuvataan niiden toimintaan sekä niiden toiminnan ohjaukseen ja tehostamiseen tarvittavia osia.

### 3.1 Välijäähdytin

Välijäähdytin käyttää ilma- ja nestekiertoista kennoa ahtoilman jäähdyttämiseen. Kennossa on jäähdytinlamellit sekä ilma- että nestekierron puolella. Välijäähdyttimen lamellikennon avulla lasketaan sen läpi virtaavan ahtoilman lämpötilaa johtamalla ilmasta lamelleihin säteilevää lämpöä lamellirakenteiden kautta jäähdytysnesteeseen. Välijäähdyttimen lamelli- ja runkorakenteet on valmistettu alumiinista, ja alumiini toimii lämmön välittäjäaineena. Alumiinin lämmönjohtavuus on  $237 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ . Jos kenno olisi valmistettu kuparista ( $400 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ ) alumiinin sijaan, saataisiin jäähdytystä tehostettua vielä enemmän. [3, s. 72 – 73]

### 3.2 Jäähdytysnesteen jäähdytin

Välijäähdyttimen nesteen jäähdyttimenä voidaan käyttää mitä tahansa nesteen jäähdyttämiseen soveltuvaa kennoa, josta jäähdytysnesteessä oleva lämpö johdetaan lamelleihin ja säteilytetään sieltä ulkoilmaan. Kennoon pinta-ala ja lamellien määrä määrittää jäähdyttimen jäähdytystehon sekä kennon tilavuus ja rakenne lämpöenergian siirtokyvyn.

### 3.3 Jäähdytysnestesäiliö

Erillisellä jäähdytysnestesäiliöllä saadaan kasvatettua välijäähdytinjärjestelmän nestekapasiteettia, jolla saadaan tasattua jäähdytysnesteen lämpövaihtelua. Säiliön kautta voi myös täyttää järjestelmän jäähdytysnesteellä. Jäähdytysnestesäiliön rakenteesta ja sen tyypistä riippuen siinä voidaan käyttää myös jäätä lisäjäähdytyksen aikaansaamiseksi erityisissä käyttötilanteissa.

### 3.4 Paisuntasäiliö

Paisuntasäiliö tarvitaan jäähdytysjärjestelmään, koska jäähdytysnesteen lämmitessä sen tilavuus kasvaa lämpölaajenemisesta johtuen. Lämpölaajenemisen aiheuttama lisääntynyt jäähdytysneste jäähdytysjärjestelmässä johdetaan varastoon paisuntasäiliöön. Paisuntasäiliön toiminnan avulla estetään jäähdytysjärjestelmään syntymästä liikaa

painetta. Jäähdytysnesteen jäähtyessä paisuntasäiliöön varastoitunut neste voi palata jäähdytysjärjestelmään eikä jäähdytysjärjestelmään pääse syntymään alipainetta ja jäähdytysnestevajausta.

### 3.5 Letkut ja niiden liitännät

Jäähdytysnestettä kierrätetään eri jäähdytysjärjestelmän osien välillä letkujen välityksellä. Letkua valittaessa huomioidaan, että letku soveltuu jäähdytysnesteen siirtoon. Letkuliittimiä valittaessa painotetaan niiden kestävyyttä, asennettavuutta, helppokäyttöisyyttä ja muunneltavuutta, esimerkiksi erilaisia kiinnikkeiden lähtökulmia.

### 3.6 Kiertovesipumppu ja sen ohjaus

Jäähdytysnesteen kiertoon käytetään yleensä sähköistä kiertovesipumppua. Pumpuna voidaan käyttää yksinkertaista on/off-pumppua tai PWM-ohjattua pumppua, jolloin pumpun pyörintänopeutta voidaan säätää. Pumpua valittaessa on hyvä ottaa huomioon sen tuotto ja nostokyky suhteutettuna käyttötarkoitukseen.

Kiertovesipumpun tyyppi määrittää, minkälaisen ohjauksen se vaatii. Yksinkertainen on/off-pumppu tarvitsee toimiakseen käyttökytkimen ja releen. PWM-ohjattu pumppu vaatii ohjainlaitteen, joka kykenee tuottamaan PWM-signaalia pumpun pyörintänopeuden ohjaamista varten.

### 3.7 Sähkötuuletin ja sen ohjaus

Sähkötuuletin tehostetaan jäähdytysnesteen jäähdyttimen jäähdytystä tehostamalla ilmavirtaa, joka kuljettaa pois jäähdyttimestä säteilevää lämpöä. Sähkötuuletinta valittaessa ja sen asennuspaikkaa tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon, onko se toiminnaltaan imevä vai puhaltava. Toimintatapa määrittää, kummalle puolelle jäähdytintä se asennetaan.

Sähkötuuletinta voidaan ohjata käyttämällä relettä ja käyttökytkintä, jolloin tuuletin pyörii vain täydellä teholla. Sähkötuuletinta on myös mahdollista ohjata PWM-signaalin kykenevän ohjainlaitteen avulla, jolloin sen pyörintä nopeutta voidaan säätämään portaattomasti.

### 3.8 Mitta-anturit

Välijäähdytinjärjestelmän ohjaustoimintoihin tarvitaan neljä mitta-anturia. Kaksi mitta-anturia asennetaan ilmankiertoon ja kaksi mitta-anturia nestekierto.

## 4 Rakenneosien valinta valmistettavaan järjestelmään

Tässä luvussa esitellään välijäähdytinjärjestelmään valittuja osia ja niiden valintaan liittyviä asioita. Lisäksi määritellään osien valintaan vaikuttavia ehtoja ja valinnan päätökseen vaikuttavia tekijöitä.

### 4.1 Välijäähdytin

Välijäähdyttimen valintaan vaikutti jäähdytyskennon koko suhteessa imusarjan kokoon ja se, että se mahtuisi korkeudeltaan konepeiton alle. Hankittavan välijäähdyttimen jäähdytyskenno sai olla korkeintaan 14 cm leveä, 12 cm korkea ja 30 cm pitkä. Välijäähdyttimen jäähdytyskennon tulisi olla tarkoitettu vesi-ilmalauhduttimeksi. Hankintaan vaikuttavana tekijänä oli myös se, että jäähdytyskennossa tuli olla mahdollisimman hyvä lämmönjohtokyky, joka saavutettaisiin alumiinisella ainesrakenteella ja teknisellä rakenteella, jossa on lamellit sekä neste- että ilmanavissa. Jäähdytyskennon valmistusaineena tulee olla alumiini myös siksi, että se on kiinnitettävissä imusarjaan hitsaamalla.

Tämän insinööriyön välijäähdyttimen valmistusprojektin välijäähdytinkennoksi valittiin vesi-ilmalauhdutin, joka on kokonaan valmistettu alumiinista. Hankitun välijäähdyttimen kennon mitat ovat leveys 11,5 cm, korkeus 11,5 cm ja pituus 24,5 cm. Kennossa on lamellit ilma- ja vesikanavissa. Välijäähdytinkenno hankittiin ulkomailta.

#### 4.2 Jäähdytysnesteen jäähdytin

Jäähdytysnesteen jäähdyttimen valintaan vaikuttivat seuraavat tekijät. Jäähdytin sijoitetaan Nissan Patrol GR -maastoauton moottorin jäähdyttimen eteen auton etumaskin ja jäähdyttimen väliin jäävään tyhjään tilaan. Lukkopellin muoto ja rakenne on huomioitava jäähdytyskennon kokoa arvioitaessa. Jäähdytyskennon paksuutta määrittää sen eteen asennettavan sähkötuulettimen koko ja rakenne. Jäähdyttimessä tulee olla kaksinkertainen nestekierto eli nesteen sisään- ja ulostulon tulee sijaita samassa päädyssä. Jäähdyttimen valmistusmateriaalin tulee olla alumiinia, jotta sitä voi muokata tämän projektin käyttötarkoitukseen sopivaksi.

Tämän insinööriyön välijäähdyttimen jäähdytimeksi valittiin toisen sukupolven Volkswagen Golf -henkilöauton kokonaan alumiinista valmistettu moottorin jäähdytysnesteenjäähdytin. Jäähdytin on ulkomitoiltaan 520 mm leveä, 320 mm korkea ja 45 mm syvä. Siinä on 32 mm:n letkulähdöt samassa päädyssä. Jäähdyttimen nestetilavuudeksi mitattiin noin 1,9 litraa (vedenlämpötila noin +23 °C). Jäähdytin hankittiin ulkomailta.

#### 4.3 Jäähdytysnestesäiliö

Markkinoilta ei löytynyt valmista auton moottoritilaan soveltuvaa jäähdytysnestesäiliötä. Säiliö valmistetaan itse ja valmistusmateriaaliksi valittiin alumiini.

#### 4.4 Paisuntasäiliö ja sen valinnan perusteet

Välijäähdyttimen toiminta rakentuu viidestä rakenteellisesta elementistä, joissa kiertää jäähdytysnestettä. Ensimmäisenä järjestelmän rakenteellisena elementtinä on välijäähdytin, joka sijaitsee imusarjan osana sen päällä. Välijäähdytinelementin nestetilavuudeksi mitattiin noin 0,8 litraa.

Välijäähdyttimestä neste virtaa välijäähdyttimessä lämmittyään auton keulalla sijaitsevaan jäähdytyskennoon. Jäähdytyskennon ja sen nestepesien tilavuudeksi mitattiin noin 1,9 litraa.

Auton keulalla olevassa kennossa jäähdytetty jäähdytysneste virtaa auton konetilassa oikeassa laidassa (edestä katsottuna) sijaitsevaan säiliöön. Säiliön rakennekuvaan perustuva laskennallinen tilavuus on noin 15,9 litraa ja mitattu tilavuus 15,4 litraa.

Letkujen ja pumpun nestetilavuus on noin 0,4 litraa ja järjestelmän kokonaistilavuudeksi saatiin noin 18,5 litraa ( $0,8 \text{ l} + 1,9 \text{ l} + 15,4 \text{ l} + 0,4 \text{ l} = 18,5 \text{ l}$ ).

#### 4.4.1 Paine

Jäähdytysnestejärjestelmä tehdään vapaasti hengittäväksi, jolloin paine pysyy lähes samana järjestelmässä kun neste pääsee vapaasti laajenemaan. Nesteen lämpölaajenemisen takia on hyvä selvittää paisuntasäiliön tilavuuden tarve. Paisuntasäiliön tilavuuden tarve saadaan laskettua Boylen lain avulla. Boylen lain mukaan paineen muutos ideaalikaasussa aiheuttaa käänteisen muutoksen kaasun tilavuudessa, tällöin paine ja tilavuus ovat suhteessa toisiinsa isometrisessä prosessissa [6].

Nesteiden lämpölaajeneminen ei ole niin suurta kuin kaasujen mutta suurempi kuin kiinteiden aineiden. Vesi tiivistyy välillä  $0 \text{ °C} - 4 \text{ °C}$ , ja lämpölaajeneminen alkaa  $4 \text{ °C}$ :sta ylöspäin. [7]

Välijäähdyttimen maksimaalinen lämmönvaihtelu on  $4 \text{ °C}$  lämpöasteesta aina kiehumispisteeseen, jolloin järjestelmän nesteen laajeneminen maksimissaan olisi  $18,5 \text{ l} \times 0,21 \times 10^{-3} \times 96 \text{ °C} = 0,37296 \text{ litraa}$ , jos järjestelmässä olisi pelkkää vettä [3, s. 78 – 79; 3, s. 115]. Glykolille taulukkokirja ei anna tilavuuden lämpötilakerrointa [3, s. 78 - 79]. Veden lämpölaajenemisen perusteella paisuntasäiliöksi aiotun säiliön tilavuus on riittävä, varsinkin kun huomioidaan koko järjestelmän lämpölaajeneminen, joka vähentää jonkin verran paisuntasäiliöön virtaavaa lämpölaajentumisesta johtuvaa nestettä. Järjestelmän lämpölaajenemista ei lasketa tässä yhteydessä, koska sillä ei katsota olevan juuri merkitystä paisuntasäiliön valinnan kannalta, kun kiinteä aine lämpenee vähemmän kuin neste.

Boylen teorian katsotaan olevan merkityksellinen tässä projektissa valmistettavan välijäähdyttimen toiminnan tuloksen kannalta siksi, että koko järjestelmä toimii tämän lain teoreettisen näkemyksen mukaan. Kaasun jäähtyessä sen tilavuus pienenee ja massa kasvaa. Tästä johdettuna sylinteriin voidaan syöttää rikkaampaa ilmaa, jolloin myös moottorin täytössuhde kasvaa.

#### 4.4.2 Välijäähdytinjärjestelmän nestetilavuuden mittaaminen

Välijäähdytinjärjestelmän kennojen ja nestesäiliön tilavuus mitattiin mitta-astialla. Mitta-astiana käytettiin mittalasia. Mittalasisista mittauste kaadettiin ensin mitattavaan kohteeseen kunnes mitattava kohde oli täytynyt. Tämän jälkeen mittaneste kaadettiin takaisin mittalasiin tarkistusmittausta varten. Mittalasin mittatarkkuus oli 1 ml.

Mittalasi on valmistettu Pyrex-lasista lämpölaajentuman minimoimiseksi ja mittatilavuuden varmistamiseksi. Mitattavat kohteet ja mittauste olivat tasalämpöisiä. Tasalämpöisyydellä pyrittiin vähentämään lämpölaajentumisesta syntyvää mittavirhettä. Mitattavien kohteiden ja mittanesteen lämpötila oli mittauksen alussa 22,6 °C, joka oli mittaustapaikalla vallitseva lämpötila. Lämpömittarina käytettiin pientä [8], kätevää ja nopeaa lämpömittaria, jonka lämpötila-alue on 0–220 °C ja näytön mittatarkkuus 0,1 °C.

Reliaabelius tutkimuksessa tarkoittaa mittaustulosten toistettavuutta, jolloin tutkimustulokset eivät ole sattumanvaraisia tuloksia. Toistomittausmenetelmällä tarkoitetaan mittaustapaa, jossa samaa mittaustapaa käytetään uudestaan. [9] Tässä projektissa mitaukset suoritettiin välijäähdytinjärjestelmän kennoille kaksi kertaa ja nestesäiliölle kerran. Kennojen tilavuuden laskeminen olisi lähes mahdotonta niistä saatavan mittainformaation kautta, jolloin tässä projektitapauksessa päädyttiin tilavuuden mittaamiseen manuaalisesti nesteen avulla (ks. taulukko 1). Samalla haluttiin verrata projektin aikana valmistetun välijäähdytinjärjestelmän nestesäiliön tilavuutta suunnittelukuvan mitoista laskettuun tilavuuteen. Välijäähdytinjärjestelmän tilavuutta mitattiin välijäähdytinjärjestelmän nestejärjestelmän paisuntasäiliön koon määrittämiseksi. Järjestelmästä tulee vaipaasti hengittävä.

Taulukko 1. Välijäähdytinjärjestelmän osien nestetilavuuksien mittaustulokset.

<b>Välijäähdyttimen kennon tilavuus</b>			
Mittauskerta	Syötetty nestemäärä	Poistettu nestemäärä	Lämpötila °C
1	771 ml	769 ml	22,6
2	770 ml	768 ml	22,4
<b>Jäähdytysneste kennon tilavuus</b>			
Mittauskerta	Syötetty nestemäärä	Poistettu nestemäärä	Lämpötila °C
1	1888 ml	1887 ml	22,6
2	1888 ml	1887 ml	22,5
<b>Jäähdytysnestesäiliön tilavuus</b>			
Mittauskerta	Syötetty nestemäärä	Poistettu nestemäärä	Lämpötila °C
1	15404 ml	15403 ml	22,6



Kennojen mittaustuloksissa on hieman eroavuuksia, joten niille laskettiin keskiarvot ( taulukko 2). Niitä voi selittää mittaushetkellä tehdyillä havainnoilla. Kennojen tyhjennystoimenpide oli haastavampi kuin niiden täyttäminen. Kennoihin tuntui jäävän mittaustestettä. Jäähdytysneste kennossa ei ole lamelleja nesteen virtausputkissa kuten välijäähdyttimen kennossa. Välijäähdyttimen kennosta neste saatiin huomattavasti nopeammin ulos kuin jäähdytysnesteen kennosta. Ilmaa puhallettaessa kennoihin huomasi myös ilman kosteus-eron ilman sumuisuudesta. Lamellit tuntuivat sitovan nestettä itseensä enemmän, todennäköisesti suuremman pinta-alansa vuoksi.

Taulukko 2. Mittaustulosten keskiarvot millilitroina.

	ml
Välijäähdyttimen kenno	769,5
Jäähdytysneste kenno	1887,5
Jäähdytysnestesäiliö	15403,5
Yhteensä	18060,5

Nestesäiliön tilavuuden voi laskea myös sen rakenne kuvien mittojen mukaan. Rakennekuvien mitoista laskettaessa nestesäiliön tilavuudeksi saadaan 15,872 litraa. Säiliön tilavuus pienentyi kuitenkin suunnitellusta. Säiliötä jouduttiin madaltamaan noin 15 mm sen etureunalta. Madaltamisen tarve syntyi auton lokasuojan alaspäin kaartuvan muodon johdosta, jota ei osattu huomioida säiliön kokonaiskorkeutta mitatessa. Suunnitellun ja toteutuneen tilavuuden ero on varsin pieni, joten voidaan katsoa säiliön valmistuksen onnistuneen varsin hyvin.

Letkujen nestetilavuus laskettiin ja pumpun nestetilavuus arvioitiin. Letkun halkaisija on 19 mm, pituutta letkuilla on yhteensä noin 1,5 metriä ja letkujen nestetilavuuden laskettiin olevan noin 0,34 litraa ( $8,5^2 \text{ mm} \times \pi \times 1500 \text{ mm} = 340470,1 \text{ mm}^3 \approx 0,34 \text{ dm}^3 = 0,34 \text{ l}$ ) [3, s. 30; 3, s. 69]. Pumpun tilavuutta ei mitattu koska sen tilavuuden merkitys paisuntasäiliön valintaan nesteen lämpölaajentuman perusteella on varsin pieni. Letkujen ja pumpun yhteiseksi nestemääräksi arvioitiin 0,4 litraa.

Kun tutkimusmenetelmä kykenee selvittämään sitä, mitä sillä on tarkoitus selvittää, tutkimus on pätevää ja luotettavaa eli validia [10]. Välijäähdytinjärjestelmän nestetilavuuden mittaamisprosessin voidaan katsoa olevan pätevä eli validi siihen tarkoitukseen, mihin mittaustulosta tarvitaan.

Paisuntasäiliöksi valittiin yleismallinen tuulilasin pesulaitteen säiliö. Se on valmistettu pakkasta ja lämpöä kestävästä nailonista, ja sen tilavuus on 1,5 litraa. Säiliön on mitoitetaan 130 mm leveä, 195 mm korkea ja 95 mm syvä. [11]

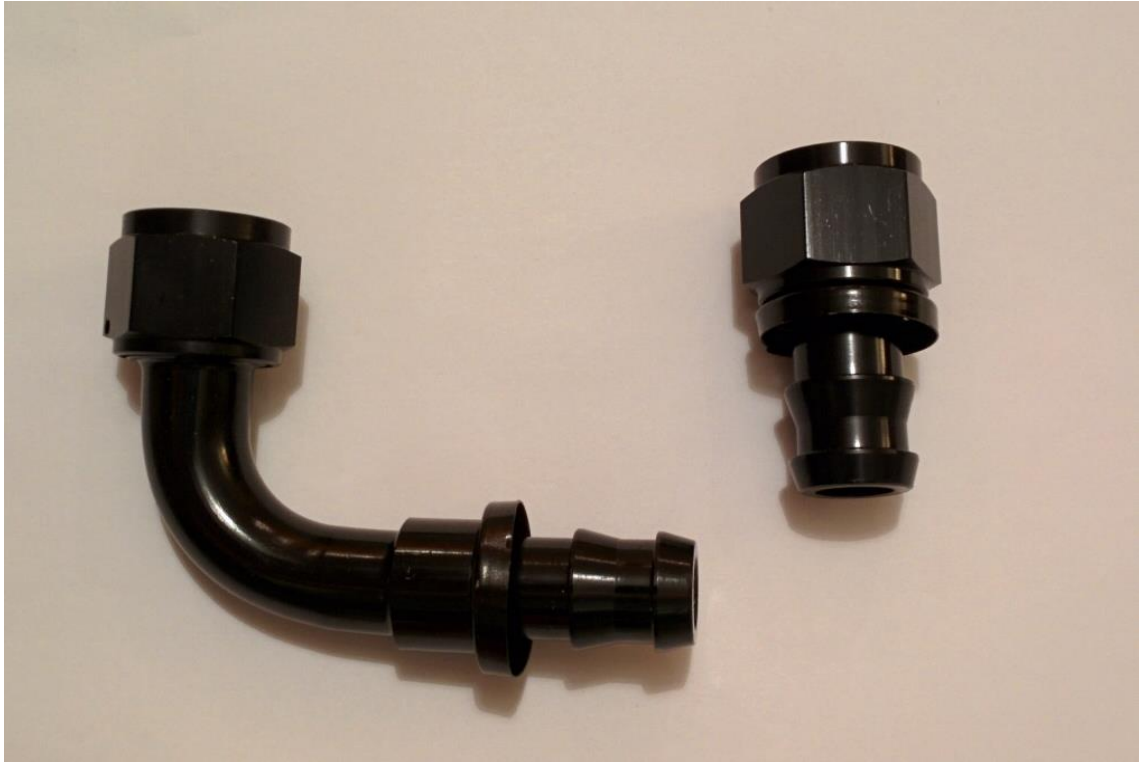
#### 4.5 Letkut ja niiden liitännät

Letkujen valinnassa asiantuntijana toimi Dunlop Hiflex Koivuhaka, ja sen suosituksen mukaan letkuiksi valittiin Alfacomman valmistama yleiskäyttöön tarkoitettu 20 bar kestävä EPDM-letku. Letku on sisähalkaisijaltaan 19 mm (kuva 4).

DUNLOP HIFLEX		VESI- JA PAINEILMALETKUT						
EPDM-LETKU YLEISKÄYTTÖÖN 20 BAR, ALFAGOMMA 976AB JA 956AB								
		Sisäpinta: Musta sähköä johtava EPDM.		Vahvistus: Vahva tekstiilikudos.				
		Ulkopinta: Harmaa EPDM - hankauksen ja otsonin kestävä.		Käyttökohteet: Nesteiden ja ilman siirto.				
		Käyttölämpötila: -40°C – +100°C.		Pintapainatuksen teksti: ALFAGOMMA - ITALY - L-976 (tai T-956) - 20 BAR.				
		Pintapainatuksen tyyppi: Mustat kirjaimet.		Varmuuskerroin: 3,1.				
Tuotenumero							Valmistuspituus	Varastointipituus
	mm	mm	mm	g/m	bar	mm	m	m
<b>976AB:</b>								
06-KYY-006	6	13	3,5	130	20	48	100	100
06-KYY-008	8	15	3,5	160	20	64	100	100
06-KYY-010	10	17	3,5	190	20	80	100	100
06-KYY-013	13	21	4	290	20	104	50	50
06-KYY-016	16	25	4,5	360	20	128	50	50
06-KYY-019	19	29	5	460	20	152	50	50
06-KYY-025	25	35	5	580	20	200	50	50

Kuva 4. Järjestelmään valittu letku. Dunlop Hiflex Teollisuustuotteet luettelo 2015. [12]

Liittimeksi valikoituivat push-on-tyyppiset AN-12-liittimet. Liittiminä käytettiin kahta tyyppiä: suoraa ja 90°:n kulmaa (kuva 5). Liitin koostuu kahdesta osasta, letkuun liitettävästä kappaleesta, jossa on sisäkierteinen liitospää, ja laiteosaan kiinnitettävä ulkokierteinen kierreholkki (kuva 7). Liittimet hankittiin ulkomailta.



Kuva 5. AN-12-liittimet.

#### 4.6 Kiertovesipumppu ja sen ohjaus

Tämän insinööriyön välijäähdyttimen rakennusprojektissa välijäähdytinjärjestelmän kiertovesipumpun tulee olla autokäyttöön soveltuva siirtopumppu. Sen tulee käydä 12 voltin virtajärjestelmään. Pumpun on kestävä jähdytysnestettä ja Suomen oloissa tapahtuvia suuria lämpötilanvaihteluja. Pumpussa on myös oltava mahdollisimman isot letkulähdöt, jotta virtauspaine pysyy mahdollisimman alhaisena, ja sen virtausnopeuden tulee olla vähintään 20 l/min. Pumpun pyörintänopeutta on voitava säätää PWM-signaalilla.

Tämän insinööriyön välijäähdyttimen rakennusprojektin välijäähdytinjärjestelmään valittu pumppu on Pierburg CWA 50. Se on PWM-ohjattu pumppu, jossa on 19 mm halkaisijaltaan olevat letkulähdöt ja sen maksimituotto on 30 l/min. Pumppua käyttävät esim. BMW, Audi ja Volkswagen vesi-ilmavälijäähdyttimissä (kuva 6). Pumppu ostettiin käytettynä ulkomailta.

## CWA-50 – Electrical Cooling Water Pump – Turbo Bearing Cooling

1 of 2

▶ **Technical Data**

- Flow Rate : 0...1,8 m<sup>3</sup>/h = 0...30 l/min
- Operating Point : 1,45 m<sup>3</sup>/h @ 0,6 bar
- Voltage : 8 V ... **12,5 V** ... 16,5 V
- Current Consumption : < 6,5 A @ 12,5 V
- Ambient Temperature : -40°C ... +140°C
- Coolant Temperature : -40°C ... +128°C
- Communication : PWM or LIN-Bus

▶ **Customers / Prod. Volumes**

- BMW - Charged Air Cooling V8
- Audi - Charged Air Cooling V6
- Chrysler - Hybrid Vehicle
- Series Production since 2008



Kuva 6. Pierburg CWA 50 -pumpun tekniset tiedot [13].

Välijäähdyttimen nestekiertojärjestelmän pumppua ohjataan järjestelmän ohjainlaitteella. Ohjainlaitteena käytetään Arduino Mega2560 -mikrokontrolleria. Pumppua ohjataan PWM-signaalilla.

#### 4.7 Sähkötuuletin ja sen ohjaus

Sähkötuuletinta hankittaessa tarkastettiin sen soveltuvuus 12 voltin virtajärjestelmään ja kyky tuottamaan riittävä ilmavirtaus jäähdyttimelle. Jäähdyttimen tuulettimen tuli olla puhaltava. Tuulettimen tuli myös mahtua sille suunnitellulle paikalle. Tuulettimeksi valittiin malli, jonka lavat voidaan kääntää, jolloin tuuletin on imevä tai puhaltava. Se on halkaisijaltaan 12 tuumaa (305 mm), ja syvyys on 63 mm ja sen ilmansiirtokyky on 800 m<sup>3</sup>/h. Se toimii 12 voltin virtajärjestelmässä. [14]

Sähkötuuletinta ohjataan järjestelmän ohjainlaitteella. Ohjainlaitteena käytetään Arduino Mega2560 -mikrokontrolleria. Sähkötuuletinta ohjataan PWM-signaalilla.

#### 4.8 Mitta-anturit

Järjestelmään tarvittiin kaksi nesteen lämpötila-anturia ja kaksi ilmanlämpötila-anturia, joista toisessa on myös paineanturi. Nesteen lämpötila-antureilla valvotaan välijäähdyttimelle menevän ja siltä poistuvan jäähdytysnesteen lämpötilaa. Ilmanlämpötila-antureilla valvotaan imuilmanlämpötilaa ja välijäähdyttimen jälkeistä ilmanlämpötilaa ja painetta imusarjassa.

Kaikki järjestelmässä käytetyt anturit ovat Boschin valmistamia. Nesteen lämpötila-anturit ovat tuotenumeraltaan 0 280 130 026. Imuilmanlämpötila anturi on tuotenumeraltaan 0 280 130 085. Ilmanlämpötila-paineanturi on tuotenumeraltaan 0 281 002 401.

### 5 Välijäähdytinjärjestelmän tekninen toteuttaminen ja valmistus

Tässä luvussa esitellään välijäähdytinjärjestelmän kokonaisuuden rakentumista tiedonhankinnan, suunnittelun, toteutuksen ja arvioinnin kautta. Tiedonhankinnassa esimerkiksi esitellään alumiinin hitsaukseen valmistautumisesta. Suunnittelussa tulee esille tekninen suunnittelu piirtämällä ja toteutuksessa muotoileva suunnitteluote ja jatkuvan tuottamisprosessissa saadun palautteen hyödyntäminen. Välijäähdytinjärjestelmän osien valmistusta kuvataan varsin yksityiskohtaisesti, jotta toiminnan taito ja toimintaan liittyvä tieto kohtaisivat.

#### 5.1 Laitteiston modifiointi hitsaamalla ja siihen käytetyt lisämateriaalit

Alumiinista valmistettujen osien muutostöissä käytettiin tig-hitsausta rakenneosien kiinnittämisessä toisiinsa. Hitsauslaitteena käytettiin Everlast Power Tig 210 EXT.

Minulla oli kokemusta alumiinin hitsauksesta mutta viime hitsauskerrasta oli kulunut jo useampi vuosi, joten alumiinin hitsaustaito oli otettava uudelleen haltuun. Kuten kaikessa taitojen opiskelussa alku on aina hankalinta. Pelkän tiedon varassa ei aina voi toimia ja saada aikaan hyvää lopputulosta, joten hitsasin useamman harjoituskappaleen ja perehdyin alumiinin hitsauksen teoriaan lukemalla AGAn Pienoisoppaan – alumiinihitsaus [15].

Oppaan alussa määritellään alumiini, joka on seos, jonka rauta ja piipitoisuus on alle 1,0 painoprosenttia. Alumiiniseokset jaetaan muovattaviin ja valettaviin seoksiin. Muovattavaa alumiiniseosta käytetään pääsääntöisesti hitsattavissa rakenteissa. Alumiinin murtolujuus määrittää sen hitsattavuutta ja hitsaustapaa. Alumiinin voimakas lämpölaajeneminen aiheuttaa muodonmuutosta, joka tulee huomioida ja mahdollisimman symmetrinen hitsaus olisi eduksi lopputuloksen kannalta. Hitsauksen hyvän lopputuloksen kannalta on myös huolellinen hitsattavan kohdan pesu alkoholilla tai asetonilla tarpeen. Myös mekaaninen harjaus ruostumattomalla teräsharjalla edistää hitsauksen hyvän lopputuloksen saavuttamista. Suojakaasua tulee myös käyttää huokoisuuden ja hapettumisen estämiseksi. Hitsauksen suojakaasuksi sopii argon, joka on yleissuojakaasu. Perehdyin hitsaukseen myös internetistä löytyvien videositysten kautta. Hitsaukseen liittyviä videoita löytyy esimerkiksi YouTubesta. [16]

Tämän insinööriyön välijäähdytinjärjestelmään rakennusprojektissa rakennettiin 11 osaelementtiä, joita muokattiin valmiista osista, joihin yhdistettiin valmiita osia tai ne rakennettiin kokonaan uusia osaelementtejä toimivaksi välijäähdytinjärjestelmäksi.

Välijäähdytinjärjestelmän osien yhdistämiseen ja muotoiluun käytettiin lisäaineena muovattavaa alumiinimateriaalia. Materiaaleina käytettiin kahta erilaista alumiinilattaa 5 mm x 50 mm x 2000 mm ja 4 mm X 40 mm x 2000 mm [17], 2 mm:n paksuista alumiinilevyä ja 25 mm halkaisijaltaan olevaa alumiinainestankoa. Alumiininen ainestanko ja kahden millimetrin paksuista alumiinilevyä löytyi henkilökohtaisesta varastosta. Aluminiainestankoa oli noin 10 cm:n pituinen pala ja alumiinipeltiä noin 1,5 m<sup>2</sup>. Hitsauksen lisäaineena käytettiin Elgan Alutig SI5 -täytelankaa [18].

## 5.2 Välijäähdyttimen asennus imusarjaan

Alkuperäisessä suunnitelmassa oli tarkoitus käyttää valmista vesi-ilmavälijäähdytintä, joka olisi asennettu moottorin venttiilikoneiston kannen yläpuolelle. Imusarjaan olisi tehty uusi sisääntuloaukko ja vanha aukko olisi peitetty. Jos välijäähdyttimen olisi asentanut suunniteltuun paikkaan, ahtoputkista joutuisi valmistamaan pitkät ja monimutkaiset. Tämä sijoituspaikka olisi myös vaikeuttanut moottorin huoltotoimenpiteitä peittämällä moottorin kannen yläosan.

Välijäähdytin päädyttiin asentamaan suoraan moottorin imusarjaan. Tällä rakenneratkaisulla saadaan minimoitua ahtoputken pituus, eivätkä tällä sijoituspaikalla moottorin huoltotoimenpiteet vaikeudu. Lyhyellä ahtoputkella minimoidaan myös turboviive. Imusarjaan yhdistetty välijäähdytin vie myös vähiten tilaa moottoritilassa. Alkuperäisen imusarjan ollessa moottoritilassa moottorin oikealla puolella edestäpäin katsottaessa se sijoittuu samalle puolelle kuin lähes kaikki muut järjestelmän tarvittavat järjestelmän osat sijoittuvat. Järjestelmän jäähdytysnestekierron toteuttaminen yksinkertaistuu ja letkulinjojen pituudet jäävät mahdollisimman lyhyeksi.

Välijäähdyttimenä toimiva kenno saadaan valmiista vesi-ilmävälijäähdyttimestä. Välijäähdyttimen kennon molemmissa päissä on jäähdytysnesteelle lähdöt, jotka johtavat kummassakin päässä kennossa olevaan jäähdytysnestepesään. Jäähdytysneste virtaa suoraan kennon läpi.

Välijäähdyttimeen nestekanaviin asennettiin AN12-kierreholkkit hitsaamalla. Ennen hitausta kanavien reikiä jouduttiin suurentamaan, jotta holkki pystyttiin asentamaan välijäähdyttimeen (kuva 7). Välijäähdyttimestä poistetaan alkuperäiset päätykotelot sen molemmilta puolilta. Jäljelle jää kenno jäähdytysnestepesineen ja niissä olevat kierreholkit.



Kuva 7. AN-12 kierreholkin asennus välijäähdyttimen kennoon.

Imusarjan muokkaaminen aloitettiin valmiina hankitun kennon mittojen ja rakenteen mukaan. Jäähdytyskennon ja imusarjan yhdistämisessä joudutaan muuttamaan imusarjan ahtoilman syöttöjärjestelmä. Alkuperäinen ahtoilma tulee imusarjaan alapuolelta kolmannen ja neljännen sylinterin imukanavan välistä, missä se jakaantuu imusarjan painekotelossa kullekin sylinterille. Välijäähdytin sijoitetaan imusarjan painekoteloon, jolloin ilman virtaussuuntaa joudutaan muuttamaan. Imusarjassa oleva alkuperäinen ilmansyöt-

töaukon syöttöputki poistetaan ja jäljelle jäävä aukko suljetaan hitsaamalla siihen alumiininen sulkulevy. Samalla aukko kohtaa muotoillaan viistoamalla sitä, jotta saadaan tilaa ahtimelle menevälle ahtoputkelle.

Alkuperäisen imusarjan painekoteloa joudutaan muokkaamaan, jotta välijäähdyttimen jäähdytyskenno voidaan liittää sen yläosaan. Imusarjasta poistetaan sen kansiosa. Tämän jälkeen seinämät leikataan irti hieman imusarjan imukanavien yläpuolelta. Imusarjan etuseinämää (moottorista ulompi seinämä) kallistetaan 5° ulospäin ja hitsataan uudestaan kiinni. Imusarjan takaseinää kallistetaan 38° ulospäin (moottoriin päin) ja hitsataan kiinni. Tällä ratkaisulla välijäähdyttimen jäähdytyskenno saadaan mahdollisimman lähelle sylinterin kantta ja ilmavirtaus jakaantumaan tasaisesti ja tehokkaasti imukanaviin (kuva 8).

Imusarjan sisäpuolelle rakennettiin ilmanohjauslevyt imusarjan vanhan imuaukon kohdalle, jotta ilma jakautuisi tasaisemmin imukanaviin. Seuraavaksi imusarjan päädyt muotoiltiin symmetrisiksi. Tämän jälkeen välijäähdytin asennettiin väliaikaisesti imusarjaan kiinni teipeillä, jotta imusarjan päätyihin jääneisiin aukkoihin voitiin valmistaa peitelevyt 2 mm:n alumiinilevystä. Peitelevyt hitsattiin ensiksi kiinni välijäähdytinkennoon, minkä jälkeen itse kenno hitsattiin kiinni imusarjaan (kuva 9).



Kuva 8. Imusarjan seinät ja ilmanohjauslevyt hitsattuna paikoilleen.





Kuva 9. Välijäähdyttimen kennoon hitsatut päätyjen peitelevyt.

Välijäähdyttimen päätykotelo muotoiltiin ja valmistettiin aluksi malliksi ohuesta alumiinipelistä, koska sitä oli helppo työstää. Päätykotelon rakenne koostuu viidestä osasta, kotelon ala- ja ylälevystä, kahdesta kylkilevystä ja halkaisijaltaan 50,8 mm:n putkesta. Valmis malli suoristettiin ja siitä saatiin tehtyä kaavat 2 mm:n alumiinilevyille, josta päätykotelon lopullista osat valmistettiin.

Päätykotelon valmistaminen aloitettiin hitsaamalla 50,8 mm:n putki kiinni alalevyyn, minkä jälkeen alalevy hitsattiin ylälaidasta koko matkaltaan kiinni välijäähdyttimeen (kuva 10). Seuraavaksi ylälevy asennettiin paikoilleen ja hitsattiin kiinni välijäähdyttimeen, alalevyyn ja 50,8 mm:n putkeen. Viimeisenä hitsattiin paikoilleen pätylevyt.



Kuva 10. Välijäähdyttimen kennon päätykotelon alalevy ja sisääntuloaukko.

Välijäähdyttimeen asennettiin myös ilmausruuvi, koska se on välijäähdytinjärjestelmän ylin kohta. Kennon päädyn ylälataan oikeaan reunaan hitsattiin holkki ilmausruuville. Ilmausruuvin holkkina käytettiin välijäähdyttimen jäähdytysnesteen jäähdytinkennosta poistettua kiinnitysholkkia. Ilmausruuvi tiivistettiin kupariprikalla.

Imusarjan painon lisääntyä huomattavasti välijäähdyttimen jäähdytyskennon asennuksen takia imusarjaan valmistettiin kaksi lisätukea tukevoittamaan sen kiinnitystä sylinterikanteen ja ne hitsattiin kiinni imusarjan kumpaankin pätyyn. Lisätuet valmistettiin 5 mm:n paksuisesta alumiinilatasta.

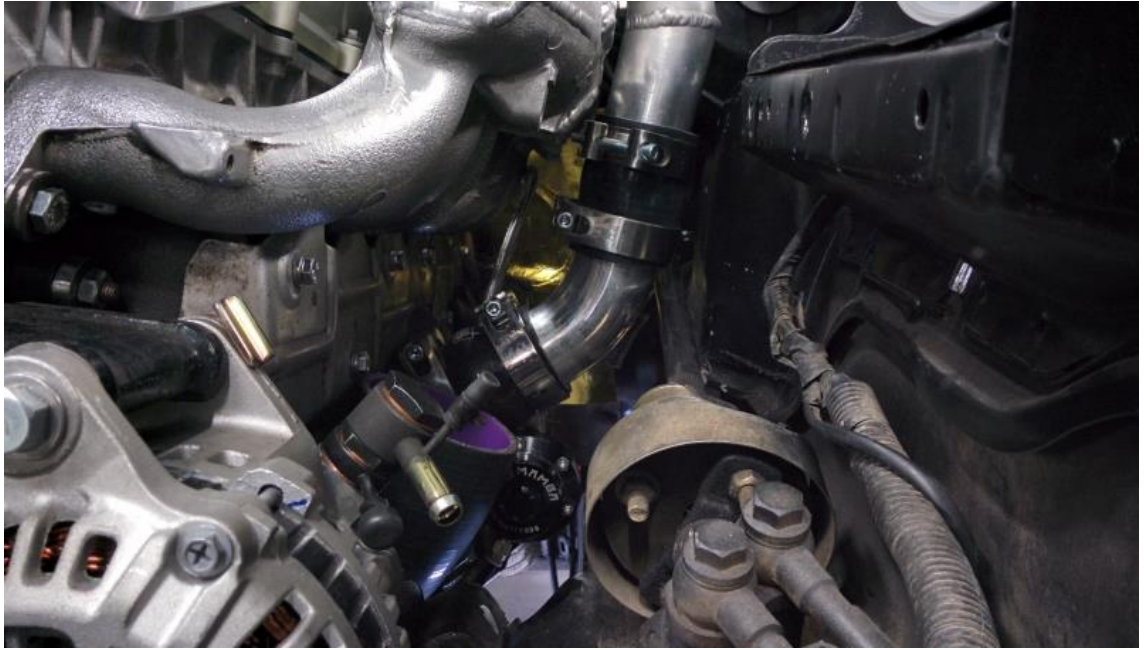
Imusarjan vasempaan etulataan valmistettiin korokelevy ilmanlämpötila-paineanturille. Anturia ei voitu asentaa suoraan imusarjan kylkeen, koska se tiivistetään o-renkaan avulla eikä imusarjan seinävahvuus ollut riittävän suuri tiivistyksen kannalta. Imusarjan ulkoseinä on myös kaareva, ja kaarevuus saatiin oikaistua korokelevyn avulla. Anturi vaatii suoran kiinnityspinnan (kuva 11).



Kuva 11. Valmis imusarja.

Imusarjan oikeaan päätylevyyn valmistettiin ja hitsattiin kiinni kierteellinen holkki, johon kiinnitettiin SMC:n valmistama pikakiinnitysletkulähtö jakajapumpun ahdonalaisen syötön painekelloa varten [19].

Ahdin yhdistetään imusarjaan käyttämällä kahta halkaisijaltaan 50,8 mm:n putkelle tarkoitettua silikoniletkua ja yhtä 45°:n alumiiniputkikulmaa [20], joka on halkaisijaltaan 50,8 mm. Letkut kiristettiin putkiin käyttäen halkaisijaltaan 65 mm:n pantakiristimiä (kuva 12).



Kuva 12. Ahtoputki ja sen kiinnitys.

### 5.3 Jäähdytysnesteen jäähdyttimen sijoitus, muokkaus ja asennus

Jäähdytysnesteen jäähdyttimen (kuva 13) kennoa jouduttiin muokkaamaan, jotta se olisi mahdollista asentaa osaksi järjestelmää. Kenno päädyttiin sijoittamaan auton moottorin jäähdyttimen eteen, lukkopellin alla olevaan tyhjään tilaan ja siinä aivan sen oikeaan laitaan autoa edestäpäin katsottaessa.



Kuva 13. Jäähdytin alkuperäisessä kunnossa.

Alkuperäiset letkulähdöt olivat halkaisijaltaan 32 mm, ja ne poistettiin kokonaan, koska ne sijaitsivat väärässä paikassa eivätkä ne olleet yhteensopivat pumpun letkulähtöjen kanssa (pumpun letkulähdöt 19 mm). Jäljelle jääneet aukot suljettiin hitsaamalla niiden päälle peitelevyt. Samalla poistettiin paisuntasäiliön lähtö ja sen reikä hitsattiin umpeen.

Alkuperäisiä letkulähtöjä poistettaessa havaittiin kennon nestekierron jakavan välilevyn olevan kiinnitettynä vain yhdellä pistehitsillä. Tämän johdosta päädyttiin avaamaan kennon kylki keskiosasta, jotta välilevy pystyttiin hitsaamaan kokonaan kiinni rakenteeseen.

Uusien letkulähtöjen kierreholkki liittimet sijoitettiin kennon oikean päädyn ylä- ja alalaitaan autoa edestäpäin katsottaessa, koska oikeasta laidasta saadaan lyhimmat letkulinjat välijäähdyttimelle ja jäähdytysnestesäiliölle. Kierreholkki liittimet on valmistettu alumiinista, ja ne hitsattiin kiinni kennoon. Kierreholkki liittimet ovat kooltaan AN12 (kuva 14).

Kennon kummallakin puolella oli neljä kappaletta noin sentin korkuisia kiinnitysholkkeja. Ne jouduttiin poistamaan auton moottorin jäähdyttimen puolelle tulevalta laidalta, koska ne olisivat ottaneet kiinni auton moottorin jäähdyttimeen.



Kuva 14. Jäähdyttimen valmis pääty.

Kennon oikean päädyn ylälaitaan hitsattiin holkki ilmausruuville. Ilmausruuvien lähtönä käytettiin kennosta poistettua kiinnitysholkkia. Ilmausruuvi tiivistettiin kupariprikalla.

Kennon ylälähdön alapuolelle valmistettiin 25 mm:n alumiinitangosta holkki lämpötila-anturille. Holkkiin tehtiin kierteellinen reikä anturille ja holkki asennettiin hitsaamalla.

Kennon yläreunaan valmistettiin 2 mm:n alumiinilevystä kaksi kappaletta L:än muotoista kiinnikettä kennon kiinnitystä varten. Kiinnikkeisiin porattiin 8 mm:n reiät kiinnityspultteja varten. Kenno kiinnitetään näiden avulla yläreunasta auton lukkopeltiin (kuva 15).

Kenno kiinnitetään alareunasta auton moottorin jäähdyttimen edessä olevaan ala poikkipalkkiin. Poikkipalkkiin hitsattiin lattaraudasta valmistetut korotuspalat. Korotuspaloihin porattiin 10 mm:n reiät, joihin kennon alareunassa olevat kiinnitystapit asettuvat. Kiinnitystapit eristettiin auton korista läpivientikumien avulla.

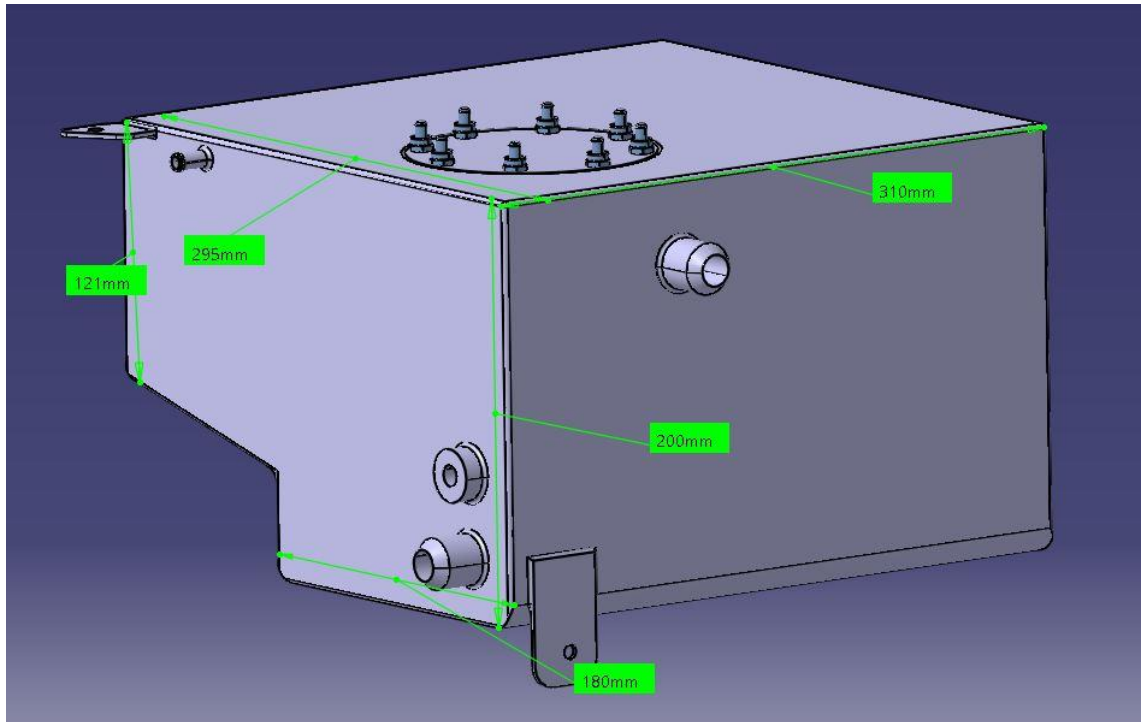


Kuva 15. Valmis jäähdytysnesteen jäähdytin asennettuna autoon.

#### 5.4 Jäähdytysnestesäiliön sijoitus, suunnittelu ja valmistus

Jäähdytysnestesäiliö oli aluksi tarkoitus sijoittaa auton moottoritilan vasempaan takanurkkaan. Tästä ideasta luovuttiin, koska sen sijainti olisi hankaloittanut moottorin dieselsuodattimen vaihtoa. Sijoituspaikka olisi myös vaatinut järjestelmään pitkät jäähdytysnesteen letkulinjat. Säiliö päädyttiin lopulta sijoittamaan oikeanpuoleisen akun paikalle (auton edestä katsottaessa). Tälle paikalle on mahdollista valmistaa tarpeeksi suuri säiliö. Säiliön asentaminen ja irrottaminen on tässä sijoituspaikassa helppoa. Välijäähdytinjärjestelmän letkulinjoista tulisi mahdollisimman lyhyet keskeisen sijaintipaikasta johtuen ja säiliö olisi tukevasti kiinnitettävissä ympäröiviin rakenteisiin.

Tila määritteli säiliön muodon. Tila mitattiin, ja sen perusteella piirrettiin säiliön rakennekuvat (kuva 16). Säiliön valmistusmateriaalina käytettiin 2 mm:n alumiinilevyä. Säiliön runko muodostuu neljästä osasta. Päädyt ja pohja muodostivat yhden osan, kansi ja kyljet muodostivat loput.



Kuva 16. Jäähdytysnestesäiliön rakennekuva.

Säiliön täyttöä varten kansiosaan tehtiin iso pyöreä reikä. Kannen sisäpuolelle reiän kohdalle hitsattiin 5 mm:n paksuisesta alumiinilatasta valmistettu pyöreä tukirakenne, johon tehtiin 6 mm:n kierteellä olevat reiät. Näihin reikiin asennettiin pultit pinnapulteiksi. Reiän kohdalle valmistettiin pyöreä levy aukon kanneksi, jossa on reiät pinnapultteja varten. Kannen tiivisteenä käytetään 1 mm:n paksuisesta kumimatosta valmistettua kannen koosta palaa. Kansi kiinnitetään säiliöön siipimuttereilla.

Seuraavaksi säiliön kylkipalat pistehitsattiin pääty- ja pohjalevyyn, minkä jälkeen sama toimenpide suoritettiin kansilevyille. Säiliö hitsattiin kokonaan mahdollisimman symmetrisin hitsauksin lämmön aiheuttamien vääntymien estämiseksi (kuva 17).

Säiliön korkeamman päädyn (muodostaa säiliön etuosan) yläreunaan vasemmalle hitsattiin kiinni AN12-kierreholkki säiliön nestekierron sisääntuloksi ja vasempaan alanurkkaan hitsattiin 2 mm:n paksuisesta alumiinilevystä valmistettu kiinnike, johon oli porattu 7 mm:n reikä 6 mm:n kiinnityspulttia varten.

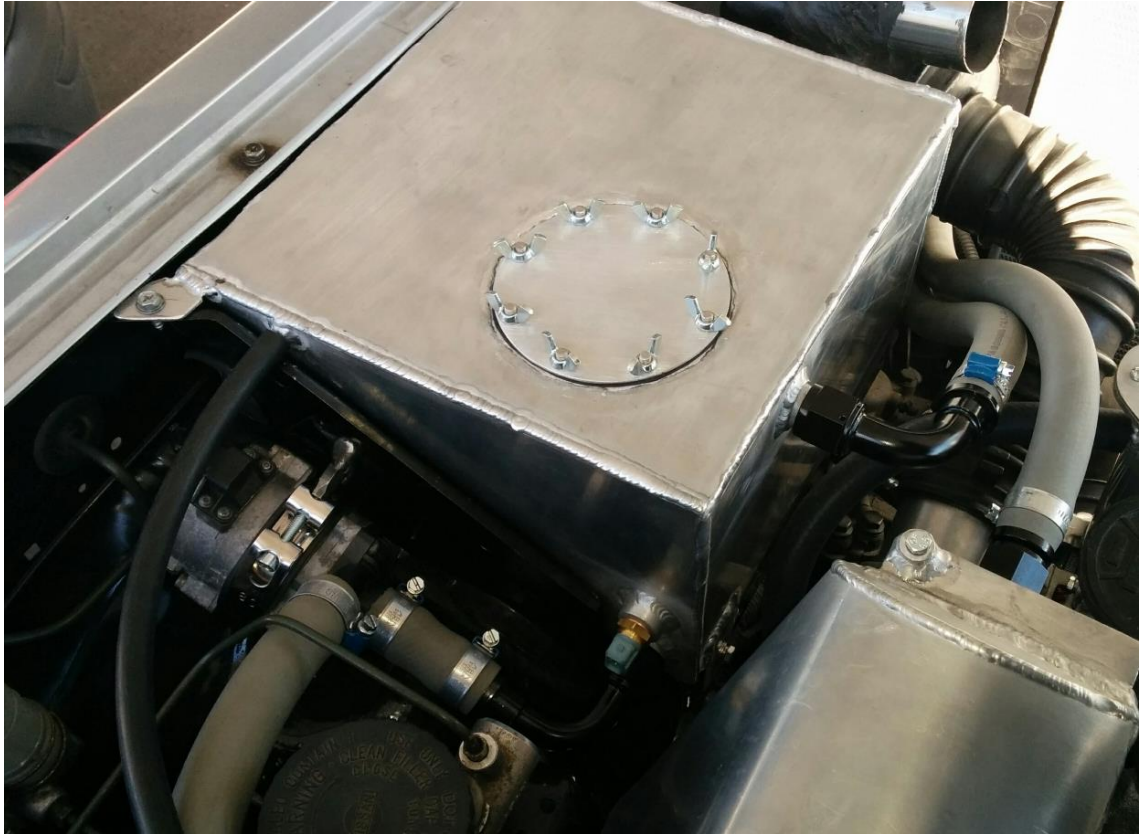




Kuva 17. Jäähdytysnestesäiliö paikoillaan.

Säiliön vasemman kyljen oikeaan alanurkkaan hitsattiin kiinni AN12-kierreholkki säiliön nestekierron ulostuloksi. Ulostulon yläpuolelle valmistettiin 25 mm:n alumiinitangosta holkki lämpötila-anturille. Holkkiin tehtiin kierteellinen reikä anturille ja holkki asennettiin hitsaamalla. Vasemman kyljen vasempaan ylänurkkaan hitsattiin alkuperäisesti jäähdytysnesteen jäähdyttimessä ollut paisuntasäiliön letkulähtö (kuva 18).

Lopuksi säiliön kylkien takaylänurkkiin hitsattiin 2 mm:n alumiinilevystä valmistetut säiliön kiinnikkeet. Kiinnityspultteina käytetään 6 mm:n peltiruuveja. Säiliön alle leikattiin 2 mm:n paksuisesta kumimatosta sijoituspaikan (akutelineen) muotoinen pala eristämäksi.



Kuva 18. Valmis jäähdytysnestesäiliö.

### 5.5 Paisuntasäiliö muokkaus ja asennus

Paisuntasäiliöksi valitusta yleismallisesta tuulilasin pesulaitteen säiliöstä poistettiin tuulilasinpesumoottori ja sen kannatin. Yläkanteen porattiin 10 mm:n reikä, johon asetettiin läpivientikumi, ja sen läpi asetettiin muovinen 8 mm:n letkukulma. Letkukulmaan asetettiin säiliön sisään, säiliön pohjalle asti ulottuva letku, jotta laajentunut jäähdytysneste pääsisi virtaamaan pääsäiliöstä paisuntasäiliöön ja takaisin. Letkukulman toinen pää yhdistyy välijäähdyttimen nestesäiliöön. Lopuksi säiliön alla oleva säiliön tyhjennysputki liimattiin umpeen (täytettiin) kaksikomponenttiepoksiliimalla.

Säiliö kiinnitettiin samaan kiinnitystukeen kuin autoon moottorin uusi paisuntasäiliö. Säiliöiden kiinnitystuki valmistettiin 5 mm x 50 mm:n alumiinilatasta muotoillut palat yhteen hitsaamalla. Tuki kiinnittyy moottorin kannen kylkeen kahdella pultilla ja tuki ja lukkoprikoilla (kuva 19).



Kuva 19. Paisuntasäiliö ja sen kiinnitysalku

## 5.6 Kiertovesipumpun kiinnitystuen valmistus ja asennus

Kiertovesipumpun kiinnitystavaksi haettiin ratkaisua, jossa pumppu kiinnittyy joustavasti ympäröiviin rakenteisiin. Pumpussa itsessään ei ole kiinnitysmekanismia, ja sen runko on pyöreä. Joustava kiinnitysrakenne muodostettiin pumpun ympärille asettuvasta kumi-  
renkaasta, jota kiristetään kahdella kiristysruuvilla varustetulla kiristyspannalla. Kiristys-  
pannan koneruuvit kiinnitetään jatkomuttereihin pantaa kiristettäessä, jolloin pumppu  
kiinnittyy kiinnitystukeen.

Kiertovesipumpun kiinnitystuki valmistettiin hankitusta naulauslevystä 175 mm x 40 mm x 3 mm ja kahdesta 6 mm:n jatkomutterista [21]. Kiinnitystuki muotoiltiin käyttötarkoitukseen sopivaksi ja mutterit kiinnitettiin lyhyillä pulteilla kiinnitystukeen ja lopuksi rakenneosat yhdistettiin hitsaamalla yhdeksi kokonaisuudeksi. Kiinnitystuki kiinnitettiin akkukotelon sivupeltiin kahdella lukkokantapultilla tukiprikoilla ja lukkomuttereilla (kuva 20).



Kuva 20. Kiertovesipumpun kiinnitys.

## 5.7 Letkujen valmistus

Letkut katkaistiin määrä mittaan ja niihin asennettiin push-on tyyppinen AN12-liitin, joka on malliltaan suora tai 90°:n kulma. Letkut kiristettiin liittimiin käyttäen letkunkiristimiä.

## 6 Välijäähdytinjärjestelmän jäähdytysneste

Jäähdytysnesteenä käytetään tässä insinööriyössä valmistettavassa välijäähdytinjärjestelmässä glykolin ja veden sekoitusta. Vetenä käytetään Nordic-akkuvettä, jota myydään viiden litran säiliöpakkauksessa. Akkuvesi on ionipuhdistettua tislattua vettä. [3, s. 148]

Glykolina käytetään Max Life -pakkasnestettä, jota myydään viiden litran säiliöpakkauksessa, Valvoline MaxLife -pakkasneste 5l (punainen). [22]

Jäähdytysnesteeseen koostumukseksi valittiin nämä kaksi tuotetta suppean haastattelukieroksen jälkeen tuotteiden koostumuksen järjestelmälle aiheuttamien korroosio-, syöpy- mis- ja ionisoitumishaittojen oletetun vähäisyyden takia.

## 7 Välijäähdytinjärjestelmän ohjainlaite

Järjestelmän ohjainlaitteena käytettiin Arduino Mega 2560 -mikrokontrolleria. Arduino Mega 2560 on mikrokontrollerialusta, joka perustuu ATmega2560 -mikrokontrolleriin. Siinä on 54 digitaalista sisään-ulostuloliitäntää, joista viittätoista voidaan käyttää PWM-ulostuloliitännänä, ja 16 analogista sisääntuloliitäntää. [23]

Ohjainjärjestelmä ei valmistunut insinööriyön luovutuspäivään mennessä.

## 8 Yhteenveto

Insinööriyö sisältyy osaksi laajempaa Nissan Patrol Gr -maastoauton kunnostus- ja kehitysprojektia. Tämän insinööriyön tavoitteena oli selvittää, voiko harrastelijatasoisessa työskentely-ympäristössä rakentaa autoon toimivan vesi-ilmavälijäähdytinjärjestelmän. Insinööriyössä kuvataan ja selvitetään laitteiston osien toimintatapoja, toteutettavien osien valintaprosessia, suunnittelua ja valmistusta.

Tämä insinööriyön suunnittelu- ja toteutusprojekti on ollut mielenkiintoinen ja haastava. Projektin kokonaisuuden hallitseminen käsitetasolla on sujunut hyvin, mutta välijäähdytinjärjestelmän osatekijöiden toteuttamisen moninaisuus on nostanut esiin monia haas-

teita. Toteutusratkaisujen suunnittelussa tarkasteltiin välijäähdytinjärjestelmän valmistusprojektissa moottorissa jo olevan laitteiston toiminnallisuutta osana uutta välijäähdytinjärjestelmää. Uusi järjestelmä vaati suuria uudistuksia ja muutoksia, jotta toimiva välijäähdytinjärjestelmä oli mahdollista toteuttaa.

Uuden välijäähdytinjärjestelmän toteutuksessa moottorin pakosarjan ja imusarjan välinen rakenne uudistettiin. Uudistuksen kohteena oli osa imu- ja pakoputkistosta, ahdin, ahtoputki ja imusarja, jonka osaksi välijäähdytinkkenno sijoittuu.

Välijäähdytinjärjestelmä sijoittuu auton moottoritilassa sen oikealle puolelle (autoa edestä katsottaessa). Välijäähdytinkkenno on sijoitettu Jäähdytysnestesäiliö on sijoitettu akkutelineeseen moottorin ja lokasuojan väliin. Kiertovesipumppu on kiinnitetty akkutelineen seinämään jäähdytysvesisäiliön viereen ohjaamon puolelle. Jäähdytysnesteen jäähdytin sijaitsee auton keulassa oikealla (autoa edestä katsottaessa) auton moottorin jäähdyttimen edessä. Jäähdytysnesteen jäähdyttimeen etupuolelle asennettiin sähkötuuletin, joka on puhaltavaa mallia oleva tuuletin. Välijäähdytinjärjestelmän paisuntasäiliö on sijoitettu moottorin päälle (lähelle välijäähdytinkkennoa) moottoriin kiinnitettyyn tukijalkaan. Välijäähdytys järjestelmän nestejäähdytyskierto on toteutettu eri osaelementtien välillä letkuilla.

Itse tekemällä saa taidosta ja välineistöstä riippuen hyvin yksilöllisiä ja tarkoituksen sopivia osia. Tässä projektissa osien yksilöllisyyttä ja käyttötarkoitukseen sopivuutta korostettiin laitekokonaisuutta valmistettaessa. Työn määrä ja sitä kautta valmistetuille osille syntyvä hinta on suuri, jolloin osien hankinta valmiina olisi järkevintä, jos sopivan osan vain voisi jostain hankkia valmiina.

Jäähdytysnestesäiliö suunniteltiin ja kuvattiin etukäteen piirrosohjelmalla. Välijäähdyttimen kennon asennus suoritettiin ennakkomittausten ja muotoilun avulla. Kumpikin toimintatapa toimi hyvin tässä välijäähdyttimen rakennusprojektissa. Kumpikin järjestelmän rakenneosia valmistettiin vain käsityökaluja käyttäen, jolloin laitteiden mittatarkkuus suunniteltuihin mittoihin ei ole paras mahdollinen mutta hyvin riittävä kokonaisuutta tarkasteltaessa.

Insinööriyön tekijän tieteellistä asiantuntijuuden tasoa välijäähdytinjärjestelmän rakentamisessa asettuu Tuomivaaran asteikolle tasolle 2–3, jossa insinööri tietää osaavansa ja kykenee jo jonkin verran perustelemaan tieteellisesti osaamistaan [2, s. 60 – 61].

Välijäähdytinjärjestelmän lopulliseen käyttöönottoon on vielä tehtävä joitakin toimenpiteitä. Seuraavaksi on toteutettava järjestelmän ohjausjärjestelmän lopullinen valmistaminen ja moottoritehon mittaaminen dynamometrissä, jotta auto voidaan muutoskatsastaa.

## Lähteet

- 1 Case-tutkimus / tapaustutkimus. Verkkodokumentti. Ylemmän AMK- tutkinnon metodifoorumi. <<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/0709019/1193463890749/1193464185783/1194413792643/1194415307356.html>>. Luettu 18.4.2016.
- 2 Halonen, Ilpo, Airaksinen, Timo & Niiniluoto, Ilkka. (toim.) 1992. TAITO. Helsinki: Suomen Filosofinen Yhdistys.
- 3 Happonen, Riitta (toim.). 2003. Maol-taulukot. Helsinki: Otava.
- 4 Kaasulait. Verkkomateriaali. Peda.<<https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/lu-kio/n%C3%A4ytelvut/orbitaali-33/kjk/kaasulait/kyt>>. Luettu 19.4. 2016.
- 5 BILTEMA. Art.no: 33-227 ja 33-229.
- 6 Boylen laki. Verkkodokumentti. Peda. <<https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/lu-kio/n%C3%A4ytelvut/orbitaali-33/kjk/kaasulait/boylen-laki>>. Luettu 19.4.2016.
- 7 Pinta-alan ja tilavuuden muutos. Verkkodokumentti. Internetix. <[http://opinnot.internetix.fi/fi/materiaalit/fy/fy2/06.\\_lampolaajeneminen/6\\_2\\_alan\\_muutos?C:D=g7fF.g7dR&m:selres=g7fF.g7dR](http://opinnot.internetix.fi/fi/materiaalit/fy/fy2/06._lampolaajeneminen/6_2_alan_muutos?C:D=g7fF.g7dR&m:selres=g7fF.g7dR)>. Luettu 19.4.2016.
- 8 BILTEMA. Art.no: 84-0873.
- 9 Tutkimuksen reliabiliteetti. Verkkodokumentti. Ylemmän AMK- tutkinnon metodifoorumi. <<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/0709019/1193463890749/1193464185783/1194413792643/1194415307356.html>>. Luettu 20.4.2016.
- 10 Tutkimuksen validiteetti. Verkkodokumentti. Ylemmän AMK- tutkinnon metodifoorumi. <<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/0709019/1193463890749/1193464185783/1194413809750/1194415367669.html>>. Luettu 21.4.2016.
- 11 BILTEMA. Art.no: 58657.
- 12 Dunlop Hiflex Teollisuustuotteet luettelo 2015. Verkkodokumentti. Dunlop Hiflex. <<http://www.dunlophiflex.fi/upload/?id=0e65d9a2513484d18311ea44286f46dd>>. Luettu 29.3.2016.
- 13 Pierburg CWA 50 -Pumpun tiedot. Verkkodokumentti. Photobucket. <[http://i358.photobucket.com/albums/oo26/hoolcat/cwa50\\_1of21.jpg](http://i358.photobucket.com/albums/oo26/hoolcat/cwa50_1of21.jpg)>. Luettu 20.11.2015.



- 14 BILTEMA. Art.no: 32-316.
- 15 AGA Pienoisopas alumiinihitsaus. Verkkodokumentti. Aga. <[http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20Aluminum%20Welding%20Brochure%20105x210%20FI634\\_122433.pdf](http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20Aluminum%20Welding%20Brochure%20105x210%20FI634_122433.pdf)>. Luettu 20.1.2016.
- 16 YouTube kanava WeldingTipsAndTricks. Verkkodokumentti. YouTube. <<https://www.youtube.com/user/weldingtipsandtricks>>.
- 17 IKH. Art.no: TE550A ja TE440A.
- 18 Elga Alutig SI5 täytelanka alumiinin hitsaukseen. Verkkodokumentti. Elga. <[http://www.elga.se/consumables/product/index/category/TIG%20WIRE%20\(GTAW\)/sub-category/Aluminium%20alloys/product/Alutig%20Si5](http://www.elga.se/consumables/product/index/category/TIG%20WIRE%20(GTAW)/sub-category/Aluminium%20alloys/product/Alutig%20Si5)>. Luettu 30.1.2016.
- 19 Autoracing Art.no: RALW51-45.
- 20 SMC pikakiinnitysletkulähtö. Verkkodokumentti. Smcotech. <[http://content2.smcotech.com/pdf/KQ2\\_New.pdf](http://content2.smcotech.com/pdf/KQ2_New.pdf)>. Luettu 22.3.2016.
- 21 BILTEMA. Art.no: 19-616 ja 19-515.
- 22 Motonet. Art.no: 609882.
- 23 Arduino Mega 2560 mikrokontrolleri. Verkkodokumentti. Arduino. <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>>. Luettu 30.11.2016.

**Kuvia vesi-ilmavälijäähdytinprojektista**



