



Mikko Moilanen

POLYURETAANIVAAHDOTUSKONEEN KEHITTÄMINEN

POLYURETAANIVAAHDOTUSKONEEN
KEHITTÄMINEN

Mikko Moilanen
Opinnäytetyö
Syksy 2011
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU TIIVISTELMÄ

| | | | | |
|---|----------------|--------|---|-----------|
| Koulutusohjelma | Opinnäytetyö | Sivuja | + | Liitteitä |
| Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma | Insinöörityö | 29 | + | 1 |
| Suuntautumisvaihtoehto | Aika | | | |
| Tuotanto ja logistiikka | 2011 | | | |
| Työn tilaaja | Työn tekijä | | | |
| YIT Teollisuus Oy Voimalaitoshuolto | Mikko Moilanen | | | |
| Työn nimi | | | | |
| Polyuretaanivaahdotuskoneen kehittäminen | | | | |
| Avainsanat | | | | |
| Polyuretaani, vaahdotuskone, kaukolämpö | | | | |

Työn aiheena oli pakettiautoon rakennetun polyuretaanivaahdotuskoneen kehittäminen. Tavoitteena oli tehdä vaahdotuskoneesta aiempaa yksinkertaisempi, toimintavarmempi ja käyttäjäystävällisempi.

Suunnittelu aloitettiin luetteloimalla vaahdotuskoneen ongelmat. Koneen suurimmat ongelmat olivat vaahdotusletkujen ja vaahdotuskahvan paino, koneen käyttökytkinten sijainti, polyolin ja isosyanadin talteenotto sekä maata pitkin kulkevat vaahdotusletkut. Luetteloimisen jälkeen ongelmiin pohdittiin mahdollisia ratkaisuja ongelma kerrallaan. Vertailemalla työn kohteena ollutta omavalmisteista vaahdotuskonetta tehdasvalmisteisiin koneisiin saatiin ideoita ongelmien ratkaisemiseksi.

Tuloksena saatiin ongelmiksi määritellyille asioille ratkaisut, joilla vaahdotuskonetta saataisiin parannettua huomattavasti. Vaahdotusletkut ja vaahdotuskahva vaihtamalla ratkaistaisiin kerralla letkujen ja kahvan paino-ongelma sekä vaahdotussuuttimen jatkuvat tukokset. Koneen käyttökytkimien sijainnin muuttaminen nopeuttaisi vaahdottamista, ja asentamalla auton sivulle letkuja kannatteleva puomi päästäisiin maata pitkin kulkevista letkuista eroon. Havaittiin myös, että ongelmaksi määritetylle polyolin ja isosyanadin talteenotolle ei ole taloudellisesti kannattavaa tehdä mitään. Käytännössä työn tuloksena saatuja kehitysehdotuksia ei vielä syksyllä 2011 ehditty toteuttaa.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

SISÄLTÖ

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 6 |
| 2 YIT | 7 |
| 2.1 YIT-Teollisuus Oy..... | 7 |
| 2.2 YIT-Teollisuus Oy Voimalaitoshuolto Oulu..... | 8 |
| 3 POLYURETAANI | 9 |
| 3.1 Isosyanaatit | 10 |
| 3.2 Polyolit..... | 11 |
| 3.3 Solurakenne | 11 |
| 3.3.1 Avosoluinen rakenne..... | 11 |
| 3.3.2 Umpisoluinen rakenne | 11 |
| 3.4 Ponneaineet | 12 |
| 4 VAAHDOTTAMINEN | 14 |
| 4.1 Käsin vaahdottaminen..... | 14 |
| 4.2 Koneellinen vaahdottaminen..... | 15 |
| 5 VAAHDOTUSKONE | 16 |
| 6 VAAHDOTUSKONEEN ONGELMAT | 18 |
| 6.1 Polyolin ja isosyanidin talteenotto | 18 |
| 6.2 Polyuretaanisuuttimen tukkeutuminen | 18 |
| 6.3 Vaahdotusletkujen ja -kahvan paino | 18 |
| 6.4 Koneen käyttökytkinten sijainti | 18 |
| 6.5 Maata pitkin kulkevat vaahdotusletkut..... | 19 |
| 6.6 Tynnyripumppujen tukokset | 19 |
| 6.7 Työkalujen ja tarvikkeiden epäjärjestys..... | 19 |
| 7 TYÖ SUORITTAMINEN..... | 20 |
| 7.1 Polyolin ja isosyanadin talteenotto | 20 |
| 7.2 Vaahdotusletkujen ja -kahvan paino-ongelma sekä uretaanisuuttimen tukkeutuminen | 21 |
| 7.3 Koneen käyttökytkinten sijainti | 23 |
| 7.4 Maata pitkin kulkevat vaahdotusletkut..... | 24 |
| 7.5 Tynnyripumppujen tukokset | 25 |
| 7.6 Ajoneuvon työkalujen ja tarvikkeiden järjestäminen..... | 25 |

| | |
|----------------------------|----|
| 8 POHDINTA | 27 |
| LÄHTEET | 29 |
| LIITTEET | |
| Liite 1. Lähtötietomuistio | |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantaja on YIT-Teollisuus Oy Voimalaitoshuolto Oulusta. Oulun YIT-Teollisuus Oy Voimalaitoshuollontoimipiste sijaitsee Ruskon kaupunginosassa ja on keskittynyt kaukolämpöverkostojen rakentamiseen ja korjaamiseen. Yksi osa kaukolämpörakentamista on putkijatkosten eristäminen, joka nykyään tapahtuu lähes poikkeuksetta polyuretaanilla. Polyuretaani voidaan saattaa putkijatkokseen kahdella tavalla, joko käsin tai koneellisesti. Tässä työssä perehdytään koneelliseen vaahdottamiseen. (Liite 1.)

Vaahdotuskone, jota tämä opinnäytetyö käsittelee, on isäni tekniikko Raimo Moilasen suunnittelema, ja se on valmistunut vuonna 2005. Laite on rakennettu kiinteästi Mercedes-Benz:n Sprinter-malliseen kuorma-autoksi rekisteröityyn pakettiautoon. Laitteessa on sähköisesti, pneumaattisesti, hydraulisesti ja mekaanisesti toimivia osia. Kyseinen laite on harvoja Suomessa olevia ei-tehdasvalmisteisia vaahdotuskoneita. Laitteeseen on vuosien mittaan tehty useita pieniä parannuksia.

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan polyuretaanivaahdotuskone mahdollisimman toimintavarmaksi, käyttäjäystävälliseksi ja yksinkertaiseksi. Näin parannetaan koneen tuottavuutta.

Laite on nyt noin kuusi vuotta vanha, ja käyttökokemuksen perusteella edellisistä vastaavista laitteista on päätelty, että sillä on käyttöikä vielä noin viisi vuotta jäljellä eli laite on suurin piirtein elinkaarensa puolivälissä. Tämän vuoksi tämä oli hyvä ajankohta laitteen suuremmalla parannukselle, jolla toivottavasti myös onnistutaan pidentämään laitteen käyttöikä.

2 YIT

YIT eli Yleinen insinööritoimisto aloitti toimintansa vuonna 1912 Suomen suuruhtinaskunnassa. Nykyään YIT on merkittävä eurooppalainen kiinteistö- ja rakennusalan sekä teollisuuden palveluyritys. (1.)

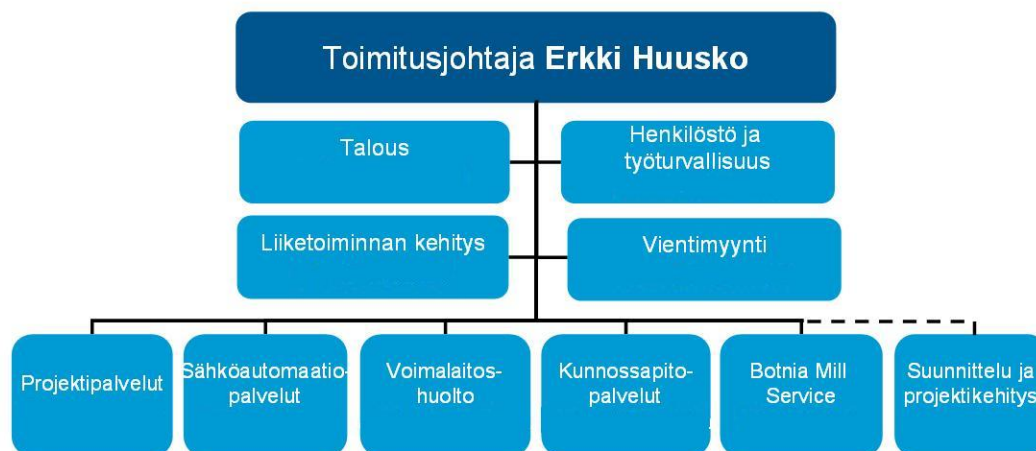
Vuonna 2010 YIT:n liikevaihto oli 3,8 miljardia euroa, liikevoitto 229 miljoonaa euroa ja henkilöstömäärä noin 26 000. YIT:n osake on noteerattu NASDAQ OMX Helsingissä vuodesta 1995 lähtien ryhmässä Suuret yhtiöt, toimialaryhmässä Teollisuustuotteet ja -palvelut. (1.)

YIT tarjoaa palvelujaan Pohjoismaissa, Venäjällä, Baltian maissa ja Keski-Euroopan maissa: Suomessa, Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Venäjällä, Virossa, Latviassa, Liettuassa, Saksassa, Itävallassa, Puolassa, Tsekissä, Unkarissa, Romaniassa ja Slovakiassa. Suomessa YIT on maamme johtava rakennusliike. Liiketoiminnan painopiste on kiinteistötekniset palvelut: huolto ja kunnossapito sekä asuntojen rakentaminen. (1.)

2.1 YIT-Teollisuus Oy

YIT-Teollisuus OY on osa YIT-Konsernia. Sen palveluksessa on n. 3 800 työntekijää Suomessa, Ruotsissa, ja Venäjällä. YIT-Teollisuus on jaettu kuuteen eri osaan, jotka ovat Projektipalvelut, Sähköautomaatiopalvelut, Voimalaitoshuolto, Kunnossapitopalvelut, BotniaMill Service ja Suunnittelu ja projektikehitys (kuva 1).

Teollisuuden palveluiden organisaatio 1.4.2011



KUVA 1. Teollisuuden palveluiden organisaatiokaavio (2)

2.2 YIT-Teollisuus Oy Voimalaitoshuolto Oulu

Vuonna 1978 perustettiin PR-Putki Oy, jonka YIT osti vuonna 1995. Usean nimenvaihdon jälkeen yksikön nimeksi muodostui YIT-Teollisuus Oy Voimalaitoshuolto. Samaan yksikköön kuului myös teollisuuslaitosten kunnossapito, joka vuonna 2010 eritytettiin omaksi yksikökseen.

YIT-Teollisuus Oy Voimalaitoshuolto Oulun yksikkö sijaitsee Oulussa Ruskon kaupunginosassa osoitteessa Laakeritie 12. Se keskittyy pääosin rakentamaan ja korjaamaan kaukolämpöverkoston Oulussa ja lähialueilla. Työntekijöitä yksikössä on 24 ja sen liikevaihto vuonna 2010 oli noin 2 miljoonaa euroa.

3 POLYURETAANI

Polyuretaani (polyurethane, PUR) on solumuovi, jonka kemialliset perusteet olivat jo selvillä vuonna 1937, mutta vasta 1950-luvulla näitä tietoja alettiin hyödyntää. Laajempi käyttö yleistyi 1970-luvulla. (3.) Polyuretaani valmistetaan pääasiassa di-isosyanaatti-polyaddiktio -menetelmällä. Siinä yhtyy polyisosyanaattiin kaksi tai useampia NCO-ryhmiä. (3, s. 54.)

Polyuretaani on yhteinen nimitys laajalle polymeerien ryhmälle, joka sisältää erilaisia ainesosia ja ominaisuuksia. Polyuretaani voi olla pehmeää, kovaa, huokoista tai tiivistä, ja sitä voidaan käyttää monella eri tavalla, kuten kalvoina, pinnoitteina, kerroksina tai muotokappaleina. Kaikista yleisin käyttökohte polyuretaanilla on pehmeäsolumuovi huonekaluissa ja patjoissa. Puolikovaa integraalisolumuovia käytetään muun muassa rakennuksissa (kuva 2), auton sisustuksessa ja jääkaapeissa. (4.)



KUVA 2. Polyuretaania eristeenä turkkilaisen sähkökaapin ja perustuksen liitoksessa

Polyadditiomenetelmässä reagoivat alempimolekulaariset polyisosyanaatit-polyolien hydroksyyliyhymien kanssa muodostaen polyuretaania. Haluttaessa voidaan erityisillä katalysaattoreilla polyisosyanaatti polymerisoida polyisosyanaatiksi (PIR). (3, s. 54.)

Nestemäiset komponentit isosyanaatti ja polyoli sekoitetaan ja niistä muodostuu reaktiosekoitus, jossa tapahtuu edellä selostettu kemiallinen reaktio. Seoksen molekyylit kasvavat reaktion edetessä ja samalla seoksen lämpötila kasvaa reaktiotapahtuman ollessa eksoterminen, lämpöä synnyttävä. Seokseen lisätyn paisunta-aineen ansiosta sen tilavuus kasvaa. (3, s. 54.)

Polyuretaani kestää varastointia hyvin ja sen lämmönkesto ulottuu -180 °C:sta lyhytaikaisesti 150 °C:seen. Polyuretaanin kemiallinen kestävyys on hyvä. Se kestää laimeita happoja, mutta väkevät hapot aiheuttavat tilamuuksia. Emäksiä polyuretaani kestää hyvin. Alifaattiset hiilivedyt, kuten moottoripolttoaineet, vaikuttavat siihen hieman. (3, s. 55.)

Ponneaine määrää polyuretaanin tiheyden, joka vaihtelee välillä 8 - 1 100 kg/m³ (3). Polyuretaanieriste valmistetaan paisuttamalla isosyanaatin ja polyolin seosta siten, että syntyy jäykkä umpi- tai avosoluinen rakenne. (3, s. 55.)

3.1 Isosyanaatit

Isosyanaatti on polyuretaanin valmistuksessa käytetty komponentti, joka on joko tumma tai kirkas neste. Käytetyimpiä isosyanaatteja ovat MDI (difenyylimetaani-4,4'-di-isosyanaatti) ja TDI (toluyleeni-di-isosyanaatti). MDI on yleisin isosyanaatti ja sitä käytetään noin 50% tapauksista se on pääasiassa suljettusoluisten polyuretaanien valmistuskomponentti. Isosyanaatti TDI:tä tehdään tislaamalla isosyanaatti MDI:stä. 40% tapauksista valmistaessa pehmeitä vaahtomuoveja käytetään isosyanaatti TDI:tä. Muita vähemmän käytettyjä isosyanaatteja ovat: NDI, HDI, IPDI. (4.)

3.2 Polyolit

Polyoli on polyuretaanin toinen komponentti. Eniten käytetyt pitkäketjuisetpolyolit ovatpolyesteripolyolit ja polyeetteripolyolit. Polyesteripolyoleja käytetään pääasiassa pehmeiden tuotteiden valmistukseen, kuten kengänpohjat, integraalit, elastomeerit ja myös pinnoitteet ja maalit. Polyeteeripolyoleja käytetään koviin polyuretaanituotteisiin, kuten eristevaahdot, kovat integraalivaahdot, sekä jalkineteollisuuteen. (4.)

Polyoliseos pitää sisällään useita peruspolyoleja, joita on 70 - 95 % seoksesta. Seos sisältää myös ponneaineita, aktivaattoreita, stabilisaattoreita ja muita lisäaineita, kuten palonestoaineet. Polyuretaanivaahdon tiheys määräytyy solun sisällä olevasta kaasusta ja seinämärakenteesta. Suurella ponneaineen määrällä saavutetaan kevyttä polyuretaanivaahtoa. (4.)

3.3 Solurakenne

Polyuretaanit ovat solurakenteeltaan joko avo- tai umpisoluisia. Solutusaineena käytetään helposti kaasuuntuvaa nestettä kuten vettä. Solun rakenne voi olla pyöreä, jolloin solu on hyvin vahva ja sillä on parhaat ominaisuudet tai soikea, jolloin solu on vahva pituussuunnassa, mutta kutistuu enemmän sivusuunnassa. (4.)

3.3.1 Avosoluinen rakenne

Avosoluinen rakenne on mekaanisesti heikko, ja se imee vettä kuten styrox tai muut avosoluiset solumuovit. Avosoluisen polyuretaanivaahdon tiheys vaihtelee 8 - 40 kg/m³ välillä ja sen eristyskyky on myös samaa luokkaa kuin styroxilla tai lasi- ja vuorivillalla. Avosoluisessa rakenteessa ponneaine poistuu välittömästi solun sisältä paisunnan jälkeen ja korvaantuu ilmalla. (4.)

3.3.2 Umpisoluinen rakenne

Umpisoluinen rakenne on kova, mekaanisesti vahva eikä se ime vettä. Ponneaineen poistuminen solusta alkaa välittömästi paisunnan jälkeen kuten

avosoluisessakin sillä erotuksella, että poistuminen on hidasta. Polyuretaanin hyvä lämmöneristävyys perustuu sen umpisolurakenteeseen, sekä solujen sisältämän kaasuseoksen ilmaa parempiin eristysominaisuuksiin. Umpisolui-
sten polyuretaanivaahdojen tiheys on 40 kg/m^3 ylöspäin. (4.) Kauko-
lämpöelementeissä (kuva 3) eristeen minimitiheys on 60 kg/m^3 . (5.)



*KUVA 3. DN80 2 Mpuk -kaukolämpöelementtiä ja umpisoluista kaukolämpö-
laatuista polyuretaania*

3.4 Ponneaineet

Ponneaine määrää polyuretaanin tiheyden, joka vaihtelee $8 - 1100 \text{ kg/m}^3$ välillä. Eristävyyden määrää solun sisällä oleva kaasu. Ponneaineena käytetään Suomessa pentaania, HCF-yhdisteitä tai hiilidioksidia. Kemiallinen ponneaine on vesi. Vesi ja MDI muodostavat reaktiossa hiilidioksidia. Fyysisiä ponneaineita on pentaani ja HFC-yhdisteet, jotka ovat reaktiossa tukiponneaineita ja parantavat vaahdon ominaisuuksia. Kaasu muodostuu nesteestä kiehumalla, koska ponneaineena pentaani on matalan kiehumispisteen omaava aine. Diffuusiovapaassa rakenteessa hiilidioksidi on täysin korvaantunut ilmalla kuudessa kuukaudessa. (4.)

Koska solukaasun lämmönjohtavuus on vain 1/3 ilman lämmönjohtavuudesta, tulee diffuusiota välttää. Kaukolämpöelementeissä käytetty polyeteenisuojakuori antaa hyvän suojan diffuusiota vastaan. (5.)

4 VAAHDOTTAMINEN

Vaahdottamisessa on tärkeää saada aikaan aineille hyvä sekoitus. Hyvästä sekoituksesta on seurauksena hienosoluista, tasalaatuista ja lujaa polyuretaanivaahtoa. Jos vaahdon solut ovat lasimaisia, vaahdossa on raitoja tai se on rapean tuntuista, ei sekoitus ole ollut riittävä. Koneellisessa vaahdottamisessa hyvä sekoitus saadaan aikaan siten, että komponentit ruiskutetaan jatkokseen suurella paineella ja hienona sumuna. Käsin vaahdottaessa riittävän sekoituksen aikaansaamiseksi suositellaan käytettäväksi suuritehoista porakonetta, jossa kiinnitettynä vispilä tai maalisekoitin. (4.)

Raaka-aineiden lämpötila on myös tärkeää, alle 20 °C:ssa isosyanadin ja polyolin viskositeetti kasvaa huomattavasti. Jolloin niitä on vaikea saada liikkeelle. (4.)

4.1 Käsin vaahdottaminen

Käsin vaahdottaessa yleensä käytetään kuvan 4 tapaisia pussivaahtoja.



KUVA 4. Polyuretaanipussivaahto

Jos pussivaahoja ei ole käytettävissä, voidaan komponentit sekoittaa missä tahansa muussakin astiassa, joka kestää eksotermisen reaktion. Isosyanadi ja polyoli kaadetaan sekoitusastiaan ja sekoitetaan tehokkaasti vähintään 20 sekuntia 3 000 kierrosta minuutissa pyörivällä porakoneella ja kaadetaan jatkokseen.

Käsin vaahdottaminen on työympäristöä likaavaa ja vaarana on saada polyuretaaniroskeita silmiin, varsinkin jos ei käytetä valmiita vaahdotuspusseja. Myös polyuretaanivaahdon laatu kärsii, koska aineiden sekoittuminen ei aina välttämättä ole riittävää.

4.2 Koneellinen vaahdottaminen

Kaukolämpöjatkosten koneellisessa vaahdottamisessa polyoli ja isosyanadi suihkutetaan 100 - 240 baarin paineella kaukolämpöjatkokseen. Aineet kohtaavat toisensa vasta juuri ennen jatkosta. Erillistä sekoittamista ei tarvita vaan suuri paine ja se, että aineet menevät jatkokseen hienona sumuna, takaavat riittävän sekoittumisen.

Aineet lämmitetään yleensä sähkövastuksilla optimaaliseen noin 20 °C:seen. Paine luodaan hydraulisesti, matalapainekoneissa myös pneumaattisesti tai sähköisesti. Yleensä koneissa on laskurit ja annostelijat, joilla saadaan jatkokseen oikea määrä polyuretaania.

Mikäli vaahdotuskone on kunnossa saadaan koneellisella vaahdottamisella saadaan aikaan hyvää ja tasalaatuista polyuretaania. Se on huomattavasti nopeampaa ja siistimpää työtä kuin käsin vaahdottaminen.

5 VAAHDOTUSKONE

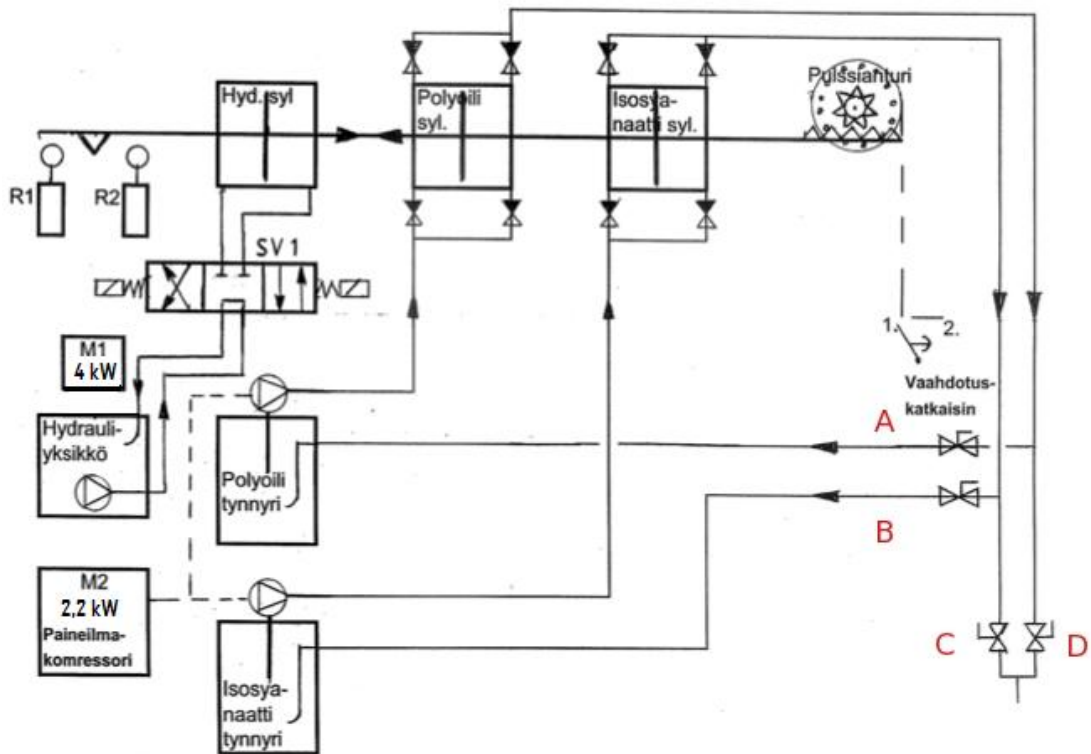
Vaahdotuskone on rakennettu kiinteäksi osaksi vuosimallia 2004 olevaa Mercedes-Benz:n Sprinter-mallista pakettiautoa (kuva 5). Vaahdotuskoneessa on sähköisesti, hydraulisesti ja pneumaattisesti toimivia osia. Koska polyoli ja isosyanadi muuttuvat erittäin huonosti juokseviksi lämpötilan laskiessa, on auto varustettu kahdella Webasto-lämmittimellä, jotka auton oman moottorin lisäksi lämmittävät jäähdytysjärjestelmässä kiertävää jäähdytinnestettä. Jäähdytinneste kiertää vaahdotuskoneessa polyoli- ja isosyanidi-tyynyreiden pohjien alle asennetuissa pattereissa sekä yhdessä patterissa, joka on asennettu lähelle hydraulikkasyylinteriä.



KUVA 5. Mercedes-Benz Sprinter -pakettiauto

Auton vaihdelaatikossa on mekaaninen voiman ulosotto, joka voidaan kytkeä päälle vain kun, vaihdelaatikko on vapaa-asennossa. Ulosotto kytketään päälle auton ohjaamossa olevasta katkaisimesta. Ulosottoakseli pyörittää 7 kilowatin vaihtovirtageneraattoria, jolla tuotetaan vaahdotuskoneen tarvitsema sähkövirta. Väliytssuhde ulosotossa on säädetty siten, että generaattori tuottaa 230V:n vaihtovirtaa, kun auton moottori pyörii 2 000 kierrosta minuutissa. Kierrokset säädetään myös auton ohjaamossa olevasta katkaisijasta ja

oikea pyörimisnopeus tarkistetaan auton kierroslukumittarista. Kuvassa 6 on selvitetty tarkemmin vaahdotuskoneen toimintaa.



KUVA 6. Vaahdotuskoneen PI-kaavio

Generaattorista saatavalla sähköllä paineilmakompressori tuottaa paineilmaa pneumaattisesti toimiville tynnyripumpuille, jotka pumppaavat isosyanidia ja polyolia hydraulikkasyylinterille. Sähköllä toimiva hydraulikkayksikkö kehittää hydraulikkajärjestelmän tarvitseman öljynpaineen, jolla hydraulikkasyylinteri pumppaa polyolin ja isosyanadin noin 140 baarin paineella vaahdotuspäätä kohti. Kun A- ja B-venttiilit ovat auki ja C- ja D-venttiilit kiinni niin, silloin polyoli ja isosyanadi kiertävät vaahdotuspäältä takaisin tynnyreihinsä. Tämän kierron tarkoitus on taata reaktioaineille optimaalinen lämpötila.

6 VAAHDOTUSKONEEN ONGELMAT

Autossa ja vaahdotuskoneessa on useita ongelmakohtia, jotka olen yhdessä auton vakiokuljettajien kanssa kirjannut muistiin. Seuraavassa luvussa eritellään ongelmat.

6.1 Polyolin ja isosyanidin talteenotto

Tynnyripumput eivät pumpkaa tynnyreistä aineita aivan pohjalta asti. Siksi tynnyreihin jää silmämääräisesti arvioituna useita litroja isosyanidia ja polyolia.

6.2 Polyuretaanisuuttimen tukkeutuminen

Itsetehtyyn polyuretaanisuuttimeen muodostuu sisälle aina vaahdottamisen jälkeen hieman polyuretaania suuttimen rakenteen takia. Suuttimen aukaisemisesta aiheutuu ylimääräistä työtä.

6.3 Vaahdotusletkujen ja -kahvan paino

Nykyiset letkut painavat 31 kilogrammaa. Työntekijät joutuvat vetämään 15 metriä pitkiä letkuja jopa kymmeniä kertoja päivässä autosta ja takaisin autoon. Tästä aiheutuu suurta räsitusta työntekijöiden käsi- ja selkälihakille. Raskaan kahvan kanssa työskentely vaikeuttaa työn tekemistä ja on työergonomian kannalta huono asia.

6.4 Koneen käyttökytkinten sijainti

Tällä hetkellä vaahdotuskoneen käynnistäminen ja ainemäärän säätö tapahtuvat auton takaosassa olevista kytkimistä. Kahdestaan vaahdottaessa tämä on työtä hidastava asia, koska autoa siirtävän henkilön on aina auton siirtämisen jälkeen noustava autosta ja käveltävä auton takaosaan käynnistämään vaahdotuskone ja tarpeen vaatiessa muutamaa koneen tuottamaa ainemäärää.

6.5 Maata pitkin kulkevat vaahdotusletkut

Useasti vaahdottaessa auton ja kaukolämpökaivannon välissä on suoja-aita, hiekkakasoja tai muita esteitä. Kun kaksi työntekijää on vaahdottamassa tämänlaisessa paikassa, tarkoittaa se sitä, että siirryttäessä jatkokselta seuraavalle on letkut kerättävät kaukolämpökaivannosta takaisin auton perään. Tämä turha letkujen kerääminen hidastaa työtä huomattavasti.

6.6 Tynnyripumppujen tukokset

Muutamia kertoja vuodessa tynnyripumput menevät tukkoon ja niitä joudutaan käyttämään huollossa.

6.7 Työkalujen ja tarvikkeiden epäjärjestys

Auton takaosassa on valtava määrä työkaluja ja tarvikkeita, jotka eivät ole missään järjestyksessä. Jo valmiiksi ahtaassa autossa on myös ylimääräistä tavaraa, mikä vaikeuttaa tarpeellisten tavaroiden löytämistä.

7 TYÖ SUORITTAMINEN

7.1 Polyolin ja isosyanadin talteenotto

Koska tynnyripumput eivät pumpkaa ainetta aivan pohjalta asti, jää tynnyrihin aina ainetta, joka päätyy kaatopaikalle. Alkuoletus oli se, että ainetta jää niin paljon, että se olisi taloudellista ottaa talteen. Ajatuksena oli, että jos ainetta jää tynnyrien pohjalla niin paljon, että se on taloudellisesti järkevää ottaa talteen, laitetaan tuotantotiloihin tyhjät isosyanadi- ja polyoli-tynnyrit joiden päälle juuri vaihdetut tynnyrit tuodaan valumaan tyhjäksi. Ajan myötä näin saataisiin jo vaihtokuntoisista tynnyreistä muodostettua täysiä tynnyreitä.

Tynnyrien pohjalle jäävän aineen määrä selvitettiin jättämällä vaihtokuntoinen polyoli-tynnyri ylösalaisin viikonlopun ajaksi, jotta pohjalle jäänyt aine valui pienempään astiaan. Pienemmästä astiasta aine kaadettiin mitta-astiaan. Tynnyrin pohjalle jäävän aineen määräksi saatiin 5,1 litraa ja tynnyrin ollessa 200 litraa on hukka siis 2,6 %. Tynnyrin vaihtoja on keskimäärin vuodessa 30 per aine ja polyolin ja isosyanadin litrahinnan ollessa 3 euroa vuositasolla tynnyrien pohjalla jäävän aineen arvo on $30 \times 5,1 \text{ l} \times 3 \text{ €} \times 2 = 918 \text{ €}$.

Mahdollinen talteenotto vaatisi ylimääräistä työpanosta eristäjiltä, ja se työpanos olisi poissa varsinaisesta tuottavasta työstä. Huomattiin, että isosyanadi kiteytyy varsin nopeasti ilman kanssa tekemisissä ollessaan, ja siksi sen talteenotto edellä mainitulla menetelmällä ei ole mahdollista. Koska talteenotto ei ole taloudellisesti kannattavaa, ei tynnyrien pohjalle jääville aineille aiota tehdä mitään.

7.2 Vaahdotusletkujen ja -kahvan paino-ongelma sekä uretaanisuuttimen tukkeutuminen

Vaahdotusletkut ovat painavat, koska kyseissä vaahdotuskoneessa on aineiden kierron takia neljä letkua, jotka menevät vaahdotuskahvalle. Vaahdotuskahva (kuva 7) on omatekoinen ja sisältää neljän letkun takia useita liittimiä, mikä tekee siitä raskaan käsitellä.



KUVA 7. Nykyinen vaahdotuskahva ja polyuretaanisuutin

Polyuretaanisuutin on vaahdotuskahvassa mutterikiinnityksellä oleva u:n mallinen putki, jonka toiselta puolen tulee polyoli ja toiselta puolen isosyanadi. Suuttimen lakipisteessä on 4 mm:n reikä ja reiän ympärillä lyhyt putkenpätkä. Suuttimen rakenteen takia se tukkeutuu hyvin helposti, koska aina vaahdottamisen jälkeen hieman isosyanadia pääsee polyolipuolella ja päinvastoin. Tämä aiheuttaa polyuretaanin muodostumista putken sisälle.

Nämä kolme ongelmaa olivat koko opinnäytetyön lähtökohtana. Ongelmaan perehdytty huomattiin, että näihin kaikkiin kolmeen ongelmaan on olemassa

yksi ratkaisu. Graco merkkisiä vaahdotuskoneita valmistavalta yritykseltä löytyi lämmityselementeillä varustetut vaahdotusletkut ja huomattavasti kevyempi alumiinirunkoinen Fusion AP -vaahdotuspistooli (kuva 8) varustettuna paineilmapuhdistuksella.



KUVA 8. Graco Fusion AP -vaahdotuspistooli

Uusilla lämmityselementeillä varustetuilla letkuilla saataisiin letkujen painoa pudotettua nykyisestä 31 kilogrammasta 18,6 kilograammaan. Letkujen huomattavan painonpudotuksen myötä myös mahdollisesti auton sivulle rakennettavan letkuja kannattelevan puomin rasitus pienenesi huomattavasti.

1,4 kilogrammaa painavalla Fusion AP -pistoolilla päästäisiin eroon vanhasta 3,2 kilogrammaa painavasta itse tehdystä teräsrunkoisesta ja paljon huoltoa vaativasta vaahdotuskahvasta. Letkujen ja pistoolin hankinnasta tehtiin hankintaehdotuksen YIT Teollisuus Oy Voimalaitoshuollon työnjohdolle. Ainaakaan vielä kesällä 2011 tätä parannusta ei ehditty toteuttamaan.

7.3 Koneen käyttökytkinten sijainti

Tällä hetkellä koneen käynnistäminen ja ainemäärän säätö tapahtuu auton perässä olevista kytkimistä (kuva 9). Etenkin pitkiä kaukolämpölinjoja kahden työntekijän voimin vaahdottaessa tämä on työtä hidastava tekijä, koska autoa siirtävä henkilö joutuu aina auton siirron jälkeen nousemaan ohjaamosta koneen käynnistämistä ja mahdollista ainemäärän muutosta varten. Kaukolämpökaivannossa vaahdotuskahva kädessä olevalle henkilölle tästä koituu turhaa odottelua. Yksin työskennellessä tämä ei ole ongelma, koska tällöin henkilö joutuu joka tapauksessa nousemaan ajoneuvosta itse vaahdottamaan.



KUVA 9. Koneen sähkökeskus ja käyttökytkimet

Vaahdotus tehostuisi, jos ajoneuvon ohjaamoon asennettaisiin kytkimet, joilla koneen saa päälle ja pois päältä sekä näytöllä varustettu kytkin, jolla voi säätää koneen tuottamaa annosmäärää.

Paras tilanne olisi, jos myös vaahdotuskahvan yhteyteen voitaisiin asentaa ainemäärän muutokseen vaadittava näyttö ja kytkin. Silloin vaahdotustyötä

tekevä henkilö pystyisi itse vaihtelevaan koneen tuottamaa ainemäärää. Tämä lisäisi vaahdotuskahvalle menevien sähköjohtojen määrää ja täten myös letkujen painoa. On hyvin epätodennäköistä, että kyseinen näyttö kestäisi ehjänä kovinkaan pitkään huolimattomasti ja hankalissa olosuhteissa käsiteltävässä vaahdotuskahvassa. Siksi ehdotankin, että koneen käynnistys- ja sammutuskytkimet sekä ainemäärän muutokseen tarvittava näyttö sekä kytkin asennetaan vain auton ohjaamoon.

7.4 Maata pitkin kulkevat vaahdotusletkut

Maata pitkin kulkevat letkut jäävät helposti kiinni maastossa oleviin esteisiin ja hidastavat vaahdottamista, koska ne täytyy kerä takaisin autoon, kun autoa siirretään. Vaahdotusletkut ovat 15 metriä pitkät ja yleinen kaukolämpöjatkosten välinen etäisyys on 12 metriä. Jos auton saa lähelle kaukolämpökaivantoa, niin silloin kykenee vaahdottamaan kaksi tai neljä kaukolämpöjatkosta kerrallaan putkityypistä riippuen. Pisimillään kaukolämpölinjat voivat olla usean kilometrin mittaisia, eli auton siirtoja tulee paljon. Pitkiä kaukolämpölinjoja vaahdotettaessa on työkohteessa aina kaksi työntekijää: Toinen siirtää autoa, käynnistää koneen, säätää ainemäärän ja kerää letkut. Toinen työntekijä on kaukolämpökaivannossa vaahdottamassa.

Letkuille tulisi rakentaa puomi, jolla letkuja voisi kannatella auton ja kaukolämpökaivannon välissä olevien esteiden yli. Puomi voisi olla teleskooppimallinen, joka kääntyisi auton sisältä auton sivulle tai auton sivulle asennettu teleskooppimallinen puomi. Letkujen lähtöpaikka olisi hyvä siirtää alhaalta ylös, näin auton lattiatasoon saataisiin lisää säilytystilaa työkaluille ja tarvikkeille.

Letkuja kannatteleva puomi yhdistettynä siihen, että vaahdotuskoneen pystyisi käynnistämään ja sen tuottamaa vaahdomäärää säätämään auton ohjaamosta tehostaisi useita autonsiirtoja vaativien kaukolämpölinjojen vaahdotusta merkittävästi. Muutaman jatkoksen sisältävien talohaarojen vaahdotuksessa näistä muutoksista ei ole hyötyä, mutta ei myöskään haittaa.

7.5 Tynnyripumppujen tukokset

Aika ajoin tynnyripumput menevät tukkoon ja ne joudutaan lähettämään valtuutettuun huoltoliikkeeseen huollettavaksi. Yleensä tukkoon menevä pumpu on isosyanadia pumppaava pumpu.

Tähän ongelmaan ratkaisu oli varsin helppo ja se oli ollut jo tiedossa, mutta unohtunut. Tukokset johtuivat kiteytyneestä isosyanadista, jota oli päässyt muodostumaan isosyanadin ollessa kosketuksissa ilman kanssa. Tynnyrin ollessa lähes tyhjä, pumpu imaisee itseensä isosyanidin sijaan ilmaa.

Jos pumpu imaisee ilmaa järjestelmään tulee tukosten ehkäisemiseksi tynnyriä pitää kallistettuna koneen käydessä, että järjestelmä saa itsensä ilmatua. Uusi tynnyri tulee myös vaihtaa tyhjän tilalle mahdollisimman nopeasti.

7.6 Ajoneuvon työkalujen ja tarvikkeiden järjestäminen

Ajoneuvossa on suuri määrä erilaisia työkaluja ja tarvikkeita (kuva 10). Suurin osa tarpeellisia, mutta osa tarpeettomia. Vuositasolla eri työkalujen ja tarvikkeiden etsimiseen käytetty aika voi helposti olla päiviä hukkaan mennyttä työaika.



KUVA 10. Vaahdotusauton kuormatila takaapäin

Ongelmaan ratkaisuksi keksittiin lean-ajattelumalli ja sen osa 5S. 5S-periaatteen mukaan Tuottavuus lisääntyy, kun työntekijöiden ei tarvitse etsiä tarvitsemiaan tavaroita. 5S-järjestelmä koostuu viidestä s-kirjaimella alkavasta kohdasta: Sort, Set in order, Shine, Standardize ja Sustain.

Vaahdotusautoon näitä periaatteita voitaisiin soveltaa siten, että aluksi ajoneuvo siivottaisiin, ja sieltä poistettaisiin kaikki tarpeettomat tavarat. Jäljelle jääville tarpeellisille tavaroille tehtäisiin selkeät paikat, jonne ne aina välittömästi käytön jälkeen laitettaisiin takaisin. Tavarat ja työkalut joita ei tarvita päivittäin siirrettäisiin kuormatilan etuosaan erilleen niistä tavaroista joita tarvitaan jatkuvasti. Tarpeellisista tavaroista tehtäisiin lista, joka kulkisi ajoneuvon mukana.

Kun tarpeettomat tavarat on poistettu ja tarpeellisten tavaroiden säilytyspaikat on huolellisesti merkitty, pidetään huolta siitä, että ajoneuvo pysyy jatkossakin siistinä ja tavarat oikeilla paikoillaan. Ajoneuvon kuljettaja siivoaa ajoneuvon kahden viikon välein ja tarkastaa listan avulla, että autossa on kaikki tavarat tallessa, mutta siellä ei myöskään ole mitään ylimääräistä. Tarkastuksesta ajoneuvon kuljettaja toimittaa kirjallisen raportin työnjohdolle.

8 POHDINTA

Työssä kehitettiin polyuretaanivaahdotuskonetta. Työn tarkoitus oli löytää koneeseen käyttöä helpottavia ja tuottavuutta parantavia pienellä vaivalla toteutettavia muutoksia.

Työ aloitettiin määrittelemällä koneen ongelmat, epäkohdat ja hukkaa aiheuttavat työtavat. Ongelmista laadittiin lista ja ryhdyttiin pohtimaan ratkaisuja ongelmiin yksi kerrallaan. Koneesta olisi löytynyt luultavasti enemmänkin pieniä ongelmia, mutta tässä työssä keskityttiin vain suurimpiin ongelmiin.

Työtä oli alusta asti miellyttävä ja helppo tehdä, koska kone oli käynyt minulle hyvin tutuksi usean kesän aikana, jotka YIT:llä olin kesätöissä viettänyt. Ideoita koneessa olevien ongelmien ratkaisemiseksi minulla oli jo paljon ennen työn aloittamista. Ylivoimaisesti työn haastavin vaihe oli Wordtekstinkäsittelyohjelman käyttäminen ja sen epäloogisuuden opettelu.

Verrattaessa alussa laadittua lähtötietomuistiota (liite 1) voidaan todeta, että työssä on saavutettu vaadittavat tulokset. Kaikille ongelmille määritellyille asioille on keksitty ratkaisu. Harmillista on se, että kesä ja syksy on YIT-Teollisuus Oy Voimalaitoshuollossa vuoden kiireisintä aikaa, ja sen takia vaahdotusauton on oltava joka päivä tuottavassa työssä eikä esittämiäni parannuksia ennen tämän opinnäytetyön valmistumista ehditä toteuttamaan. Talven tullessa ja töiden vähentyessä luultavasti ainakin vaahdotusletkut ja -pistooli muutetaan ehdotukseni mukaisesti.

Tulevaisuudessa auton sivulle taittava puomi letkuja varten olisi ehdottomasti parannus, jonka haluaisin nähdä autossa. Sen suunnittelusta luultavasti voisi tehdä aivan oman opinnäytetyönsä, sen verran haastavaa se on mahduttaa auton pieneen kuormatilaan, saada kestämään letkujen aiheuttamat rasitukset ja olemaan kuitenkin tarpeeksi ulottuva.

Jos kaikki ehdottamani parannukset toteutetaan, tulee vaahdotuskoneesta mielestäni lähes tehdasvalmisteista vastaava. Erotuksena kuitenkin se, että

koska kyseinen kone on omavalmisteinen, on YIT:llä useita ihmisiä, jotka ovat olleet sitä rakentamassa ja siis tuntevat koneen hyvin. Mahdolliset toimintahäiriöt saadaan siis usein ratkaistua ilman ulkopuolista apua, mikä ei tehdasvalmisteisen koneen kohdalla ei välttämättä onnistuisi osaamattomuuden ja mahdollisten takuuasioiden takia.

LÄHTEET

1. Yritysinfo. YIT Oyj 2011. Saatavissa:
http://www.yit.fi/palvelut/yritysinformaatio/perustietoa/YIT_lyhyesti
Hakupäivä 13.4.2011
2. Teollisuuden palveluiden organisaatiokaavio. YIT-intranet 2011.
3. Tekninen eristäminen. 1999. Suomen Eristesyhdistys ry ja Opetushallitus. Helsinki.
4. Koulutus polyuretaanista 2010. PV-putkitus.pdf. Koulutusmateriaali. Purfin Oy.
5. Kaukolämpökäsikirja. 2008. Logstor Finland Oy.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä¹ Mikko Moilanen _____

Tilaaaja² Yit-Teollisuus Oy Voimalaitoshuolto Laakeritie 12 90630 Oulu _____

Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot³ Erkki Pehkonen _____

Työn nimi⁴ Polyuretaanivaahdotuskoneen kehittäminen _____

Työn kuvaus⁵ Kaukolämpöjatkosten eristämiseen tarkoitettun polyuretaanivaahdotuskoneen kehittäminen _____

Työn tavoitteet⁶ Kehittää vaahdotuskone toimintavarmemmaksi, käyttäjäystävällisemmäksi ja yksinkertaisemmaksi _____

Tavoiteaikataulu⁷ Työ on tarkoitus saada valmiiksi vuoden 2011 aikana. _____

Päiväys ja allekirjoitukset⁸ _____

¹ Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.

² Työn teettävän yrityksen virallinen nimi.

³ Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.

⁴ Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan.

⁵ Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat.

⁶ Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet.

⁷ Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa.

⁸ Lähtötietomuiستio päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö.