



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Markus Johansson

Vesikiertoisten tuotantolaitteiden puhdistus ja huolto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

22.4.2019

Tekijä Otsikko	Markus Johansson Vesikiertoisten tuotantolaitteiden puhdistus ja huolto
Sivumäärä Aika	49 sivua 22.4.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Valmistus- ja tuotantotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Markku Saarnio Kunnossapitopäällikkö Ville Linna
<p>Tämä insinööriytyö tehtiin ABB Asennustuotteet Oy:lle. Työn tavoitteena oli löytää ratkaisu likaantuneiden ruiskuvaluprosessissa käytettävien vesikiertoisten tuotantolaitteiden puhdistamiseksi. Ratkaisun tuli olla yhteensopiva tehtaassa kunnossapidon ja ennakkohuollon kanssa. Tarkoituksena oli tuotantolinjojen tehokkuuden, tuottavuuden ja laadun ylläpitäminen ja parantaminen ehkäisemällä mahdollisia laiterikkoja ja vikaantumisia.</p> <p>Insinööriytyön teoriataustassa hyödynnettiin materiaalia ruiskuvalutekniikasta, temperointilaitteiden toiminnasta, ennakkohuollosta ja puhdistuslaitteistoista. Työssä käytettiin myös käytännönläheistä oppimista tutustumalla tehtaassa käytettävien laitteiden toimintaan esimerkiksi purkamalla temperointilaitteita, ruiskuvalumuotti ja ruiskuvalukoneessa olevia vesikiertoisia komponentteja.</p> <p>Kartoitettaessa tehtaalla tuotantokoneiden ja -laitteiden vesikiertoihin kerääntyneiden epäpuhtauksien poistamiseen soveltuvaa ratkaisua haasteeksi osoittautui likaantuneiden laitteiden ja komponenttien erittäin suuri määrä. Niiden monimutkaisen rakenteen takia puhdistusta piti miettiä tarkasti, jotta työtaakka pienenisi eikä kasvaisi.</p> <p>Perehtymällä puhdistettavien laitteiden vaatimuksiin pystyttiin päättämään tarvittavan puhdistuslaitteen hankinnasta. Puhdistuslaitteen todellisen tarpeen ja hyötyjen selvittämisen jälkeen oli mahdollista alkaa tarkastelemaan markkinoilla olevia laitteistoja. Eri valmistajien laitteistojen vertailun jälkeen pohdittiin Porvoon ABB:n tehtaassa tarpeisiin soveltuvaa puhdistuslaitetta ja sen mahdollista hankintaa.</p> <p>Insinööriytyön tuloksena saatiin hankittua hyvät perustiedot, joiden perusteella voidaan päättää tarkoitukseen sopivan laitteen hankinnasta.</p>	
Avainsanat	Ruiskuvalutekniikka, puhdistuslaitteisto

Author Title	Markus Johansson Cleaning and Maintenance of Water Circulation Production Equipment
Number of Pages Date	49 Pages 22 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Professional Major	Manufacturing and Production Engineering
Instructors	Ville Linna, Maintenance Manager Markku Saarnio, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was performed as part of the Mechanical and Production Engineering degree programme at Metropolia University of Applied Sciences. This graduate study was assigned by ABB Wiring Accessories Oy and it considers the cleaning and maintenance of water circulation production equipment.</p> <p>The purpose of this project was to examine the basic methods of plastic injection molding, preventive maintenance and the efficiency of the injection molding process. The theory part of this study consists of injection molding, temperature control units, preventive maintenance and cleaning units.</p> <p>The study was carried out as follows. Firstly, the contaminated production equipment was inspected for the potential need of cleaning. Secondly, the cleaning method had to be decided to lower the workload. A manual and mechanical cleaning process was not, however, an option because the construction of the water circulation production equipment is very complicated and the quantity of contaminated devices was high.</p> <p>As a result, it was discovered that the production devices require cleaning as soon as possible. After solving the real needs and benefits of the cleaning of the production equipment, it was time to compare the cleaning devices on the market. The features and technical specifications of various cleaning units were compared and the needs of ABB Wiring Accessories Oy were discussed as well. In conclusion, the conceivable acquisition of the optimal cleaning devices was examined to meet the requirements of ABB Wiring Accessories Oy.</p>	
Keywords	Injection molding, cleaning unit

Sisällys

1	Johdanto	1
2	ABB Asennustuotteet Oy	2
3	Muovin ruiskuvalutekniikka ja -prosessi	3
4	Ruiskuvalukone	8
4.1	Koneen valinta	9
4.2	Koneen rakenne	9
4.2.1	Sulkuyksikkö	9
4.2.2	Ruiskutusyksikkö	10
4.2.3	Käyttöyksikkö	12
4.2.4	Ohjausyksikkö	12
5	Ruiskuvalumuotti	13
5.1	Muotin rakenne	13
5.2	Valukappaleen muodostuminen muotissa	14
6	Muoviraaka-, lisä- ja apuaineet	16
7	Tuotannon jäähdytysjärjestelmä tehtaalla	19
8	Temperointilaite	22
8.1	Laitteen rakenne	23
8.2	Laitteen toiminta	25
9	Ennakkohuolto	26
10	Vesikiertoiset tuotantolaitteet tehtaalla	26
11	Jäähdytysjärjestelmän ja laitteiden likaantuminen	27
11.1	Ruiskuvalukone	29
11.2	Ruiskuvalumuotti	29
11.3	Temperointilaite	30
12	Ruosteen ja lietteen vaikutus jäähdytys- ja lämmitystehoon	30

13	Puhdistuslaitteistot	37
13.1	HB-Therm	37
13.2	CleanTower	39
13.3	GWK	41
13.4	Bio-Circle	42
14	Puhdistuskemikaalit	44
14.1	Puhdistusaine	45
14.2	Neutralointiaine	45
14.3	Suoja-aine	45
15	Säästöt	46
16	Yhteenveto	48
	Lähteet	49

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on löytää ratkaisu ABB Asennustuotteet Oy:lle likaantuneiden ruiskuvaluprosessissa käytettävien vesikiertoisten tuotantokoneiden ja laitteiden puhdistamiseksi. Puhdistuksen liittäminen tehtaan kunnossapitoon ja ennakkohooltoon on otettu myös huomioon. Tehokkaan tuotantoprosessin laatu sekä toimivuus perustuvat siihen liitettyjen komponenttien ja lisälaitteiden häiriöttömään toimintaan. Laiterikkojen ja vikaantumisen seurauksena tuotantolinjan tehokkuus, tuottavuus ja laatu laskevat. Tuotteiden läpimenoaikojen lyhentyessä korjausten ja kunnossapidon reaktiivisuudella on suuri vaikutus korjausaikoihin.

Porvoon tehtaalla ruiskuvaluprosessissa jäähdytysjärjestelmän toiminta on yksi tärkeimmistä tehokkaan ja laadukkaan tuotannon osa-alueista. Järjestelmän likaantuminen ja sen aiheuttamat ongelmat tuotantolaitteissa on saatava minimoitua. Jäähdytysjärjestelmän puhtaus on saatu hallintaan, mutta vesikiertoisiin tuotantolaitteisiin on kertynyt ajan saatossa toimintaa haittaavaa lietettä ja likaa. Tuotantolaitteissa ilmenee aika ajoin erilaisia häiriöitä johtuen likaantuneista komponenteista, jotka eivät toimi oikein tai rikkoutuvat ennenaikaisesti. Yksittäisen komponentin rikkoutuminen saattaa pysäyttää kokonaisen tuotantosolun toiminnan aiheuttaen downtimea eli koneen seisonta-aikaa.

Tarkoituksena oli tutkia erilaisia tehtaalla olevia vesikiertoisia tuotantolaitteita ja perehtyä niiden perustoimintaan sekä pohtia erilaisia vaihtoehtoja niiden puhdistamiseen. Laitteiden puhdistuksessa piti ottaa huomioon niiden rakenne ja tapa, jotta laitteet voitaisiin puhdistaa mahdollisimman helposti, nopeasti, turvallisesti ja tehokkaasti.

Raportissa kerrotaan aluksi kestopuovien ruiskuvalutekniikan perusteista, jotta voidaan ymmärtää, mitä kaikkea ruiskuvaluprosessin hallitsemiseksi vaaditaan. Prosessin perusteiden jälkeen perehdytään tuotannon jäähdytysjärjestelmään ja siihen liitettyjen laitteiden ja komponenttien toimintaan. Lopuksi pohditaan tulevaisuudessa tarvittavan puhdistuslaitteiston hankintaa, ominaisuuksia ja sen tuomia hyötyjä.

2 ABB Asennustuotteet Oy

Suomen ABB:n Wiring Accessories -yksikkö Porvoossa kehittää, valmistaa ja markkinoi asuin- ja liikerakentamisen asennustarvikkeita ja asennuskalusteita. Yksikön tärkeimpiä tuotteita ovat pistorasiat, kytkimet, jakorasiat sekä kojerasiat. Tuotteisiin kuuluu myös älykkäät kodinhallintajärjestelmät ja ovipuhelimet. [1.]

ABB-konserni omisti aikaisemmin yrityksestä 21 %, mutta vuonna 2009 konserni osti jäljellä olevat 79 % tehtaan osakekannasta porvoolaiselta sähköalan yritykseltä Enstolta. Enston aikaiset työntekijät jatkoivat töitään uudessa yrityksessä vanhoina työntekijöinä saman katon alla. ABB:n Porvoon yksikössä työskentelee 110 työntekijää erilaisissa työtehtävissä. Kuvassa 1 ABB Asennustuotteet Oy:n tehdasrakennus. [1.]



Kuva 1 ABB Asennustuotteet Oy [1]

Pääasiakaskunta koostuu sähköalan ammattilaisista: sähköurakoitsijoista, -suunnittelijoista sekä -tukkuliikkeistä, jotka ostavat suurimman osan tehtaan tuottamista tuotteista. Pienempi osuus tuotteiden myynnistä tapahtuu vähittäismyyntinä kuluttajille yksittäin pakattuina tuotteina. [1.]

Suomen ABB:n yksikkö vastaa Pohjoismaisista markkinoista ja sillä on myös johtava asema sähköasennustuotteissa Euroopassa. Suomesta toimitetaan tuotteita muun muassa Ruotsiin, Norjaan ja myös Venäjälle. Yksikön liikevaihto oli vuonna 2018 noin 40 miljoonaa euroa. [1.]

3 Muovin ruiskuvalutekniikka ja -prosessi

Muovin ruiskupuristusta eli ruiskuvalua käytetään kestumuovista valmistettavien kappaleiden ja osien valmistuksessa. Kappaleet valmistetaan tietokoneohjatuilla ruiskuvalukoneilla, jotka suorittavat tarvittavat työvaiheet oman työkiertonsa mukaisesti. Valmistusyökin pituus vaihtelee valmistettavan kappaleen koon mukaan. Muovikoneisiin on usein liitettyä oheislaitteita, jotka helpottavat ja tehostavat tuotantoa. [2.]

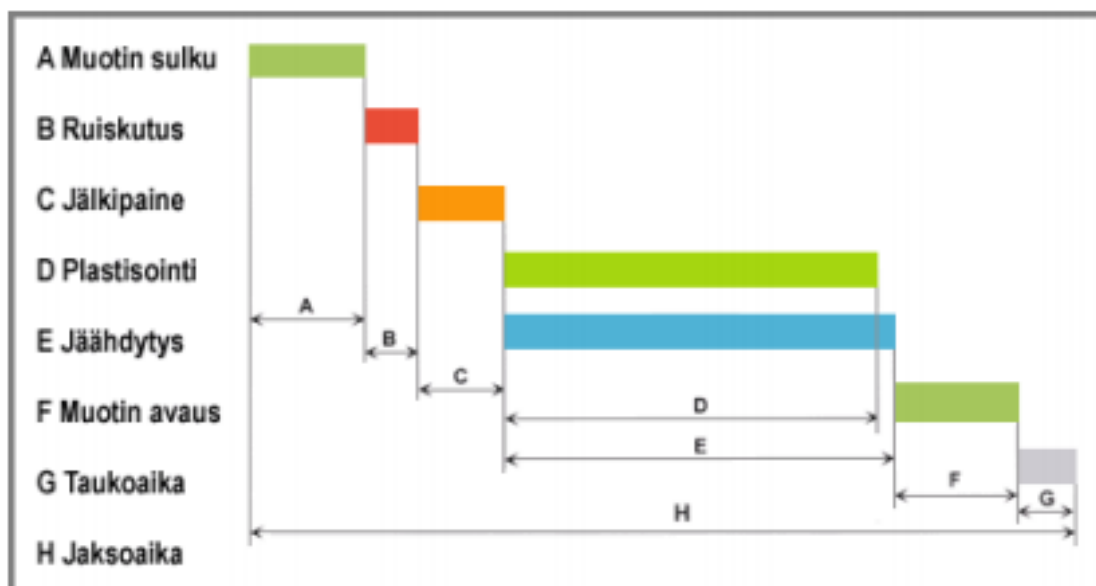
Ruiskupuristusprosessissa raaka-aineena käytetty granulaatti eli muoviryyni plastisoidaan homogeeniseksi muovimassaksi. Raaka-aineen plastisointi tapahtuu muovikoneen sulatussylinderissä. Muoviraaka-aineen plastisoinnilla tarkoitetaan sulan muovin viskositeetin muuntamista sellaiseen olomuotoon, että se voidaan ruiskuttaa ruiskuvalumuottiin. [2.]

Sulatussylinderissä olevat sähkövastukset sekä kierukkaruuvien muodostama kitka saavat aikaan muovimassalle sen sulamiselle sopivan lämpötilan. Kierukkaruuvien riittävän pyörittämisen jälkeen massa on sekoittunut ja sulanut oikeanlaiseksi, minkä jälkeen muovisula voidaan ruiskuttaa muottiin.

Muovisula ruiskutetaan mahdollisimman nopeasti muottiin, joka on temperoitu. Temperoinnilla tarkoitetaan muotin lämpötilan jäähdyttämistä tai lämmittämistä. Muotin temperointi riippuu valmistettavan kappaleen raaka-aineesta. Ruiskutettu muovimassa jäähtyy suljetussa muotissa optimoidun jäähdytysajan, jonka jälkeen kappale jäähtynyt oikeaan muotoon ja muotti on valmis avattavaksi. Muotin avauksen jälkeen kappale on valmis poistettavaksi. [2.]

Ruiskuvaluprosessin jakso eli muovikoneen työkierto muodostuu useasta eri vaiheesta. Ruiskuvalujakso koostuu sekä peräkkäin tapahtuvista että samanaikaisesti tapahtuvista vaiheista. Näiden vaiheiden oikeanlaisella hallinnalla saadaan kappaleista laadullisesti oikeanlaisia siten että pinnanlaatu, geometrinen muoto ja raaka-aineen ominaisuudet ovat sellaisia kuin pitääkin. [2.]

Ruiskupuristusprosessi voidaan karkeasti jakaa kolmeen eri jaksoon: muotin sulkeminen, muotin täyttäminen ja muotin avaus. Näiden kolmen jakson aikana tapahtuu todellisuudessa kuvan 2 mukaisesti seitsemän eri työvaihetta, joista muodostuu lopullinen jaksonaika. [2.]



Kuva 2 Ruiskuvaluprosessin seitsemän työvaihetta [2]

Vaihe 1. Muotin sulku

Muotin sulkeminen tapahtuu vaiheittain, ja alussa sulkemisliike on nopea hidastuen sulkuvaiheen loppua kohden. Muotin sulkemisen tulee tapahtua pehmeästi ja hallitusti, jotta muottiin ei tulisi vaurioita. Muovikoneeseen on usein asetettu muottisulun varmistuspaine, joka estää muotin rikkoutumisen, jos muotin väliin on jäänyt sinne kuuluma-tonta materiaalia tai osia. Muotin saavutettua kiinnioloasteen ruiskuvalukone nostaa sulkuvoiman tarvittavalle tasolle muottipuoliskojen kiinni pitämiseksi ruiskutuksen ajaksi. [2.]

Vaihe 2. Ruiskutus

Sula muoviraaka-aine pyritään ruiskuttamaan muottiin nopeasti täyttäen muotissa olevat pesät. Ruiskutusnopeudella on suuri merkitys kappaleen pinnanlaatuun. Muovisula ruiskutetaan nopeasti, sillä se alkaa heti jäähtyä ja jähmettyä. Ruiskutusaika kestää sekunnin kymmenyksistä useisiin sekunteihin kappaleen koosta riippuen. Ruiskutuksessa muottipesän tilavuudesta täytetään n. 95 % ja loput toteutetaan jälkipaineen avulla. [2.]

Vaihe 3. Jälkipaine

Jälkipaineella on tarkoitus saada kappaleesta juuri oikeanlainen ja mitoiltaan muottipesää vastaava. Sillä on erittäin suuri vaikutus kappaleen mittatarkkuuteen. Jälkipaine täyttää muottipesän tilavuuden viimeiset 5 %. Tämä pieni tilavuus muodostuu usein kappaleen reunoihin jääneestä raaka-aineen vajaavaisuudesta, pintaan jääneistä koloista tai jopa ohuisiin pintoihin muodostuneista rei'istä. Liian suuri jälkipaine voi aiheuttaa kappaleessa pursetta, joka on johonkin tiettyyn kohtaan kertynyttä ylimääräistä raaka-ainetta. Liiallinen jälkipaine voi aiheuttaa myös kappaleen tarttumista muottiin, jolloin muottia avatessa kappale vääntyy tai jopa murtuu. Jälkipaineella on suuri osuus lopullisen kappaleen ulkonäköön ja laatuun. [2.]

Vaihe 4. Annostus ja plastisointi

Plastisointivaiheen tarkoituksena on muoviraaka-aineen eli granulaatin sulattaminen juoksevaan muotoon ruiskuttamista varten. Osalla käytettävistä raaka-aineista ei ole tarkkaa sulamispistettä, joten muovigranulaatin saattamista juoksevaan muotoon kutsutaan usein tarkemmin termillä plastisointi. Annostuksessa ruiskuvalukoneen ruuvia pyöritetään ja samanaikaisesti muoviryynit kulkeutuvat syöttökanavan kautta sylinteriin seuraavaa ruiskutusta varten. Ruuvin tarkoituksena on plastisoida ja sekoittaa muovimassa tasaiseksi. Värillisiä kappaleita valmistettaessa raaka-aineen sekaan annostellaan väriainetta, jonka sekoitussuhteella saavutetaan oikea värisävy. Tasaisesti sekoitetun ja plastisoidun massan avulla saavutetaan kestävä, laadukas ja pinnoiltaan huoliteltu kappale. [2.]

Vaihe 5. Jäähdytys

Sulan muovimassan jäähtyminen alkaa heti kun se kohtaa kylmän muottipesän. Kylmän muottipesän tarkoituksena on siirtää muovisulan lämpöenergia temperoituun muottiin. Kappaleen jäähdytysaika voi vaihdella sekunnista minuutteihin riippuen kappaleen koosta sekä sen seinämänpaksuudesta. Jäähdytysvaihe muodostaa usein suurimman osan ruiskuvaluprosessin jaksonajasta. Jäähdytyksen tarkoituksena on saada kappale jähmettymään muottiin oikeaan muotoon, jotta saavutetaan oikea lopputulos. Kappaleen riittävä jähmettyminen on myös välttämätöntä sen muotista poistamista varten. Jäähdytysajan tulee olla siis riittävän pitkä, ettei kappaleeseen tule muodonmuutoksia poistettaessa sitä muotista, mutta silti mahdollisimman lyhyt nopean jaksonajan saavuttamiseksi. [2.]

Vaihe 6. Muotin avaus ja kappaleen ulostyöntö

Jäähdytysajan loputtua ruiskuvalumuotti avataan välittömästi. Muotin avautuessa tai sen saavutettua täysi avautumismatka alkaa viimeinen vaihe eli ulostyöntö, mikäli taukoaikaa ei tarvita kappaleen valmistuksessa. Ulostyönnön tarkoituksena on saada kappale poistettua muotista hallitusti ja siten, että kappale pysyy oikeassa muodossaan. Valmistettavaan kappaleeseen on usein suunniteltu ns. ”pitoja”, jotka edesauttavat kappaleen tarttumista oikeaan muottipuoliskoon. Ulostyönnön seurauksena kappale irtoaa muotista pudoten muovikoneen alla olevaan laatikkoon, tai vaihtoehtoisesti se voidaan poimia suoraan muotista esimerkiksi robotin avulla jatkokäsittelyä varten. [2.]

Vaihe 7. Tauko aika

Taukoajan käyttäminen riippuu kappaleesta. Mikäli valmistettava tuote ei esimerkiksi rakenneteknisesti irtoa aina ensimmäisellä ulostyöntökerralla, muovikoneeseen voidaan asettaa enemmän ulostyöntökertoja, mikä edesauttaa kappaleen irtoamista muotista. Viimeisen vaiheen jälkeen ruiskuvalukone aloittaa työkiertonsa jälleen uudelleen muotin sulkemisella. [2.]

4 Ruiskuvalukone

Ruiskuvalukoneen tarkoituksena on valmistaa kestopuovisia kappaleita ruiskuvalamalla, sekä aikaansaada erilaiset työkierron liikkeet kappaleiden valmistamiseksi. Ruiskuvalukoneita on monta erilaista merkkiä ja mallia, mutta toiminnallisesti ja teknisesti ne ovat hyvin samankaltaisia. Kuvissa 3 ja 4 on esimerkkinä kaksi eri valmistajan muovikonetta. Eri valmistajien koneet eroavat usein käyttö- ja ohjausteknisesti, mutta rakenteellisesti ne ovat yhdenmukaisia. [2.]



Kuva 3 Arburg-ruiskuvalukone [3]



Kuva 4 Engel-ruiskuvalukone [4]

Valamiseen tarvittavien liikkeiden aikaansaamiseksi koneet on jaettu sähköhydraulisiin ja täyssähköisiin koneisiin. Sähköhydraulisessa koneessa sähkömoottori on liitetty hydraulipumppuun, joka tuottaa tarvittavan paineen ja tilavuusvirran koneen liikkeiden muodostamiseen. Hydraulikoneessa öljyn menovirtausta hydraulisyntereihin ohjataan erilaisilla sähköohjatuilla venttiileillä. Täyssähköisissä koneissa liikkeet toteutetaan suurien servomoottorien avulla, joita ohjataan koneen sähkökaapissa olevien servovahvistimien avulla. Servomoottoreilla liikkeiden ohjaaminen on tarkempaa, nopeampaa, hiljaisempaa ja hallitumpaa. Hydraulikoneiden käynnistäminen on myös hitaampaa öljyn esilämmityksen takia. Öljyn oikea lämpötila pitää saavuttaa ja ylläpitää jäähdyttämällä öljyä pitkien tuotantojaksojen aikana tarvittavien ominaisuuksien takaamiseksi, kuten viskositeetin ja voitelevuuden. Hydraulikoneiden kustannustehokkuus on huonompi sen aiheuttamien öljyyn liittyvien huoltokustannuksien ja lämpöhukan vuoksi. [2.]

4.1 Koneen valinta

Ruiskuvalukoneen oikean koon valitseminen alkaa valmistettavan kappaleen muotin vaatimuksista. Ruiskuvalumuotti määrittää muovikoneen sulkuvoiman, ruiskutusyksikön sylinterin koon, kierukaruuvien halkaisijan ja annoksen. Ruiskuvaluprosessissa sula muovimassa ruiskutetaan usein suurella nopeudella muottipesään. Kappaleen täydelliseen täyttämiseen ja nopeaan ruiskutukseen tarvitaan todella korkea ruiskutusaine. Paine pyrkii avaamaan muottia, joten tälle voimalle tarvitaan vastavoima, jota kutsutaan sulkuvoimaksi. Ruiskutusaineen ja muottipesien vaikutuspinta-alan kasvaessa myös sulkuvoimaa on kasvatettava. Yleisesti muovikoneiden suorituskykyalueet ovat seuraavat:

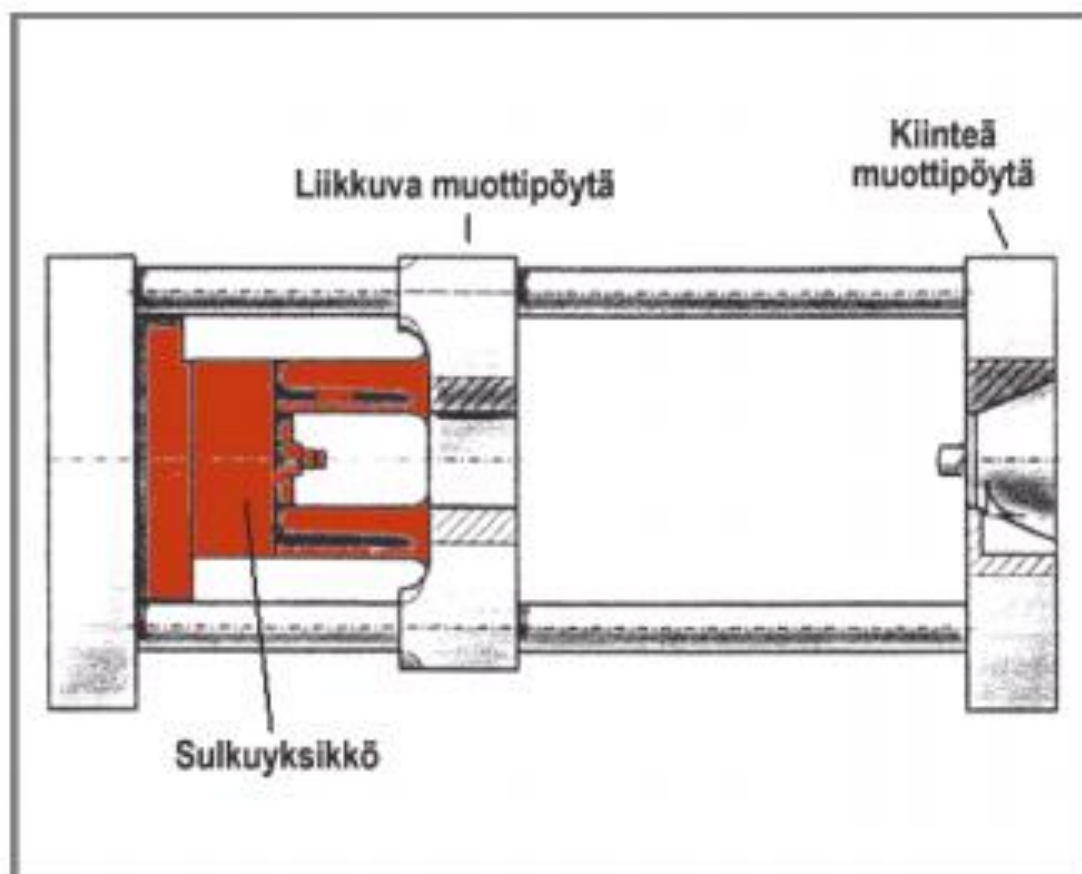
- sulkuvoima 200 - 100 000 kN
- ruiskutusaine 120 – 250 MPa
- ruuvien halkaisija 18 – 120 mm. [2.]

4.2 Koneen rakenne

Ruiskuvalukone jaetaan yleisesti neljään toiminnalliseen kokonaisuuteen, jotka muodostuvat sulku-, ruiskutus-, käyttö- ja ohjausyksiköstä. [2.]

4.2.1 Sulkuyksikkö

Sulkuyksikön (kuva 5) tehtävänä on saada aikaan muotin avaamiseen ja sulkemiseen tarvittavat liikkeet, sekä muodostaa tarvittava sulkuvoima muotin kiinnipitoon ruiskuvaluprosessin aikana. Sulkuyksikön konstruktio rakentuu kahdesta muottipöydästä. Muovikoneessa vain toinen muottipöytä on liikkuva, ja sitä kutsutaan takapöydäksi. Takapöydän liikkeellä toteutetaan muotin avaus- ja sulkuliikkeet, sekä siihen on liitetty kappaleen ulostyöntöön tarvittava hydraulisylinteri. [2.]



Kuva 5 Sulkuyksikkö [5]

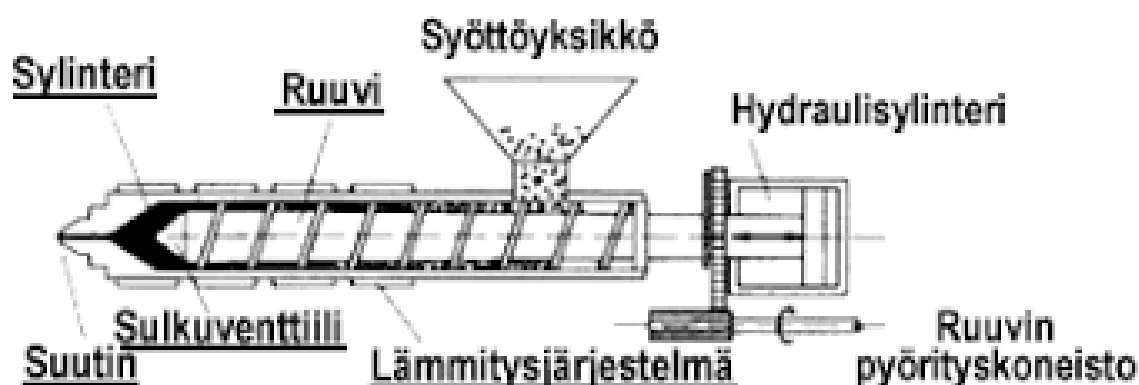
Etumuottipöytä pysyy koneen käydessä paikallaan, joten sitä kutsutaan kiinteäksi muottipöydäksi. Sulkuyksiköt jaetaan pääosin kolmeen eri tyyppiin: mekaaniset, hydrauliset ja hydraulismekaaniset sulkusysteemit. [2.]

4.2.2 Ruiskutusyksikkö

Raaka-aine eli muovigranulaatti kuljetetaan ruiskutusyksikköön (kuva 6) usein alipainejärjestelmän avulla imemällä muoviryyniä suuresta sillosta tai pienemmästä säiliöstä. Ruiskutusyksikön päälle liitetyn raaka-aineannostelijan ja kuivurin tehtävänä on ylläpitää tarvittava määrä kuivaa muoviryyniä muovikoneen toimintaa varten. Raaka-aine valuu omalla painollaan kuivurista syöttösuppilon kautta ruiskutusylinteriin. Syöttösuppilon on oltava muodoltaan ja kooltaan sellainen, ettei raaka-aine ”holvaannu” siihen tukkien muoviryynien syötön sylinteriin. Holvaamisella tarkoitetaan muoviryynin pakkaantumista yhteen kasaan, mikä estää sen valumisen sylinteriin. Raaka-aineen

kuljettua sylinteriin ruuvi pyöriessään plastisoi ja sekoittaa sen tasaiseksi muovimasaksi ruiskutusta varten. Valmiin massan ruiskutus tapahtuu ruiskutus sylinterin avulla, jonka sisällä oleva ruuvi toimii mäntänä työntäen sulan muovimassan suuttimen läpi ruiskuvalumuottiin. [2.]

Ruiskutus sylinterin sisällä oleva kierukkaruuvi on lähes aina varustettu sulkusuuttimella. Sulkusuutin on liitetty aivan ruuvin kärkeen. Sulkusuuttimen tehtävänä on estää muovimassan virtaaminen ruuvia pitkin takaisin ruiskutuksen aikana ja taas mahdollistaa uuden raaka-aineannoksen annostelu. Sulkusuutin on valmistettu karkaistusta teräksestä sen kulumisen estämiseksi. Vaurioitunut tai kulunut sulkurengas aiheuttaa annoksen koon vaihtelua ja täten huonontaa ruiskuvaluprosessin laatua. [2.]



Kuva 6 Ruiskutusyksikkö [5]

Muoviraaka-aineen sulattamiseen eli plastisointiin tarvittava lämpö muodostuu suurelta osin kierukkaruuvien ja ruiskutus sylinterin välisen kitkan avulla. Kitkan lisäksi ruiskutus sylinterin ulkopuolella on sen ympärille liitettyjä sähkövastuksia, joiden lämpötilaa säätämällä plastisoinnista saadaan hallittua. Vastusten määrä vaihtelee muovikoneen koon mukaa, mutta koneesta riippuen noin kolmesta viiteen kappaletta. Lämmityksessä voidaan myös käyttää nestelämmitystä, mutta se on erittäin harvinaista sekä kallista, ja sen lämpötila rajoittuu käytännössä 200–300 °C:seen. Nestelämmityksen suurimpana etuna on raaka-aineen ja sylinterin nopea jäähditys lämpötilaherkkien raaka-aineiden ruiskuvalussa. [2.]

4.2.3 Käyttöyksikkö

Käyttöyksiköllä tarkoitetaan ruiskuvalukoneen liikkeiden aikaansaamiseksi tarkoitettua erilaisista komponenteista koostuvaa systeemiä. Täyssähkökoneissa käyttöyksikkö koostuu servomootoreista, servovahvistimista ja ohjausyksiköstä. Hydraulikoneiden käyttöyksikköön kuuluu sähkömoottori, hydrauliohjapumppu, venttiilit ja öljysäiliö. [2.]

4.2.4 Ohjausyksikkö

Muovikoneen ohjausyksikkö valvoo ja ohjaa ruiskuvaluprosessia eli se on koko ruiskuvalukoneen aivot. Se hoitaa automaattisesti tarvittavat työkierron jaksot. Ohjausyksikön päätarkoituksena on suorittaa ruiskuvaluprosessin syklit automaattisesti ennalta asetettujen arvojen perusteella mahdollistaen tasaisen laadun ja toistotarkkuuden. Yksiköllä on mahdollista ohjata myös ruiskuvalukoneeseen liitetyjä lisälaitteita, kuten temperointilaitteita ja robotteja. [2.]

Ohjausyksikön käyttöpaneelista (kuva 7) on mahdollista hallita muovikoneen kaikkia teknisiä laitteita ja komponentteja. Ohjausyksiköllä säädetään, ohjataan ja valvotaan normaalisti seuraavia toimintaan liittyviä parametreja: muotin liikkeet, ruiskutusprosessi, kokonaisjaksojen valvonta, toleranssien valvonta, vianetsintä ja lisälaitteiden ohjaus. [2.]



Kuva 7 Arburg ruiskuvalukoneen käyttöpaneeli [3]

5 Ruiskuvalumuotti

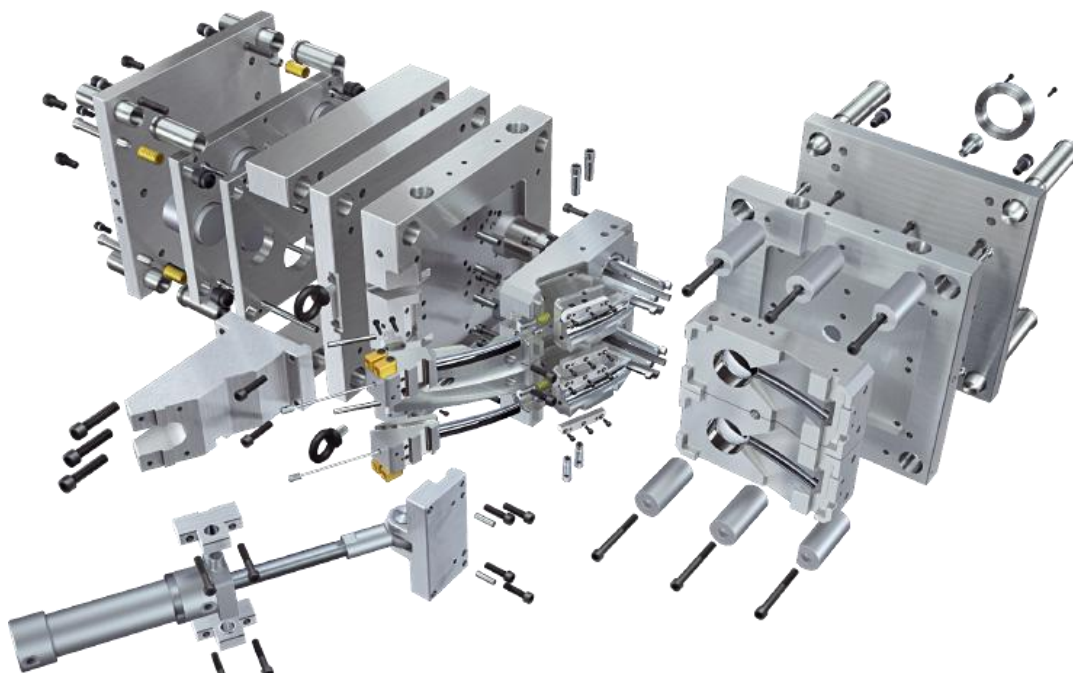
Ruiskuvalumuotti on ruiskuvaluprosessin tärkein yksittäinen komponentti. Muotin suunnittelu aloitetaan, kun valmistettava kappale on saatu suunniteltua ja mallinnettua valmiiksi. Suunnittelussa huomioon otettavia asioita ovat valmistettavan kappaleen mitoitukset, käytettävä raaka-aine, muottipesien sijoittelu, pesäluku, valujätteen minimointi, tuotteen elinkaari ja tärkeimpänä muotin rakenne, joka mahdollistaa laadukkaan, tuottavan ja kustannustehokkaan valmistuksen. [2.]

Ruiskuvalumuotti on hyvin yksilöllinen, sillä se tehdään lähes aina vain yhtä valmistettavaa tuotetta varten. Poikkeuksia voi olla esimerkiksi vaihdettavalla muottipesällä oleva muotti, jolla voidaan valmistaa useaa melkein samanlaista kappaletta. Vaihdettavalla muottipesällä olevalla muotilla on kuitenkin rajoituksia, kuten se että kappaleiden tulee olla rakenteeltaan hyvin yksinkertaisia ja samanmuotoisia. Se, että muotti on lähes aina yksilöllinen, tekee siitä usein hyvin kalliin, mikäli kappale on monimutkainen. [2.]

Tärkein osa-alue muotin valmistuksessa on sen suunnittelu. Tarkalla ja huolellisella suunnittelulla aikaansaatu muotti on pitkäikäinen, toimiva sekä tuottava. Muottisuunnittelussa tehtyjä virheitä ei pystytä korjaamaan muovikoneen ajoarvoilla. Mikäli muotti on suunniteltu huonosti, se voi vaikuttaa kappaleen laatuun, mittoihin, ulkonäköön ja jaksonaikaan negatiivisesti. Suunnittelussa tehtyjä virheitä on erittäin vaikeaa ja kallista korjata jälkikäteen. [2.]

5.1 Muotin rakenne

Ruiskuvalumuotti (kuva 8) koostuu kahdesta eri puoliskosta, jotka ovat kiinteä ja liikkuva. Kiinteä muottipuolisko asennetaan muovikoneen kiinteään pöytään. Kiinteään muottipuoliskoon on sijoitettu ruiskutuskanava tai vaihtoehtoisesti kuumasuutin muottipesän täyttöä varten. Liikkuvaan muottipuoliskoon on integroitu kappaleen poistoon muotista eli ulostyöntöön tarvittavat mekaaniset komponentit. Liikkuvalla muottipuoliskolla aikaansaadaan myös muotin avaus ja sulku. [2.]

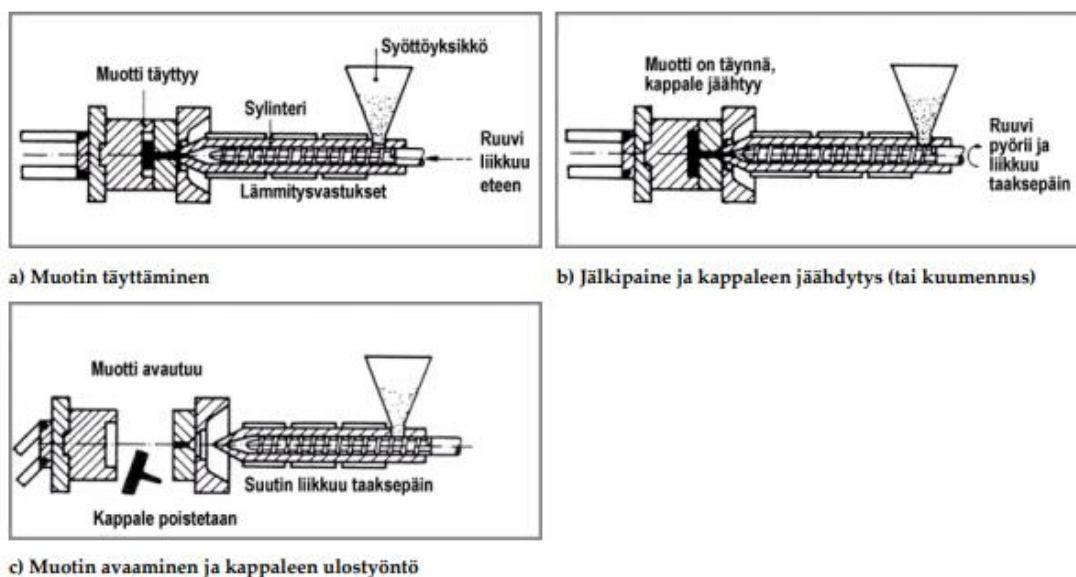


Kuva 8 Ruiskuvalumuotin rakenne [6]

Muotin molemmat puoliskot sisältävät myös jäähdytyskanavat, jotka mahdollistavat muotin tasaisen lämpötilan ja tehokkaan jäähdytyksen ruiskuvaluprosessin hallintaa varten. Muotissa voi olla myös ulkoisia lisälaitteita, esimerkiksi paineilma- tai hydraulisylintereitä liikkuvien keernojen liikuttamiseksi. [2.]

5.2 Valukappaleen muodostuminen muotissa

Kappaleen synty ruiskuvalumuotissa (kuva 9) alkaa, kun ruiskuvalukone aloittaa ruiskutusvaiheen työkierrossaan. Ruiskuvalukone ruiskuttaa sulaa muovimassaa syöttökanavan lävitse muottipesään, joka on muotoiltu valmistettavan kappaleen mukaan. Muottipesän muotoilu ja siihen liitetyt keernat antavat kappaleelle sen lopullisen muodon. Kappaleesta ulospäin tulevat muodot ovat muotissa keernoja, ja ne voivat olla kiinteitä tai liikkuvia. Muottia suljettaessa muottipesä on täynnä ilmaa, ja se täytetään kokonaan muovimassalla, joten muotissa on oltava myös kaasunpoistokanavat. Nämä kanavat mahdollistavat ruiskutuksessa syntyvien kaasujen ja muottiin jääneen ilman poistumisen muottipesästä. Kaasunpoistokanavien puuttuminen tai tukkeutuminen voi aiheuttaa valukappaleeseen vajavaisuutta tai mahdollisen palojäljen ruiskutuksessa kuumentuneen kaasun takia. [2.]



Kuva 9 Kappaleen synty muotissa [6]

Muottipesän muotojen pitää olla suunniteltu siten, että kappale irtoaa helposti tarttumatta muottiin. Kappaleen irtoamista keernoista ja muottipesästä edesautetaan päästöillä eli hellityksillä. Hellityksellä tarkoitetaan geometrinen muotoa, jossa mikään pysyvä pintainen pinta ei ole kohtisuorassa jakotasoon nähden. Hellitysten suuruus riippuu prosessissa käytettävästä raaka-aineesta, mutta pääosin se on muutamia asteita. Jakotasolla tarkoitetaan muottipuoliskojen tasoa eli saumaa, josta muotti aukeaa. Hellitysten puuttuessa kappale voi tarttua kiinni muottiin, mikä aiheuttaa kappaleeseen vääntymistä tai erilaisia ulkonäöllisesti rumia jälkiä. Kappaleen jäämistä halutulle muottipuoliskolle voidaan edesauttaa lisäämällä muottiin negatiivinen päästökulma tai niin sanottuja pitoja. Pidoilla tarkoitetaan erinäisten muotojen kuten porrasmaisten pykälien lisäämistä kappaleen sisäpinnalle, josta ne eivät jää näkyviin lopputuotteessa. Kappale tarttuu koneistettuihin pykäliin kiinni, ja tämän seurauksena se jää kiinni haluttuun muottipuoliskoon muottia avatessa. Lähes poikkeuksetta ruiskuvaluprosessissa muotti suunnitellaan siten, että kappale jää kiinni liikkuvaan muottipuoliskoon, josta ulostyöntö hoitaa kappaleen irrotuksen. [2.]

6 Muoviraaka-, lisä- ja apuaineet

Ruiskuvaluprosessissa käytetyt raaka-aineet ovat kestopuoveja. Kestomuovien perusominaisuuksiin kuuluu niiden koossa pysymiseen tarvittavien sidosvoimien heikkeneminen kuumentaessa ja vahvistuminen jäähtyessä. Erilaisilla kestopuoveilla ei ole tiettyä sulamispistettä, vaan niiden viskositeetti eli juoksevuus muuttuu lämpötilan funktiona. Kestomuovit voidaan jakaa kahteen eri ryhmään niiden kemiallisen rakenteen mukaan: amorfisiin ja osakiteisiin puoveihin. [2.]

Amorfisten kestopuovien sisäinen rakenne on järjestäytymätön, millä tarkoitetaan sisäisten molekyyliketjujen järjestäytymätöntä sidosta toisiinsa. Puovin jäähtyessä sulasta puovimassasta kiinteäksi aineeksi sen sisäinen rakenne säilyy samana eli amorfisena, mutta molekyyliketjujen välinen etäisyys pienenee. Amorfisella puovilla ei ole kiinteää sulamispistettä ollenkaan. [2.]

Osakiteisten puovien ollessa sulassa olomuodossa niiden sisäinen rakenne on järjestäytymätön eli amorfinen. Massasulan lämpötilan laskiessa sulamispisteen alapuolelle alkaa amorfinen molekyyli rakenne kiteytyä. Kiteytymisessä molekyyli ketjut muodostavat keskenään tiiviin puovirakenteen. Näitä puoveja kutsutaan osakiteisiksi sen takia, että puovin molekyyli rakenne ei ole 100-prosenttisesti kiteytynyttä. [2.]

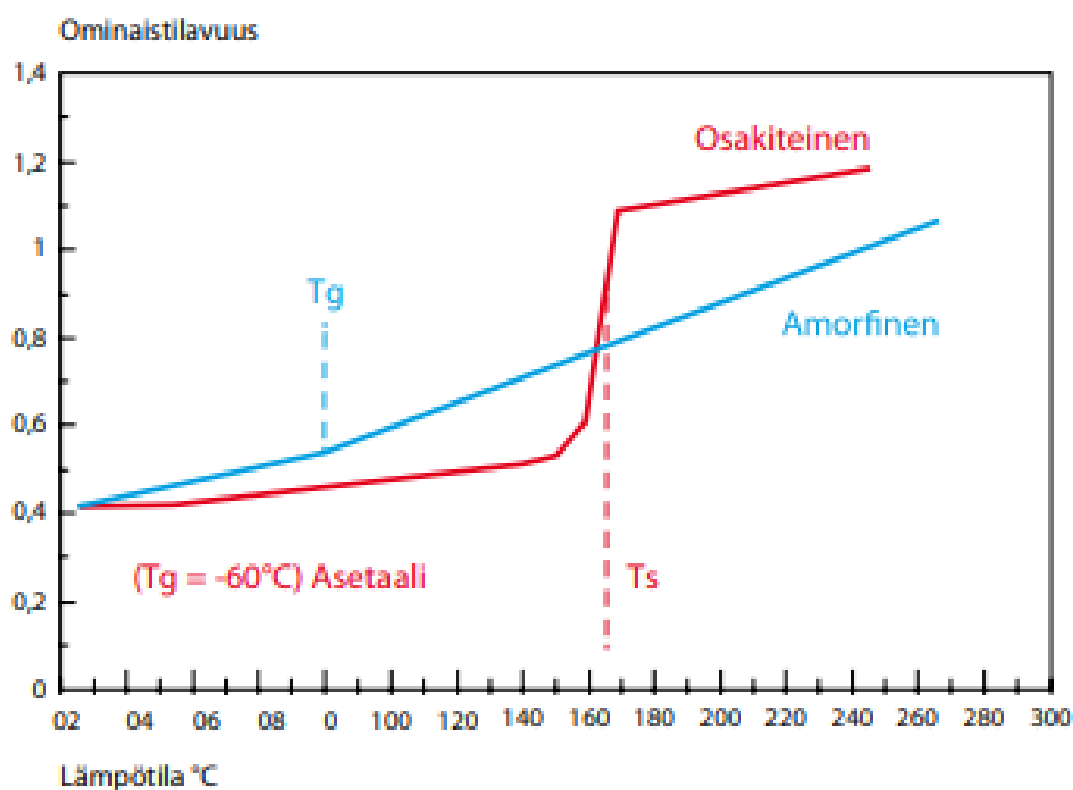
Amorfisten puovien ominaisuuksia:

- läpinäkyvyys
- hyvä jäykkyys ja virumisen kesto kuormituksessa
- pieni muottikutistuma
- hyvä muotopysyvyys
- heikko kemikaalien kesto
- huono dynaamisen kuormituksen kesto
- heikko hankauksen kestävyys. [2.]

Osakiteisten muovien ominaisuuksia:

- läpinäkymättömyys
- suuri muottikutistuma
- hyvä kemikaalien kesto
- hyvä dynaamisen kuormituksen kesto
- hyvä hankauksen kestävyys
- jännityssäröily pienempi kuin amorfisilla muoveilla
- viruminen todennäköisempi kuin amorfisilla muoveilla. [2.]

Kuvassa 10 näkyvät osakiteisen ja amorfisen muovin ominaistilavuuden muutoksen erot lämpötilan kasvaessa. Kuvasta voidaan havaita, että amorfisten muovien ominaistilavuus muuttuu lähes lineaarisesti, kun taas osakiteisillä on selvä kohta, jossa ominaistilavuus muuttuu. Tg-arvo kuvaa lasisiirtymälämpötilaa ja Ts-arvo osakiteisen muovin sulamislämpötilaa. [13.]



Kuva 10 Muoviraaka-aineen sulaminen [13]

Amorfiset ja osakiteiset muovit eroavat ominaisuuksiltaan sekä ruiskuvaluprosessin osalta. Raaka-ainevalmistaja on asettanut tarkat ohjeet ja menettelytavat jokaiselle käytettävälle raaka-aineelle sen kaikkien tärkeiden ominaisuuksien saavuttamiseksi. Prosessiolosuhteet on määriteltävä raaka-ainevalmistajan toimesta, ja niihin kuuluvat seuraavat tiedot raaka-aineen käytöstä valuprosessissa: sylinterilämpötila, muotin temperointilämpötila, kuivauslämpötila ja kuivausaika. [2.]

Muovien perusrakenne riittää harvoin täyttämään tarvittavilta kappaleilta vaadittuja ominaisuuksia, minkä takia niihin lisätään rakennetta ja ulkonäköä muuttavia lisä- ja apuaineita. Ruiskuvaluprosessissa käytettyjen perusraaka-aineiden lisäksi on käytössä erilaisia väriaineita ja lisäaineita, joiden avulla lopullisen ruiskuvalukappaleen ominaisuuksista ja ulkonäöstä saadaan halutunlaisia. Lisä- ja apuaineilla saadaan kappaleeseen esimerkiksi seuraavia lisäominaisuuksia: väri, jäykkyys, kovuus, lujuus, kulutuskestävyys, pienikitkaisuus ja palonkestävyys. [2.]

Lisä- ja apuaineilla saadaan valukappaleeseen haluttuja lisäominaisuuksia vain silloin, kun niitä käytetään raaka-ainetoimittajan ohjeiden mukaisesti. Tämä on testannut ja tutkinut ne sekä asettanut niiden käyttöön sallitut käyttömäärät painoprosentteina. Raaka-aineen hyväksyminen käyttöön tietyn ruiskuvalutuotteen valmistuksessa on iso kokonaisuus erilaisia testauksia ja koeajoja, sillä lisäaineet voivat vaikuttaa myös lopullisen kappaleen kutistumaan ja siten aiheuttaa erilaisia ongelmia tuotteen toimivuudessa tai sopivuudessa. Esimerkiksi väriaineen liiallinen lisääminen kappaleeseen edesauttaa tuotteen tasaista väritystä, mutta aiheuttaa valukappaleeseen haurautta. [2.]

7 Tuotannon jäähdytysjärjestelmä tehtaalla

Jäähdytysjärjestelmän rakennetta voidaan verrata hyvin esimerkiksi polttomoottori-käyttöisen auton jäähdytysjärjestelmään, mutta todella paljon suuremmassa koossa. Järjestelmä koostuu lyhyesti jäähdyttimestä, puhaltimesta, kiertovesipumpusta, vesiputkiverkostosta, paineensäätimestä, nesteestä, elysaattorista ja kylmälaitteesta, joiden tehtävänä on siirtää lämpöenergiaa ja jäähdyttää tuotantolaitteita. Järjestelmän jäähdytysteho koostuu ainepintojen pinta-alasta, nesteen ominaislämpökapasiteetista, jäähdytinmateriaalin lämmönsiirtokertoimesta sekä lämmönsiirtyvyydestä virtaavien aineiden ja lämmönsiirtopinnan välillä.

1. Jäähdytin

Jäähdyttimen tehtävänä on jäähdyttää tai tarkalleen ottaen siirtää lämpöenergiaa pois järjestelmässä kiertävästä nesteestä eli fluidista. Jäähdytin on siis käytännössä lämmönsiirrin, joka siirtää lämpöenergiaa sen läpi virtaavaan ilmaan. Jäähdyttimen rakenne koostuu usein metalliputkikehikosta ja putkien väliin asennetusta tiheästä metalliriivoista muodostuvasta kennostosta. Jäähdyttimen jäähdytysteho riippuu kennoston pinta-alasta. Suuri pinta-ala mahdollistaa tehokkaan lämmönsiirron ja muodostaa suuren jäähdytystehon. Jäähdyttimet valmistettiin alun perin messingistä sen helpon yhteen liittämisen takia, mutta nykyään tekniikan kehittyttyä valmistusmateriaalina käytetään alumiinia halvemman hinnan ja hyvän lämmönjohtavuuden takia.

2. Puhallin

Puhallin on usein sähkömoottorilla varustettu tuuletin, joka on sijoitettu lähes kiinni jäähdyttimeen parhaan jäähdytystehon saavuttamiseksi. Puhaltimen tarkoituksena on saada aikaan tehokas ilmavirtaus jäähdyttimen kennon lävitse. Tärkeimpänä asiana puhaltimen ilmavirran muodostamisessa on saada ilma virtaamaan kauttaaltaan koko jäähdyttimen pinta-alan lävitse.

3. Kiertovesipumppu

Kiertovesipumppu koostuu sähkömoottorista ja siihen liitetystä pumppuyksiköstä. Vesipumppu kierrättää nestettä koko järjestelmän lävitse siirtäen tuotantolaitteissa muodostuvaa lämpöenergiaa jäähdyttimelle. Kiertovesipumppu on sijoitettu vesijärjestelmän tulopuolelle, jolloin sillä aikaansaadaan myös ylipainetta järjestelmään.

4. Vesiputkiverkosto

Verkoston runkolinja on sijoitettu tehtaan ruiskuvalukoneiden läheisyyteen ja siihen on liitetty jokainen ruiskuvalukone. Vesiverkosto koostuu tulo- ja paluulinjasta. Jokaisen ruiskuvalukoneen yhteyteen on liitetty vesisulut, jotka mahdollistavat jäähdytysveden sulkemisen tarvittaessa vain tietyltä koneelta, ja kaikkien muovikoneiden läheisyyteen on sijoitettu vesisuodatin, jolla estetään jäähdytysjärjestelmän likaantuminen.

5. Paineensäädin

Paineensäätimen eli regulaattorin avulla vesijärjestelmän käyttöpaine voidaan säätää haluttuun arvoon. Regulaattorin rakenne on yksinkertainen, ja sen säätö perustuu säätimen sisällä olevan neulaventtiilin toimintaan. Venttiilin muotona on kartio, ja sen avulla rajoitetaan nesteen virtausta paluupuolen kanavan lävitse. Kiertovesipumpun tuottamaa tilavuusvirtaa kuristamalla pumppu pyrkii pitämään saman virtauksen, ja tästä johtuen järjestelmän käyttöpaine kasvaa.

6. Neste eli fluidi

Jäähdytysjärjestelmän lämpöenergian siirrossa käytettävä neste voi olla esimerkiksi glykoli, tisle tai vesi. Jäähdyttävänä nesteenä Porvoon tehtaalla käytetään hapetonta vettä. Tämän nesteen hyvinä ominaisuuksina on sen lämmönsiirtokyky ja vaarattomuus. Jäähdytysjärjestelmässä vuodot ovat mahdollisia, joten käytössä olevan nesteen pitää olla vaaraton ihmiselle ja luonnolle. Hapettoman veden käyttäminen järjestelmässä, jossa tuotantolaitteiden eri osat ja ruiskuvalumuotit ovat metallia, aiheuttaa väistämättä korroosiota eli ruostumista. Ruostuminen on vähäistä hapettomuuden takia kun tuotantolaitte on tuotannossa, mutta esimerkiksi muotin ollessa käyttämättä muottivarastossa ja jäähdytyskanavissa seisova vesi altistuu hapelle, jolloin ruostuminen nopeutuu.

7. Elysaattori

Elysaattorin eli hapenpoistolaitteen tehtävänä on poistaa jäähdytyksessä käytettävästä vedestä ylimääräinen happi. Hapen poistolla on erittäin suuri merkitys järjestelmän puhtaana pysymisen ja lämpöenergian tehokkuuden ylläpitämisessä. Hapen poistamisella vedestä estetään kaikkien eloperäisten epäpuhtauksien syntyminen järjestelmään ja metallisten osien ruostuminen hidastuu huomattavasti. Happea kulkeutuu järjestelmään huoltojen ja tuotannossa tehtävien muotinvaihtojen yhteydessä.

8. Kylmälaite

Jäähdytysjärjestelmän yhtenä isoimpana osakokonaisuutena on kylmälaite, jonka tarkoituksena on jäähdyttää järjestelmässä käytettävää nestettä. Kylmlaitteella mahdollistetaan veden riittävän alhainen lämpötila varsinkin kesällä, kun ulkolämpötila on korkea. Talvella kylmälaite toimii tyhjäkäynnillä, jolloin sen ei tarvitse jäähdyttää jäähdytysvettä.

Järjestelmän tarkoituksena on jäähdyttää ruiskuvaluprosessissa käytettäviä koneita ja laitteita. Muovin ruiskuvaluprosessi on tarkasti säädettyä ja optimoitua tuotantoa, jolloin muovin ominaisuudet pysyvät mahdollisimman hyvänä ja tasaisena. Erilaisten tuotantolaitteiden oikeanlainen sekä tehokas jäähdytys mahdollistaa hallitun ja laadukkaan tuotannon. Porvoon tehtaalla jäähdytysveden lämpötila on asetettu 8 °C:seen ja sen on todettu olevan riittävän matala kaikkien tuotannossa olevien ruiskupuristustuotteiden kohdalla. Erilaiset ongelmat ovat mahdollisia jäähdytysjärjestelmässä ja voivat aiheuttaa veden lämpötilan nousua. Järjestelmän lämpötilassa sallitaan 5 °C:n nousu, jolloin se ei aiheuta tuotannossa toimenpiteitä eikä myöskään tuotteissa laatueroja.

8 Temperointilaite

Temperointilaitteiden valmistajia on hyvin monia ympäri maailmaa, ja Porvoon tehtaalla on käytössä kuvan 11 vasemmanpuoleisen kokoisia laitteita yli 50 kappaletta, joten tässä työssä perehdytään niiden rakenteeseen ja toimintaan.

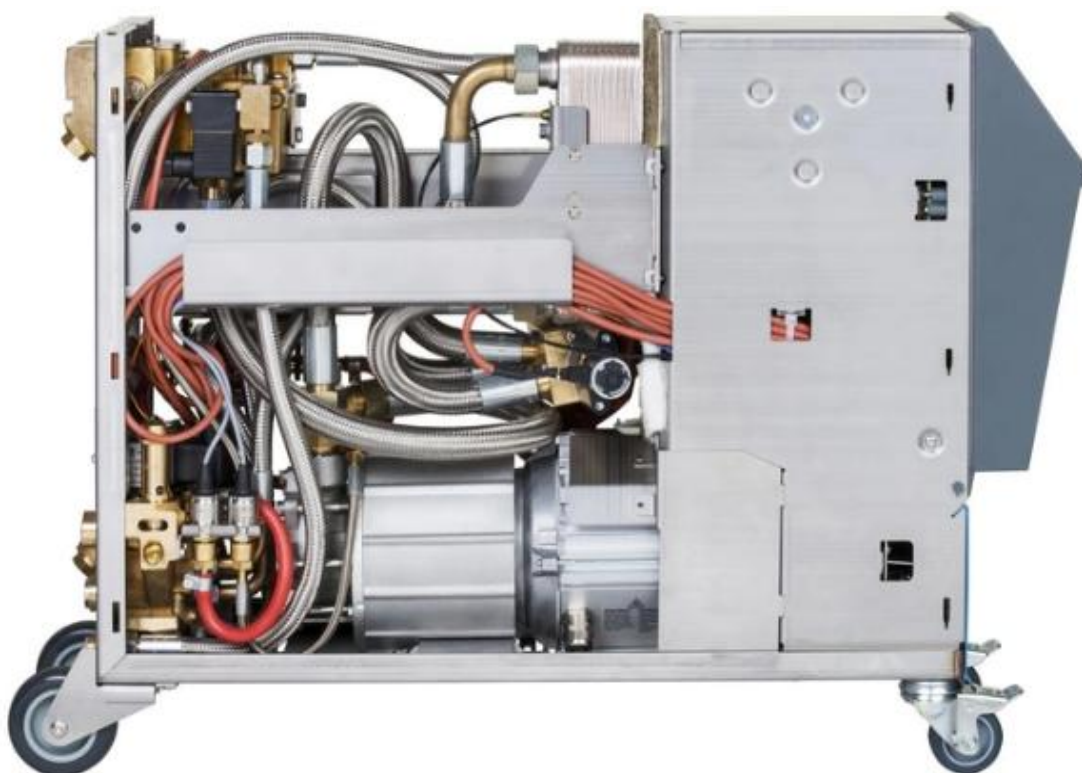


Kuva 11 HB-Therm temperointilaite [7]

Ruiskuvaluprosessissa käytettävien temperointilaitteiden tarkoituksena on temperoida eli lämmittää tai jäähdyttää ruiskuvalumuottia veden avulla. Temperointilaitte on itsenäinen tuotantolaitte, jota voidaan ohjata etäkäytöllä ruiskuvalukoneen käyttöpaneelista tai suoraan laitteen omasta käyttöpaneelista. Laite on liitetty jäähdytysvesijärjestelmään ja muotin vesikanaviin. Temperointilaitte mahdollistaa muotin jatkuvan tasaisen lämpötilan koko tuotantoajan aikana. [12.]

8.1 Laitteen rakenne

Temperointilaitte on kokoonpantu pieneen kokoon, jotta sitä on helppoa siirrellä ja sijoittaa. Laitteen rakenne (kuva 12) koostuu sähkömoottorista, kiertovesipumpusta, lämmönvaihtimesta, venttiileistä, antureista, letkuista ja ohjausyksiköstä. [12.]



Kuva 12 Temperointilaitteen rakenne [7]

1. Sähkömoottori ja kiertovesipumppu

Sähkömoottori ja vesipumppu on liitetty toisiinsa, joko suoraan mekaanisesti tai uudemmissa malleissa magneettikytkimellä. Magneettikytkimellä varustettu laite on hie- man kalliimpi kuin mekaanisella. Pumpun jumiutuessa magneettikytkin alkaa luistaa, eikä aiheuta tämän takia sähkömoottoriin vaurioita. Mekaanisella kytkimellä varustettu laite on myös vuotoherkempi sen pumppuun menevän käyttöakselin tiivisteiden takia. Sähkömoottorin ja pumpun sisällä olevan impellerin eli siipipyörän tehtävänä on kierrät- tää vettä temperointilaitteessa ja ruiskuvalumuotissa. [12.]

2. Lämmönvaihdin

Laitteen lämmönvaihdin eli lämmönsiirrin koostuu ruostumattomasta teräksestä valmis- tetusta kennostosta ja sähkövastuksista. Vesiliitännät on sijoitettu siten, että vesi kier- tää tasaisesti koko kennon lävitse mahdollisimman tehokkaan lämmityksen saavutta- miseksi. Tehokkaat vastukset mahdollistavat nopean veden lämmityksen sekä lämmi- tysvasteen aina, kun sille on tarvetta. Jäähdytys tapahtuu päästämällä jäähdytysver- kosta kylmää vettä lämmönvaihtimeen. [12.]

3. Venttiilit

Venttiileillä säädetään laitteen veden virtausta ja lämpötilaa säätöparametrien puitteis- sa. Temperointilaite sisältää magneettiventtiileitä, joita ohjataan sähköisesti auki ja kiinni, sekä erikoisvalmisteisia sähköisesti ohjattuja proportionaaliventtiileitä. Normaalin magneettiventtiilin ja proportionaaliventtiilin suurimpana erona on se, että magneetti- venttiiliä voidaan ohjata vain täysin kiinni tai auki, kun taas proportionaaliventtiilin ohja- us on portaaton. Temperointilaite sisältää myös mekaanisen ylipaineventtiilin. Mikäli laitteeseen tulee jokin toimintaan vaikuttava häiriö ja laitteen sisäinen paine nousee yli 10 barin, varoventtiili aukeaa. Ylipaineventtiilillä estetään laitteen rikkoutuminen ja hen- kilövahinkojen aiheutuminen. [12.]

4. Anturit

Laitteeseen sijoitetuilla antureilla mitataan erilaisia arvoja esimerkiksi veden lämpötilaa, virtausta ja painetta. Anturit mittaavat jatkuvasti eri arvoja ja mahdollistavat hallitun tuotantoprosessin. Laitteeseen asetettujen säätöparametrien avulla ohjausyksikkö vertaa anturitietoa ja asettuja säätöarvoja keskenään. [12.]

5. Ohjausyksikkö

Koko laitteen käyttö ja säätö tapahtuu ohjausyksikön käyttöpaneelistä. Laitteen ohjausyksikkö on pieni tietokone, joka toimii automaattisesti asetettujen säätöparametrien puitteissa. Kaikki anturit on kytketty ohjausyksikköön, ja yksikön tehtävänä on valvoa ja pyrkiä saavuttamaan asetetut asetuservot. Ohjausyksikkö ohjaa myös laitteessa olevia venttiileitä. Ohjausyksikkö on laitteen aivot, sillä se ohjaa ja valvoo laitteen oikeanlaista toimintaa. [12.]

8.2 Laitteen toiminta

Temperointilaitteen toiminta on oikeastaan melko yksinkertainen, sillä sen tarkoituksena on temperoida eli jäähdyttää tai lämmittää vettä suljetussa vesikierrossa. Laitteen ohjausyksikkö hoitaa kaiken lähes itsestään automaattisesti, ja vain asetuservojen asettamisen joutuu käyttäjä tekemään. [7.]

Laite on liitetty tehtaan jäähdytysverkostoon, josta se ottaa käyttöön tarvittavan veden, ja ruiskuvalumuottiin, joka temperoidaan. Temperointilaitte päästää tuloventtiilin kautta vettä lämmitys/jäähdytyspiiriin, kunnes se on täysi. Piirin ollessa täysi laite sulkee tuloventtiilin, jolloin vesikierto on suljettu. Veden kierrätys vesikierrossa tapahtuu vesipumpun avulla. Laite lämmittää veden lämmönvaihtimessa olevilla sähkövastuksilla asetettuun arvoon ja pyrkii pysymään siinä. Jäähdytys tapahtuu nopeasti, sillä laitteen lämmönvaihtimeen päästetään kylmää vettä jäähdytysjärjestelmästä tuloventtiilin kautta. Tuotantoajon päätyttyä temperointilaitte sammutetaan, jolloin se automaattisesti jäähdyttää kuuman muotin, tyhjentää sen ja tekee jäähdytyspiiristä paineettoman ja turvallisen muottiletkujen irrotuksen kannalta. [7.]

9 Ennakkohuolto

Ennakkohuollon määrä on ollut tasaisessa kasvussa ja sen osuus nykyisestä kunnossapidon työmäärästä on noin 30–40 %. Ennakkohuollossa vaikeinta on määrittellä oikea huoltohetki. Huoltoa ei saa suorittaa liian aikaisin eikä liian myöhään. Oikean hetken määrittely perustuu kerättyyn dataan laitteen toiminnasta, aikaisempiin kokemuksiin, ammattitaitoon ja laitevalmistajan ohjeisiin. Ennakkohuolloilla estetään myös suurempia vahinkoja sekä rikkoutumisia. Koneiden säännöllisen huollon avulla laitteiden käyttöaste, käytettävyys ja käyttöikä kasvavat. [8.]

Ennakkohuollon tärkeys on korostunut nykypäivän erilaisten tuotannon ohjaus- ja seurantajärjestelmien kehityttyä. Nykyään tuotantoa seurataan tarkasti ja kerätään dataa, jotta sitä voidaan valvoa ja kehittää. Tuotannon läpimenoaikojen pienentyessä kunnossapitotöiden aika lyhenee, jolloin koneiden ja laitteiden korjaamiseen vaadittavalla reaktiivisuudella on erittäin suuri merkitys ennakoivassa kunnossapidossa. Tuotannossa tapahtuvien konerikkojen ja häiriöiden syntymistä voidaan ehkäistä tehokkaasti laitteisiin tehtävien ennakkohuoltojen avulla. [8.]

10 Vesikiertoiset tuotantolaitteet tehtaalla

Porvoossa ABB Wiring Accessories -yksikön tehtaalla ruiskuvalutuotannon prosessihallinnan yksi tärkeimmistä kokonaisuuksista koostuu koneista ja laitteista, jotka käyttävät vettä komponenttien lämmitykseen ja jäähdytykseen. Vesikiertoisia tuotantolaitteita ovat tehtaalla ruiskuvalukoneet, temperointilaitteet ja muotit.

Ruiskuvalukoneessa vettä käytetään ruiskutusyksikön nielun eli raaka-aineen syöttösuppilon jäähdytykseen. Ruiskutusyksikön sylinterin ollessa riittävän kuuma raaka-aineen plastisointia varten on syöttösuppiloa jäähdytettävä, etteivät muoviryynit ala sulamaan liian aikaisin ja aiheuta nielun tukkeutumista.

Muovikoneissa on myös muotin jäähdytykseen tarkoitettu vesipatteri, joka on liitetty koneen vesikiertoon. Vesipatterin tarkoituksena on jakaa ruiskuvalukoneelle tuleva yksi iso jäähdytysvesikierto moneen pieneen erikseen säädettävään ja suljettavaan kiertoon. Vesipatteri mahdollistaa myös vesikiertojen jakamisen muotin eri osiin.

Joissakin ruiskuvalukoneissa käytetään sähkökaapeissa olevien komponenttien jäähdytykseen nestejäähdytystä ilmajäähdytyksen sijaan. Vesijäähdytyksen etuna on tehokkaampi ja puhtaampi jäähdytystapa. Puhtaamman nestejäähdytyksestä tekee se, että sähkökaappiin ei imetä ilmaa sähkökaapin ulkopuolelta ilmansuodattimen lävitse. Ilmansuodatin estää suurimman osan pölyn kulkeutumisesta kaapin sisälle, mutta ei kokonaan. Kaikki lika ja pöly ovat erittäin haitallista sähkökomponenteissa ja voi aiheuttaa niiden ennenaikaisen rikkoutumisen tai pahimmassa tapauksessa tulipalon.

Temperointilaitteissa vettä käytetään suljetussa jäähdytys- tai lämmityspiirissä. Piiri koostuu temperointilaitteesta, muotista ja ne yhteen yhdistävistä vesiletkuista. Laitteessa on vain yksi vesikiertopiiri, joten kaikki kierrot, jotka ovat liitettynä samaan piiriin, omaavat saman lämpötilan ja veden virtauksen määrän. Tässä on huonona puolena se, että mikäli muotissa jokin vesikierto on ahdas tai valmistusteknisistä syistä pieni, se aiheuttaa koko piirin virtauksen hidastumisen, ja sen takia muotin lämmitys tai jäähdytys heikkenee ja voi aiheuttaa ongelmia laadullisesti tai hankaloittaa tuotteen valmistusta.

Ruiskuvalumuotin suunnittelussa yksi tärkeimmistä osa-alueista on suunnitella oikeanlainen ja tehokas jäähdytys muotin toiminnan kannalta. Etu- ja takamuotin jäähdytyskierrot ovat yksilölliset, joten ne ovat harvemmin liitettynä toisiinsa. Muottipuoliskojen vesikierron on jaettu usein moneen eri piiriin. Tämä jaottelu helpottaa tuotteen valmistusta, sillä muotin eri osat saadaan pidettyä yksittäin oikeassa lämpötilassa. Muotin jäähdytyskiertoa on myös lähes mahdotonta saada tehtyä siten, että vain yksi kanavisto kiertää koko muottipuoliskon lävitse. Tämän esteenä on kallis suunnittelu ja usein se on myös valmistusteknisesti mahdotonta muotissa olevien muiden osien ja komponenttien takia.

11 Jäähdytysjärjestelmän ja laitteiden likaantuminen

ABB:n Porvoon tehtaassa jäähdytysjärjestelmän likaantuminen on ollut erittäin tarkassa seurannassa viiden viime vuoden aikana. Jäähdytysveden laatua ja puhtautta on saatu parannettua huomattavasti verrattuna siihen, kuinka likaista se oli aikaisemmin, mutta järjestelmässä on edelleen epäpuhtauksia, jotka huonontavat tuotantolaitteiden toimintaa ja tehokkuutta sekä aiheuttavat erilaisia jäähdytykseen liittyviä koneiden häiriöitä ja

lisäävät huoltokustannuksia. Jäähdytysveden puhtauden heikko seuranta kuluneiden vuosien saatossa on aikaansaanut sen, että lähes kaikkiin vesikiertoisiin laitteisiin ja niiden komponentteihin on kertynyt tehokasta toimintaa haittaavaa lietettä.

Jäähdytysveden laatua on saatu parannettua lyhentämällä koneiden yhteydessä olevien vesisuodattimien vaihtoväliä. Aikaisemmin suodattimia vaihdettiin vain silloin, kun ne olivat vaihdon tarpeessa tai lähes jo kokonaan tukkeutuneet. Parannuksena suodattimia alettiin vaihtaa puolen vuoden välein, mutta sekin todettiin liian pitkäksi aikaväliksi, joten tällä hetkellä suodattimet vaihdetaan joka toinen kuukausi. Veden laadun ja puhtauden parantuminen näkyy selvästi suodattimien vaihdon yhteydessä, kun niihin ei ole kertynyt läheskään niin paljon lietettä kuin aikaisempina vuosina.

Suodattimiin kertyvä lika on ruosteen ja erilaisten epäpuhtauksien muodostamaa ruskean väristä lietettä, joka päästessään tuotantolaitteiden komponentteihin aiheuttaa erilaisten vesiventtiilien jumiutumista ja jäähdytystehon alenemista. Lietteestä tehtiin muutama vuosi sitten laboratoriotestejä ja niistä todettiin, että se ei ole eloperäistä. Tuotantolaitteiden puhdistaminen jumiutuneen komponentin korjaamiseksi mekaanisesti on erittäin hidasta ja haastavaa. Komponentin ollessa muuten täysin ehjä, mutta vain likainen, sen korvaaminen uudella kalliilla varaosalla ei ole kustannuksien kannalta järkevää.

Järjestelmän likaantumiselle ei ole selvinnyt yhtä ainoaa syytä, mutta sen uskotaan johtuvan ruiskuvalukoneista ja -muoteista. Muottien materiaalina on rakenneteräs ja teräksen ollessa kosketuksissa veden ja hapen kanssa muottien jäähdytyskanavissa syntyy ruostetta. Ruostuminen muotissa tuotantoajan aikana on olematonta hapettoman jäähdytysveden takia, mutta muotin ollessa käyttämättömänä muottivarastossa se altistuu hapelle ja ruostuminen nopeutuu. Ruoste kulkeutuu muotin jäähdytyskanavista koko tehtaan jäähdytysjärjestelmään, vaikka vesi johdetaan takaisin kierto suodattimen lävitse.

Likaantuneita laitteita ja komponentteja on hyvin monta, mutta suurimmat vaikutukset epäpuhtauksista kohdistuvat ruiskuvalukoneisiin, ruiskuvalumuotteihin ja temperointilaitteisiin.

11.1 Ruiskuvalukone

Muovikone käyttää jäähdytysvettä ruiskutusyksikön nielun jäähdytykseen. Nielun jäähdytyksen heikkenemistä on ajan saatossa lähes mahdotonta estää, sillä nielun rakenne mahdollistaa vain hyvin pienen vesikanavan käytön. Pienen vesikanavan virtaus pienenee ja jopa tukkeutuu helposti korroosion takia. Kanavan ollessa pieni ja rakenteeltaan hankala sen puhdistaminen mekaanisesti on lähes mahdotonta.

Ruiskuvalukoneeseen liitettyyn muottien jäähdytykseen tarkoitettuun vesipatteriin kertyy myös epäpuhtauksia, jotka haittaavat veden virtausta kartion muotoisessa putkessa. Erilaiset epäpuhtaudet aiheuttavat putkessa olevan virtauskohon jumiutumista ja haittaavat veden tehokasta virtausta. Vesipatterin puhdistus onnistuu melko helposti mekaanisesti ensin purkamalla koko vesipatteri osiin ja sen jälkeen pesemällä putket pulloharjalla. Kokoonpano vaatii aina silti uudet tiivisteet vuotojen estämiseksi.

Vesijäähdytteisten ruiskuvalukoneiden sähkökaappien jäähdytyskennoja ei ole mahdollista purkaa tai puhdistaa mekaanisesti ollenkaan, sillä kenno on kuparia ja se on liitetty yhteen juottamalla.

11.2 Ruiskuvalumuotti

Muotin vesikanavien rakenteet vaihtelevat jokaisen muotin kohdalla, sillä jokainen muotti on erilainen. Ruiskuvalumuotit puhdistetaan kaikesta liasta, jota syntyy ruiskuvaluprosessissa jokaisen tuotantoajan jälkeen. Muotit huolletaan purkamalla ne osiin ja pesemällä osat ultraäänipesurissa. Pesuri puhdistaa muotista tehokkaasti rasvaa ja muita epäpuhtauksia, mutta ruostetta se ei irrota vesikanavista kokonaan. Muottien määrän ollessa suuri, jokaisen vesikanavan puhdistaminen erikseen mekaanisesti olisi aivan liian suuri työtaakka. Vesikanavien määrä voi vaihdella muotin rakenteesta riippuen minimissään kahdesta kierrosta, jotka ovat etu- ja takamuotissa jopa kymmeneen eri kiertoihin, mikäli muotissa on keernoja, kiiloja ja pistimiä, joita pitää jäähdyttää.

11.3 Temperointilaitte

Temperointilaitteissa on käytetty valmistusmateriaaleina messinkiä, ruostumatonta terästä ja alumiinia, joten niiden ruostuminen ei ole ongelma. Temperointilaitteiden ollessa käytössä niillä usein lämmitetään muottia, ja sen takia kaikki laitteessa olevat komponentit, joissa kiertää vesi, ovat kuumia. Kuumuus aiheuttaa lietteen tarttumisen ja edistää sen kertymistä laitteeseen. Laitteen rakenne on melko yksinkertainen, mutta vesiventtiilien puhdistaminen mekaanisesti harjalla ja muilla välineillä on erittäin hidasta. Purkamalla laitteen osiin se on mahdollista puhdistaa käsin, mutta tehtaalla on käytössä yli 50 kappaletta temperointilaitteita, joten niiden puhdistamiseen kuluisi erittäin paljon aikaa. Pelkästään laitteen toiminnan tutkiminen ja purkaminen osiin sekä laitteen kokoonpano kesti kahdeksan tuntia.

12 Ruosteen ja lietteen vaikutus jäähdytys- ja lämmitystehoon

Vesijärjestelmän likaantuminen ja ruostuminen hidastavat veden virtausta ja heikentävät lämmön siirtymistä nesteeseen ja kiinteään aineeseen välillä. Jäähdytys- ja lämmitystehon aleneminen hidastaa tuotantoa ja aiheuttaa ennalta asetettujen tuotantoaikojen venymistä.

Ruiskuvalussa tuotantoprosessin kesto riippuu lyhyesti valmistettavan kappaleen sarjan koosta ja jaksonajasta. Muovikoneen jaksonaika määrittää usein tuotantosolun jaksonajan ja muu automaatio pyritään suunnittelemaan ja rakentamaan siten, että se olisi muutamia sekunteja nopeampi kuin ruiskuvalukone. Tämä johtuu siitä, että mikäli kokoonpanosolussa tulee tuotantoajan aikana jokin häiriö, niin sen poistamisen jälkeen solu pystyy ajamaan niin sanotusti kiinni menetetyn ajan. Solua ei voida kuitenkaan valmistaa yhtään hitaammaksi kuin ruiskuvalukoneen jaksonaika on, koska silloin tuotanto pysähtyy ruuhkautuneiden kappaleiden takia.

Yksinkertaisena esimerkkinä voidaan ajatella yksipesäistä ruiskuvalumuottia, jonka jaksonaika on 20 sekuntia ilman häiriöitä. Jäähdytystehon heikkenemisen takia kappale ei ole hyväksyttävä ja muotin jäähdytysaikaan joudutaan lisäämään yksi sekunti, jolloin kappale on oikeanlainen, mutta jaksonaika nousee 21 sekuntiin. Kappaleen valmistuserän määräksi voidaan ajatella 5 000 kappaletta.

Alkuperäinen jaksonaika:

- $5\,000 \text{ kpl} \times 20 \text{ s} = 100\,000 \text{ s}$
- $100\,000 \text{ s} = \sim 27,78 \text{ h}$

Pidennetty jaksonaika:

- $5\,000 \text{ kpl} \times 21 \text{ s} = 105\,000 \text{ s}$
- $105\,000 \text{ s} = \sim 29,17 \text{ h}$

Jaksonaikojen erotus:

- $29,17 \text{ h} - 27,78 \text{ h} = \mathbf{1,39 \text{ h}}$

Tässä huomataan, kuinka paljon vain yhden sekunnin lisääminen jaksonaikaan pidentää ajettavan sarjan kokonaispituutta. 5 000 kappaleen sarja on vielä melko pieni ja sarjakoon kasvaessa lisäsekunnin vaikutus on erittäin suuri. Tästä sarjan venymisestä ei kärsi ainoastaan ajossa oleva kappaleen tuotanto, vaan myös seuraavien koneelle tulevien kappaleiden toimitusaika viivästyy.

Lietteen kertyminen vesikiertoisten laitteiden vesikanavien sisäpinnoille ja varsinkin temperointilaitteissa (kuva 13) se aiheuttaa lämmön siirtymisen tehon alenemista. Liete ja lika muodostavat eristävän pinnan nesteen ja kiinteän materiaalin pintojen välille. Pienikin määrä tasaisesti tarttunutta likaa nesteen ja kiinteän pinnan välillä letkuissa sekä kanavissa vaikuttaa suuresti lämpöenergian siirtymiseen. Lietteen kerrostuminen komponentteihin ei aiheuta veden tilavuusvirtaan yhtä huomattavaa haittaa kuin ruostuminen.



Kuva 13 Temperointilaitteen tuloveden likaantunut venttiililohko

Lietteen muodostama eristyskerros kanavien sisäpinnoille alentaa jäähditys- ja lämmitystehoa. Lietteen kerrostuminen vaatii temperointiin jokaista kertynyttä millimetriä kohden 10 prosenttia lisää jäähditys- ja lämmitystehoa. [12.]

Metallista valmistettujen vesiliittimien ja muottien ruostuminen vaikuttaa jäähditysveden tilavuusvirran alenemiseen. Tämä taas heikentää lämpöenergian siirtoa nesteen mukana. Ruoste muodostaa metallisiin osiin veden virtausta häiritseviä ruostepaakkuja tai lastuja, jotka pienentävät kanavan kokoa. Pienien metallisten kanavien ruostuminen täysin umpeen on myös mahdollista.

Eri tuotantolaitteita tutkiessa tehtaalla ja purkaessa yhden ruiskukoneen jäähdytyskiertoa huomattiin, että muovikoneen tulo- ja paluuvien liittimet olivat ruostuneet sisäpuolelta erittäin paljon. Mittaamalla kuvan 14 liittimestä ruosteeton kohta saatiin halkaisijaksi 20 mm ja ruostuneen kohdan halkaisija oli enää 15 mm, joten halkaisija oli pienentynyt yhden neljännesosan. Näin suuri ero vaikuttaa jäähditysveden virtaukseen jo huomattavan paljon.



Kuva 14 Ruiskuvalukoneen jäähdytysveden tuloliitin

Tilavuusvirran laskeminen:

Q = tilavuusvirta (m^3/s)

π = pii

d = sisäläpimitta (m)

v = virtausnopeus (m/s)

Virtausnopeutena on käytetty arvoa 2 m/s, joka on ohjearvo 0 – 160 bar järjestelmissä.

Kertoimella 60 000 saadaan m^3/s muutettua l/min , jossa yksi kuutiometri on 1000 l ja yksi minuutti 60 s.

$$Q = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times v$$

Puhtaan liittimen tilavuusvirta:

$$Q = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,02 \text{ m}^2 \times 2 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,0006283 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,0006283 \text{ m}^3/\text{s} \times 60\,000$$

$$Q1 = \sim 37,70 \text{ l/min}$$

Ruostuneen liittimen tilavuusvirta:

$$Q = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,015 \text{ m}^2 \times 2 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,0003534 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,0003534 \text{ m}^3/\text{s} \times 60\,000$$

$$Q2 = \sim 21,21 \text{ l/min}$$

Tilavuusvirtojen erotus:

$$Q1 - Q2 = 16,49 \text{ l/min}$$

$$\frac{Q2}{Q1} = 0,563 = \sim 56\%$$

Tilavuusvirran kaavassa nesteen virtaaman kanavan halkaisijan korottaminen toiseen potenssiin aiheuttaa veden virtauksessa todella ison muutoksen. Edellä olevasta laskusta voidaan todeta, että putken tai kanavan sisähalkaisijan pienentyessä neljänneksellä virtaus pienenee lähes puolella.

Ruiskuvalukoneen tutkimisen jälkeen vuorossa oli ruiskuvalumuotin tutkiminen korroosion takia. Purkamisen kohteeksi valikoitui vanha, mutta edelleen usein tuotantolaitteissa oleva muotti. Muotti oli yksipesäinen ja melko helppo rakenteeltaan, joten se soveltui hyvin tutkimisen kohteeksi. Kuvissa 15 ja 16 on irrotettu purettu muotin pistin.



Kuva 15 Muotin pistin ennen puhdistusta



Kuva 16 Muotin pistin puhdistettuna

Ennen muotin purkua käytettiin apuna temperointilaitetta muotin vesikierron virtauksen mittaamiseksi. Virtauksen mittaamisen jälkeen muotti purettiin, ja sen vesikierrat osoitautuivat erittäin ruosteisiksi. Ennen muotin kokoonpanoa kanavat puhdistettiin mekaanisesti mahdollisimman puhtaksi. Muotin puhdistuksen ja kokoonpanon jälkeen suoritettiin uusi virtausmittaus. Tulokset olivat erittäin positiiviset. Pelkästään puhdistamalla kanavista ruosteen aiheuttamat kerrostumat ja epätasaisuudet lisättiin veden läpivirtausta lähes puoli litraa minuutissa. Kuva 17 esittää virtausta ennen puhdistusta ja kuva 18 on puhdistuksen jälkeen.



Kuva 17 Virtaus ennen puhdistusta



Kuva 18 Virtaus puhdistuksen jälkeen

Virtaus ennen puhdistusta:

- 4,8 l/min

Virtaus puhdistuksen jälkeen:

- 5,2 l/min

Virtauksen nousu:

$$\frac{5,2 \text{ l/min}}{4,8 \text{ l/min}} = 1,0833$$

$$1,0833 - 1,00 = \mathbf{8,33 \%}$$

Vesikierron läpivirtaus nousi yksinkertaisella puhdistuksella yli kahdeksan prosenttia. Näin suurella virtauksen kasvamisella on mahdollista palauttaa muotin alkuperäinen tahti aika tuotantoajossa. Vesikiertoa ei ole parannettu alkuperäisestä vaan se on palautettu alkuperäiseen arvoonsa, joka on määritelty riittämään muotin jäähdyttämiseksi suunnitteluvaiheessa.

13 Puhdistuslaitteistot

Puhdistuslaitteistoja teollisuudessa käytössä oleville nestekiertoisille laitteille löytyy maailmalta jonkin verran erilaisiin käyttötarkoituksiin. Tässä työssä keskityttiin vain vesikiertoisten laitteiden puhdistamiseen tarkoitettuihin laitteistoihin.

Puhdistuslaitteiden perustoiminta on kaikissa lähes samanlainen eli kierrättää pesunestettä pestävän tuotantolaitteen vesikanavien lävitse puhdistamalla kanavat kaikista epäpuhtauksista. Rakenteellisia eroja ja ominaisuuksia laitteistoissa on erittäin paljon, joten niiden perusteella voidaan mahdollisesti päättää käyttötarkoitukseen parhaiten sopivan puhdistuslaitteiston hankinnasta.

Porvoon tehtaaseen valittavan laitteen valintakriteereinä olivat seuraavat ominaisuudet:

- turvallinen
- helppokäyttöinen
- helposti liikuteltava
- kompakti kokonaisuus
- tehokas puhdistusteho
- hinta.

13.1 HB-Therm

Temperointilaitteiden valmistajalla HB-Thermillä on oma laitteisto Clean-5 (kuva 19), joka on tarkoitettu juuri näiden temperointilaitteiden puhdistukseen. Puhdistuslaitteella saadaan vähennettyä veden virtausta estävää korroosiota ja hilseilyä vesikiirroissa. Laitteella on mahdollista myös puhdistaa ruiskuvalumuotteja, mutta suurempien laitteiden puhdistukseen se ei sovellu pienen puhdistusnesteen säiliön tilavuuden vuoksi. Pienen pesunestetilavuuden takia laite pitää täyttää uudelleen ennen jokaista puhdistuskertaa, ja se aiheuttaa käyttäjälle lisätyötä. Laitteessa ei ole myöskään puhdistusnesteelle suodatinta, joten se kierrättää koko puhdistuksen ajan samaa likaantunutta pesuainetta. [7.]



Kuva 19 HB-Therm Clean-5 puhdistuslaite [7]

Clean-5 laite on erittäin helposti liikuteltava sen kevyen ja pienen koon takia. Laite toimii automaattisen ohjelman toimesta itsenäisesti, mutta vaatii usein käyttäjän läsnäoloa erilaisten häiriöiden kuitaamista varten puhdistuksen aikana. [7.]

Puhdistuslaitteen käyttöä varten tarvitaan pesuneste, sähköä, letkut sekä liittimet puhdistettavan ja puhdistuslaitteen välille ja viemäri tai tyhjennysastia, joka soveltuu pesunesteen tyhjennykseen jokaisen pesukerran jälkeen. Porvoon tehtaalla ei ole lattia-kaivoja, ja sen takia laitteen automaattinen tyhjennys jokaisen puhdistuksen jälkeen tuottaa haasteita. [7.]

Puhdistusteholtaan kokoonsa nähden laite on melko tehokas, mutta pesunesteen kiertäminen on toteutettu sähkömoottorilla ja siihen liitetyllä pumpulla. Tämän toteutuksen takia pesuneste kiertää tasaisella virtauksella, joka ei irrota likaa yhtä tehokkaasti kuin muuttuva virtaus tai paineilmalla toteutettu kalvopumpun aikaansaama pulssimainen virtaus. [7.]

13.2 CleanTower

CleanTower 7000-puhdistuslaitetta voidaan käyttää lähes jokaisen nestekiertoisen laitteen puhdistukseen valitsemalla oikea puhdistusneste. Laitteen käyttökohteet voivat siis olla jopa öljykiertoisia komponentteja kuten öljynjäähdyttimet tai lämmityskennnot. Laitteella saadaan puhdistettua komponenteista likaa, ruostetta, korroosiota, hilsettä ja lietettä. Puhdistuslaite soveltuu myös suurempien komponenttien tai koneiden puhdistukseen suuren pesunestesäiliönsä tilavuuden ansiosta. Suuren nestetilavuuden vuoksi pesuainetta ei tarvitse vaihtaa joka puhdistuksen jälkeen. Valmistaja suosittelee sopivaksi vaihtovälikäytöstä ja nesteen likaisuudesta riippuen kahdesta kuukaudesta jopa puoleen vuoteen asti. Puhdistuslaitteelle kierrätetty pesuneste virtaa suodattimen lävitse, mikä estää puhdistettavasta komponentista irronneiden epäpuhtauksien kulkemisen takaisin puhdistuslaitteeseen tai puhdistettavaan komponenttiin. [9.]

Puhdistuslaitteen (kuva 20) konstruktioita on mietitty erittäin paljon käyttäjän vaatimusten täyttämiseksi. Laitteeseen on liitetty kaikki puhdistukseen tarvittavat tarvikkeet. Laitteen kompakti kokonaisuus pitää sisällään kaikki puhdistukseen vaadittavat oheistarvikkeet, esimerkiksi puhdistuslaitteeseen on integroitu letkukelat, jotka helpottavat puhdistusta erittäin paljon. Laitteen käyttöön tarvitsee vain lisätä puhdistusneste, liittää letkut pestävään komponenttiin ja liittää pesulaite paineilmaverkostoon, jolloin se on käyttövalmis. Laitteen saa päälle mekaanisesti paineilmaventtiilistä tai sähköisesti käyttöpaneelistä. Puhdistuslaite ei tarvitse sähköä toimintaa varten ollenkaan, mutta laitteessa on pieni näyttöpaneeli, josta laitteen saa halutessaan päälle, ja siitä voi seurata puhdistukseen kulunutta aikaa, pesunesteen pH-arvoa ja nesteen läpivirtausta. Puhdistuksesta saadaan myös kerättyä erilaista dataa muistitikulle tallentamalla tiedot puhdistuksen jälkeen. Näyttö saa virtansa laitteeseen liitetyistä akusta, jonka käyttöaika on kahdeksan tuntia. [9.]



Kuva 20 CleanTower 7000 puhdistuslaitteisto [9]

CleanTower on kooltaan melko iso, mutta silti erittäin helposti siirrettävissä puhdistettavan käyttökohteen luokse. Laitteessa olevat letkut ovat 5 metriä pitkät, joten nekin helpottavat laitteen käyttöä, eikä laitetta tarvitse saada aivan puhdistettavan komponentin viereen. Puhdistuslaitteen käyttö on erittäin helppoa sen yksinkertaisen rakenteen ja käytettävyyden ansiosta. Laite ei vaadi työntekijää sen toiminnan aikana, joten sen voi jättää pesun ajaksi puhdistamaan haluttua komponenttia, ja työntekijä voi jatkaa omia töitään normaalisti. [9.]

Puhdistusteholtaan laite on erittäin tehokas riippuen käytettävästä pesunesteestä. Laitteen puhdistusteho perustuu pesunestettä kierrättävään paineilmatoimiseen kaksoiskalvopumppuun, jonka aikaansaamat pyörteet ja pulssimainen virtaus irrottaa likaa todella paljon tehokkaammin kuin tavallinen tasaisella virtauksella varustettu sähkötoiminen pumppu. [9.]

13.3 GWK

GWK moldclean-puhdistuslaite (kuva 21) on suunniteltu ruiskuvalumuottien ja lämmönvaihtimien, kuten temperointilaitteiden puhdistamiseen. Laite soveltuu korroosiosta likaantuneiden vesikanavistojen puhdistukseen. Laite on teknisesti erittäin kehittynyt ja siinä on kahdeksan erillään olevaa kiertoa, joilla saadaan puhdistettua montaa eri kiertoa samanaikaisesti, mutta silti jokaista kiertoa itsenäisesti. Muiden valmistajien laitteissa puhdistettavia kiertoa joudutaan liittämään samaan kiertoon erillisten letkujen avulla. GWK-valmistajan laitteen puhdistuskapasiteetti on erittäin suuri. Laite myös valvoo pesunesteen pH-arvoa ja läpivirtausta. Puhdistuslaitteeseen saa myös asettua nestekierron suunnan vaihdon ja pesunesteen lämmityksen, jotka tehostavat puhdistusta. Laitteen valmistaja kertoo puhdistuksen tehostavan ruiskuvalumuottien jäähdytystehoa jopa 40 % tai enemmän riippuen komponentin likaisuudesta.



Kuva 21 GWK moldclean-puhdistuslaitteisto [10]

Moldclean-laite on hieman suuri ja kömpelö jatkuvaan siirtelyyn tehtaan ahtaissa käytävissä, joten sille pitäisi päättää kiinteä puhdistuspiste, johon se asetettaisiin. Kiinteä puhdistuspiste taas aiheuttaa lisätyötä, koska puhdistettava laite tai komponentti pitää aina irrottaa omasta paikastaan ja viedä pisteelle. Tästä aiheutuu työntekijöille lisää työtä, jota halutaan välttää mahdollisimman paljon. Kiinteä puhdistuspiste mahdollistaisi kumminkin puhdistuksessa tarvittavien letkujen, lisäosien ja tarvikkeiden säilytyksen. [10.]

13.4 Bio-Circle

Valmistajalla Bio-Circle on markkinoilla muutamia eri malleja puhdistuslaitteista. RWR-80-laitteisto (kuva 22) on suunniteltu puhdistamaan erilaisista koneista ja laitteista liettettä, korroosiota ja muita epäpuhtauksia, kuten öljyä ja rasvaa suljetusta vesikierrosta. Laitteisto soveltuu lämmönvaihtimille, jäähdyttimille ja putkistoille. Ruiskuvalumuotit ja temperointilaitteet on myös mahdollista puhdistaa tällä puhdistuslaitteella. Laitteisto on sähkötoiminen, ja se vaatii aina kolmivaihe- tai toisin sanoin voimavirtapistorasian toimiakseen. Puhdistusnesteen säiliötilavuus on 60 l, joten sillä voidaan pestä melko suuria laitteita ja komponentteja, sekä nestettä ei tarvitse vaihtaa joka pesukerran jälkeen. Puhdistusnesteen lämpötila on asetettu tehtaalla optimaaliseen 60 °C:seen, mutta sitä voidaan säätää 30 ja 90 °C:een välille. Puhdistusnesteen lämmittäminen tehostaa puhdistusta ja edistää lietteen irtoamista puhdistettavasta pinnasta. Puhdistusnestettä kierätetään puhdistettavaan laitteeseen sähkömoottorin ja siihen liitetyn pumpun avulla tasaisella virtauksella, mikä ei ole tehokkain vaihtoehto niin kuin ylempänä on mainittu.



Kuva 22 Bio-Circle-puhdistuslaitteisto [11]

Käytön kannalta laite on helppokäyttöinen ja yksinkertainen. Kun puhdistuslaite on liitetty puhdistettavaan koneeseen ja käynnistetty, se aloittaa puhdistusnesteen lämmittämisen ja kierrättämisen, mikäli nestettä on pesunestesäiliössä riittävästi. Konstruktioaltaan laitteisto on sopivan kokoinen liikuteltavaksi paikasta toiseen puhdistusten suorittamiseksi. Laitteen kärryyn saa ripustettua letkut ja muut pesuun tarvittavat tarvikkeet helposti. [11.]

Taulukossa 1 on käytetty asteikkoa 1-5, jossa 1 kuvaa huonoa ja 5 erittäin hyvää.

Taulukko 1 Puhdistuslaitteistojen vertailutaulukko

	HB-Therm	CleanTower	GWK	Bio-Circle
Turvallisuus	5	5	5	5
Käyttö	3	5	4	4
Liikuteltavuus	5	4	2	4
Puhdistusteho	3	5	5	4
Hinta	5	4	2	3
Kokonaisuus	1	4	4	3
Yhteensä:	22	27	22	23

Taulukossa on näytetty neljän erilaisen puhdistuslaitteistojen mahdolliseen hankintaan vaikuttavien ominaisuuksien arviointia. Arviointi perustuu omaan kokemukseen ja valmistajien ilmoittamiin laitteiden toimintaan sekä ominaisuuksiin. Laitteistojen arvioinnissa on keskitytty ensisijaisesti Porvoon tehtaan vaatimusten täyttämiseen. Taulukon perusteella CleanTower-laitteisto vastaisi parhaiten ennalta vaadittuja ominaisuuksia ja hyötyjä.

14 Puhdistuskemikaalit

Erilaisten koneiden ja muiden laitteiden puhdistamiseen tarvitaan kolmea erilaista kemikaalia. Ensimmäisenä käytetään pesunestettä, joka on usein veteen laimennettua happoa. Pesuaineella suoritetaan epäpuhtauksien irrottaminen ja puhdistus. Pesuaineen jälkeen käytetään neutralointiainetta, joka on emäs, jolla hapon vaikutus pestävään pintaan saadaan lopetettua. Neutraloinnin jälkeen puhdistettu pinta jäisi suojaamattomaksi ja aiheuttaisi metalleissa ruostumista, joten puhdistuksen lopuksi puhdistettavan komponentin lävitse kierrätetään vielä suoja-aine, joka muodostaa suojaavan kerroksen puhdistetulle pinnalle. [9.]

14.1 Puhdistusaine

Puhdistusaineen oikea valinta on yhtä tärkeää kuin sopivan puhdistuslaitteen valinta. Erilaisten koneiden ja komponenttien puhdistukseen löytyy paljon erilaisia nesteitä. Jokaiselle epäpuhtaudelle on testattu ja määritelty puhdistusteholtaan ja soveltuvuudeltaan oikea pesuneste. Väärällä ainevalinnalla voidaan pahimmassa tapauksessa aiheuttaa henkilövahinkoja sekä vaurioittaa puhdistettavaa tai itse puhdistuslaitetta. Puhdistuslaitteiden toimittajat ovat kehittäneet ja testanneet pesulaitteistolle soveltuvat puhdistusnesteet. [9.]

Puhdistusnesteet ovat usein tiivisteitä, joten ne ovat vahvoja aineita, jotka pitää laimentaa käyttöä varten. Aineet toimitetaan tiivisteinä niiden pienemmän pakkauskoon takia. Vahvojen happojen käsittelyssä pitää olla erittäin huolellinen pH-arvon ollessa noin yksi, ja suojaruusteet ovat pakolliset. Laimennuksen jälkeen pesuneste on lähes vaaratonta, mutta vaatii silti tarkkaa huolellisuutta ja suoja-aineiden käyttöä. [9.]

14.2 Neutralointiaine

Neutralointiaine on emäs ja pH-arvoltaan yli seitsemän, jolla saadaan pysäytettyä puhdistusaineessa käytetyn hapon vaikutus puhdistettavan komponentin pinnalta. Mikäli neutralointiainetta ei käytetä, puhdistettava pinta jatkaa syöpymistä, mikä ei ole toivottavaa. Neutraloinnin jälkeen puhdistusneste on vaaratonta ja pH-arvoltaan vastaa vesijohtovettä eli neutraalia seitsemää. [9.]

14.3 Suoja-aine

Suoja-ainetta käytetään puhdistuksen lopuksi suojaamaan puhdasta pintaa. Puhdistuslaitteiden valmistajat ovat kehittäneet suoja-aineen, joka soveltuu käytettäväksi puhdistuslaitteen avulla. Suoja-aineella mahdollistetaan puhdistetun koneen, laitteen tai komponentin säilöminen ilman, että se alkaa hapettua tai ruostua paljaan puhtaan pinnan takia. Ilman suoja-ainetta puhdistus olisi lähes turhaa työtä, koska puhdistettu pinta alkaisi heti kerätä epäpuhtauksia. [9.]

15 Säästöt

Säästöjen laskeminen puhdistuslaitteistojen tuomien hyötyjen ansiosta on monimutkaista, koska säästöt koostuvat useasta erilaisesta asiasta:

- jaksonaikojen palauttaminen
- tuotannon tehokkuuden ylläpito
- komponenttien toiminnan ylläpito
- lämmityksen ja jäähdytyksen ylläpito
- tuotantokatkosten minimointi
- työtaakan pienentyminen.

Temperointilaitteiden vuosihuoltoon kuuluvaan puhdistukseen vaadittavan työntekijän läsnäoloajan pienentymisellä aikaansaadaan seuraavanlaiset säästöt verrattaessa nykytilaa ja tulevaisuutta:

Nykytila:

- puhdistusaika 8 h
- viitteellinen tuntihinta per työntekijä 30 €
- temperointilaitteiden lukumäärä 53 kpl

$$30 \text{ €} * 8 \text{ h} = 240 \text{ €}$$

$$240 \text{ €} * 53 \text{ kpl} = 12\,720 \text{ €}$$

Tulevaisuus:

- puhdistusaika ¼ h eli 15 min
- viitteellinen tuntihinta per työntekijä 30 €
- temperointilaitteiden lukumäärä 53 kpl

$$30 \text{ €} * 1/4 \text{ h} = 7,5 \text{ €}$$

$$7,5 \text{ €} * 53 \text{ kpl} = 397,5 \text{ €}$$

$$12\,720 \text{ €} - 397,5 = 12\,322,5 \text{ €}$$

Puhdistuslaitteiden hinta on keskimäärin noin 15 000 € sisältäen puhdistukseen vaadittavat tarvikkeet ja puhdistuskemikaalit, jotka riittävät rajalliseen määrään puhdistuksia. Laitteelle voidaan laskea viitteellinen takaisinmaksuaika, joka saavutetaan pelkästään säästämällä aikaa puhdistamalla temperointilaitteita seuraavalla tavalla:

- puhdistuslaitteen hinta 15 000 €
 - puhdistusajan säästö vuodessa 12 322,5 €
- 15 000 € / 1 2322,5 € = 1,22 a**

Laitteen takaisinmaksuajaksi saadaan noin yksi vuosi ja kolme kuukautta. Yrityksen uusien projektien takaisinmaksuajaksi on määritetty tavoiteaika, joka on kaksi vuotta. Puhdistuslaitteen takaisinmaksuaika saavuttaa tavoiteajan erittäin hyvin ja parantaa sen mahdollista hankintaa merkittävästi.

Tulevaisuudessa puhdistukseen vaadittavan työntekijän läsnäolo koostuu vain puhdistuslaitteen liittämistä temperointilaitteeseen, minkä jälkeen puhdistuslaitteisto suorittaa pesun itsenäisesti ja työntekijä voi samalla suorittaa muita omia työtehtäviään.

Säästöt muodostuvat kaikista näistä asioista, joita puhdistuslaitteella saadaan aikaiseksi. Työntekijöiden työtaakka pienenee, ja laitteiden suuret korjaukset vähenevät. Häiriöiden ja korjausten aiheuttama koneiden seisonta-aika vähenee ja tuottavuus kasvaa. Rahallisesti säästöt vaihtelevat laitekohtaisesti, ja niiden tarkka laskeminen ei ole mahdollista. Oman työkokemuksen, kollegoiden kokemuksen ja yhteistyökumppaneiden asiantuntemuksen perusteella kertyvät säästöt ovat vuositasolla tuhansia euroja riippuen puhdistusten määrästä.

16 Yhteenveto

Projektin tavoitteena oli tutkia ja selvittää likaantuneiden tuotantolaitteiden puhdistamiseen soveltuvaa ratkaisua. Tehtaalla käytössä olevien vesikiertoisten laitteiden rakenteen tutkimisen jälkeen päädyttiin mekaanisen käsin puhdistuksen sijasta pohtimaan ja vertailemaan erillisiä liikuteltavia markkinoilta löytyviä puhdistuslaitteistoja.

Neljän eri valmistajan Porvoon tehtaan vaatimukseen ja tarvittavien ominaisuuksien parhaiten soveltuvan puhdistuslaitteiston määrittäminen saatiin myös tehtyä. Ennalta asetettujen hyötyjen täyttämiseksi CleanTower-laitteisto soveltuisi kaikista parhaimmaksi vaihtoehdoksi puhdistusta varten.

Puhdistuslaitteen mahdolliseen hankintaan on tämän työn lopputuloksena hankittuna hyvät perustiedot. Puhdistuslaitteessa käytettävien kemikaalien hyväksyttäminen on tehtaalle työturvallisuuden kannalta erittäin tärkeä prosessi, joten tarvittavien käyttöturvätiedotteiden saaminen suomen kielellä voi kestää melko kauan. Suomenkieliset käyttöturvätiedotteet on pyydetty puhdistuslaitteen toimittajalta ja niiden hyväksymisen jälkeen voidaan päättää mahdollisen laitteen hankinnasta.

Lähteet

- 1 ABB. Verkkoaineisto. <<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/wiring-accessories>>. Luettu 12.12.2018.
- 2 Järvelä, P., Syrjälä, K.& Vastela, M. (toim.) 2000. 3.painos. Ruiskuvalu. Plastdata Oy.
- 3 Arburg. Verkkoaineisto. <<https://www.arburg.com/en/press/press-releases/bulletin/nl/3109/>>. Luettu 20.12.2018.
- 4 Engel. Verkkoaineisto. <<https://www.engelglobal.com/en/uk/solutions/injection-moulding-machines/victory.html> >. Luettu 20.12.2018.
- 5 Valuatlas. Verkkoaineisto. <<http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs-ruiskuvaluprosessi.pdf>>. Luettu 23.12.2018.
- 6 Muottituote. Verkkoaineisto. <<http://www.muottituote.fi/>>. Luettu 22.12.2018.
- 7 HB-Therm. Verkkoaineisto. < <https://hb-therm.com/wp-content/uploads/2017/10/D8090-V.pdf>>. Luettu 2.1.2019.
- 8 EDU. Verkkoaineisto. <<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/-koneautomaatio/ennakkohuolto.html> >. Luettu 5.1.2019.
- 9 CleanTower. Verkkoaineisto.< <https://www.cleantower.de>>. Luettu 7.1.2019.
- 10 GWK. Verkkoaineisto.< <https://www.gwk.com/en/3042.html> >. Luettu 10.1.2019.
- 11 Bio-Circle. Verkkoaineisto.< <https://www.bio-circle.com/> >. Luettu 12.1.2019.
- 12 HB-Therm AG, St. Gallen 2011. 2.painos. Temperature Control Technology.
- 13 Muoviyhdistys. Verkkoaineisto.< <http://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/15/osa-1-hyva-tietaa-muovista/> >. Luettu 12.1.2019.