

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Teollisuustuotannon sektori

Tutkintotyö

Pasi Väisänen

TELANPESULAITTEEN SUUNNITTELU

Työn valvoja

Yliopettaja Heikki Aalto

Työn teettäjä

UPM-Kymmene Oyj, Kajaani

Tampere 2005

SISÄLLYSLUETTELO.....	2
1 JOHDANTO .....	4
2 ABSTRACT .....	5
3 TYÖN TAUSTAA /1/.....	5
4 NYKYTEKNIikka.....	8
5 ONGELMAT NYKYISIN KÄYTETTÄVÄSSÄ PESUMENETELMISSÄ.....	9
6 PESTÄVIEN KAPPALEIDEN GEOMETRIAA .....	9
6.1 Imutelat /2/.....	9
Imutelan sisäpuolisen imulaatikon rakenne.....	11
Imutelojen rei'itys .....	12
Imutelojen polymeeripinnoitus .....	13
Imutelan puhtaanapito ja muu huolto.....	14
6.2 Muodostustelat.....	14
6.3 Uratelat ja G-uratelat.....	15
6.4 Kivitelat .....	17
6.5 Tasoviiraosan imulaatikot ja päästölistalaatikot .....	19
6.6 Muut pestävät telat .....	19
7 PESUMENETELMILLE MÄÄRITELTÄVÄT VALINTAKRITEERIT .....	20
8 VALMISTAJAN SUOSITUKSET IMUTELOJEN HUOLTOON /4/ .....	20
8.1 Suositeltavat puhdistusmenetelmät .....	21
8.2 Kemiallinen pesu hapoilla, emäksillä tai liuottimilla.....	22
8.3 pH-arvon säätäminen.....	22
9 ERI VALMISTAJIEN VAIHTOEHTOJA TELOJENPESUUN.....	23
9.1 Finnsonic Oy:n vaihtoehto /5/.....	23
Ultraäänipesu .....	23
Fysikaaliset perusteet .....	24
Ultraäänipesurin perusosat .....	24
Pesunesteet.....	25
Ultraäänipesu vesipohjaisella pesuaineella .....	26
Ultraäänipesu verrattuna muihin pesumenetelmiin.....	27
Ultraäänipuhdistuksen käyttöalueita .....	28
9.2 Sampo-Rosenlew Oy:n vaihtoehto /6/.....	29
Pesuprosessi.....	29
Pesukoneen ja pestävien teknisiä tietoja .....	30
Pesukoneen rakenne ja toimintaperiaate .....	31
9.4 Teijo Pesukoneet Oy:n vaihtoehto /7/ .....	35
Pesukoneen mitat ja tekniset tiedot.....	35
Pesukoneen toiminta .....	36
9.5 Idea Machine Oy:n vaihtoehto /8/.....	36

Pesulaitteen ohjaus ja pesuohjelmat.....	36
Rakenne, mitat ja varusteet.....	36
10 RATKAISUMENETELMIEN PISTEARVIOINTI /9/.....	39
10.1. Perusteet pistearviointimenetelmälle .....	39
Painotusten vaikutus kokonaisarvoon.....	42
Ominaisuuksien määrittäminen .....	44
Arviointi arvokäsityksen mukaan .....	45
Kokonaisarvon määrittäminen.....	48
Ratkaisumuunnelmien vertailu .....	49
Arvostelun epätarkkuuden arviointi.....	52
Heikkojen kohtien etsiminen .....	54
11 RATKAISUVAIHTOEHDON VALINTA.....	55
11.1 Ratkaisuun käytettävä pisteytystaulukko .....	56
11.2 Ensimmäinen vertailupari.....	57
11.3 Toinen vertailupari.....	58
12 VALITTU RATKAISUMALLI .....	59
13 YHTEENVETO TYÖSTÄ .....	59
14. LÄHDELUETTELO.....	61
LIITTEET	
1 Pistearvioinnin yleiset ehdot	
2 Yleiset tekniset ominaisuudet	
3 Arviointilista	

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on löytää tehokkain mahdollinen ratkaisu UPM-Kymmenen Kajaanin tehtaan telahiomolla huollettavien telojen pesuun. Tämän työn kuvaan ei liity varsinaista pesulaitteen suunnittelua, vaan työ käsittelee eri mahdollisuuksia suorittaa telojen pesua. Tämän työn pääasiallisena tarkoituksena on eri laitevalmistajien suunnittelemista pesuvaihtoehtoista valita ratkaisu, joka parhaiten soveltuu työn tilaajan UPM-Kymmenen Kajaanin tehtaan tehdaspalvelun tarkoituksiin.

Tarkoitukseen valitulla pesurilla on tarkoitus pestä teloja. Lisäksi pesurilla tulisi mahdollisuuksien mukaan pestä myös muuta viirakalustoa, kuten foililaatikoita, imulaatikoita, höyrylaatikoita, ja imutelojen sisäosia sekä mahdollisesti muita isohkoja pesua tarvitsevia kappaleita, kuten puristin- ja viiraosan laitteita.

Valitun pesurin haastavin pesukohde tulee olemaan eri koneiden puristimien imutelojen vaippojen peseminen. Imutelojen vaipat koostuvat tuhansista millimetrien kokoisista rei'istä, jotka usein ajotilanteissa pääsevät osittain tai kokonaan tukkeutumaan paperimassan eri ainesosien johdosta.

Pesurille rajoituksia antavat lähinnä käytettävissä oleva tila ja samoissa tiloissa tapahtuva telojen hionta ja muu kunnostustyö. Kosteutta ei saisi siirtyä vieressä sijaitseville telojen kunnostustyömaille. Hiontapaikalla tulisi ylläpitää optimaaliset ympäristöolosuhteet kaikissa tilanteissa, jotta herkät hiontalaitteistot eivät muuta asetuksiaan ympäristötekijöiden muutosten johdosta.

Tämän tutkintotyö jakautuu toteutukseltaan kahteen eri osakokonaisuuteen. Tutkintotyön pääpaino on löytää paras mahdollinen pesuratkaisu kunnossapidon kannalta, kun taas varsinaisen pesulaitteen suunnittelu jää teollisuuspesureita valmistaville yrityksille siitä syystä, että tähän työhön ei ole tarkoitus sisällyttää tuotekehityksen osuutta, vain kunnossapidon osuus.

## 2 ABSTRACT

The purpose of this thesis was to find a way to decleanse paper machine rollers with some sort of an industrial washing machine. The thesis was based on a commission issued by UPM-Kymmene Corporation, Kajaani Mill. The job included of two parts, first it was needed to find manufacturers, who would be willing design washing machine for paper machine rollers. Second task was to find a way to evaluate those different designs and come up with the best solution for washing of paper machine rollers.

The washing machine, that is in use today in UPM's Kajaani Mill, is manufactured by Maintech Inc. and it washes paper machine rollers from inside out. This kind of a washing method can only be used with certain kind of rollers, e.g. wet-end's pick-up roller. The need was to come up with a washing machine that could wash every kind of paper machine roller and other machine parts. Also one major need was to come up with a washing machine that would be entirely closed, so there would not be any moisture problems.

### 3 TYÖN TAUSTAA

UPM-Kymmene Oyj:n Kajaanin tehdas sijaitsee lähellä Kajaanin keskustaa Tihiseniemellä, Kajaaninjoen rannalla. Paperitehtaalla valmistetaan puupitoisia painopapereita kolmella paperikoneella, joiden yhteenlaskettu tuotantokapasiteetti on yhteensä 605 000 tonnia vuodessa. Tuotteiden tärkeimmät loppukäyttöalueet ovat erikoisaikauslehdet ja myyntiluettelot, sanomalehtien liitteet ja kirjat sekä sanomalehdet. /1

Kajaanin tehtaan merkitys ympäröivälle maakunnalle ja sen talouselämälle on ollut huomattava jo lähes sadan vuoden ajan. Tehtaan työllistävä vaikutus puunhankinnassa, kuljetuksissa ja alihankinnoissa säteilee laajalle. Samalla kun tehdas huolehtii kannattavuudestaan panostamalla henkilöstönsä osaamiseen ja tuotannon kustannustehokkuuteen, se kantaa vastuunsa myös ympäristönhoidosta ja –suojelusta UPM-Kymmenen kestävä kehityksen periaatteita noudattavan ympäristöohjelman mukaisesti. /1

Tänä päivänä Tihiseniemellä toimivat Kajaanin paperitehtaan lisäksi konserniin kuuluvat Yhtyneet Sahat Oy:n Kajaanin saha, UPM-Kymmene Metsän Kainuun hankinta-alueen ja Kajaanin piirin konttori ja energiayhtiö Kainuun Voima Oy. Lisäksi Kajaanin Petäisenniskan teollisuusalueella toimii konsernin puutuotteiden jälleenmyyjä Puukeskus Oy. /1

Kajaanin nousu merkittäväksi metsäteollisuuspaikkakunnaksi alkoi vuonna 1907, jolloin perustettiin Kajaanin Puutavara Osakeyhtiö. Tehdas perustettiin, kuten muutkin vastaavat teollisuuslaitokset, vesireittien ja koskivoiman ääreen. Rautatien valmistuminen Iisalmesta Kajaaniin 1904 oli lopullinen sysäys tehtaan perustamiselle Tihiseniemelle. /1

Aluksi yhtiön tuotanto keskittyi sahatavaraan ja vuonna 1910 aloitettiin sulfiittisellun tuotanto. Ensimmäinen paperikone käynnistettiin vuonna 1919. Valmiit tuotteet kuljettiin rautateitse Kajaanista Kotkaan ja sieltä edelleen laivalla maailmalle. /1

Kajaaninjoen Koivukoski ja Ämmäkoski kaupungin kupeessa valjastettiin energianlähteiksi ja Kainuun laajat metsät takasivat puuraaka-aineen riittävyyden. Uitto oli hyvin pitkälle ainoa tapa kuljettaa puuraaka-aine tehtaalle. Tänä päivänä puuraaka-aine tulee prosessiin pääasiassa autokuljetuksina. Metsätuoreen puun varastosta merkittävä osa onkin pyörien päällä. /1

Kajaanin tehtaalla työskentelee noin 800 paperialan ammattilaista. Heidän osaamisensa tuloksena valmistuu Kajaanissa joka vuosi yli puoli miljoonaa tonnia korkealuokkaisia painopapereita kaikkialle maailmaan. Päämarkkinat ovat Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Japanissa. Tuotteiden maine on asiakaskunnan – painotalojen ja kustantajien – keskuudessa vakaa. Kajaanilaisten osaamiseen luotetaan ja sitä arvostetaan. /1

Nykyaikainen paperinvalmistus edellyttää mm. tietotekniikan hyvää hallintaa prosessin kaikissa vaiheissa. Siksi henkilöstön kehittämiseen panostetaan jatkuvasti ja se kuuluu olennaisesti tuotannolliseen toimintaan. Iso paperitehdas on myös iso kouluttaja. /1

Kajaanin paperitehdas on painopapereiden erikoisosaaja. Lähtökohtana paperinvalmistuksessa ovat asiakkaat ja heidän tarpeensa. Keskinäinen luottamus on tärkeää. Uusia, asiakkaiden tarpeita entistä paremmin palvelevia lajeja kehitetään yhteistyössä asiakkaiden kanssa. /1

Kajaanin paperitehdas on keskittynyt tuottamaan erikoislajeja sanomalehti- ja aikauslehtiasiakkaille, ja niitä valmistetaan voimassa olevan ISO 9001 – laatusertifikaatin ja työterveys- ja turvallisuusasioiden hoitoa koskevan OHSAS 18001 – sertifikaatin edellyttämällä huolellisuudella ja tarkkuudella. Tehdas on lisäksi EMAS-rekisterissä. /1

Paperin ominaisuuksien viimeistelyssä hyödynnetään maailman parasta asiantuntemusta. Uusinta tutkimustietoa esim. painatustekniikan ja värien kehityksestä UPM-Kymmene painopaperitehtaille tuottavat omat tutkimuslaitokset Valkeakoskella ja Lappeenrannassa. /1

Työn aiheena oleva telojen pesuun tarkoitettu pesuri on osa Kajaanin tehtaan telahiomon laajennusprojektiin liittyvää osuutta. Aiemmin telojen pesut on hoidettu pääasiassa konesaleissa, joissa teloja on myös varastoitu. Jatkossa telat tullaan kuljettamaan välittömästi koneesta irrottamisen jälkeen tarkoitukseen suunnitellulla vihivauhulla telahiomon yhteyteen suunnitellulle telojen pesupisteelle. Telojen varastointi tulee myös jatkossa telahiomon yhteyteen rakennettavaan laajennusosaan.

#### 4 NYKYTEKNIikka

Nykyisin UPM-Kymmene Oyj Kajaanin tehtaalla käytetään useita eri menetelmiä paperikoneen telojen ja muun viirakaluston pesemiseen.

Puristin- ja viiraosan imutelojen ja pick-up-telojen pesuun on käytössä Kajaanin tehtaalle aiemmin insinööriyönä suunniteltu telan sisäpuolinen kehämallinen pesuri, kutsumanimeltään ”mersu”. Pesurin on toimittanut Maintech Oy. Alla on esitettyä kuva nykyisestä pesurista.



Kuva 1. Nykyisin käytössä oleva imutelojen pesuri



## 5 ONGELMAT NYKYISIN KÄYTETTÄVÄSSÄ PESUMENETELMÄSSÄ

Telojen varastoiminen tehdassaleissa on jo aiheuttanut osaltaan likaantumisongelmaa. Vaikkakin telat ovat yleensä peitettyinä konesaleissa, silti niiden pintaan pääsee usein tarttumaan epäpuhtauksia, jotka pääsevät tarttumaan telojen pinnoille. Myös telapinnoitusten huoltoja tekevä Stowe-Woodward Finland (/4) suosittelee, että telat tulisi mahdollisimman pian koneesta ottamisen jälkeen kevyesti pestä irtoliasta ja sen jälkeen kuljettaa pois jatkopesuja varten muihin tiloihin.

Lisäksi nykyisin käytössä oleva pesumenetelmä voi aiheuttaa myös muiden telojen likaantumista, sillä käytettävällä tekniikalla on usein jouduttu pesemään teloja siten, että pesualueen läheisessä ympäristössä sijaitsee teloja, joilla on mahdollisuus kärsiä vieressä tapahtuvista pesuista. Vaikka pestävän telan ympärille on laitettu liikuteltavat suojarakenteet, niin silti ne eivät ne ole kokonaan pystyneet estämään ympäröivien rakenteiden, tässä tapauksessa telojen, likaantumista.

Myöskään telavalmistaja ei suosittele telan sisältä ulospäin suuntautuvaa pesua, sillä se voi pahimmassa tapauksessa osittain irrottaa imuteloissa käytettävää polyuretaanipinnoitetta.

Nykyisen pesurin haittapuolena on pitkäaikainen pesuprosessi, jolla puristimen imutelan peseminen voi kestää jopa useita päiviä. Myös tällaisen pitkäaikaisen pesuprosessin hyötysuhde on varsin heikko, joten kestävän kehityksen kannalta puhtaan veden kulutus on liian suuri. Nykyisin käytettävä pesuri ei sovellu uuteen pesutilaan, koska se aiheuttaisi liikaa muutoksia tilan olosuhteisiin pesuprosessin aikana riittämättömästi suojatun rakenteensa johdosta.

## 6 PESTÄVIEN KAPPALEIDEN GEOMETRIAA

### 6.1 Imutelat /2

Puristinimutelan jakautuu rakenteeltaan kahteen erilaisella toimivaan osaan, vaippaan ja imulaatikkoon. Telan sisällä on pyörimätön imulaatikko, joka voi olla yksi- tai useampikammioinen. Kammioiden suut avautuvat tiivistelistöjen rajoittamina telan sisäpintaan. Telan rei'itetty vaippa, joka puristinteloissa on polymeeripinnoitettu (nykyään

lähinnä polyuretaanipinnoitettuja teloja), pyörii päätykappaleiden varassa imulaatikon ympäri. Laakeroinnin järjestely hoitopuolella on erilainen kuin käyttöpuolella. Järjestelyissä ovat kaksi seuraavaa näkökohtaa olleet määräävinä:

- Imulaatikon tyhjän ylläpitoa varten tarvittava suuriläpimittainen putkimainen jatko-osa on yksinkertaisen rakenteen saavuttamiseksi sijoitettava kulkemaan hoitopuolen laakeroinnin läpi.
- Imulaatikko siihen liittyvine laitteineen pitää voida aika ajoin kätevästi poistaa imutelaasta huoltoa varten, minkä vuoksi sekä hoitopuolen päädyn kiinnityksen vaippaan että imulaatikon takapään laakeroinnin pitää olla helposti purettavissa.

Näistä syistä käyttöpuolen päätykappale on muotoiltu laippa-akseliksi, joka on laakeroitu kannatuspukkiin, ja imulaatikon takapää on laakeroitu laippa-akselin sisään. Hoitopuolella taas imutelan päätykappale on laakeroitu imulaatikon putkimaisen jatkeen kaulalle, mikä puolestaan on laakeroituna päätekammioon. Viimeiseksi mainitussa on liukulaakeri. Muut laakerit ovat vierintälaakereita. Imulaatikko pystyy siis kiertymään akselinsa ympäri, mutta vain kierukkavaihteen välityksellä, millä se on kiinteästi lukittu mainittuun päätekammioon. Päätekammio toimii myös imujärjestelmän osana, jonka kautta ilma ja vesi johdetaan onton pukin läpi edelleen imuputkistoon. Imulaatikon jatkeen seinämä on tästä syystä kammion kohdalla avonainen.

Imulaatikko voidaan irrottaa päätytelasta avaamalla vaipan ja päätykappaleiden välinen ruuviliitos. Päätykappaleessa on lieriömäinen tai kartiomainen ohjausosa, joka tukeutuu vaipan sisäpintaan. Päädyn irrottamisen helpottamiseksi varsinaisten kiinnitysruuvien lomaan on sijoitettu päädyn ulostyöntöruuveja. Päätekammio tuetaan sidepulteilla päätykappaleeseen ulosoton ajaksi, jotta laakerien ja sokkelotiivisteiden välykset säilyisivät muuttumattomina. Imulaatikkoa ulos vedettäessä sen takapään kannatus-tappi irroittuu laippa-akselin keskiössä olevasta laakerista, joka jää paikoilleen. Suuria sokkelorenkain suojattuja vierintälaakereita ei tarvitse avata.

Öljyllä voidelluissa imuteloissa on ulompi laakerirengas rakennettu kiinteäksi, mikä on öljyn hyvän kierron takia tarpeen. Samoin on imulaatikon takapään laakeroinnissa sovellettava samaa periaatetta tai on käytettävä liukulaakeria. Imutelan käyttöakseli voidaan siirtää sivuun telan keskiviivalta planeettavaihteiston avulla ja täten voidaan

järjestää imuaukko telan käyttöpuolelle. Nykyisin valtaosa imuteloista perustuu viimeksi mainittuun ratkaisuun imuaukon sijoituksen suhteen.

### Imutelan sisäpuolisen imulaatikon rakenne

Imuaukkoa reunustavat sivu- ja päätetiivistelistat, jotka on valmistettu pienen kitk kertoimen omaavasta ja kulutusta kestävästä aineesta, esim. grafitidusta muovista. Imulaatikon suuaukon molemmin puolin ovat urat sivutiivisteille, joita kuormitetaan tavallisesti tiivisteiden alla sijaitsevien paineilmaletkujen avulla. Päätetiivisteiden kuormitukseen käytetään jousia. Tiivisteaukon leveyttä ei voi vanhemmissa telamalleissa yleensä säätää, mutta jousilla kuormitetut päätetiivisteet pystyvät pitimissään liikkumaan telan akselin suunnassa, joten imuaukon pituutta voidaan säätää rainan leveyttä vastaavaksi, tavallisimmin 150–200 mm kummassakin päässä. Imulaatikko on mahdollista rakentaa niinkin, että aukon leveyttä voidaan muuttaa uusimalla samalla päätetiivisterakennelmat muutetun leveyden mukaisiksi.

Vesikalvo tiivistelistan ja vaipan pinnan välissä alentaa kitkaa. Jotta kitka käynnistyksen ja tyhjäkäynnin aikana ei olisi tavallista suurempi, käytetään voiteluvettä. Sivutiivisteiden voiteluväen tehtävänä on myös estää kuitujen tunkeutuminen tiivistelistojen ja tiivisteiden pitimien väliin. Päätetiivisteitä varten tarvittavat muut laitteet, kuten voitelunipat ja painemittarit, on sijoitettu jatkeen pätyyn.

Jos viiran imutelan imukammio on jaettu kahteen osaan, ensimmäinen on leveämpi ja siinä on matalampi tyhjä, kun taas toinen on kapeampi ja siinä on syvämpi tyhjä. Kammiot on vastaavasti myös imulaatikon putkimaisen jatkeen ja päätekammion väliseinillä oltava kaksiosaisiksi jaettuja, jotta imulaatikon kumpikin puoli voidaan erikseen liittää imupumpun asianomaiseen alipainevyöhykkeeseen. Molempien aukkojen yhteinen leveys voi olla n. 30°. Puristinosalla esiintyy kammioiden yhdistelmiä. Imulaatikko on tukijaloilla, joissa on kulkutuet tai rullat laatikon ulosvedon helpottamiseksi.

## Imutelojen rei'itys

Rei'itys heikentää vaipan lujuutta ja jäykkyyttä, minkä vuoksi reikäläpimitan valinnassa ja reikäkuvioiden suunnittelussa on otettava huomioon imutelan kuormitus. Puristinimutelat ovat raskaimmin kuormitettuja. Vaikka peräkkäisissä puristimissa käytetäänkin kasvavaa kuormitusta, telat halutaan usein vaihdettaviksi ja siksi niistä tehdään samanlaiset. Viiran imutelan ja pick-up-telan vaippoja ei sanomalehtikoneissa yleensä kuormiteta toisen telan puristuksella, mutta niitä rasittaa viirakudosten kireydestä johtuva taipuminen. Paksuja paperilajeja valmistettaessa viiran imutelaa kuormitetaan painoteloilla. Mainituissa telojen vaipoissa voidaan kuitenkin tavallisesti käyttää suhteellisesti suurempaa reikäpinta-alaa kuin puristinimuteloissa. Reikien halkaisija vaihtelee 4-6 mm:n välillä. Reikien pinta-ala prosentteina vastaavan ehjän vaipan pinnasta on esim. 4 mm:n rei'in poratussa puristintelassa n. 20 % ja vastaavasti 5 mm:n rei'in poratussa viiran imutelassa n. 30 %. Viiran imutelassa reiän imuvaikutus- aluetta jatketaan upotusporauksella (ks. kuva alla), jonka reiän halkaisija vaihtelee välillä 5,5–8,2 mm. Rei'itetty ala pinnassa voi olla täten 50–60% luokkaa.



Kuva 2. Pick-up-telan pintaprofiili

Porauskuvioiden valintaan vaikuttavat vielä eräät näkökohdat, joista tärkeimpinä mainittakoon seuraavat:

- väläkannasten paksuuden vaikutus laipan lujuuteen ja taivutusjäykkyyteen
- reiän mittojen vaikutus ilman ja veden virtaukseen
- valmistettavan paperilajin herkkyys imutelan reikien aiheuttamalle kuvioitumalle
- puhtaanapitomahdollisuudet
- valmistusteknilliset näkökohdat, kuten esim. käytetyn monikaraporakoneen jakolaitteen asettamat rajoitukset.

Käytetyn tyhjän suuruus vaihtelee 13–80 kPa. Tyhjän ylläpitämiseen tarvittava pumpun kapasiteetti kasvaa sekä nopeuden että vaaditun tyhjän kasvaessa, koska imutelan reikien mukanaan tuoman haitallisen lisäilman tilavuusvirta kasvaa. Tyhjän kasvaessa vesirengaspumpun kapasiteetti ensin kasvaa, mutta saavutettuaan maksiminsa laskee jyrkästi. Lopulta reikien tuoman ilman imemiseen tarvitaan pumpun koko kapasiteetti. Toisaalta nykyisen käsityksen mukaan suurellakaan tyhjöllä ei nopeilla koneilla pystytä imemään sanottavia määriä pois imutelojen rei'istä, koska keskipakovoima vaikuttaa virtauksen suuntaa vastaan. Koska imujärjestelmän energiakustannukset ovat suuret, ei kannata käyttää suurempaa tyhjöä kuin välttämättä tarvitaan. Imujärjestelmän suunnittelussa on turvauduttava kokemustietoon. Optimointi laskemalla tuottaa vaikeuksia, koska tapahtumia imureiässä ei hallita teoreettisesti riittävän tarkasti. Kyseessä on kaksifaasinen virtaus, jossa parametreina ovat vesihiukkasten koko ja niiden kidas- sa saama lähtöimpulssi, telan kulmanopeus, reiän läpimitta ja pituus, paine, lämpötila ja imuimpulssin kesto-aika. Vesi voi reiässä esiintyä pisaroina, sumuna tai höyrynä ja muuttaa olomuotoaan sen muutaman sadasosasekunnin aikana, jona imuprosessi tapahtuu.

### Imutelojen polymeeripinnoitus

Puristintelat ovat pinnoitettuja, koska päällystämättömässä telassa vaipan kosketusjännitykset nousisivat liian suuriksi. Toisaalta puristinteloissa ei ole haittaa siitä, että pinnoitus lisää reikien syvyyttä, koska puristinnipin kitapaine auttaa veden tunkeutumisesta reikiin.

Sitä vastoin viira- ja pick-up-teloissa, jotka poistavat vettä vain staattisen paine-eron avulla, on eduksi, että reikä on lyhyt, jolloin keskipakovoima ja vastavirtaus jäävät pienemmiksi ja osa vettä voi päästä imukammioon ja sitä tietä pois. Viira- ja pick-up-telat ovatkin tavallisesti pinnoittamattomia.

### Imutelan puhtaanapito ja muu huolto

Reikien tukkeutuneisuus huonontaa tietenkin imutelan toimintaa, mutta aiheuttaa pinnoitetuissa teloissa lisäksi sen vaaran, että pinnoitus irtautuu vaipasta, kun kidan nestepaine ei voi purkautua reikien läpi. Reikien puhtaanapitoa varten telan ulkopuolelle on imuvyöhykkeen jälkeen sijoitettu korkeapainesuihku, jota käytetään vain koneen käydessä, koska se voi seisovan telan yhteen reikäriiviin kohdistettuna kuluttaa reikiä väljemmiksi tai jopa pahimmassa tapauksessa irrottaa pinnoitetta vaipalta. Imutelojen pinnoittajan Stowe-Woodward Finland oy:n suosituksia imutelojen painepesuun on kuvattu tarkemmin luvussa 8.

Tämän käynnin aikaisen korkeapainesuihkun lisäksi tela on aika ajoin avattava kuidusta puhdistamista varten. Mikäli telan annetaan käydä jatkuvasti likaisena, vaipan sisäpinta on vaarassa naarmuuntua, minkä johdosta ilmavuodot kasvavat. Huonokuntoiset tiivisteliat voivat myös naarmuttaa vaipan pintaa, joten nekin on tarkistettava. Reikien tukkeutuminen lisää myös korroosiota.

### 6.1 Muodostustelat /2

Monissa uusissa paperikonekehitelmissä raina muodostetaan imutelan pinnalla, jonka tällöin täytyy runsaan vedenpoiston takia olla erityisen avorakenteinen. Näitä muodostusteloiksi kutsuttuja imuteloja käytetään kitaformereissa, kita- ja tasoviiramuodostajien yhdistelmissä, kaksoisviirakoneissa, tissuekoneissa sekä kartonki- ja pahvikoneissa. Avoin rakenne peitetään tavallisesti kokoamalla rei'itetyn imutelan päälle, yleensä muovista valmistettu, yhteenjuotettu kennosto. Melun pienentämiseksi on hyvällä menestyksellä kokeiltu myös telaa, jossa suustaan laajenevat ja monipäisen spiraalikivi-

on muodostavat poraukset aukeavat suoraan telan pintaan ja näin ollen poistavat tarpeen ylimääräiseen pinnoitteeseen muodostustelan päällä.

Muodostustelojen tavallista suurempi läpimitta sallii jäykkyyden ja lujuuden puolesta pienemmän seinämävahvuuden, mikä yhdessä pienentyneen keskipakovoiman kanssa helpottaa veden siirtymistä telan sisälle suurillakin nopeuksilla. Muodostustelan uloimpana pintana on karkea viiraverkko. Verkko on kiinnittyy paikoilleen lämmöllä kutistamalla. Muodostustelan sisärakenne on tavallisen imutelan kaltainen. Muodostustelan vedenpoisto on yleensä minimaalista verrattuna viiraosaan. Muodostustela voi toimia myös ilman imua, silloin kun viirojen kitavaikutuksella saadaan aikaan riittävä vedenpoistovoima.

## 6.2 Uratelat ja G-uratelat /2

Puristinrakenteet ovat huomattavasti kehittyneet sen jälkeen, kun vedenpoiston mekanisme alettiin järjestelmällisesti tutkia. Kehityksen tuloksena ovat syntyneet mm. onsipintatelat. Onsipintateloja ovat uratelat ja sokeaporauksiset telat. Rungon perusrakenne vastaa sileää puristintelaa, joten onsipintatela voi olla joko tavallinen putkirunkoinen tai taipumaltaan säädettävä. Sokeaporauksisen telan rei'itys tehdään yleensä aina kumitetun telan pintaan. Sen sijaan uritus voidaan tehdä joko teräs- tai kumivaippaan.

Uratelan onsipinta on aikaansaatu urituksella, joka on useimmiten kierremäinen ja jonka nousu on noin 3 kierrettä/cm. Uran leveys vaihtelee tavallisesti 0,5 – 0,75 mm:n ja syvyys 2,6 – 3 mm välillä.

Uritus voidaan tehdä joko kumitettuun telan pintaan tai haponkestävään teräspintaan. Kumipinnan käyttö rajoittuu pienempiin nippipaineisiin, koska uritus heikentää pinnan kestävyyttä. Kumin lujuus on tavallisesti 3 – 8° PJ ja kumikerroksen paksuus noin 20 mm. Kumitusta voidaan hioa vain vähän, ennen kuin entinen uritus on poistettava ja uusi työstettävä tilalle. Kumitetuilla urateloilla suositellaan urien puhdistusta suihkuilla, jonka veden lämpötila on n. 18 – 20° C, joten se pystyy samalla jäähdyttämään telan pintaa. Korkeilla viivapaineilla lämmönkehitys on niin suuri, että telaa on jäähdytettävä myös sisäpuolelta.

Teräspintainen uratela tarvitsee yleensä vähemmän huoltoa kuin kumipäällysteinen tela. Toisaalta kova nippi voi aiheuttaa huopavaurioita ja voimistaa epätasaisesta huovasta aiheutuvaa tai telojen dynaamisesta epätasapainosta johtuvaa tärinää. Nippi jää myös prosessin kannalta lyhyeksi, koska puristuma muodostuu pääasiassa huovan puristumasta.

Haponkestävien urapintatelojen valmistamiseksi on Suomessa kehitetty kaksi menetelmää, joiden avulla valurautaisen runkoputken päälle on mahdollista saada aikaan haponkestävä urituskerros. Toinen on ns. G-nauhauritus ja toinen holkitusmenetelmä. Kummallekin menetelmälle on haettu aikanaan patenttisuoja.

G-nauhaurituksen on kehittänyt Valmet Oy (Metso Paper Oy). Valurautaisen taikka ruostumattomasta teräksestä valmistetun putken pintaan kierretään kiristäen haponkestävä nauha, jolloin kierteiden väliin muodostuu nauhan valssatun profiilin mukainen uritus. Nauhan kierteet lukittuvat toisiinsa lukitusharjan avulla. Uramuotoja on valittavissa useita.

A. Ahlström Oy:n (Andritz AG GmbH) kehittämässä valurautatelan holkituksessa haponkestävällä teräksellä käytetään hyväksi levyistä hitsatun holkin kutistumista. Kutistaminen tapahtuu päälle hitsaamalla, minkä jälkeen hitsattu pinta ja ohuelti myös holkin perusainetta sorvataan pois ja pinta hiotaan. Haluttu uritus sorvataan useimmiten kierremäisenä. Tärkeätä on saavuttaa uriin hyvä pinnansileys, jotta ne pysyisivät puhtaana. Holkituksen onnistuminen vaatii korkeatasoista hitsaus- ja työstöteknologiaa.

Kummallakin menetelmällä voidaan uudistaa myös vanhoja teloja ja päällystää teloja sileiksi tai uritetuiksi erilaisilla metallisilla pintamateriaaleilla. Loppuun hiottu urituspinta voidaan luonnollisesti uusia poistamalla ensin vanha pinta.

Sekä G-nauhapinta että holkituspinta muodostavat valurautaisen runkoputken kanssa korroosioalttiin yhdistelmän. Tämän johdosta valmistuksessa vaaditaan suurta huolellisuutta, jotta kosteutta ei pääse kapillaari-imun vaikutuksesta tunkeutumaan pintakerroksen ja runkoputken väliin. Suurta luotettavuutta vaatii myös sopivan pintakerroksen



kireyden aikaansaaminen, jotta löystymistä ei tapahtuisi nippikuormituksen jatkuvan muokkauksen johdosta.

### 6.3 Keskitelat /2

Märkäpuristimissa käytetään yleisesti toisena puristintelaparina kovatelaa silloin, kun märkä raina koskettaa nippiprosessissa telan pintaa. Keskitelan materiaali on yleensä kovaa, sitä voidaan hioa ja kiillottaa, se kestää erinomaisesti korroosiota sekä kaavarin terien mekaanista kulutusta. Pinta käyttäytyy myös edullisesti paperirainan suhteen. Raina tarttuu siihen, mutta irtoaa myös kevyesti eikä pinta nypi irrotusvaiheessa kuitu- ja märestäkään rainasta. Rainan tarttuminen telan pintaan ja seuraaminen telan mukana on tärkeää mm. uudelleen kastumisen estämiseksi nipin jälkeen.

Kivitelan lähes ainoana varjopuolena on se, että se on kallis verrattuna sitä korvaamaan käytettyihin stoniitti ja micro-rock-teloihin. Ehjän ja tasalaatuisen graniittiaihion löytyminen ja lohkaus kallioperästä on käytännössä erittäin työlästä. Suomen kallioperä erityisesti Kurun louhoksella on kuitenkin osoittautunut edulliseksi. Raaka-aihion irrotus peruskalliosta tapahtuu poraamalla ja kiilaamalla käyttäen hyväksi kallion luonnonhalkeamia ja halkeamissuuntia.

Paksuseinäinen kivivaippa esijännitetään läpimenevän teräsakselin ja päätylaippojen avulla. Esijännitys pyritään saamaan niin suureksi, että telan kivivaippa on useimmiten lähes yksinomaan puristusjännityksen alainen taivutuskuormituksesta huolimatta. Kivivaippa keskitetään akselille päätylaippojen olakkeiden tai erityisten kiilaholkkien avulla. Tyhjän akselin ja vaipan välinen reikätila täytetään usein betonimassalla. Kokoonpanon jälkeen pinta hiotaan telahiomakoneessa. Pintakarheutena käytetään  $Ra \leq 1,6\mu m$ . Lopuksi suoritetaan kiillotus.

Kivitelan kuormitus on tyypillisesti taivutusrasitusta. Sallittu taipuma on suuruusluokkaa 0,12 – 0,2 mm/m. Taipumaa kompensoidaan tavallisesti osittaisella bombeeruksella.

Vaikka kivitelan vaippa on massiivinen ja esijännitetty, syntyy telaan helposti pysyvä taipuma, jos se seisoo päistään tuettuna pitkiä aikoja varastoituna. Tämä voidaan välttää pitämällä tela hitaassa pyörimisliikkeessä.

On tehty havaintoja, että kivitelan pinnassa saattaa esiintyä lievää, epämääräistä, paikallista pullistelua, kun se on ollut koneessa ja lämmennyt muutamia päiviä tai viikkoja. On oletettu, että ilmiön aiheuttaa epätasainen lämpölaajenemisvakio eli kiviaineksen epähomogeenisuus ja/tai kivirakenteen suuntautuneisuus. Tarkempia tutkimuksia ei tästä ilmiöstä ole toistaiseksi tehty /3. Kun halutaan suurta pyörimistarkkuutta, olisi kivitela hiottava käyntilämpötilassaan. Tämä saattaa kuitenkin aiheuttaa ongelmia telahiomakoneella, sillä lämpötilan nosto hiontapaikalla saattaa aiheuttaa vääntymiä hiontayksikön ohjauskiskoihin, mikä voi aiheuttaa mittaheittoja hiontatarkkuuteen.

Kivitelan dynaaminen tasapainotus on puristimen värinähäiriöiden kannalta tärkeä. Tasapainotustarkkuusvaatimuksena pidetään 40 gmm/kg jäännöstasapainoa jaettuna kummankin päädyn osalle tasan. Vastapainot ovat yleensä lyijyä sijoitettuna päätylaippoihin porattuihin reikiin.

Kivitelan paikalliset pintavauriot voidaan myös helposti paikata. Paikkaamisessa on kaksi menetelmää /4.

Ensimmäinen tapa on paikata rikkoutunut telapinta massalla. Tässä menetelmässä paikattavasta kohdasta poistetaan vioittunut kiviaines. Näin tehty kolo täytetään massalla, joka on valmistettu kaksikomponenttisestä erikoisliimasta ja kivirakeista /4.

Toinen tapa korjata vioittunut telapinta on korvata rikkoutunut kohta kivellä. Tässä menetelmässä paikattavasta kohdasta poistetaan vioittunut kiviaines. Näin tehtyyn koolon sovitetaan tarkasti sopiva kivikappale, joka on valmistettu telan graniitista. Tämä liimataan erikoisliimalla. Paikkauksen jälkeen tela hiotaan normaalilla tavalla /4.

## 6.4 Tasoviiraosan imulaatikot ja päästölistalaatikot

### Imulaatikot /5

Imulaatikot voidaan jakaa kahteen luokkaan toimintojensa perusteella. Märkäimulaatikoita käytetään tasoviiraosan alkupäässä sellaisissa kohteissa, joissa raina on niin märkää, ettei ilmaa voida imeä sen läpi (kuiva-ainepitoisuus alle 2 %). Märkäimulaatikko koostuu n. 500 mm levyisestä laatikosta, joka on peitetty 60–70 % avoimella hiotulla muovisella tai keraamisella kannella ja vajaan metrin pituisista imujaloista. Laatikossa ylläpidetään tyhjöpumpulla noin 2 kPa alipaine. Imujalat on mitoitettu niin, etteivät laatikot täyty vedellä.

Tasoimulaatikkoja käytetään viiraosalla kohdassa, jossa raina on saavuttanut noin 2 % kuiva-ainepitoisuuden. Tasoimulaatikoissa on pidemmät imujalat ja niillä saavutetaan jopa 50 kPa:n alipaine. Imujalat on yhdistetty laatikoiden takapäähän ja ne on johdettu kellarikerroksessa sijaitsevaan lukkovesisäiliöön.

### Päästölistat /5

Päästölistat eli foilit ovat listoja, joiden loppuosaan on hiottu pieni päästökulma viiraan nähden (0-3°). Foilit voivat olla joko erillisiä tai ne voidaan asentaa ryhmittäin päästölistalaatikoiksi, ja niiden vedenpoistokyky riippuu listan päästökulmasta ja päästöosan pituudesta.

Päästölistoilla tapahtuvassa vedenpoistoprosessissa vaihdellaan niiden lukumäärää ja päästökulmia. Tavallisesti märänpään alussa käytetään pienempää kulmaa kuin viiraosan lopussa.

## 6.6 Muut pestävät kappaleet

Pesurilla tulisi mahdollisuuksien mukaan pestä myös muita paperikoneen ja siihen liittyvien koneiden osia. Tällaisia osia voisivat olla mm. viiraosan rintapöytä ja puristin-osan höyrylaatikot.

Tarpeen vaatiessa pesurilla tulisi pystyä pesemään myös kalantereiden ja pituusleikkureiden teloja. Myös yksi pesurin sovelluskohde olisi formeriosan imulaatikot sekä märkäviirojen ja puristinhuopien puhdistukseen käytettävät oskilloivat painepesurit.

## 7 PESUMENETELMILLE MÄÄRITELTÄVÄT VALINTAKRITEERIT

Pesurin rakenteen määrittelee pitkälti kaksi tekijää, ympäristön vaatimukset pesurille ja pestävien kappaleiden asettamat vaatimukset. Em. kappaleiden pesuun tarkoitettu pesuri ei missään tilanteessa saisi muuttaa ympärillä olevia olosuhteita, jos samaan tilaan on liitetty jotain toimintaa, joka tarvitsee tasalaatuiset olosuhteet. Tässä tapauksessa samassa tilassa tapahtuu telojen pesujen lisäksi myös niiden hiontaa, kunnostusta ja huoltoa, jotka kaikki vaativat tasaisen lämpötilan ja alhaisen kosteuden kertymistilaan. Telahiomakoneelle ei lisäksi saa kohdistua mitään ulkopuolista tärinää, joten pesurin rakenteessa pitää ottaa huomioon sisäisten tärinälähteiden vaimentaminen.

Telahiomakone vaatii mahdollisimman tasaisen lämpötilan toimitilassaan saavuttaakseen sille vaaditun hiomatason laadun. Lämmönvaihtelut hiomotilassa voivat johtaa siihen, että johteet, joiden päällä hiontayksikkö liikkuu, vääntyvät lämpötilan muutosten johdosta ja näin ollen hiontatarkkuus laskee.

Kosteuden tulisi pysyä mahdollisimman alhaisena pesutilassa, ettei läheisyydessä tapahtuvalle telojen huollolle aiheudu kosteushaittoja. Liiallisen kosteuden tiivistymisen lisäksi telojen huoltopisteet pitäisi suojata myös roiskevesiltä, joten telapesuri tulisi erottaa väliseinällä huoltotilasta. Kosteuden kertyminen on ongelmallista myös telojen varastoinnin takia, koska liiallinen kosteus mahdollistaa korroosion muodostumisen teloihin. Toimivin ratkaisu kosteus- ja lämpötilahaittojen ennaltaehkäisyyn on telapesuriin liitettävä mekaaninen puhallinyksikkö, joka puhaltaa liian kosteuden ja lämmön pois pesutilasta.

## 8 VALMISTAJAN SUOSITUKSET TELOJEN HUOLTOON /6

Telojen puhdistamisessa on otettava huomioon päällysteen kemikaalien ja liuotimien kestävyys. Mikään elastomeeri ei kestä kaikkia kemikaaleja ja liuottimia.

Perusteellisia yleisiä puhdistusohjeita ei voida antaa, ellei tarkoin tunneta lian liukenemiskäyttäytymistä.

Ennen puhdistustoimenpiteitä on syytä selvittää pestävä lika (kuitu, täyteaineet, hartsit, bitumi, PVC, polyteeni, lateksi, jne.) ja se miten kertynyt materiaali voidaan tunnistaa (väri, haju, palo-ominaisuudet, palamisen haju, kemiallinen analyysi, jne.). Lisäksi tulisi selvittää, mihin liottimeen lika on liukeneva.

Esimerkiksi, kolofonihartsit liukenee bensiiniin, hiilitetrakloridiin tai NaOH-saippuointiliuokseen. Bitumit kestävät emäksiä ja laimeita happoja, mutta liukenevat liuottimiin. PVC, polyteeni ja lateksi vain turpoavat ja pehmenevät liuottimissa.

## 8.1 Suositeltavat puhdistusmenetelmät

Pestäessä mekaanisesti vesipaineella, tulisi pesupaine suhteuttaa ao. suositusten mukaisesti telapinnoitteen kovuuden mukaan:

- Kovuus alle 15 P&J, maksimi paine 60 bar
- Kovuus 15 - 50 P&J, maksimi paine 40 bar
- Poratut päällysteet, maksimi paine 20 bar

Pesurin suuttimena tulisi käyttää hajottavaa, liikkuvaa suutinta, jonka etäisyys tulisi olla yli 100 mm päällysteestä. Pitkäaikaispesussa (yhtäjaksoinen ja oskilloiva) maksimi paine ei saisi ylittää 15 bar.

Kemiallisesti tai muulla tavalla vaurioituneen päällysteen pesussa on oltava erityisen varovainen lisävaurioiden estämiseksi. Joissain tapauksissa lian esipehmitys 60 asteisella vedellä on suositeltavaa. Imutelat on mahdollista pestä myös sisäpuolisella painepesulla, kun noudatetaan seuraavia rajoituksia:

- |                             |            |
|-----------------------------|------------|
| – maksimi paine             | 40 Bar     |
| – suihkun etäisyys pinnasta | min 100 mm |
| – suutinkoko                | 1.5-2.0 mm |
| – veden lämpötila           | Max 50 °C  |

## 8.2 Kemiallinen pesu hapoilla, emäksillä tai liuottimilla

Pestäessä teloja käyttäen kemiallisia aineita tulisi aineita valittaessa ja käytettäessä kiinnittää erityistä huomiota seuraaviin seikkoihin:

- Kemikaalilla on mahdollisimman lyhytaikainen vaikutus telalle
- Tulisi käyttää mahdollisimman laimeita pesuliuoksia
- Pesulämpötila tulisi valita mahdollisimman alhaiseksi
- Teloille, joissa on elastomeeripinnoite, tulisi valita parhaiten sopiva liuotin

Yleisohjeena pinnoitettujen telojen pesukemikaalien valintaan voidaan antaa:

- jatkuvaa hapon tai emäksen vaikutusta kestävät NR, SBR, CR, EPDM, CSM
- rajoitetusti happoa ja emästä kestävä NBR
- jatkuvaa liuottimen (ei MEK tai ketonit) vaikutusta kestävät NBR, CR, CSM
- liuottimia eivät kestä NR, SBR, EPDM

Kemikaalipesussa pitäisi ensisijaisesti käyttää aina saippua- tai soodaliuosta, jota kaikki päällysteet kestävät. Muilla kemikaaleilla, joita ei rajattomasti voida jokaiselle päällysteelle käyttää, suositellaan mahdollisimman suuria laimennoksia, alhaisia lämpötiloja ja lyhyitä vaikutusaikoja. Joka tapauksessa pesun jälkeinen kunnollinen huuhtelu on välttämätön runsaalla vedellä. Polymeerien tarkempi kuvaus antaa lisää tietoja kunkin polymeerin kestävydestä.

## 8.3 pH-arvon säätäminen

Oheista taulukkoa voidaan käyttää säädettäessä pesuliuoksen pH-arvoa, jotta pesuliuos ei aiheuta vaurioita kunkin pestävän telan pinnoitteelle.

Montako grammaa tarvitaan puhdistusainetta 1000 grammaan vettä?

	pH 1	pH 2	pH 3	pH 11	pH 12
Rikkihappo 96 %	17,8	1,70	0,42	-	-
Suolahappo 36 %	15,1	2,07	0,82	-	-
Natriumhydroksidi 40 %	-	-	-	1,97	8,39

## 9 ERI VALMISTAJIEN VAIHTOEHTOJA TELOJENPESUUN

Tässä kappaleessa esitellään neljän suomalaisen teollisuuspesukoneita valmistavan yrityksen ratkaisuvaihtoehtoja paperikoneen telapesureiksi. Myöhemmissä kappaleissa arvioidaan tarkemmin eri ratkaisumallien hyvät ja huonot puolet.

### 9.1 Finnsonic Oy:n ratkaisuvaihtoehto /7

Tässä kappaleessa esitellään Finnsonic Oy:n suunnittelema telapesuri, joka on yhdistelmä tavanomaisesta paineellisesta ja ultraäänen käyttöön perustuvasta pesutekniikasta. Jatkossa Finnsonic Oy:n ratkaisuvaihtoehtoa arvioitaessa, kyseistä ratkaisuvaihtoehtoa käsitellään merkinnällä vaihtoehtoratkaisu A. Ohessa on tarkemmin selvitetty ultraäänipesun perusteita.

### Ultraäänipesu

Ultraäänen käyttö pesutarkoitukseen aloitettiin 1940-luvulla. Ensimmäiset kaupalliset laitteet valmistettiin 1940-luvun puolivälissä. Se on siis tekniikkana melko vanha, mutta Suomessa on edelleen varsin huonosti tunnettu. Tässä artikkelissa käsitellään ultraäänipesun perusteita.

Ultraäänellä tarkoitetaan mekaanista värähtelyä, jonka taajuus on ihmiskorvan kuuloalueen yläpuolella. Yleisesti lasketaan teknisen ultraäänialueen alkavan 20 kHz:n tienoilta. Ylärajaa ei teoriassa ole. Ultraäänitekniikka jaetaan ns. matala- ja suurintensiiteettisovelluksiin. Matalaintensiiteettitekniikka keskittyy informaation siirtämiseen vä-

liineen läpi, suurintensiteettitekniikalla muutetaan ääniaaltojen läpäisemän väliaineen ominaisuuksia.

### Fysikaaliset perusteet

Eri pesumenetelmät perustuvat seuraaviin tekijöihin:

- Aika
- Lämpötila
- Pesuaine
- Mekaaninen energia

Poistettava lika määrittää kunkin tekijän painoarvon. Ultraäänipesussa puhdistettava kappale upotetaan pesunesteeseen, johon samalla syötetään ultraäänitaajuista värähtelyä. Puhdistuminen ei kuitenkaan tapahdu suoraan värähtelyn vaikutuksesta, vaan ultraäänen aiheuttaman kavitaation johdosta. Näin aikaansaadaan tarvittava mekaaninen energia.

### Ultraäänipesurin perusosat

Ultraäänilaite koostuu seuraavista osista:

- Ultraäänigeneraattori
- Värähtelijä
- Pesuallas

Generaattorin tehtävä on muuttaa normaali verkkovirta (230 V 50 Hz) suurijännitteiseksi ja – taajuiseksi sähköenergiaksi. Jännite nostetaan 600...700 volttiin ja taajuus 30 kHz:iin. Toisin sanoen generaattorin jälkeen käytettävissä on vaihtovirta, joka muuttaa suuntaa 30000 kertaa sekunnissa. Aikaisemmat generaattorit olivat jättikokoisia, mikä rajoitti laitteiston kokoa. Nykyiset generaattorit ovat pienikokoisia ja teknisesti laitekoolla ei ole ylärajaa.



Värähtelijä muuttaa sähköisen energian mekaaniseksi värähtelyksi, joka johdetaan pesualtaassa olevaan nesteeseen. Pienissä laitteissa värähtelijät kiinnitetään suoraan altaan seinämään tai pohjaan, suuremmissa altaissa käytetään uppovärähtelykoteloida. Uppovärähtelijä on täysin vesitiivis kotelo, joka upotetaan nesteeseen. Värähtelijät on kiinnitetty kotelon sisäseinämään. Generaattoria sekä värähtelykoteloida käyttämällä voidaan mikä tahansa allas muuttaa ultraäänialtaaksi edellyttäen, että tarvittava mekaaninen asennustila löytyy.

Allas valmistetaan tavallisesti ruostumattomasta teräksestä. Varusteina ovat mm. termostaattiohjattu lämmitys-, tyhjennys- ja täyttöventtiilit, lämpö- ja äänieristys, kansi sekä turvalaitteet.

## Pesunesteet

Käytettävä pesutekniikka määräytyy ryhmävalinnan mukaisesti ja eri pesutekniikoissa käytettävät pesuaineet jaetaan haihtuviin orgaanisiin ja huonosti haihtuviin liottimiin sekä vesiperustaisiin pesuaineisiin.

Orgaanisia liuottimia ovat mm. klooratut liuottimet (trikloorietyleeni, perkloorietyleeni sekä metyleenikloridi). Haitallisuus ja siitä johtuvat maailmanlaajuiset rajoitukset vähentävät näiden aineiden käyttöä. Palavat orgaaniset liuottimet (esim. aseton, isopropyylialkoholi IPA sekä metanoli) ovat syttymisvaaran vuoksi hankalia käyttää.

Huonosti haihtuvat liuottimet (esim. terpeenit, hiilivedyt) ovat tehokkaita, mutta myös palavia.

Vesiperustaiset pesuaineet ovat kaikille tuttuja. Niitä käytetään yhä useammin myös teollisissa pesuprosesseissa. Vesi ei liuota kaikkea likaa, joten veden ominaisuuksia on lisäainein muutettava. Pinta-aktiiviset aineet kääntävät öljyjä suosivan puolensa öljyyn päin ja vettä suosivan puolensa veteen päin. Näin saadaan veteen liukenemattomat aineet hajoamaan veteen.

Kasvi- ja eläinrasvat saippuoituvat veteen lisättyjen emäksien ansiosta ja muuttuvat siten liukoisiksi. Hapot ja emäkset voivat syövyttää metalleja ja tuoda uuden, varmasti

puhtaan pinnan esiin. Alkaliset (emäksiset) pesuaineet muistuttavat astianpesuaineita. Niitä käytetään rasvojen ja öljyjen poistoon.

Neutraalit pesuaineet muistuttavat kodin yleispuhdistusaineita. Ne soveltuvat herkkien materiaalien puhdistukseen.

Happamia pesuaineita käytetään ruosteen ja hapettumien poistoon. Pesuainevalmistajat kehittävät ympäristöystävällisiä aineita, jotka ovat biologisesti helpommin hajotuvia.

Pesunesteen valinta tulee suorittaa poistettavan epäpuhtauden perusteella. On myös huomioitava pohjamateriaalin asettamat rajoitukset.

Teollisuudessa suunnataan ympäristöarvoja painottaviin kestäväen kehityksen mukaisiin vesipohjaisiin prosesseihin.

#### Ultraäänipesu vesipohjaisella pesuaineella

Pesu suoritetaan upottamalla kappale pesualtaaseen joko sellaisenaan tai käyttämällä sopivaa koria tai telinettä. Pesunesteen lämpötila on tavallisesti 50 – 60 °C ja pesuaika 2 – 5 minuuttia. Ultraääni käynnistetään kytkimestä, ja ajastin sammuttaa ultraäänen säädetyen ajan kuluttua. Pesuneste on käsittelyn aikana lepotilassa, ainoastaan nestepinnassa esiintyy pientä väräilyä. Puhdistettavia kappaleita ei tarvitse erityisesti kiinnittää, ja laitteen kansi voi olla pesun aikana auki. Kappaleiden asento vaikuttaa pesun lopputulokseen; ilmataskuja tulisi välttää, koska niiden kohdalla ei tapahdu puhdistamista. Pesunesteen elinikää pidennetään mm. mekaanisella suodatuksella. Suodatusaste voidaan valita aina 1 µm:iin saakka. Öljynerotuslaitteilla erotetaan pesunesteestä öljy. Käyttämällä varastoallasta saadaan pesunesteen vaihtoväliä helposti kasvatetuksi.

Pesun jälkeen seuraa huuhtelu erillisessä altaassa. Huuhtelu tapahtuu lämpimällä vedellä. Ionivaihdetun veden käyttö varmistaa täysin läikättömän huuhtelutuloksen. Huuhteluvaikutusta voidaan tehostaa käyttämällä esim. ultraääntä, nestepinnan ala-

puolella tapahtuvaa suihkutusta, liikuttelemalla kappaleita nesteessä, ilmakuplituksella tai yhdistelemällä em. tekniikoita.

Huuhteluvaiheita voi olla useita, jolloin tarvittavan huuhteluveden kulutus pienenee. Tyypillisesti huuhtelualtaat kytetään sarjaan, ja huuhtelu tapahtuu siirtymällä likaisemmasta nesteestä (esihuuhtelu) puhtaampaa kohti. Uusi tuore vesi otetaan viimeiseen vaiheeseen, josta neste siirtyy ylivuotojen avulla likaisempiin vaiheisiin. Huuhteluvettä voidaan myös kierrättää sekä siitä voidaan suodattaa pois mekaaniset epäpuhtaudet ja pesuainejäämät. Tällöin kysymyksessä on suljettu huuhtelujärjestelmä. Huuhteluvaiheilla on tärkeä merkitys pyrittäessä erittäin hyvään puhtaustasoon.

Kuivaus voidaan suorittaa joko huoneilmassa tai käyttämällä esim. kiertoilmakuivatinta, jolloin kuivausvaihe on erittäin nopea. Mikäli lämpötila on rajoittava tekijä, kuivausta voidaan nopeuttaa tyhjiön avulla. Ilmanpaineen laskiessa veden kiehumispiste alenee, ja kuivaus tapahtuu nopeasti myös alhaisemmissa lämpötiloissa. Tyhjiökuivauksen etuna on myös se, että kappaleet ovat käsiteltävissä välittömästi kuivauksen jälkeen. Erillistä jäähdyttelyaikaa ei tarvita.

#### Ultraäänipesu verrattuna muihin pesumenetelmiin

Tietyt ultraäänipesun ominaisuudet tekevät sen ylivoimaiseksi muihin pesumenetelmiin verrattuna. Toisinaan se on ainut kysymykseen tuleva pesuratkaisu. Kun halutaan puhdistaa monimutkaisia kappaleita, joissa on runsaasti aukkoja, onteloita, kanavia, kulmia jne. on ultraäänipuhdistus lähes ainut tehokas menetelmä. Ultraäänien aikaansaama kavitaatio tapahtuu myös kappaleiden sisäpinnoilla aikaansaaden puhdistumisen. Tällaisia ongelmakappaleita ovat esim. erilaiset hydrauliiikan komponentit, moninaiset työstetyt kappaleet, ajoneuvohuollon osat jne.

Puhdistettaessa hankalia epäpuhtauksia, kuten esim. hiomavahaa on yksi ultraäänipuhdistuksen sovelluksista. Jos ultraäänipesuun liitetään lisäksi voimakkaat kemikaalit, voidaan vaikuttaa erittäin vastustuskykyisiin kerroksiin.

Energian kulutukseltaan ultraäänipesu on erittäin tehokas puhdistuskeino, sillä puhdistava energia (ultraääni) siirtyy hyvällä hyötysuhteella pesualtaan nesteeseen. Pumppa-

us-, virtaus- tms. häviötä ei synny. Lisäksi pesu on nopeaa, jolloin energiaa kuluu vähemmän.

Pesukemikaalien kulutustarve on ultraäänilaitteissa pienempi verrattuna muihin menetelmiin, koska usein tullaan toimeen pienemmillä liuosväkevyyksillä. Lisäksi pesuliuksen käyttöikä on pitkä. Näin voidaan välttää ympäristön turhaa kuormittamista.

Ultraäänipesukone kaipaa huoltoa harvoin. Koneessa ei varsinaisesti ole liikkuvia tai pyöriviä osia. Huollon tarvetta esiintyy lähinnä ultraäänigeneraattoreissa, jotka ovat tavallisia elektronisia laitteita. Pesukoneen elinikä määräytyy lähinnä altaan ja värähtelijäelementtien kestoajan perusteella. Kavitaatio aiheuttaa hidasta syöpymistä erityisesti värähtelevällä pinnalla.

Tietyt pehmeät materiaalit eivät sovellu ultraäänipuhdistukseen. Niiden pinta vaimentaa ultraäänivärähtelyn eikä kavitaatiota synny. Tyypillisiä hankalia materiaaleja ovat mm. kankaat ja pehmeät kumit.

#### Ultraäänipuhdistuksen käyttöalueita

**Hydrauliikka:** pumput, venttiilit, sylinteriputket, suodattimet jne.

**Prosessiteollisuus:** pumput, venttiilit, suuttimet, sekoittimet, suodattimet jne.

**Ajoneuvohuolto:** generaattorit, starttimoottorit, venttiilit, turbiinit, ruiskupumput, suuttimet, kaasuttimet, lohkot jne.

**Ilmailu:** turbiinit, suodattimet, polttoainelaitteet, jarrujen osat jne.

**Elektroniikkateollisuus:** stensilit, piirikortit, juotosraamit jne.

**Muottiteollisuus:** painevalumuotit, puristintyökalut, ruiskupuristusmuotit jne.

Tämän päivän teknologia asettaa yhä suurempia vaatimuksia tuotanto- ja huoltotekniikoille. Jotta voitaisiin tehdä luotettavia tarkistuksia ja mittauksia, täytyy komponenttien olla täysin puhtaita. Arkojen kappaleiden asennus vaatii tarkkuutta ja puhtaita osia. Näin voidaan taata tuotteille pitkä käyttöikä. Ultraäänitekniikka tarjoaa pesuratkaisun, joka on hinnallisestikin kilpailukykyinen muihin menetelmiin verrattuna.

## 9.2. Sampo-Rosenlew Oy:n ratkaisuvaihtoehto /8

Tässä kappaleessa esitellään tarkemmin Sampo-Rosenlew Oy:n ratkaisuvaihtoehto. Jatkossa Sampo-Rosenlew Oy:n ratkaisuvaihtoehtoa arvioitaessa, kyseistä ratkaisuvaihtoehtoa käsitellään merkinnällä vaihtoehtoratkaisu B.

### Pesuprosessi

Koneessa pesu suoritetaan kaksivaiheisena pesuprosessina. Ensimmäisessä vaiheessa kone käyttää pesunestettä säiliöstä 1 ja toisessa vaiheessa kone käyttää huuhteluun nestettä säiliöstä 2.

Pesukonetta käytetään käyttöpaneelissa olevien painikkeiden, kytkimien ja näytön avulla. Näytön avulla käyttäjä voi ohjelmoida 3 erilaista pesuohjelmaa. Näytöltä voidaan suorittaa myös tiettyjä käsiohjauksia, kuten valumisventtiilien avaaminen. Näyttö toimii myös koneen vikadiagnostiikan päätteenä, sisältäen selväkieliset hälytysviestit.

Telat nostetaan siltanosturilla pesukammioon sivulle aukeavan katon kautta. Pesuprosessi suoritetaan suuttimilla varustetulla edestakaisin liikkuvalla suihkuputkistolla, joka suihkuttaa kuumaa (n. 50° C) pesunestettä osien päälle voimakkaalla mekaanisella teholla.

Koneen kapasiteetti on n. 0,5-2 pesuprosessia tunnissa pesuohjelmasta ja likaisuusasteesta riippuen. Prosessin höyry poistetaan kammioista höyrynpoistimurilla.

Prosessin kesto aika	1 h 30 min
Lastaus ja purku	15 min
Vaihe 1	45 min
Vaihe 2	15 min
Valumisaika	2 x 5 min
Höyrynpisto	4 min

Prosessiajat ovat suuntaa antavia ja niitä voidaan muuttaa koneen näytöltä.

#### Pesukoneen ja pestävien teknisiä tietoja

Pesukoneen päämitat, mm		SR2,0-2
Rungon leveys		4000
Leveys luukku auki		5500
Aukon leveys		2500
Syvyys, pesukone		14200
Korkeus		3800
Paino tyhjänä, kg		8000
Kappaleen maksimitat, mm		
Pituus		12500
Halkaisija		1500
Paino		80tn
Lämmitysteho, kW,	säiliö 1	96
	säiliö 2	72
Nestesäiliön tilavuus, l,	säiliö 1	5000
	säiliö 2	4000
Suodatinkorit, kpl,	säiliö 1	8
	säiliö 2	6
Pesulämpötila, °C		50

Pumpun	virtaus, l/min, säiliö 1	1800
	säiliö 2	1200
	paine, Bar, säiliö 1	7
	säiliö 2	3
	teho, kW, säiliö 1	44
	säiliö 2	18
Suuttimet, kpl		120
Liityntäteho, kW		225
Käyttö	jännite, V	3x400
	taajuus, Hz	50
Melutaso, dBA		75
Höyryimuri		AF-3

#### Pesukoneen rakenne ja toimintaperiaate

Koneessa on kaksi nestesäiliötä. Neste pumpataan keskipakopumpulla suuttimilla varustettuun suihkuputkistoon. Pesukammioista neste valuu takaisin säiliöön valumisventtiilien ja suodatinkorien kautta.

Nesteiden vaihtoa ja säiliöiden puhdistamista varten säiliöiden pohja on kallistettu suodatinosaa kohti. Suodatinosissa on tyhjennysventtiili (DN50) ja puhdistusluukku (185 x 240 mm). Säiliöt on erotettu toisistaan yksinkertaisella väliseinällä, jota ei ole eristetty.

Neste lämmitetään sähkövastuksilla. Vastusten vaihtaminen käy tyhjentämällä säiliöitä. Lämmitystä ohjataan näytöltä Käsi – O – Auto (=viikkokello-ohjaus) valinnaisesti. Lämpötila asetetaan käyttöpaneelissa olevilla lämpötilan säätimillä.

Pesupumpun siipipyörä ja akseli ovat ruostumatonta terästä ja akselitiiviste on EPDM-/hiili-/keraamitiiviste. Pumpun imupuolella on sulkuventtiili, jotta akselitiivisteen vaihtaminen käy tyhjentämättä säiliötä. Pumppujen painepuolella on automaattiventtiilit ohjaamassa virtausta.

Suodatinosassa on valumisventtiilit, joiden kautta neste valuu takaisin oikeaan säiliöön. Valumisventtiilit ovat lautasventtiileitä, jotka avataan ja suljetaan paineilmasylindereillä.

Pesuneste valuu takaisin nestesäiliöön irrotettavien suodatinkorien läpi. Suodatinkorit ovat suodatinosassa pesukammion vieressä. Suodattimet ovat lukittavan huoltoluukun alla.

Suodatinkorissa on jousikahva, jolloin huoltoluukku painaa suodatinkorin tiiviisti välipohjaan. Tällöin lastut ym. eivät pääse suodatinkorin ohitse. Suodatinkorit on valmistettu ruostumattomasta teräksestä.

Kone varustetaan höyrynpoistoimurilla, joka poistaa höyryn pesukammioista pesuprosessin jälkeen. Kun ovi avataan, käynnistyy imuri ja käy 1-2 minuuttia.

Höyry johdetaan suoraan ulkoilmaan. Puhaltimesta johtavan kanavan tulee olla vesitiivis (ei kierresaumakanava). Puhaltimen painepuolella oleva kanava ei sisälly hintaan.

Jokaisessa säiliössä on pintakytkin, joka kytkee pois päältä lämmityksen ja pumpun nestepinnan pudotessa kytkimen rajan alapuolelle. Tällöin tulee myös hälytys.

Säiliön vedentäyttö tapahtuu automaattisesti paineilmatoimisen vinoistukkaventtiilin kautta, jota 3-raja pintakytkin ohjaa. Säiliötä ei täytetä prosessin aikana.

Raja 1. Alhainen pinta.

– nestepinnan pudottua rajan alapuolelle kytkeytyvät pumpu ja lämmitys pois ja saadaan hälytys

Raja 2. Automaattinen täyttöpinta

– Nestepinnan pudottua rajan alapuolelle, venttiili avautuu ja täyttö alkaa. Kun nestepinta nousee rajan yläpuolelle, venttiili sulkeutuu.



- Raja 3. Korkea pinta
- Täyttöventtiili sulkeutuu.
  - Prosessi pysähtyy ja saadaan hälytys.

Kaskaditäyttö täyttää pesukoneen nestesäiliöt lopusta alkuun päin (huuhtelusta pesuun). Täyttö toimii vain pesun aikana. Automaattitäyttö ja kaskaditäyttö toimivat pintavahtien ohjaamina. Säiliön nestepinnan laskiessa pintavahdin keskimmaiselle rajalle suoritetaan kaskaditäyttö. Nestettä tarvitsevan säiliön valumisventtiili avautuu seuraavan vaiheen aikana ja pysyy auki, kunnes säiliön nestepinta on noussut pintavahdin keskimmaisen rajan yläpuolelle. Viimeinen säiliö täytetään puhtaalla vedellä.

Kaskaditäyttö toimii vain, kun kaikissa säiliöissä on nestettä yli pintavahdin alimman rajan. Nesteiden vaihtoa seuraava täyttö tehdään AT-2:n avulla valitsemalla vääntökytkimellä perustäyttö.

Edestakaisin liikkuva suihkuputkisto koostuu kahdesta kehästä kappaleen yläpuolella ja kahdesta alapuolella. Putkistossa on suuttimia kappaleen ympäri ympyrän kaarella. Putkistoja liikutetaan vaihdemoottorilla hammastangon välityksellä. Kaikki putket liikkuvat toisistaan riippumatta. Putkien kotiasemat ovat pesukammioiden vastakkaisissa päissä. Suihkuputket ja suuttimet voidaan irrottaa huoltoa ja puhdistusta varten.

Koneen katto on koneellisesti sivulle liukuva luukku. Luukku toimii sähkömoottorikäytöllä. Luukun tullessa kiinniasemaan se tiivistyy automaattisesti koneen seinää vasten. Luukku suljetaan ja avataan käyttöpaneelissa olevilla painonapeilla.

Prosessin päätyttyä luukku avautuu ensin höyrynpoistoasentoon, jolloin imuri käynnistyy. Höyrynpoistoprosessin päätyttyä luukku avautuu kokonaan.

Koneen kammion kyljessä on käyntiovi, josta pääsee pesukammion sisäpuolelle. Pesukammiossa on kulkuritulät reunoilla.

Koneen kammiossa on pitkittäiset palkit, joiden päälle pesukappaleet voidaan tukea. Pesukappaleet nostetaan siltanosturilla pesukoneen sisään palkkien päälle.

Pesukoneen sähkökeskus sijaitsee koneen seinällä. Sähkökeskuksen pääty toimii käyttöpaneelina ja siihen on sijoitettu painonapit, kytkimet, säätimet ja näyttö.

Pesulaite vaatii 6-8 bar, kuivaa, suodatettua ja öljyämätöntä paineilmaa. Laitteen paineilmankulutus on pientä, sillä venttiilit ja sylinterikäytöt vaativat ajoittain vain pieniä määriä paineilmaa. Valutusaikana eli pesun ja huuhtelun välissä sekä huuhtelun jälkeen on paineilman hetkellinen kulutus maksimaalista n. 15 - 20 s. ajan, n. 0,1 - 0,2 m<sup>3</sup> /s.

Pesulaite tarvitsee toimiakseen normaali verkkopaineista vettä, jota kuluu joka pesukerralla lähinnä vain höyrynpöistön yhteydessä. Näin isossa koneessa se saattaa olla 100 l / pesukerta. Vedentarve riippuu lähinnä höyrynpöistön voimakkuudesta ja käytettävän pesunesteen lämpötilasta.

Pesulaite tarvitsee viemärointiä lähinnä, kun pesunesteitä vaihdetaan koneeseen. Koneessa on 2" tyhjennysventtiilit, joista nesteet saa päästettyä pois. Lisävarusteena on saatavissa myös tyhjennyspumppu. Jos tehtaalla on oma jätevedenkäsittely, niin usein asiakas yhdistää tyhjennysventtiilit sinne johtavaan viemäriin. Jos jätevedet toimitetaan ongelmajätelaitokselle säiliöautolla, niin usein tyhjennys tapahtuu niin että säiliöauto imee suoraan säiliöistä. Joka tapauksessa on hyvä olla jonkinlainen lattiakaivo, kun pesunesteet on tyhjennetty, niin säiliötä puhdistettaessa puhdistusluukut auki on vesi johdettava jonnekin.

Pesulaitteen sähköntarve on 3 x 400V, 50 Hz on normaali mitä käytetään. 5-johdin syöttö 3 vaihetta, nolla ja maa. Muunlaiset sovittaa erikseen.

Pesulaite voi sijaita lattialla, jos pesuhallissa on korkeutta niin, että nosturi saa lastattua. Tässä tapauksessa n. 1,2 - 1,4 m syvä monttu kooltaan 15x6 m voisi olla aika hyvä. Tällöin käynti ovesta pesukammion sisään olisi suurin piirtein lattiatasosta. Lattian kantavuus pitää olla riittävä. Koneen oma massa on n. 5000 kg ja pesunestettä on 9000 l eli yhteensä n. 15 000 kg. Tämä paino välittyy lattiaan lähinnä koneen rungon reunojen kautta n. 100 mm:n leveydeltä. Kappale tuetaan palkkien päällä oleville v-urille.

Palkit tuetaan koneen pohjan läpi lattiaan. Eli näihin kohtiin tulee kuormaa n. 0,3 x 0,5 x telan massa riippuen telan pituudesta.

#### 9.4 Teijo Pesukoneet Oy:n ratkaisuvaihtoehto /9

Tässä kappaleessa esitellään tarkemmin Teijo Pesukoneet Oy:n ratkaisuvaihtoehto. Pesukone on toimintaratkaisultaan 1-vaiheista painepesutekniikkaa käyttävä tela-pesukone. Jatkossa Teijo Pesukoneet Oy:n ratkaisuvaihtoehtoa arvioitaessa, kyseistä ratkaisuvaihtoehtoa käsitellään merkinnällä vaihtoehtoratkaisu C.

#### Pesukoneen mitat ja tekniset tiedot

Mitat:	16200x3600x7000
Koneen paino:	n. 15 000 kg
Koneen runkomateriaali:	AISI 304
Raskaat rakenteet:	Fe
Vuorauspelti:	AISI 304, hiottu levy
Pestävän telan max. mitat:	
Pituus:	12 m
Halkaisija:	1,8 m
Paino:	80 tn
Säiliön tilavuus:	n.10 000 l
Lämmitysteho:	220 kW
Pumpun tuotto:	n. 1000 l/min
Paine:	n. 500 kPa
Moottori:	11 kW
Jännite:	3 x 400 V, 50 Hz
Ohjausjännite:	24 V DC
Liitäntäteho:	n. 230 kW

## Pesukoneen toiminta

Tela nostetaan pesukoneeseen, luukku suljetaan ja pesu käynnistetään. Pesun aikana suihkuputki liikkuu edestakaisin suihkuttaen kuumaa pesuliuosta pestävään telaan. Pesuneste valuu suodatinkorien kautta takaisin säiliöön, nesteellä on suljettu kierto. Ohjelmoitavan pesun jälkeen seuraa höyrynpisto, jonka jälkeen luukku aukeaa automaattisesti.

## 9.5 Idea Machine Oy:n ratkaisuvaihtoehto /10

Tässä kappaleessa esitellään tarkemmin Idea Machine Oy:n ratkaisuvaihtoehto. Pesukone on toimintaratkaisultaan 2-vaiheista painepesutekniikkaa käyttävä tela-pesukone. Jatkossa Finnsonic Oy:n ratkaisuvaihtoehtoa arvioitaessa, kyseistä ratkaisuvaihtoehtoa käsitellään merkinnällä vaihtoehtoratkaisu D.

## Pesulaitteen ohjaus ja pesuohjelmat

Pesulaitteen ohjaus tapahtuu Digital GLC100L ohjelmoitavan käyttöliittymän avulla. Ohjelmointi suoritetaan ohjaavan, joustavan ja vuorovaikutteisen kosketusnäytön kautta.

Ohjauspaneelissa on käyttöliittymä Siemens M20 GSM-modeemille, joka mahdollistaa koneen kauko-ohjaustoiminnot. Ohjauspaneelissa löytyy kahdeksan pikavalintaista ja uudelleenmuunneltavaa pesuohjelmaa. Ohjauspaneelissa on lisäksi valmius printteliitännälle.

## Rakenne, mitat ja varusteet

Pesusäiliöiden T1 ja T2 sähkölämmitys on termostaattiohjattu ja lämmityksen ohjaus tapahtuu kosketusnäytön avulla. Kosketusnäytön kautta ohjataan myös pesulaitteen valaistusta sekä kannen ja huolto-ovien toimintaa.

Ruiskutuspumppun kuivakäyttö on estetty liian alhaisen nestepinnan indikaattoreilla pesunestesäiliöissä. Laite täyttää automaattisesti pesunestesäiliöitä verkostovedellä ja automaattinen täyttötoiminto on suojattu ylitäytön varalta ylipintaindikaattorilla.

Pesusäiliöiden automaattinen täyttö tapahtuu 1,1 kW Lowara-pumpulla, jonka tuotto on n. 100 l/min. Pumpua voidaan käyttää myös tyhjennuspumpuna. Pumpussa on automaattinen alipaineohjaus ruiskutuksen alussa.

Pesukoneessa on moottorikäyttöinen, ketjuvälitteinen 2-osainen kehämallinen suihku-putkisto. Suihkuputkiston liikutus tapahtuu taajuusmuuttajakäyttöisellä sähkömoottorilla ja suihkuputkiston liikettä mittaa automaattinen asematunnistus. Suihkuputkistossa on kohdistettavat ruostumattomat korkeapainepesusuuttimet. Suihkuputkiston pesupumpuna toimii 11 kW Lowara-pumppu, joka tuottaa 3,6 bar paineen ja 900 l/min virtauksen.

Pesutilassa sijaitsee kolme paineilmatoimista automaattista valumisventtiiliä, kaksi vedelle ja yksi öljyiselle vedelle. Pesutilan kannen aukaisu tapahtuu kuuden hydraulitoimisen sylinterin avulla. Manuaalisesti tapahtuvaa sisäpesua varten pesutilassa sijaitsee ruostumaton, monijuoksupyöräinen 4 kW Lowara-pumppu. Pumppu tuottaa n. 20 bar pesupaineen ja n. 100 l/min virtauksen. Kaikki pesutilan paineletkut on koteloitu lattiakanaaliin. Pesutilassa on lisäksi ohjattava valaistus.

Pesukoneeseen kuuluu kiinteä, 2-osainen 1000 l jätevesisäiliö, jossa sijaitsee nauhaöljynerotin. Öljynerotin on varustettu pinnanmittauksella ja tyhjennysventtiilillä. Tyhjennysventtiilistä siirtopumppu siirtää jäteöljyn erilliseen esim. 200 l jäteöljytynnynriin. Erillisen jäteöljyastian täyttymistä voidaan seurata säädettävällä aikahälytyksellä jäteöljyastian tilavuuden mukaisesti.

Pesunestesäiliöt ovat tilavuuksiltaan 3400 l (T1) ja 3200 l (T2). Pesunestesäiliöt on varustettu magneettirajakatkaisijatoimisilla tyhjennysventtiileillä ja molemmissa säiliöissä on sakkaluukut. Molempien säiliöiden yläkannessa on lisäksi kaksi kappaletta 400 x 400 mm huoltoluukkuja.

Kammion sisärunko- ja kehysrakenteet on valmistettu ruostumattomasta teräksestä.

Kammion seinät on lämpö- ja äänieristetty 100 mm Paroc-elementeillä. Kammion sisäseinät ovat HST-levyä ja ulkopuoli valkoista PE-pinnoitettua teräslevyä (RR20).

Rungon ulkomitat:

- Korkeus n. 2800 mm (kansi auki 5900 mm)
- Leveys 3465 mm
- Pituus 15000 mm

Pesukemikaalien annostelu tapahtuu automaattisella Etatron HD-MA 20–05 kemikaalipumpulla. Pumpun ohjelmointi tapahtuu kosketusnäytön avulla. Annostelupumppu syöttää pesukemikaaleja pesusäiliöihin T1 ja T2.

Pesulaitteessa on automaattinen kiekkoöljynerotin (säiliössä T1, huoltoluukulla), jonka tarkoituksena on suodattaa pesunesteen joukosta pois emulgoituneet rasvat ja hiilivedyt (liottimet). Öljynerottimeen kuuluu vaihdettavia suodatinpatruunoita (laitteen ulkopuolella 4 kpl gravitaatiosuodattimia), joiden kapasiteetti on 38 kg. Suodatus tapahtuu omalla ruostumattomasta teräksestä valmistetulla 1,1 kW Lowara-pumpulla, jonka tuotto on n. 80 l/min.

Laitteen tyhjennykseen on Ebara Best-3 tyhjennyspumppu, joka on ruostumaton ja epäpuhtauksia salliva pumppu. Pumppua käytetään pesumontun tyhjennykseen ja se on varustettu kuivakäynniltä pintakytkimeltä.

Pesulaite on varustettu sisäisellä 27 kW kiertoilmakuivausyksiköllä, joka on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Kuivaus alkaa automaattisesti höyrynpöiston jälkeen, jolloin kammion sisälämpötilaksi asetetaan 70–80 °C n. 30 minuutin ajaksi. Pesulaitteen höyrynpöisto tapahtuu automaattisten, ruostumattomien höyrynpöisto-imureiden avulla (2 kpl).

Laitteen pesukapasiteetti on ohjelmoitavissa kosketusnäytön avulla. Tahtiaika on ilman kuivausta yleensä n. 45 minuuttia ilman kuivausta.

Laite tarvitsee toimiakseen alla olevan mukaiset liitännät:

– Sähkö	400/230 V 50 Hz, 120 A
– Paineilma	6 - 10 bar R 3/8”
– Vesi	2 - 8 bar R 3/4”
– Ilmastointi	315 mm putki (2 kpl)
– Jäteöljy	R 1 1/2”
– Tyhjennysventtiili	R 1 1/2” (4 kpl)

## 10 RATKAISUMENETELMIEN PISTEARVIOINTI /11

Seuraavassa työaskeleessa on arvosteltava periaatteellisiksi ratkaisumuunnelmiksi (periaateratkaisuiksi) konkretisoidut ratkaisuehdotukset, jotta saataisiin objektiivinen peruste päätöksenteolle. Tätä varten on kehitetty pistearviointimenetelmä. Nämä on laadittu siten, että ne eivät sovi vain käsiteltävinä olevien luonnosten valintapäätökseen vaan myös yleisesti ratkaisuvaihtoehtojen arvosteluun kaikissa konstruktiovaiheissa.

### 10.1 Perusteet pistearviointimenetelmälle

Pistearvioinnin pitää ilmoittaa ratkaisun ”arvo” tai ”hyöty” tai ”vahvuus” ennalta asetettuun tavoitteeseen nähden. Tavoitteen asettaminen on ehdottoman välttämätöntä, koska ratkaisun arvo ei voi olla absoluuttinen, vaan sitä on aina verrattava tiettyihin vaatimuksiin. Pistearviointi johtaa ratkaisumuunnelmien keskinäiseen vertailuun tai jos muunnelmia verrataan kuviteltuun ideaaliratkaisuun, ”arvostukseen”, joka ilmaisee, miten suurelta osalta tätä ideaalia on saavutettu.

Pistearviointi ei saa perustua vain pistemäisiin osanäkökohtiin, vaan siinä täytyy oikeassa suhteessa ottaa huomioon yleisten tavoitteiden mukaisesti (Liite 1) kaikki vaikuttavat seikat.

Sen vuoksi tarvitaan menetelmiä, joilla laajempi arviointi on mahdollista. Niissä otetaan huomioon monia tavoitteita (tehtävänmukaisia vaatimuksia ja yleisiä ehtoja) ja niitä tyydyttäviä ominaisuuksia. Menetelmillä ei pidä rajoittua käsittelemään vain ratkaisumuunnelmien kvantitatiivisesti tunnettuja ominaisuuksia. Niiden pitää soveltua

myös kvalitatiivisiin ominaisuuksiin, jotta niitä voitaisiin käyttää myös luonnosteluvaiheessa, jossa konkretisoitumisaste on alhainen ja vastaavasti tiedot tulevasta tuotteesta ovat puutteellisia. Kuitenkin tuloksilla on pystyttävä riittävän hyvin ennustamaan. Edelleen vaaditaan, että menetelmät eivät ole liian työläitä ja että tulokset ovat systeemitekniikan hyötyarvoanalyysi (Nutzwertanalyse, NWA) ja ohjeiston VDI 2225 (VDI-Richtlinie 2225: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Düsseldorf VDI-Verlag 1977.) mukainen teknillis-taloudellinen arviointi, jonka perusteet Kesselring on kehittänyt (Kesselring, F: Bewertung von Konstruktionen, ein Mittel zur Steuerung von Konstruktionsarbeit. Düsseldorf: VDI-Verlag 1983.).

Seuraavassa esitetään pistearvioinnin periaatteellinen suorittaminen ja selvitetään hyötyarvoanalyysin ja ohjeiston Richtlinie VDI 2225 menettelytapojen ja käsitteistön eroavaisuuksia. Lopuksi vertaillaan molempia menetelmiä keskenään.

#### Arviointikriteerin muodostaminen

Pistearvioinnin ensimmäinen askel on selvittää asetetut tai kuvitellut tavoitteet. Näistä arviointikriteerit voidaan johtaa ratkaisumuunnelmien arviointia varten. Tavoitteet ilmenevät teknisissä tehtävissä ennen kaikkea vaatimuslistasta ja yleisistä ehdoista (Liite 1), jotka usein selvenevät vasta ratkaisun etsimisen myötä.

Tavoitemielikuvassa on yleensä monia tavoitteita, joissa on mitä erilaisimpia teknisiä, taloudellisia ja turvallisuusteknisiä näkökohtia. Näiden lisäksi tavoitteet voivat olla keskenään eriarvoisia.

Tavoitteenasettelussa seuraavien edellytysten pitää täytyä mahdollisimman hyvin:

- Tavoitteiden tulee sisältää mahdollisimman *täydellisesti* kyseiseen päätöksentekoon vaikuttavat vaatimukset ja yleiset ehdot, jotta arvioinnissa ei jäisi mikään oleellinen näkökohta huomioonottamatta.
- Yksittäisten tavoitteiden, joiden mukaan on arvioitava, pitää olla varsin *riippumattomia* toisistaan, so. toimenpiteet, joilla muunnelman arvoa kohotetaan johonkin tavoitteeseen nähden, ne eivät saa vaikuttaa muiden näkökohtien mukaan määräytyviin arvoihin.

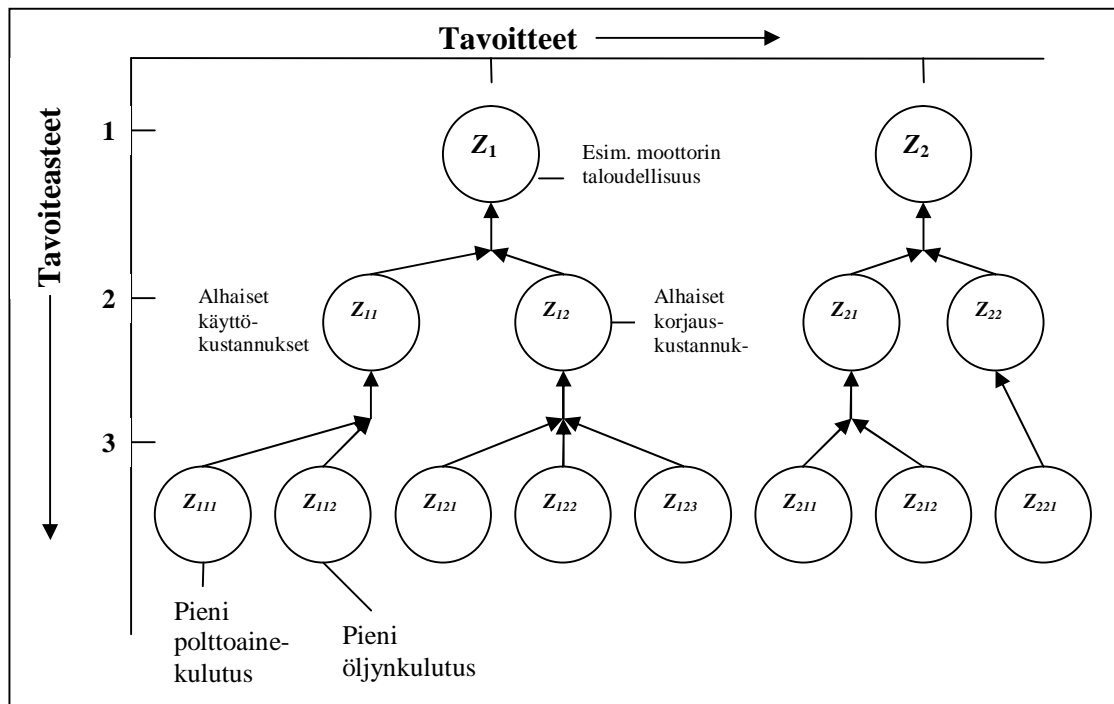


- Arvioitavan järjestelmän tavoiteltavat ominaisuudet pitäisi voida kohtuullisella tiedonhankinnalla konkreettisesti ilmoittaa, mieluummin *kvantitatiivisesti*, mutta ainakin sanallisesti eli *kvalitatiivisesti*.

Tällaisten tavoitteiden laatimiseen vaikuttaa suuresti kyseessä olevan arvioinnin tarkoitus eli tuotteen konstruktiovaihe ja uutuusaste.

*Arviointikriteerit* voidaan johtaa suoraan ilmoitetuista tavoitteista. Kaikkien kriteerien pitää olla positiivisesti muotoiltuja, jotta ne voidaan suhteuttaa myöhempään arvoasteikkoon. Niillä tulee siis olla yhtenäinen arvosuunta: esim. ”meluttomuus” eikä ”äänekkyyttä”; ”hyötysuhde” eikä ”häviöiden määrä”; ”huollosta riippumattomuus” eikä ”huollon tarve”.

Hyötyarvoanalyysi systematisoi tämän työaskeleen esittelemällä tavoitejärjestelmän, joka jäsentää yksittäiset tavoitteet hierarkkisesti osatavoitteiksi pystysuoraan alenevan monimutkaisuuden mukaan ja vaakasuoraan erilaisten tavoitealueiden, esim. teknisten ja taloudellisten tai erilailla merkityksellisten tavoitteiden mukaan (pää- ja sivutavoitteet) (Kuva 3). Toivotun riippumattomuuden vuoksi ylemmän tavoiteasteen osatavoitteet saavat olla sidoksissa vain lähinnä alemman asteen tavoitteen kanssa. Tämä hierarkkinen järjestys auttaa suunnittelijaa huomaamaan, onko hän ottanut huomioon kaikki päätöksentekoon vaikuttavat osatavoitteet. Edelleen se helpottaa osatavoitteiden merkityksen arviointia pitäen silmällä arvioitavien ratkaisujen kokonaisarvoa. Kompleksisuudeltaan vähäisemmän tavoiteasteen osatavoitteista voidaan sitten johtaa arviointikriteerit, joita nimitetään hyötyarvoanalyysissä myös tavoitekriteereiksi.



Kuva 3. Tavoitejärjestelmän rakenne

Ohjeisto VDI 2225 tätä vastoin ei muodosta arviointikriteereille mitään hierarkkista järjestystä, vaan johtaa kriteerit vähimmäisvaatimuksista ja toivomuksista sekä yleisten teknisten ominaisuuksien luettelosta (Liite 2).

### Painotusten vaikutus kokonaisarvoon

Arviointikriteerien määräämisessä on välttämätöntä, että niiden merkityksellisyys (painoarvo) tunnetaan ratkaisun kokonaisarvoa määritettäessä, jotta jo ennen varsinaista arviointia voitaisiin tarvittaessa jättää pois merkityksettömät arviointikriteerit. Jäljelle eri suuresta merkityksellisyydestä huolimatta jätetyt arviointikriteerit varustetaan ”painokertoimilla”, jotka sitten myöhemmässä arvioinnissa otetaan huomioon. Painokerroin on reaalinen, positiivinen luku. Se ilmoittaa arviointikriteerin (tavoitteen) merkityksellisyyden toisiin verrattuna.

On ehdotettu, että tällaiset painotukset liitettäisiin jo vaatimuslistan toivomuksiin. Se näyttää kuitenkin vain silloin tarkoituksenmukaiselta, kun jo vaatimuslistaa laadittaessa voidaan toivomukset panna tärkeysjärjestykseen. Sellainen järjestäminen ei kuitenkaan usein ole mahdollista näin varhaisessa vaiheessa, sillä kokemuksen mukaan osa

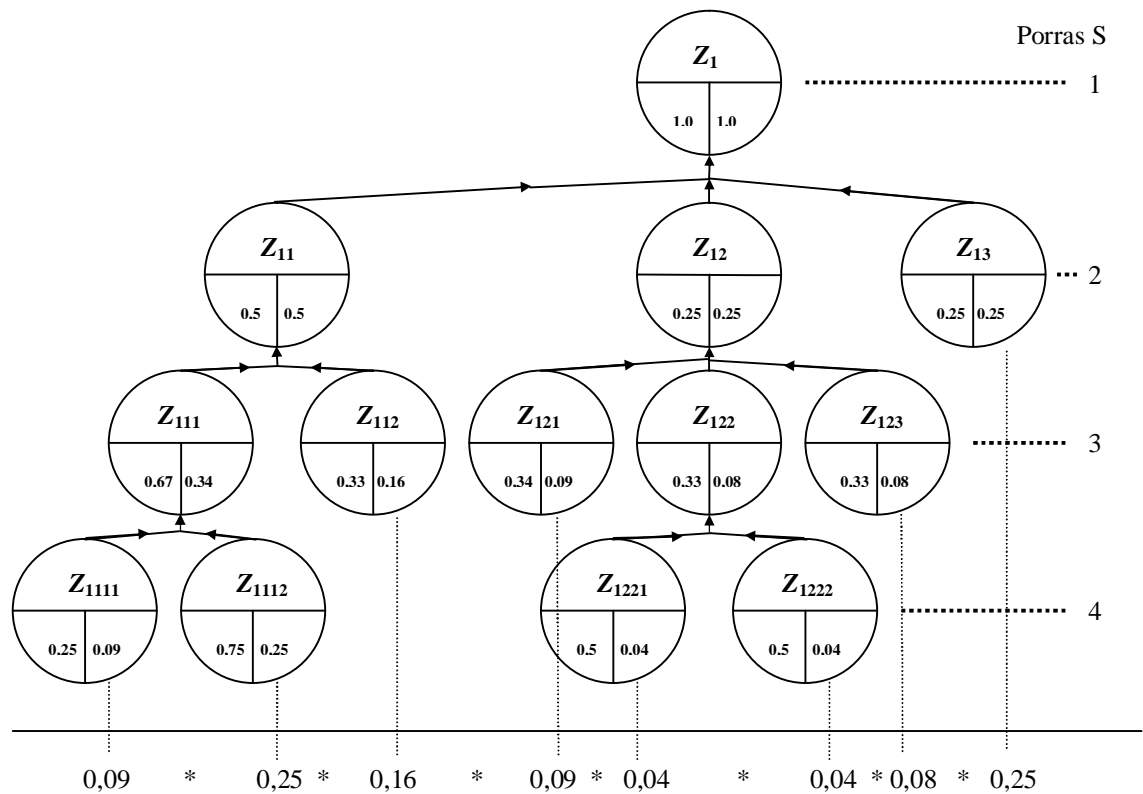
arviointikriteereistä selviää vasta ratkaisukehittelyn mukana, ja ne voivat muuttua merkitykseltään toisiinsa verrattuna. Asiaa helpottaa kuitenkin, jos jo vaatimuslistaa laadittaessa arvioidaan toivomusten merkityksellisyys, koska tällöin yleensä voidaan käyttää tarvittavaa asiantuntemusta.

Hyötyarvoanalyysissä punnitus tehdään käyttämällä kertoimia 0:sta 1:een (tai 0...100). Tällöin pitää kaikkien arviointikriteerien (alimman monimutkaisuustason osatavoitteiden) summan olla 1 (tai 100), jotta saataisiin aikaan osatavoitteiden keskinäinen prosentuaalinen painotus. Tavoitejärjestelmän graafinen esittäminen helpottaa tällaista painottamista.

Tämän menettelytavan periaate esitetään kuvassa 4. Esimerkissä tavoitteet on järjestetty neljään tavoiteasteeseen alenevan monimutkaisuuden mukaan, ja ne on varustettu painokertoimilla. Ne arvioidaan portaittain alkaen ylemmän monimutkaisuusasteen tavoitetasolta ja jatkuen seuraavalle alemmalle tavoitetasolle. Niinpä painotetaan ensiksi kolme toisen asteen osatavoitetta  $Z_{11}$ ,  $Z_{12}$ ,  $Z_{13}$  tavoitteen  $Z_1$  suhteen, tässä tapauksessa kertoimilla 0,5, 0,25 ja 0,25. Jokaisen tavoiteasteen painokertoimien summa vaakasuorassa suunnassa on aina  $\sum g_i = 1,0$ . Tämän jälkeen punnitaan 3. asteen tavoitteet toiseen asteen osatavoitteisiin  $Z_{111}$  ja  $Z_{112}$  merkityksellisyys korkeampaan  $Z_{11}$  nähden osuuksiksi 0,67 ja 0,33. Samoin menetellään muidenkin tavoitteiden kanssa. Tietyn asteen jokaisen tavoitteen painokerroin tavoitteeseen  $Z_1$  nähden saadaan sitten kertomalla tämän asteen painokerroin ylempien asteiden painokertoimilla, näin on esimerkiksi osatavoitteella  $Z_{1111}$  seuraavan, lähinnä korkeamman asteen osatavoitteeseen  $Z_{111}$  nähden painokerroin 0,25 ja kokonaistavoitteeseen  $Z_1$  nähden painokerroin

$$0,25 \times 0,67 \times 0,5 \times 1 = 0,09$$

Tällainen asteittainen painotus antaa yleensä todenmukaisen porrastuksen, koska on helpompaa punnita kahta tai kolmea osatavoitetta vastaavaan ylätavoitteeseen verrattuna kuin punnita kaikkia jonkin tavoiteasteen osatavoitteita keskenään varsinkin, jos on kysymys alimmista tavoiteasteista.



Kuva 4. Tavoitesysteemin tavoitteiden painokertoimien portaittainen määrittäminen

Meneteltäessä ohjeiston VDI 2225 mukaan yritetään ensiksi ilman punnitusta määrittää suunnilleen samanarvoiset arviointikriteerit. Vain silloin kun merkitykset ovat hyvin erilaisia, käytetään myös painokertoimia (esim. 2 tai 3 kertaa tärkeämpi). Kesselring, Lowka (Lowka. D.: Methoden zur Entscheidungsfindung im Konstruktionsprozeß. FeinteFeinwerktechnik un Maßtechnik 83, 1975) ja Stahl (Stahl. U.: Überlegungen zum Einfluß der Gewichtung bei der Bewertung von Alternativen. Konstruktion 28, 1976) ovat tutkineet sellaisten painokertoimien vaikutusta ratkaisun kokonaisarvoon. Heidän mukaansa vaikutus on silloin merkittävä, kun arvioitavilla muunnelmilla on hyvin erilaisia ominaisuuksia ja kun vastaavat arviointikriteerit ovat hyvin tärkeitä.

#### Ominaisuureiden määrittäminen

Arviointikriteerien ja niiden merkityksen määrittämisen jälkeen seuraavassa työaskeleessa järjestetään arvioitavien ratkaisumuunnelmien tunnetut tai analyysillä selvitetty ominaisuuret vastaamaan arviointikriteerejä. Ominaisuuret voivat olla numeerisia tunnuslukuja, tai jos se ei ole mahdollista, sanallisia, mahdollisimman konkreettisia määrittelyjä. On osoittautunut varsin tarkoituksenmukaiseksi järjestää nämä ominais-

suureet arviointikriteerien kanssa arviointilistaan ennen varsinaista arviointia. Liitteessä 3 on esitetty sellainen lista, jonka jokaiselle muunnelpalstalle on aluksi viety arviointikriteereihin liittyvät tai nämä täyttävät ominaisuudet. Esimerkkejä ovat eräät polttomoottoreihin liittyvät tai nämä täyttävät ominaisuudet. Huomataan, että arviointikriteerit ja ominaisuudet voidaan, varsinkin sanallisessa ilmaisussa, muotoilla samalla tavalla.

Puhutaan myös ”objektiivisesta askeleesta”, joka käy arvioinnin ”subjektiivisen askeleen” edellä. Hyötyarvoanalyysissä nimitetään näitä ominaisuuksia tavoitesuureiksi, ja ne esitetään yhdessä arviointikriteerien (tavoitekriteerien) kanssa erityisessä tavoitesuurematriisissa.

#### Arviointi arvokäsityksen mukaan

Seuraavassa työaskeleessa tehdään nyt varsinainen arviointi. ”Arvot” saadaan aikaisemmin määrätystä ominaisuudesta vertailemalla niitä arvioijan arvokäsityksiin. Sellaiset arvokäsitykset ovat enemmän tai vähemmän subjektiivisesti väritettyjä, mikä vuoksi puhutaan myös ”subjektiivisesta askeleesta”.

Arvokäsitykset ilmaistaan antamalla pisteitä. Hyötyarvoanalyysissä käytetään suurta arvospektriä 0 – 10, ohjeisto VDI 2225:ssä taas pienempää 0-4 pistettä (Kuva 5). Suuren arvospektrin 0 – 10 puolesta puhuu se, että kokemuksen mukaan kymmenjärjestelmän käyttö siihen liittyvien prosenttimielikuvien ansiosta helpottaa rinnastuksia ja niihin liittyviä punnituksia. Pienen arvoasteikon puolesta puhuu taas se tosiasia, että kun muunnelmien ominaisuudet tunnetaan usein riittämättömästi, karkea arviointi riittää ja on jopa ainoa mielekäs. Arviointi perustuu tällöin yksinkertaisiin asteisiin:

- paljon keskitason alapuolella
- keskitason alapuolella
- keskitasoa
- keskitason yläpuolella
- paljon keskitason yläpuolella

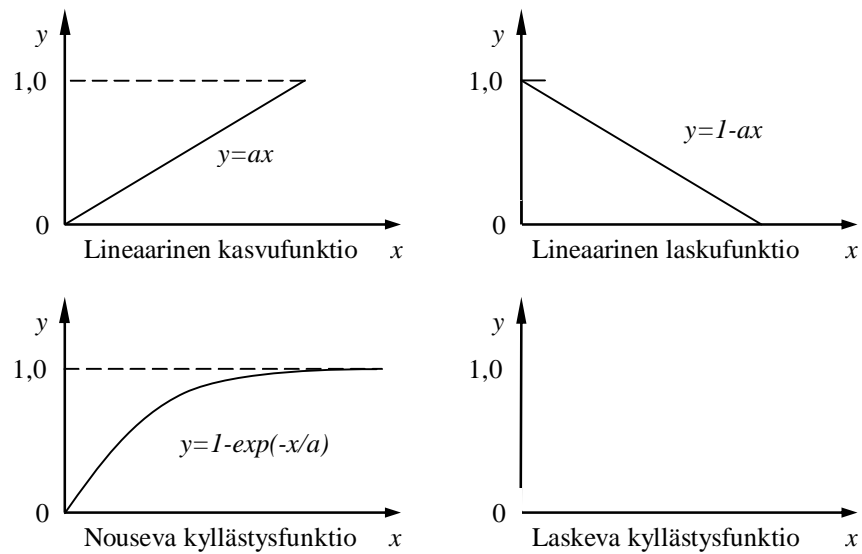
On hyödyllistä hakea kunkin arviointikriteerin kohdalla ensin ne muunnelmat, joiden vastaava ominaisuus on erittäin hyvä ja erittäin huono ja antaa näille vastaavat pisteet.

Pisteiden ääriarvoja 0 – 4 tai 0 – 10 pitäisi kuitenkin käyttää vain silloin, kun ominaisuudet todella ovat äärimmäisiä, eli kelpaamaton on 0 ja ihanteellinen on 4 tai 10. Näiden ääritapausten tarkastelun jälkeen muut muunnelmat voidaan suhteellinen helposti arvioida.

<b>Arvoasteikko</b>			
Hyötyarvoanalyysi		Ohjeisto VDI 2225	
pist.	merkityksellisyys	pist.	merkityksellisyys
0	täysin käyttökelvoton ratkaisu	0	epätyydyttävä
1	hyvin puutteellinen ratkaisu		
2	heikko ratkaisu	1	vielä juuri siedettävä
3	siedettävä ratkaisu		
4	riittävä ratkaisu	2	riittävä
5	tyyydyttävä ratkaisu		
6	hyvä ratkaisu pienin puuttein	3	hyvä
7	hyvä ratkaisu		
8	hyvin hyvä ratkaisu	4	ideaalinen
9	tavoitteen ylittävä ratkaisu		
10	ideaaliratkaisu		

Kuva 5. Arvoasteikko hyötyarvoanalyysin ja ohjeiston Richtlinie VDI 2225 mukaan.

On välttämätöntä, että muunnelmien ominaisuuksille pisteitä antava arvioija on selvillä sekä arvostelun jännevälistä (ominaisuuksien jännevälistä) että ns. ”arvofunktion” kvalitatiivisesta kulusta. Kuvassa 6 nähdään arvofunktioita. Arvofunktiolla tarkoitetaan arvon riippuvaisuutta ominaisuuksista. Tällaista arvofunktion esittämistä varten tarvittava kulku saadaan joko tunnetusta matemaattisesta riippuvuudesta arvon ja ominaisuuden välillä tai arvioimalla, mikä on tavallisempaa.



Kuva 6. Tavallisia arvofunktoita

Arvoasteikko		Ominaisuudet			
Hyötyarvo- analyysi pist.	VDI 2225 pist.	Polttoaine- kulutus g/kWh	Teho/Paino kg/kW	Valuosien yksinkertaisuus	Elinikä Ajo-km
0	0	400	3,5	Erittäin mutkikas	20 000
1		380	3,3		30 000
2	1	360	3,1	Mutkikas	40 000
3		340	2,9		60 000
4	2	320	2,7	Keskin- kertainen	80 000
5		300	2,5		100 000
6	3	280	2,3	Yksin- kertainen	120 000
7		260	2,1		140 000
8	4	240	1,9	Erittäin yksinkertainen	200 000
9		220	1,7		300 000
10		200	1,5		500 000

Kuva 7. Arvostelukaavio ominaisuusarvojen määräämiseksi

Arvoastelukaavion laatiminen on eräs apukeino. Siinä rinnastetaan sanallisesti tai numeerisesti annettuja ominaisuuksia arvokäsityksen mukaan arviointikriteerien pistelukuihin. Kuvassa 7 nähdään sellainen arviointikaavio ja arvoasteikko sekä hyötyarvoanalyysin että ohjeiston VDI 2225:n mukaan. Yhteenvetona arvojen määrittämistä todetaan, että sekä arvofunktion että myös arvosteluasteikon määrittäminen on varsin altis subjektiivisille vaikutteille. Poikkeuksia ovat vain ne harvat tapaukset, joissa onnistutaan löytämään yksikäsitteiset, mieluiten kokeellisesti määrättävät rinnastukset arvokäsitysten ja ominaisuuksien välille kuten koneiden melun arvioinnissa. Siinä työtieteiden perusteella pystytään rinnastamaan arvo eli ihmisen kuulon suojeleminen ja ominaisuus eli äänen voimakkuus desibeleissä.

Näin saadut kunkin ratkaisumuunnelman osa-arvot  $w_{ij}$  kunkin arviointikriteerin suhteen viedään kokonaisarviointia varten liitteessä 3 esitetyn mukaiseen arviointi-listaan.

Jos eri arviointikriteereiden merkitys ratkaisun kokonaisarvon kannalta on erilainen, otetaan huomioon toisessa työskenteleessä määrätty painokertoimet. Tämä tapahtuu siten, että kukin osa-arvo  $w_{ij}$  kerrotaan painokertoimella  $g_i$ . Painotettu osa-arvo on tällöin  $w_{ij} = g_i * w_{ij}$ .

### Kokonaisarvon määrittäminen

Kun jokaisen muunnelman osa-arvot on saatu, on laskettava niiden kokonaisarvo. Teknisten tuotteiden arvioinnissa lasketaan yleensä osa-arvot yhteen. Tämä on täysin oikeutettua vain silloin, kun arviointikriteerit eivät selvästi riipu toisistaan. Oikeutettua se on myös silloin, kun tämä edellytys pätee vain likimäärin. Silloin tuntuu kokonaisarvon yhteenlaskettu rakenne parhaiten vastaavan todellisia oloja.

Muunnelman  $j$  kokonaisarvoksi saadaan täten:



Painottamatta:

$$G w_j = \sum_{i=1}^n w_{ij}$$

Painotettuna:

$$G w g_j = \sum_{i=1}^n g_i * w_{ij} = \sum_{i=1}^n w g_{ij}$$

### Ratkaisumuunnelmien vertailu

Yhteenlaskusäännön perusteella muunnelmia voidaan arvioida eri tavoilla.

– *Maksimaalisen kokonaisarvon määrääminen*

Tässä menettelyssä pidetään parhaana sitä ratkaisua, joka saa korkeimman *kokonaisarvon*.

$G w_j \rightarrow$  maks. tai  $G w g_j \rightarrow$  maks.

Hyötyarvoanalyysissä muunnelmia vertaillaan suhteellisesti keskenään.

– *Arvostuksen selvittäminen*

Mikäli ei tyydytä vain vertailemaan muunnelmia suhteellisesti keskenään, vaan halutaan saada selville muunnelman absoluuttinen arvostus, on kokonaisarvoa verrattava kuviteltuun ihannearvoon, joka saadaan suurimmasta mahdollisesta arvosta.

Painottamatta:

$$W_j = \frac{Gw_j}{w_{\max} * n} = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ij}}{w_{\max} * n}$$

Painotettuna:

$$W_{gj} = \frac{Gw_{gj}}{w_{\max} * \sum_{i=1}^n g_i} = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ij}}{w_{\max} * \sum_{i=1}^n g_i}$$

Mikäli tieto kaikkien ratkaisumuunnelmien ominaisuuksista tekee konkreettiset taloudelliset arvioinnit mahdolliseksi, on suositeltavaa määrittää erikseen *tekninen arvostus*  $W_{te}$  ja *taloudellinen arvostus*  $W_{ta}$ . Kun tekninen arvostus saadaan sovitun säännön mukaan aina jakamalla kulloisenkin muunnelman kokonaisarvo vastaavalla ihannearvolla, on taloudellinen arvostus vastaavasti laskettava suhteessa vertailukustannuksiin. Tällaista menettelyä suositetaan ohjeistossa VDI 2225 vertaamalla muunnelmalle laskettuja tuotantokustannuksia ”vertailukustannuksiin  $H_0$ ”. Taloudellinen arvostus on tällöin:

$$W_{ta} = H_0 / H_{muunnelma}$$

Tällöin voi olla  $H_0 = 0,7 * H_{sall}$  tai  $H_0 = 0,7 * H_{min}$ , jossa minimiarvo on otettu halvimman muunnelman mukaan. Jos tekninen ja taloudellinen arvostus on määrätty erikseen, on ongelma selvittää ”kokonaisarvostus”. Ohjeisto VDI 225 ehdottaa tähän ns. ”s-piirroksen” laatimista (hyvyyspiirros), jossa abskissana on tekninen arvostus  $W_{te}$ . Tällainen diagrammi soveltuu erityisen hyvin muunnelman jatkokehittelyn tulosten arvosteluun ja hyväksymiseen, sillä avulla voidaan hyvin nähdä konstruktiivisten parannusten vaikutus.

On tapauksia, joissa tahdottaisiin saada näistä osa-arvostuksista kokonaisarvostus lukuarvona esim. numeerista jatkokäsittelyä varten tietokoneella. Tähän Baatz (Baatz, U.: Bildschirmunterstütztes Konstruieren. Diss. RWTH Aachen 1971.) ehdottaa kahta eri menettelytapaa:

- suora menettely, jossa muodostetaan aritmeettinen keskiarvo  $W = (W_{te} + W_{ta})/2$  ja
- hyperbelimenettely, jossa muodostetaan geometrinen keskiarvo  $W = \sqrt{W_{te} * W_{ta}}$

Kun teknisen ja taloudellisen arvostuksen välinen ero on suuri, saadaan suoramenetelmällä liian hyvä kokonaisarvostus verrattuna sellaiseen tasapainoiseen ratkaisuun, jossa osa-arvostukset ovat vähän heikompia, mutta lähellä toisiaan. Koska tasoitettua ratkaisua pidetään parempana, on hyperbelimenetelmä tällöin sopivampi. Se antaa erojen kasvaessa progressiivisesti huonompia kokonaisarvostuksia verrattuna suoramenetelmään.

#### *Ratkaisumenetelmien karkea vertailu*

Edellä esitetystä vertailusta on käytetty eritteleviä arvoasteikkoja. Tulos on silloin pätevä, kun arviointikriteereitä vastaavat ”objektiiviset” ominaisuudet voidaan ainakin jotenkin tarkasti ilmoittaa, ja on mahdollista mielekkäästi rinnastaa arvot ominaisuuksiin. Tapauksissa, joissa näitä edellytyksiä ei ole, suhteellisen tarkka arviointi erittelevän arvoasteikon avulla on kyseenalaista ja turhan työlästä. Sellaisissa tapauksissa on mahdollista arvioida karkeasti tai tehdä vertailu siten, että kaikkia muunnelmia vertaillaan pareittain keskenään jonkun arviointikriteerin suhteen ja aina ratkaistaan vain pareittain, kumpi muunnelmista on parempi. Jokaisen arviointikriteerin tulokset voidaan koota yhteen ns. dominanssimatriisiin (Kuva 8). Arvojärjestys saadaan palstanummista. Jos tällaiset yksittäiskriteerien matriisit kootaan kokonaimatriisiksi, arvojärjestys voidaan taas saada laskemalla yhteen paremmuuden esiintymismäärät tai kaikki palstanumerot. Verrattain pienen työmäärän myötä myös tuloksen todistusarvo on heikompi.

		Muunnelma						
		1	2	3	4	5	6	7
Verrattuna muunnelmaan	1	—	1	0	1	0	1	0
	2	0	—	0	1	0	0	0
	3	1	1	—	1	0	1	0
	4	0	0	0	—	0	0	0
	5	1	1	1	1	—	1	1
	6	0	1	0	1	0	—	0
	7	1	1	1	1	0	1	—
Summa		3	5	2	6	0	4	1
Arvosija		4	2	5	1	7	3	6

$1 \hat{=}$  parempi     $0 \hat{=}$  ei parempi

Kuva 8. Ratkaisumuunnelmien vertailu pareittain.

### Arvostelun epätarkkuuden arviointi

Esitettyjen pistearviointimenetelmien virheet tai epätarkkuudet voidaan jakaa kahteen pääryhmään: inhimillisiin arvosteluvirheisiin ja menetelmän peruspuutteisiin.

*Inhimillisiä virheitä* saattaa syntyä, jos

- arvostelija poikkeaa neutraalista katsontatavasta eli tarkastelee asiaa kovin subjektiivisesti. Tällaiseen vähemmän objektiiviseen arviointiin suunnittelija voi tahto-

mattaa syyllistyä verratessaan omaa konstruktioitaan toisten tekemiin ratkaisuehdotuksiin. Sen takia on tarpeen, että *useimmat henkilöt*, jotka mahdollisuuksien mukaan edustavat eri piirejä suunnittelu- ja valmistusosastoilla, osallistuvat arviointiin. On myös hyvin suositeltavaa, että muunnelmät saavat *neutraalit nimitykset*, esim. A, B, C, jne eikä ”Müllerin ratkaisumalli” tai ”Neustadtin tehtaan ehdotus”, koska muutoin syntyy tunnistamiseen liittyviä haitallisia asenteita. Menetelmän pitkälle viety kaavoittaminen vähentää subjektiivisia vaikutteita.

- muunnelmia verrataan keskenään käyttämällä sellaisia arviointikriteerejä, jotka tosin ovat kaikille samat, mutta eivät sovi kaikille. Sellainen virhe voidaan tunnistaa jo, kun ominaissuureita nimetään ja niitä rinnastetaan arviointikriteereihin. Mikäli jollekin muunnelmille ei voida ilmoittaa ominaissuureita kaikkia arviointikriteereitä varten, nämä *arviointikriteerit pitäisi muotoilla uudelleen tai jättää pois*, eikä antaa arvioinnin johtaa virhetulokseen muunnelman kohdalla.
- muunnelmia arvostellaan erikseen eikä asetettujen arviointikriteereiden mukaan kutakin vuorollaan. On aina sovellettava *kutakin kriteeriä vuorollaan* jokaiseen muunnelmaan (käsiteltävä arviointilista rivi riviltä), jotta jonkin muunnelman ennakkosuosion vaikutus vähenisi.
- arviointikriteerit riippuvat paljon toisistaan.
- käytetään huonosti sopivia arvofunktoita.
- arviointikriteerit ovat epätäydellisiä. Tämän virheen välttämiseksi on seurattava kullekin suunnitteluvaiheelle laadittua *arviointikriteerien ohjetta* (Kappale 10.1.3).

*Menettelytavasta riippuvat virheet* ehdotetuissa arviointimenetelmissä perustuvat tuskin vältettävissä olevaan ”ennuste-epävarmuuteen”. Tämä syntyy siitä, että ennakoitua ominaissuureet ja niiden myötä myös arvot eivät ole yksikäsitteisiä kiinteitä suureita, vaan niihin liittyy epävarmuutta ja sattumanvaraisuutta. Näitä virheitä voidaan välttää, jos arvioidaan ominaissuureiden hajonta.

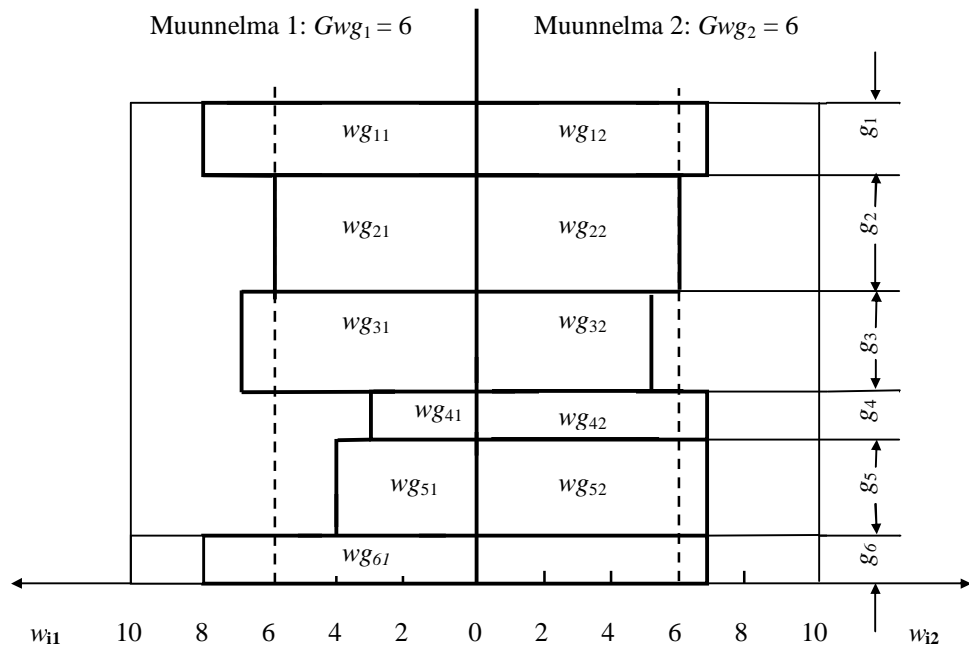
Ennuste-epävarmuuden takia on siis suositeltavaa, että ominaissuureet ilmoitetaan kvantitatiivisesti lukuarvoina vain silloin, kun se on mahdollista tehdä myös riittävällä tarkkuudella. Muussa tapauksessa on oikeampaa käyttää sanallisia arviointeja (esim. suuri, keskinkertainen, pieni), joiden epätarkkuus voidaan selvästi tunnistaa. Virheelliset luvut ovat sitä vastoin vaarallisia, koska ne harhauttavat pitämään annettuja tietoja varmoina.

Feldmann (Feldmann, K.: Beitrag zur Konstruktionsoptimierung von automatischen Drehmaschinen. Diss. TU Berlin, 1974.) ja Stabe (Stabe. H.; Gerhard. E.: Anregungen zur Bewertung technischer Konstruktionen. Feinwerktechnik und Maßtechnik 82, 1974) ovat tehneet tarkemman analyysin pistearvioinnilla saavutettavasta arvostelun tarkkuudesta sekä vertailleet eri menetelmiä toisiinsa. Jälkimmäinen kirjoittaja esittää myös viittauksia muuhun arviointia koskevaan kirjallisuuteen. Kun on kysymys riittävän suuresta määrästä arviointikriteerejä ja kun kyseisten muunnelmien osa-arvot ovat suunnilleen samantasoisia, vaikuttavat liian pessimistisesti lasketut yksittäisarvot niin, että kokonaisarvo tulee varsin paikkansapitäväksi.

### Heikkojen kohtien etsiminen

Heikot kohdat tunnistetaan yksittäisten arviointikriteerien antamista, keskitasoa alemmista arvoista. Niitä on erityisesti pidettävä silmällä, kun on kysymys hyvältä tuntuvasta muunnelmasta, jolla on hyvä kokonaisarvo. Heikkoudet on pyrittävä poistamaan jatkokehittelyssä. Ratkaisumuunnelmien heikkojen kohtien tunnistamisessa voi olla hyödyllistä esittää osa-arvot graafisesti. Tällöin voidaan käyttää kuvan 9 mukaista ns. arvoprofiilia. Palkkien pituuksien merkityksessä arvojen suuruuksia ovat palkkien paksuudet painotuksen mitta. Palkkien pinta-alat antavat tällöin painotetut osa-arvot ja viivoitettu pinta-ala esittää ratkaisumuunnelman kokonaisarvoa. On ilmeistä, että ratkaisun parantamiseksi on ennen kaikkea tärkeää parantaa niitä osa-arvoja, joilla on suurin vaikutus kokonaisarvoon. Tämä koskee seuraavassa sellaisia arviointikriteerejä, joilla on suuri palkin paksuus (suuri merkitys) ja vielä liian pieni palkin pituus. Suuren kokonaisarvon ohella on myös tärkeää saavuttaa *tasoitettu arvoprofiili*, jossa ei näy mitään raskauttavia heikkouksia. Niinpä kuvan 9 muunnelma 2 on suotuisampi kuin muunnelma 1, vaikka molemmilla on sama kokonaisarvo.

On myös tapauksia, joissa vaaditaan kaikille osa-arvoille tiettyä vähimmäisarvoa, jotta muunnelmaehdotusta ei hylättäisi. Toisaalta kaikkia muunnelmia, jotka täyttävät nämä vaatimukset, tutkitaan edelleen. Kirjallisuudessa tällaista menettelyä on nimitetty ”tyydyttävien ratkaisujen toteamiseksi” (Zangemeister, Ch., Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, München, Wittemannsche Buchhandlung, 1970).



Kuva 9. Arvoprofiileja kahden muunnelman keskinäistä vertailua varten

## 11. RATKAISUVAIHTOEHDON VALINTA

Ratkaisuun käytettävän mallin valinta päätettiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena, sillä eri valmistajien tarjoamat tiedot pesurivaihtoehtoistaan vaihtelivat niin suuresti. Tarkemman arvoanalyysin tekeminen näillä tiedoilla on erittäin vaikeaa ja lisäksi tarkan analyysin teko voisi hyödyttää parhaiten esitetyn pesurivaihtoehdon esiintuloa.

Ratkaisuun käytetään karkeaa vertailumallia, jolla saadaan esille riittävän tarkasti neljän pesurivaihtoehdon paremmuudet ja huonoudet. Vertailutaulukko tehdään hyötyarvoanalyysin mukaisesti. Ratkaisu-vaihtoehdon valintaan ei voida tässä tapauksessa käyttää tarkempia vertailutapoja, sillä arviointikriteereitä vastaavia ”objektiivisia” ominaisuuksia ei voida tarkasti ilmoittaa jokaisen ratkaisuvaihtoehdon kohdalla. Tässä tapauksessa edellytyksiä tarkempien arviointikriteerien käyttöön ei ole, joten suhteellisen tarkka arviointi erittelevän arvoasteikon avulla on kyseenalaista ja turhan työlästä.

### 11.1 Ratkaisuun käytettävä pisteytystaulukko

Eri ratkaisuvaihtoehtoja verrataan keskenään pareittain. Eniten pisteitä saanut vaihtoehtoratkaisu valitaan suositeltavaksi telapesuriratkaisuksi.

Alla on esitetty vertailutaulukko eri vaihtoehtojen vertailuun valittujen ominaisuuksien suhteen. Eri vertailuominaisuuksien valintaan käytetään apuna liitteen 1 päätunnuksia. Vertailussa annetaan pisteitä kunkin ominaisuuden kohdalla 0-10 hyötyarvoanalyysin mukaisesti ja lopuksi lasketaan yhteen painotuskertoimet huomioonottaen pisteet.

	Painotus	Ratkaisuvaihtoehto X		Ratkaisuvaihtoehto Y	
		Arvo	Painotettu arvo	Arvo	Painotettu arvo
1. Pesutekniikka	0,05				
2. Vaikutusperiaate	0,05				
3. Monikäyttöisyys	0,15				
4. Rakennemuotoilu	0,05				
5. Laitteen suunnittelu	0,1				
6. Turvallisuus	0,1				
7. Valmistus	0,025				
8. Tarkastus	0,05				
9. Asennus	0,025				
10. Käyttö	0,1				
11. Kunnossapito	0,1				
12. Kierrätys	0,1				
13. Kustannukset	0,1				
Pisteet yhteensä					



11.2 Ensimmäinen vertailupari

	Painotus	Ratkaisuvaihtoehto A		Ratkaisuvaihtoehto B	
		Arvo	Pain. arvo	Arvo	Painn. arvo
1. Pesutekniikka	0,05	5	0,2	8	0,4
2. Vaikutusperiaate	0,05	6	0,3	7	0,35
3. Monikäyttöisyys	0,15	3	0,45	8	1,2
4. Rakennemuotoilu	0,05	3	0,15	6	0,3
5. Laitteen suunnittelu	0,1	2	0,2	7	0,7
6. Turvallisuus	0,1	7	0,7	7	0,7
7. Valmistus	0,025	6	0,15	7	0,175
8. Tarkastus	0,05	7	0,35	7	0,35
9. Asennus	0,025	7	0,175	6	0,15
10. Käyttö	0,1	3	0,3	7	0,7
11. Kunnossapito	0,1	7	0,7	7	0,7
12. Kierrätys	0,1	8	0,8	7	0,7
13. Kustannukset	0,1	5	0,5	7	0,7
Pisteet yhteensä		69	4,975	92	7,125

Ensimmäisestä valintaparista jatkoon menee vaihtoehtoratkaisu B. Ominaisuusvertailussa ratkaisuvaihtoehto A kärsi huomattavasti puutteellisen suunnittelun ja tavanomaisesta poikkeavan pesutekniikkansa johdosta. Pahin puute suunnittelussa oli se tekijä, että kyseisessä pesulaitteessa ei ollut otettu lainkaan huomioon telan pyöritystarvetta pesun aikana. Laitteeseen tarvitsisi näin ollen suunnitella pyörityslaite, jolloin pesuprosessi olisi riittävän automaattinen. Lisäksi telavalmistaja ei suosittele ultraäänipesutekniikan käyttöä pinnoitettujen puristinimutelojen puhdistukseen, sillä ultraääni voi pahimmillaan edesauttaa pinnoitteen irtoamista telan pinnasta.

11.3 Toinen vertailupari

	Painotus	Ratkaisuvaihtoehto C		Ratkaisuvaihtoehto D	
		Arvo	Pain. arvo	Arvo	Pain. arvo
1. Pesutekniikka	0,05	7	0,35	8	0,4
2. Vaikutusperiaate	0,05	7	0,35	7	0,35
3. Monikäyttöisyys	0,15	7	1,05	8	1,2
4. Rakennemuotoilu	0,05	5	0,25	8	0,4
5. Laitteen suunnittelu	0,1	5	0,5	8	0,4
6. Turvallisuus	0,1	7	0,7	7	0,7
7. Valmistus	0,025	6	0,15	7	0,175
8. Tarkastus	0,05	7	0,35	8	0,4
9. Asennus	0,025	5	0,125	8	0,2
10. Käyttö	0,1	6	0,6	9	0,9
11. Kunnossapito	0,1	7	0,7	7	0,7
12. Kierrätys	0,1	5	0,5	8	0,8
13. Kustannukset	0,1	5	0,5	7	0,7
Pisteet yhteensä		80	6,125	100	7,325

Toisen vertailuparista jatkoon menee vaihtoehtoratkaisu D. Vaihtoehtoratkaisu C:n suurimmaksi heikkoudeksi osoittautui hinta verrattuna suunnittelun tasoon ja laitteen monimuotoisuuden puutteeseen. Laitteen suunnittelussa oli selkeästi unohdettu esim. muutaman kuukauden välein tapahtuvat pesunesteiden vaihdot, joihin oli selvästikin panostettu vaihtoehtoratkaisu D:n säiliö- ja tyhjennyspumppuratkaisuilla. Rakenteen puolestakin vaihtoehtoratkaisu C jätti toivomisen varaa.

## 12. VALITTU RATKAISUMALLI

Valituksi ratkaisumalliksi varmistui hyötyarvoanalyysin perusteella vaihtoehtoratkaisu D eli Idea Machine oy:n suunnittelema telanpesuri. Idea Machine oy:n suunnittelu-työhön panostus tuli selvästi esille laitteen monimuotoisen tekniikan ja pesulaitteiden ohjelmoitavuuden suhteen.

Pitkälle viedyllä tekniikkasuunnittelulla oli esimerkiksi varmistettu pesunesteelle optimaalinen käyttöikä erilaisten suodatus- ja öljynerotuslaitteiden avulla. Tämänkaltaisella panostuksella kestäväan kehitykseen pesuaineiden vähemmän käytön kautta on erittäin tärkeää, sillä pesunesteen vaihdossa käytettyä pesunestettä täytyy käsitellä nykyään tehtailla noudatettavien ympäristösäännösten mukaisesti ongelmajätteenä. Ongelmajätteen käsittelystä aiheutuu aina kuluja, jotka ovat jätteen käsitelijästä riippuen n. 400–500 €/ m<sup>3</sup> ongelmajätteeksi luettavaa nestettä.

Pesulaitteen ohjelmoitavasta käyttöliittymästä on telojen nopean käsittelyn kannalta suuri apu, sillä yleisesti ottaen kahdeksan esiohjelmoitua ohjelmaa on varmasti hyvin riittävä määrä ohjelmia kattavan telamalliston ja muiden koneenosien pesuun. Valmiiksi ohjelmoidut pesuohjelmat vähentävät myös riskiä siitä, että pesuohjelmalla vaurioitettaisiin jossain määrin pestävää kappaletta, kun kerran on haettu ideaalinen pesuohjelma kullekin telatyypille ja koneenosalle. Lisäksi optimoidut pesuajat lisäävät edesauttavat sitä, että pesunesteet kestävät pesukäytössä pidempään, eikä niitä tarvitse vaihtaa niin usein. Monissa manuaalisesti määrättävissä pesukoneissa käytetään helposti aina maksimaalista pesuaikaa, joka jo teollisuuspesuaine-toimittajien mukaan lyhentää huomattavasti pesuaineen kestoikää ja myös samalla tapahtuu turhaa pesua, joka pahimmillaan irrottaa pestävästä kappaleesta muutakin kuin tarvittavan lian.

Idea Machinen oy:n tarjoukseen oli lisäksi liitetty kattava laitteen testaus- ja huolto-ohjelma, joilla taataan laitteen moitteeton käyttö vastaanottotarkastusten jälkeen. Lisäksi valmistajalla on tarjota huoltomies suhteellisen pienellä varoitusajalla, mikä osaltaan parantaa laitteen nopeaa käyttöön palautumista sellaisessa tilanteessa, jossa Kajaanin tehtaan kunnossapito ei mahdollisesti itse kykene suoriutumaan huoltotyöstä.

Laite on myös nykyvaatimusten mukaisesti hyväksytty CE-merkinnöin ja laitteen mukana toimitetaan lisäksi vaatimustenmukaisuusvakuutus.

### 13. YHTEENVETO TYÖSTÄ

Työn tekeminen oli suhteellisen vaikeata, johtuen melko työn tekijän melko vähäisestä kokemuksesta paperikoneen teloista ja niiden huollosta. Työn tekemisen alkuvaiheilla suurta vaikeutta aiheutti taustatietojen hankkiminen pestävistä teloista. Tietojen hankkimista vaikeutti osaltaan myös UPM-Kymmene Oyj:n Kajaanin tehtaalla käyntien vähyys.

Kajaanin tehtaalla ei ollut alussa suoranaisesti ketään tiettyä henkilöä, joka olisi voinut laittaa tulemaan tietoutta teloista ja pesutarpeista. Tehtaalta annettiin työn suoritukseen kannalta tärkeiden tietojen keruuta varten usean henkilön yhteystiedot, mutta vasta työn kriittisessä vaiheessa työlle nimettiin tietty yhdyshenkilö, joka hoitaisi tietojen välitystä Kajaanin tehtaalla. Tämä osaltaan vaikeutti tietouden hankintaa, sillä eri henkilöiltä saatu tietous oli sängen eritasoista, johon vaikutti selvästikin se, että he joutuivat omien töidensä ohessa etsimään tietoutta työn suorittajalle.

Kun riittävä tietous teloista oli saatu, niin sitten alkoi yhteydenotot eri teollisuuspesurivalmistajiin. Yhteyttä otettiin kahdeksaan eri valmistajaan, joista neljä oli kiinnostuneita tarjoamaan omaa ratkaisua telojen pesuun. Yhtenä vaikeutena oli vakuuttaa toimittajat siitä, että kyseessä on todellinen projekti, jolla haetaan ratkaisua Kajaanin tehtaan telojen puhdistusongelmaan.

Työn edetessä jouduttiin myös vaihtamaan työn ohjaajaa alkuperäisen ohjaajan työkiireiden takia. Tässä vaiheessa tuli mukaan ratkaisuvaihtoehdon arviointimallin valinta. Arviointimalliksi päätettiin valita Koneensuunnitteluoppi-kirjan (Gerhard Pahl, Wolfgang Beitz) mukainen pistearviointimenetelmä. Pistearviointimenetelmän käytön hankaluudeksi osoittautui kuitenkin varsin erilaatuiset ratkaisuvaihto-ehdotusten suunnitelmat eri valmistajien välillä, joten mitään tarkkaa pisteanalyysimenetelmää ei voitu käyttää vaihtoehtojen vertailuun. Tarkempia pistearvoanalyysimenetelmiä olisi voitu ottaa käyttöön siinä tapauksessa, jos alkuyhteydenottojen yhteydessä olisi esitetty

tarkka vaatimuslista eri valmistajille, jonka mukaisesti he olisivat sitten laatineet esitykset eri ratkaisuvaihtoehdoista.

Työn suorittaminen on huomattavasti lisännyt työn tekijän tietoutta paperitelojen puhdistuksesta ja huollosta. Työn ohessa saatu lisäkokemus teloista on ollut suureksi avuksi työn suorittajan nykyisessä ammatissa paperikoneen mekaanisen kunnossapidon työnjohto- ja työnsuunnittelutehtävissä. Toivottavasti työ edesauttaa tulevaisuudessa paperikoneen telojen puhtaustason nostoa, sillä puhtaustekijöistä on tullut entistä tärkeämpi tekijä hyvälaatuisen paperin valmistuksessa.

#### 14. Lähdeluettelo

1. UPM-Kymmene Oyj, Kajaanin tuotantoyksikön esittelylehti, Kajaani, 2003.
2. Paperin valmistus, Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja III, Osa 2, Oy Turun Sanomat, 1983.
3. Kaukonen, A.: Paperikoneen kalanteritelojen sekä graniittitelan hionnassa syntyvien muoto-  
poikkeamien tutkimisesta. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Lappeen-  
ranta 1980.
4. Hakala, M.: Kirjallinen tiedotus (julkaisematon), Mancon Oy, Näsin kiviteollisuus, Tampere  
1980.
5. Hägglom-Ahnger U., Komulainen P., Kemiallinen metsäteollisuus II, Paperin ja kartongin  
valmistus, Opetushallitus, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 2001.
6. Telapinnoitteiden huolto-ohjeita, Stowe-Woodward Finland Oy, 2003
7. Finnsonic Oy, Ultraäänipesuri, 2003
8. Sampo-Rosenlew Oy, 2003
9. Teijo-Pesukoneet Oy, 2003
10. Idea-Machine Oy, 2003
11. Pahl G., Beitz W., Koneensuunnitteluoppi, MET, WSOY, 1990

Pistearvioinnin yleiset ehdot:

<b>Turvallisuus</b>	myös luotettavuuden mielessä
<b>Ergonomia</b>	ihminen-kone-suhde, myös teollinen muotoilu
<b>Valmistus</b>	osavalmistuksen valmistustavat ja -välineet
<b>Tarkastus</b>	tuotteen valmistumisen aikana kaikkina tarvittavina ajankohtina
<b>Kokoonpano</b>	osavalmistuksen aikana, sen jälkeen ja sen ulkopuolella
<b>Kuljetus</b>	yrityksen sisä- ja ulkopuolella
<b>Käyttö</b>	käyttäminen, käsittely
<b>Kunnossapito</b>	huolto, tarkastus ja kunnostaminen
<b>Kierrätys</b>	jälleenkäyttö ja -hyödyntäminen, loppuvarastointi ja hävittäminen
<b>Panostus</b>	kustannukset, ajankäyttö, määräajat

---

Päätunnus	Esimerkkejä
Toiminto	Valitusta ratkaisuperiaatteesta tai luonnosmuunnelmasta välittömästi seuraavien sivutoimintojen toteuttimien ominaisuudet.
Vaikutusperiaate	Valittujen periaatteiden ominaisuudet niiden yksinkertaisen ja yksikäsitteisen toteutuksen, riittävän vaikutuksen ja pienten häiriötekijöiden kannalta.
Rakennemuotoilu	Osien pieni lukumäärä, mutkattomuus, pieni tilantarve, ei erityisiä työaines- eikä rakennemuotoiluongelmia.
Turvallisuus	Välittömän turvallisuustekniikan suosiminen (luonnostaan turvallinen), lisäsuojaimet tarpeettomia, työ- ja ympäristönturvallisuus taattu.
Ergonomia	Ihminen-kone-suhde kunnollinen, ei liian suuria kuormituksia eikä muita haittoja, hyvä muotoilu.
Valmistus	Vähän ja tavanomaisia valmistusmenetelmiä, ei kalliita työlaitteita, vähän ja yksinkertaisia osia.
Tarkastus	Vähän tarkastuksia ja testauksia tarpeen, voidaan tehdä yksinkertaisesti ja luotettavasti.
Asennus	Helppo, mukava, nopea, ei erityisiä apulaitteita.
Kuljetus	Normaalit kuljetusmahdollisuudet, ei riskejä.
Käyttö	Yksinkertainen käyttö, pitkä elinikä, vähäinen kuluminen, yksinkertainen ja mielekäs hallinta.
Kunnossapito	Vähäinen ja yksinkertainen huolto ja puhdistus, helppo tarkastaa, ongelmaton kunnostus.
Kierrätys	Hyvä uusiokäyttöarvo, ongelmaton purkaminen.
Kustannukset	Ei erilaisia käyttö- tai muita sivukustannuksia, ei myöhästymisriskejä.

---

Nro	Arviointikriteeri		Ominaisuudet		Muunnelma V <sub>1</sub>			Muunnelma V <sub>2</sub>			...
		Painotus		Yksikkö	Ominaisuus e <sub>i1</sub>	Arvo W <sub>i1</sub>	Punn.arvo wg <sub>i1</sub>	Ominaisuus e <sub>i2</sub>	Arvo W <sub>i2</sub>	Punn.arvo wg <sub>i2</sub>	
1	Pieni polttoaineen kulutus	0,3	Polttoaineen kulutus	g/kWh	240			300			
2	Kevyt rakenteinen	0,15	Tehopaino	kg/kW	1,7			2.7			
3	Helppo valmistaa	0,1	Valuosien valmistuksen helppous	-	Alhainen			Keskimääräinen			
4	Pitkä elinikä	0,2	Elinikä	Ajo-km	80 000			150 000			
...											
<i>i</i>											
...											
		$\sum_{i=1}^n g_i = 1$									