

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

EROTUSTEKNIIKAN LABORATORIO

Petrus Suokas

METALLIPAJOJEN LEIKKUUNESTEIDEN KÄSITTELY

Tarkastajat: Professori Antti Häkkinen

DI Riina Salmimies

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	2
2	METALLI- JA KONEPAJAT	2
2.1	Työstömenetelmät.....	2
3	LEIKKUUNESTEET	3
3.1	Leikkuuemulsiot	3
3.2	Synteettiset leikkuunesteet.....	4
3.3	Leikkuuöljyt.....	5
3.4	Leikkuunesteiden lisäaineet ja koostumus.....	5
3.4.1	Paineensietoaineet	6
3.4.2	Emulgaattorit	6
3.4.3	Korroosion- ja ruosteenestoaineet	7
3.4.4	Hapettumisenestoaineet	7
3.4.5	Biosidit, väri- ja hajuaineet.....	7
3.4.6	Vaahdonestoaineet.....	7
3.4.7	Passivointiaineet	8
4	KÄYTETYN LEIKKUUNESTEEN LUOKITTELU	8
5	LEIKKUUNESTEIDEN KÄSITTELY, KÄYTÖSTÄ POISTO JA HÄVITTÄMINEN	8
5.1	Nesteen puhdistus käyttökohteessa.....	9
5.1.1	Laskeutusaltaat ja suodattimet.....	9
5.1.2	Hydrosykloni	11
5.1.3	Flotaatio	12
5.2	Leikkuunesteen käytöstä poisto	15
5.2.1	Kemiallinen koagulaatio.....	15
5.2.2	Sähköinen koagulaatio.....	19
5.2.3	Ultrasuodatus	21
5.2.4	Nanosuodatus	23
5.2.5	Käänteisosmoosi.....	24
5.3	Biologinen käsittely	24
5.4	Leikkuunesteen käsittely ongelmajätelaitoksella.....	26
6	YHTEENVETO	29
	Lähdeluettelo	30
	LIITTEET	33

1 JOHDANTO

Leikkuunesteitä käytetään laajasti metalliteollisuudessa. Leikkuunesteiden käytöllä pyritään parantamaan metallityöstön jälkeä, tehostamaan työskentelyä sekä pidentämään ja parantamaan työkoneiden ikää ja käytettävyyttä.

Leikkuunesteiden käsittelyn tutkiminen on tärkeää, sillä leikkuunesteiden käyttö on laajamittaista erilaisilla metallipajoilla, ja vuotuiset käyttömäärät ovat suuria. Leikkuunesteet luokitellaan ongelmajätteiksi ja niiden toimittamisesta hävitettäväksi ja hävittämisestä ongelmajätelaitoksessa aiheutuu ylimääräistä kuluja. Tällä hetkellä Suomessa ainoa leikkuunesteiden loppukäsittelypaikka on Ekokemin Riihimäen ongelmajätelaitos, jonne maassamme syntyvä leikkuunestejäte toimitetaan ja jossa se loppukäsitetään.

Tutkimalla ja kehittämällä leikkuunesteiden käsittely- ja erotusmenetelmiä voidaan ongelmajätelaitokselle käsiteltäväksi tulevan jätteen määrää vähentää, sekä käsittelystä aiheutuvia kuluja jätteen tuottajalle pienentää. Syntyvän jätemäärän kannalta on tärkeä kehittää veden ja epäpuhtauksien tehokasta erottamista leikkuunesteestä. Tässä työssä tarkastellaan leikkuunesteiden käsittelystä tehtyjä tutkimuksia mahdollista jatkotutkimusta varten.

2 METALLI- JA KONEPAJAT

Kone- ja metallipajateollisuudeksi lasketaan mekaaninen konepajateollisuus, sähkötekninen ja instrumenttiteollisuus (Tonteri, 1993). Mekaaninen konepajateollisuus käsittää metallituotteiden, koneiden ja kulkuneuvojen, sekä niiden osien suunnittelun valmistuksen ja korjaukseen liittyvät toimialat. Teollisuuden laaja-alaisuuden takia alalla valmistetaan suuri määrä erilaisia tuotteita. Metalliteollisuuden valmistamia tuotteita ovat esimerkiksi paperikoneet, pumput, metalliset astiat, säiliöt ja erilaiset kulkuneuvot.

Metalli- ja konepajojen käyttämät materiaalit koostuvat suurimmaksi osaksi erilaisista metalliseoksista. Yleisimmin käytettyjä materiaaleja ovat erilaiset teräkset. Erilaisten terästen lisäksi kupari ja alumiini ovat yleisiä teollisuuden käyttämiä materiaaleja (Tonteri, 1993; Puustinen, 2010).

2.1 Työstömenetelmät

Metallien työstö- ja tuotantomenetelmät vaihtelevat eri tuotantopaikkojen välillä. Aaltonen (1997) listaa leikkuunesteiden kulutuksen ja käytön kannalta tärkeimmiksi työstömenetelmiksi jyrsimisen,

leikkaamisen ja sorvaamisen. Nämä työstömenetelmät ovat yleisesti käytössä erilaisilla metallipajoilla ja osien valmistuslaitoksilla.

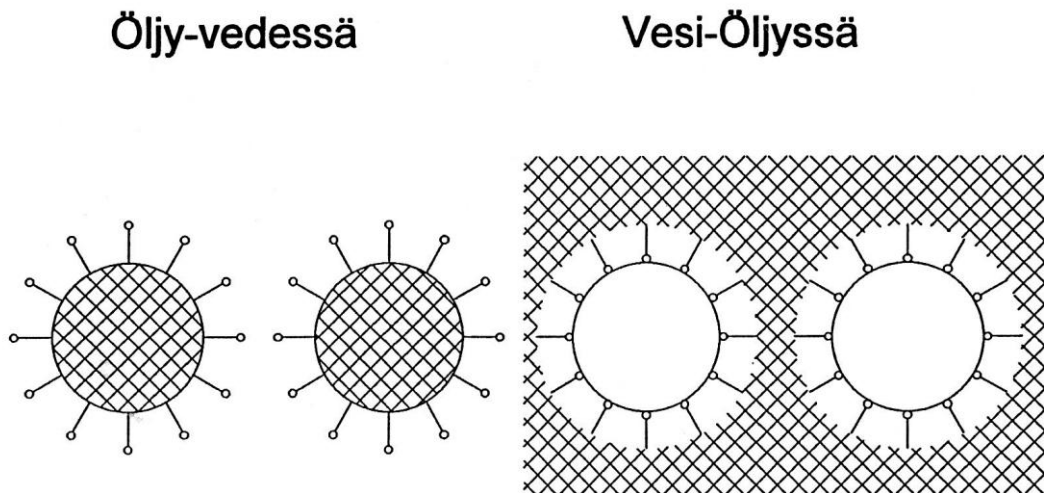
3 LEIKKUUNESTEET

Leikkuunesteiden pääasiallisena tarkoituksena on toimia jäähdytteenä terän ja työstettävän kappaleen välillä (Tonteri, 1993). Leikkuunesteiden muita tärkeitä tehtäviä ovat muun muassa terän ja kappaleen voitelu, lastujen poishuuhtelu sekä työstetyn pinnan korroosiosuojaus. Leikkuunesteiden käytön avulla työstössä käytetyn terän käyttöikä pitenee, sekä työstetyn kappaleen työjälki paranee verrattuna kuivatyöstöön. Teollisuudessa käytetyt leikkuunesteet koostuvat öljyistä, öljyn- ja veden emulsioista, sekä erilaisista synteettisistä leikkuunesteistä. Leikkuunesteen tyyppi valitaan työstömenetelmän sekä työstössä tarvittavien menetelmien perusteella.

3.1 Leikkuuemulsiot

Emulsiot ovat neste-nesteseoksia, jotka koostuvat kahdesta toisiinsa tavallisesti sekoittumattomasta nesteestä kuten öljystä ja vedestä. Emulsion rakenne koostuu kantajanesteestä ja siihen sekoittuneista pienistä pisaroista. Emulsio saadaan aikaiseksi, kun nesteseokseen lisätään emulgaattoria ja seosta sekoitetaan (Konkola ja Ranta, 1996). Emulgaattorin ansiosta toinen nesteistä muodostaa pieniä pisaroita, jotka pystyvät sekoittumaan pintavarauksensa ansiosta toiseen nesteeseen. Kuvassa 1 on esitetty kaksi erilaista emulsiotyyppiä.

Emulsioiden rakenne määräytyy muodostuneiden nestepisaroiden koon mukaan. Pisaroiden halkaisijan ollessa yli 0,1mm seos on maitomainen ja pisarakoon ollessa tätä pienempi ovat leikkuuemulsiot kirkkaita (Konkola ja Ranta, 1996). Emulsioihin lisätään yleisesti lisäaineita parantamaan sen kestävyyttä ja toimintaominaisuuksia, joita ovat esimerkiksi paineen- ja lämmönkestoa, käyttöikä sekä korroosionesto.



Kuva 1 Öljy vedessä ja vesi öljyssä emulsiot (Kause, 1985)

Emulgaattorin lisäämisestä huolimatta emulsio voi Aaltosen (1997) mukaan ajan myötä alkaa erottua takaisin kahdeksi nestefaasiksi jos:

1. Emulsion tekemiseen käytetty emulgaattori on väärä
2. Sekoittaminen on ollut riittämätöntä ja emulsio muodostumien ei ole ollut täydellistä. Emulsioon jää suuria nestepisaroita, jotka alkavat yhdistyä ja muodostavat oman nestefaasikerroksen.

Leikkuuemulsiot valmistetaan kasvi- tai mineraalipohjaisista öljyistä. Leikkuuemulsiot valmistetaan yleisesti vasta käyttökohteessa valmiina toimitettavista tiivisteistä. Leikkuuemulsioiden käytöllä pyritään maksimoimaan työstön aikainen voitelu ja lämmönsiirto. Kasvisöljyemulsiot ovat pääasiassa rypsi-, rapsi- tai mäntyöljypohjaisia.

3.2 Synteettiset leikkuunesteet

Synteettiset leikkuunesteet jaetaan täys- ja puolisynteettisiin. Synteettisten leikkuunesteiden etuina ovat nesteen läpinäkyvyys ja leikkuuemulsioiden verrattuna pitkä käyttöikä. Aaltonen (1997) jakaa synteettiset leikkuunesteet kahteen ryhmään: Täyssynteettisiin ja puolisynteettisiin leikkuunesteisiin.

Täyssynteettiset leikkuunesteet eivät sisällä lainkaan öljyä vaan ne muodostuvat vedestä ja erilaisista voitelevista kemikaaleista kuten amiineista ja saippuoista. Täyssynteettiset leikkuunesteet

voidaan vielä jakaa Konkolan ja Rannan (1996) mukaan kolmeen eri alaluokkaan, jotka ovat yksinkertaiset liuokset, monimutkaiset liuokset ja emulsiot. Yksinkertaiset liuokset muodostuvat veteen liuenneista orgaanisista ja epäorgaanisista suoloista. Suolojen tarkoituksena on suojata työstettyä pintaa korroosiolta. Monimutkaisten liuosten rakenne on samankaltainen kuin yksinkertaisilla liuoksilla, mutta suolojen lisäksi niihin on lisätty synteettisiä voiteluaineita. Synteettiset emulsiot ovat kuten kasvi- tai mineraaliperäisistä öljyistä valmistetut emulsiot, mutta niiden raaka-aineet ovat synteettisesti valmistettuja.

Puolisyntheettiset leikkuunesteet ovat rakenteeltaan emulsioita, mutta niiden mineraaliöljyjen pitoisuus on suhteessa pienempi ja emulgaattoripitoisuus suurempi kuin tavallisissa leikkuuemulsioissa (Konkola ja Ranta, 1996). Puolisyntheettisen leikkuunesteen rakennetta kutsutaan mikroemulsioksi johtuen niiden hyvin pienestä pisarakoosta. Mikroemulsioihin lisätään tavallisesti korroosion estoaineita, biosideja, voiteluaineita sekä tarvittaessa paineensietoaineita. Puolisyntheettisten leikkuunesteiden voitelukyky on yleensä emulsioita huonompi, mutta niiden jäähdytyskyky on parempi.

3.3 Leikkuuöljyt

Leikkuuöljyt koostuvat mineraali-, kasvi- tai eläinperäisistä öljyistä. Mineraaliöljypohjaisten öljyjen raaka-aineena toimivat parafiiniset, nafteeniset tai aromaattiset hiilivedyt. Leikkuuöljyistä ei valmisteta emulsioita vaan niitä käytetään sellaisinaan. Lämpötilan kasvu aiheuttaa leikkuuöljyissä rakennemuutoksia, joista seuraa niiden voiteluominaisuuksien heikkeneminen (Tonteri, 1993; Aaltonen, Andersson ja Kauppinen, 1997). Muutosten ehkäisemiseksi ja lämpötilan- sekä paineenkeston lisäämiseksi leikkuuöljyihin voidaan lisätä paineensietoaineita (EP-lisäaineet).

Leikkuuöljyillä on leikkuuemulsioita ja synteettisiä leikkuunesteitä huonompi lämmönsiirtokyky, mutta voiteluominaisuuksiltaan ne ovat huomattavasti parempia kuin leikkuuemulsiot ja synteettiset leikkuunesteet. Leikkuuöljyjä käytetään kun työstettävä kappale on valmistettu erikoismetalleista, muuten vaativista materiaaleista, tai kun kappaletta joudutaan työstämään usealla eri menetelmällä (Aaltonen, Andersson ja Kauppinen, 1997). Käyttöältään leikkausöljyt ovat pitkäikäisiä, sillä leikkuunesteitä pilaavat bakteeri- ja sienikasvustot eivät viihdy vedettömissä leikkuuöljyissä.

3.4 Leikkuunesteiden lisäaineet ja koostumus

Leikkuunesteisiin lisätään useita erilaisia lisäaineita parantamaan leikkuunesteiden ominaisuuksia tai ehkäisemään jonkun työstössä tapahtuvan haitallisen tai ei-toivotun piirteen, ominaisuuden tai

reaktion vaikutuksia (Konkola ja Ranta, 1996). Liitteessä 1 on listattu joitakin yleisesti käytettyjä leikkuunesteiden lisäaineita.

Leikkuunesteiden koostumus vaihtelee leikkuunestetyyppien, niiden sisältämien lisäaineiden ja niiden käyttöasteen mukaan. Taulukossa I on esitetty Perez *et al.* (2007) kuuden rinnakkaisen käytetyn leikkuunesteen alkuaineanalyysin tulokset.

Taulukko I Leikkuunestenäytteiden alkuaineanalyysit (Perez *et al.*, 2007)

c [mg/L]						
Alkuaine	Neste1	Neste2	Neste3	Neste 4	Neste5	Neste 6
Na	172,3	209,1	153,2	219,7	274,2	455,1
K	24,1	32,47	10,5	13,5	21,3	33,2
Ca	45,7	35,1	68,4	8,57	231	167
Mg	9,71	7,98	11,2	4,46	14,2	24,5
c [µg/l]						
Cu	<20,0	<25,0	<20	<20,0	<25,0	<20,0
Zn	83,2	146	341	128	1374	391
Cr	8,6	42,1	33,2	862	42,2	21,7
Ni	405,1	415,2	239,4	5381	679,2	855,2
Pb	<20,0	<25,0	<20,0	<20,0	<25,0	<20,0
Cd	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Ag	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Fe	158	295	295	158	21,3	3303
Mn	252	162	58,7	10,4	153	750

3.4.1 Paineensietoaineet

Leikkuunesteiden sisältämien orgaanisten voiteluaineesosien sekä edellä mainittujen leikkuuöljyjen lämmönsietokyky on heikko. Orgaaniset voiteluaineet menettävät voitelukykyään jo alhaisessa 150 °C:n lämpötilassa. EP-lisäaineiden toiminta perustuu paineen ja lämpötilan avulla tapahtuvaan reaktioon, jossa kappaleen ja työkalun välille muodostuu molempia suojaava kalvo. Rikki, fosfori ja kloori ovat tavallisesti EP-lisäaineina käytettyjä aineita (Aaltonen, Andersson ja Kauppinen, 1997).

3.4.2 Emulgaattorit

Emulgaattoreita käytetään emulsion muodostamisessa (Aaltonen, Andersson ja Kauppinen, 1997). Leikkuunesteissä käytettävät emulgaattorit ovat yleensä emulgaattorien seoksia, jotka voivat koostua jopa kymmenistä erilaisista emulgaattoreista. Yleisimmin käytettyjä emulgaattoreita ovat erilaiset saippuat, synteettiset vesipesuaineet, sekä rasva-alkoholit.

3.4.3 Korroosion- ja ruosteenestoaineet

Leikkuunesteissä joudutaan käyttämään korroosion- ja ruosteenestoaineita, jos leikkuuneste sisältää runsaasti vettä. Niiden tarkoituksena on suojata työstettävää kappaletta ja työstökonetta veden aiheuttamalta ruostumiselta ja muulta mahdolliselta korroosiolta muodostamalla kappaleen pinnalle eräänlaisen suojaavan kalvon (Aaltonen, Andersson ja Kauppinen, 1997). Leikkuuemulsioihin ei välttämättä tarvitse lisätä korroosion- ja ruosteenestoaineita, sillä monet emulgaattorit toimivat myös niinä. Nitraatit, fosfaatit ja boraatit ovat tavallisesti käytettyjä korroosion ja ruosteenestoaineita (Konkola ja Ranta, 1996).

3.4.4 Hapettumisenestoaineet

Hapettumisenestoaineilla pyritään ehkäisemään leikkuunesteiden orgaanisten ainesosien reagoimista hapen ja työstettävän kappaleen kanssa. Leikkuunesteen hapettumisesta seuraa tavallisesti leikkuunesteen rakennemuutoksia ja tehon heikkenemistä (Konkola ja Ranta, 1996). Hapettumisen seurauksena leikkuunesteeseen voi lisäksi muodostua happamia yhdisteitä joiden syntyä pyritään estoaineilla välttämään. Hapettumisenestoaineet koostuvat tavallisesti sulfaateista, fosfaateista ja amiineista.

3.4.5 Biosidit, väri- ja hajuaineet

Leikkuunesteisiin muodostuu ajan myötä erilaisia sieni- ja bakteerikasvustoja (Konkola ja Ranta, 1996). Sieni- ja bakteerikasvustojen muodostuminen on huomattava ongelma sellaisissa leikkuunesteissä, joissa on vettä. Bakteeri- ja sienikasvustot käyttävät ravintonaan leikkuunesteissä olevia orgaanisia yhdisteitä ja lyhentävät toiminnallaan leikkuunesteen ikää. Tämän vuoksi leikkuunesteisiin lisätään biosidejä, joiden tehtävänä on hidastaa bakteerikantojen ja sienikasvustojen kasvua.

Biosidien lisäksi bakteeri- ja sienikasvuston haittojen ehkäisemiseksi leikkuunesteisiin lisätään erilaisia väri- ja hajuaineita. Niiden tarkoituksena on peittää sienien ja bakteerien nesteeseen muodostamia värejä sekä niiden toiminnasta muodostuvia erilaisia hajuja. Biosidit saattavat aiheuttaa allergiaa sekä muita terveyshaittoja.

3.4.6 Vaahdonestoaineet

Voimakas leikkuunesteen vaahtoaminen työstön aikana on merkittävä ongelma. Vaahtoava leikkuuneste menettää osan lämmönsiirto- ja lastun huuhtelukyvystään. Vaahtoamisen estämiseksi leikkuunesteeseen lisätään vaahdonestoaineita, joiden tarkoituksena on ehkäistä nesteen vaahtamista työn aikana (Konkola ja Ranta, 1996). Vaahtoamisen estoaineet koostuvat yleisesti silikoniöljyistä, vahaemulsioista, suoloista tai kalkkiyhdisteistä.

3.4.7 Passivointiaineet

Passivointiaineiden tarkoituksena on estää leikkuunesteen lisäaineiden ja nesteeseen kertyvien vieraiden aineiden kuten muiden metallien reagoiminen työstettävän materiaalin kanssa (Konkola ja Ranta, 1996). Reaktion seurauksena on tavallisesti työstetyn kappaleen värjäytyminen. Materiaaleja, joiden työstössä passivointiaineita käytetään, ovat esimerkiksi kupari, alumiini ja sen seokset sekä sinkitetty teräs. Passivointi aineina voidaan käyttää esimerkiksi sekundäärisiä amiineja ja typpiyhdisteitä.

4 KÄYTETYN LEIKKUUNESTEEN LUOKITTELU

Jätelain (Ympäristöministeriö, 1993b) mukaan ”Jäte on sellaista ainetta, jonka sen haltija poistaa, on poistanut tai on velvollinen poistamaan käytöstä”. Ongelmajäte on jätelain mukaan ”sellaista jätettä, joka kemiallisen tai muun ominaisuuden perusteella aiheuttaa erityistä vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle. Lisäksi ongelmajätteeksi luokitellaan sellaiset jätteet, joiden ominaisuudet tai niiden kemiallinen koostumus täyttävät ongelmajätteelle asetetut kriteerit”. Ominaisuudet ja kemikaalit jotka määrittelevät jätteen ongelmajätteeksi on listattu jäteasetuksen liitteissä 2, 3 ja 4 (Ympäristöministeriö, 1993a).

Käytöstä poistetut leikkuunesteen ja -öljyt luokitellaan jätelain ja jäteasetuksen (Ympäristöministeriö, 1993a; 1993b) mukaan ongelmajätteeksi. Ongelmajätteeksi luokiteltu jäte voidaan käsitellä vain jäteluvan saaneilla toimipisteillä. Käytettyjen leikkuunesteiden ongelmajätteeksi luokittelu johtuu niihin liuenneista metalleista, kuten kuparista sekä niissä käytetyistä lisäaineista.

5 LEIKKUUNESTEIDEN KÄSITTELY, KÄYTÖSTÄ POISTO JA HÄVITTÄMINEN

Ongelmajätteen käsittelijä tarvitsee toiminnalleen aina jäteluvan (Ympäristöministeriö, 1993b), jota anotaan ympäristölupamenettelyn mukaan. Jätelaissa tuottaja velvoitetaan vähentämään syntyvän ja hävitettävän jätteen määrää. Leikkuunesteiden huoltamisella, jolla tarkoitetaan leikkuunesteen käytettävyyden ylläpitoa ja puhdistamisella leikkuunestejätteen tuottaja pystyy vähentämään syntyvää leikkuunestejätteen määrää (Konkola ja Ranta, 1996).

Huoltaminen ja puhdistaminen voi yksinkertaisimmillaan olla metallilastujen ja muiden nesteessä olevien epäpuhtauksien suodattamista ja poistamista (Ken, 2008). Tällöin nesteestä erottuu ongelmajätteeksi luokiteltava jae, joka voidaan edelleen toimittaa hävitettäväksi

ongelmajätelaitokselle. Lisäksi leikkuunesteen puhdistamisella pystytäisiin vähentämään huomattavasti ongelmajätelaitokselle käsittelyyn joutuvaa veden määrää. Varsinaisen jätejakeen erottaminen leikkuunesteestä toisi tätä kautta myös suoria kustannussäästöjä jätteentuottajalle. (Perttilä, 2011a).

Kiinteän jätteen erotuksesta huolimatta veteen jää tavallisesti sellaisia määriä epäpuhtauksia, jotka tekevät vedestä viemäröintikelvotonta ja vettä joudutaan vielä jatkopuhdistamaan. Viemäröitävälle jätevedelle on asetettu erilaisia laatuvaatimuksia, jotka määrittelevät veden viemäröintikelpoisuuden. Esimerkiksi jätevesien sisältämien metallien enimmäismäärät on määrätty tarkasti. Mikäli asetetut raja-arvot ylittyvät on vettä jatkopuhdistettava ennen viemäröintiä tai se on toimitettava eteenpäin jatkokäsittelyyn. Vaikka vesi saataisiin puhdistettua viemäröintikelpoiseksi, tarvitsee sen laskeminen viemäriverkoston paikallisen vesiviranomaisen luvan (Konkola ja Ranta, 1996). Sallitut metallipitoisuudet vaihtelevat metallien välillä. Esimerkiksi sinkkiä saa vedessä olla 3,0 mg/l ja raskasmetalleja, kuten kadmiumia ja elohopeaa ei vedessä saa olla lainkaan (HSY, 2011).

5.1 Nesteen puhdistus käyttökohteessa

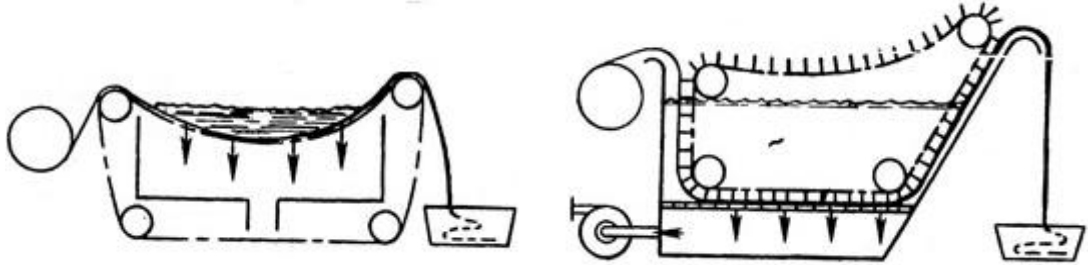
Puhdistuksen ja huollon tarkoituksena on poistaa ja erottaa mahdollisimman tehokkaasti niissä olevat epäpuhtaudet, kuten kiintoaines ja erilaiset vuotoöljyt. Puhdistettu leikkuuneste pysyy tällöin mahdollisimman pitkään käyttökelpoisena (Konkola ja Ranta, 1996). Puhdistamisen avulla pystytään kierrättämään olemassa olevaa leikkuunestettä, jolloin uuden leikkuunesteen hankkiminen myös vähenee. Leikkuunesteen puhdistamiseksi on olemassa useita erilaisia menetelmiä, joista ehkä parhaiten puhdistukseen sopivat yksinkertaiset ja edulliset puhdistusmenetelmät. Näitä ovat esimerkiksi laskeutusaltaat ja suodattimet.

5.1.1 Laskeutusaltaat ja suodattimet

Yleisimmin käytetty passiivinen puhdistusmenetelmä on erilaiset laskeutusaltaat (Konkola ja Ranta, 1996). Laskeutusaltaissa nesteessä olevat kiintoainehiukkaset laskeutuvat altaan pohjalle ja nestettä kevyemmät partikkelit esimerkiksi öljyt nousevat nesteen pintaan.

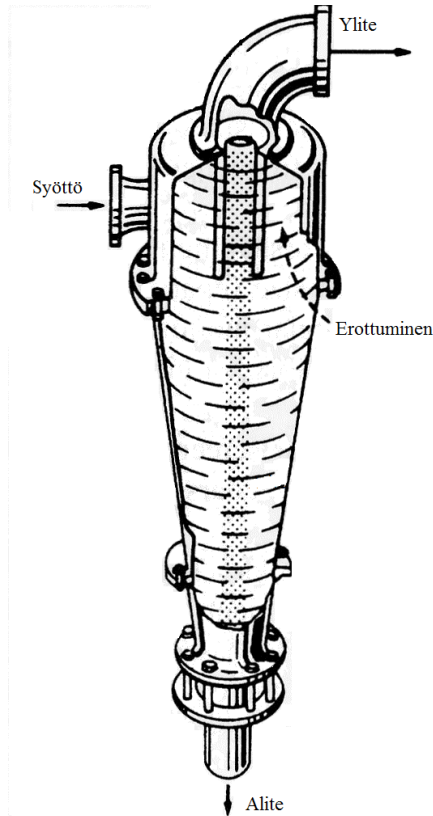
Kaikissa lastuamisjärjestelmissä on olemassa leikkuunesteelle varastointiallas, joka toimii leikkuunesteen varastona sekä syöttöaltaana (Konkola ja Ranta, 1996). Lisäksi sitä voidaan käyttää seisonta-altaana. Seisonta-altaassa neste viipyy jonkin aikaa, jolloin nesteessä olevat kiintoaineet laskeutuvat altaan pohjalle. Tämän takia seisonta-allas pitää suunnitella siten, että siihen mahtuu kierrossa olevan leikkuunesteen lisäksi nestemäärä, joka mahdollistaa nesteen sopivan viipymisen altaassa. Altaan muotoilulla voidaan tehostaa pohjalle laskeutuvan kiintoainesakan poistamista.

Seisonta-altaan kiintoaineen poistotehoa voidaan parantaa lisäämällä siihen nauhasuodatin, joka toimii suodattimena sekä suodatetun kiintoaineen poiskuljettajana. Kuvassa 2 on esitetty nauhasuodattimellisia laskeutusaltaita. Muita mahdollisia käytettäviä suodattimia epäpuhtauksien erotteluun voivat olla esimerkiksi pussisuodattimet.



Kuva 2 Erilaisia nauhasuodattimia (Joseph, 1987)

Liittämällä laskeutusallas lastuamisjärjestelmään saadaan aikaan toimiva ja yksinkertainen epäpuhtauksien erotusjärjestelmä. Kuvassa 3 on esitetty täyskierrollinen leikkuunestejärjestelmä erilaisine laitteineen. Siihen kuuluu puhdistuslaite, kuten mikrosuodatin, jonka tarkoituksena on puhdistaa lingolta ja laitteilta tullutta leikkuunestettä. Suodattimelta neste johdetaan puhdasnestesäiliöön, josta se syötetään takaisin laitteille. Käytetty leikkuuneste voidaan johtaa koneilta likaisen nesteen säiliöön tai suoraan välisäiliöön, josta se johdetaan lingolle. Välisäiliöön voidaan laittaa suodatin, joka poistaa suurimmat lastut pois nesteestä. Lingottu neste johdetaan lingotunnesteen säiliöön, jossa nesteen pH, konsentraatio ja bakteeripitoisuus voidaan mitata (Puustinen, 2010).



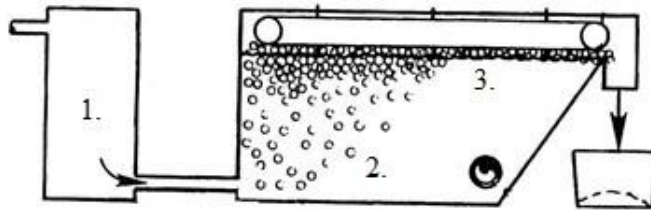
Kuva 4 Hydrosykloni (Sinnott, 2009)

5.1.3 Flotaatio

Flotaatio on erotusprosessi, jossa nesteestä erotetaan kiintoainetta tai jotain toista nestettä kaasukuplien ja koaguloivan aineen avulla (Crozier, 1992). Erotettava aine ja kantajaneste, johon erotettava aine on liennut muodostavat kaksi eri faasia. Erotettava aine muodostaa dispergoituneen ja kantajaneste jatkuvan faasin. Flotaatioerottimiin syötetään paineistettua ilman, nesteen (veden) ja kemikaalin, muodostamaa seosta. Nesteeseen puhallettavan kaasu-nesteseoksen ja siinä olevan sitovan kemikaalin ansiosta nesteessä olevat kiintoaineet tarttuvat kaasukuplien pintaan ja muodostavat nesteen pinnalle kohoavia agglomeraatteja. Kuvassa 5 on esitetty flotaatioerottelijän havainnekuva.

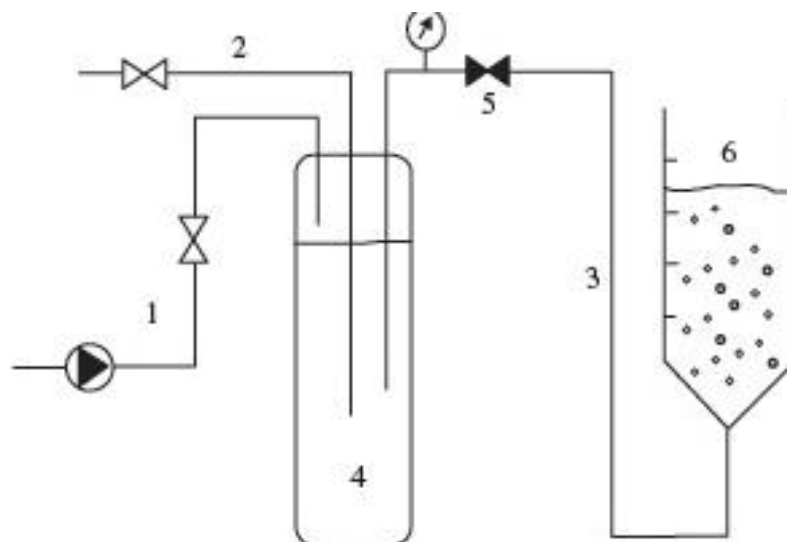
Laitteen toimintaperiaate:

1. Paineistettua ilman, veden ja sitovan kemikaalin seosta syötetään tankkiin
2. Kiintoaine tarttuu ilmakuplien pintaan ja sitovan kemikaalin ansiosta muodostaa pinnalle nousevaa vaahtoa
3. Pinnalle nousseet kiintoainekset ja muut epäpuhtaudet kerätään nesteen pinnalta pois



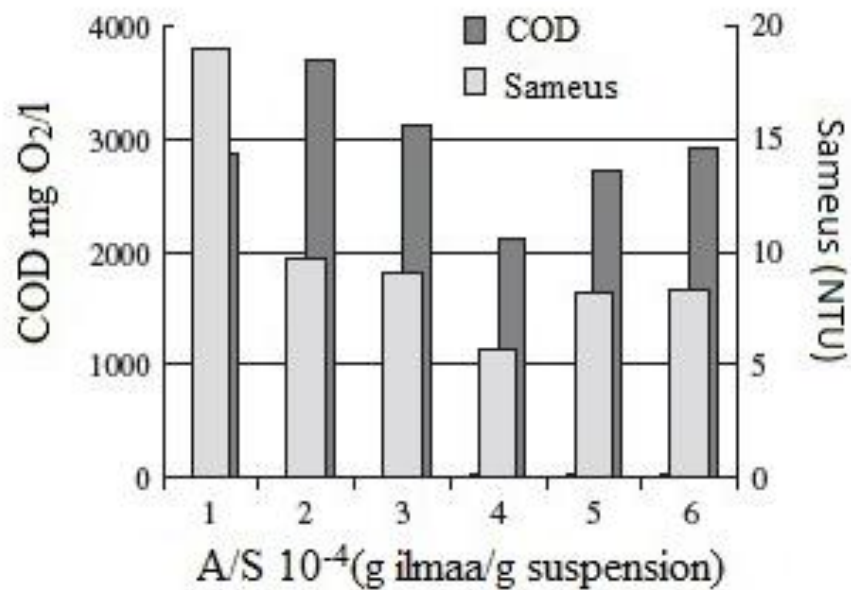
Kuva 5 Flotaatioerotin. (Joseph, 1987)

Bensadok *et al.* (2007) tutkivat emulsion kemiallisen koagulaation ja flotaation yhdistämisen tehoa leikkuunesteen käsittelyssä sekä emulsion öljyjen erottumista nesteen pinnalle. Muuttuvana tekijänä tutkimuksessa käytettiin nesteeseen puhallettavaa ilma/suspensio -suhdetta ($\frac{g_{ilmaa}}{g_{seosta}}$). Ilmapaineena käytettiin 6,5 bar. Flotaatio suoritettiin Kuvan 6 mukaisella laitteistolla. Tutkimuksessa käytetyn emulsion pH:ksi mitattiin 9,3, sameudeksi 52000 (NTU) ja kemialliseksi hapen kulutukseksi (COD) 156624 mg/l.

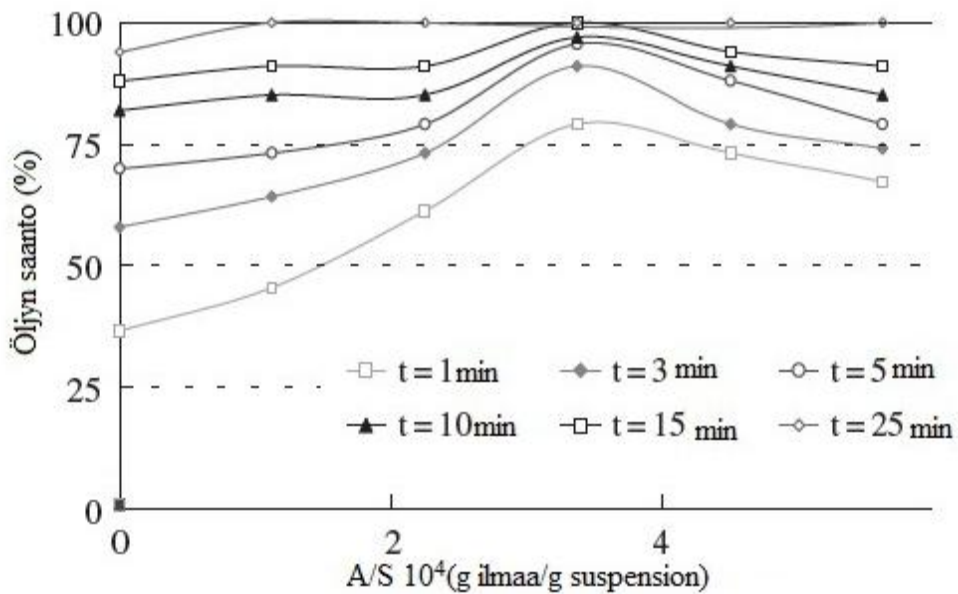


Kuva 6 Flotaatiolaitteisto 1. Vesiyhde, 2. Ilmayhde, 3. Paineistetun veden yhde, 4. Paineistin, 5. Säätoventtiili, 6. Flotaatioallas (Bensadok, Belkacem ja Nezzal, 2007)

Tutkimuksessa havaittiin, että ilman syöttösuhdetta muuttamalla ja painetta nostamalla nesteen puhdistuminen ja öljyjen erottuminen parani. Huomattavaa oli, että vaikka sameudesta saatiin lähes kaikki poistettua, saatiin ilman syöttösuhdetta muuttamalla noin 71 % parempi sameuden lasku kuin tavallisella flotaatiolla. Sameuden poiston paranemisesta huolimatta suspension lopullinen COD jäi vielä 2121 mg O₂/l:aan, kun tavoitearvo on 120 mg O₂/l. Flotaatiotutkimuksen sameus ja COD-arvojen mittaustulokset ovat Kuvassa 7. Öljyn erottuminen ajan suhteen on esitetty Kuvassa 8. Tutkimuksessa havaittiin erotustehokkuuden olevan parhaimmillaan suhteella $3,37 \cdot 10^4$ g (ilmaa)/g (suspensio).



Kuva 7 Flotaation jälkeiset tulokset (Bensadok, Belkacem ja Nezzal, 2007)



Kuva 8 Öljyn erottuminen ajan suhteen (Bensadok, Belkacem ja Nezzal, 2007)

5.2 Leikkuunesteen käytöstä poisto

Leikkuuneste pilaantuu ja se laatu heikkenee jatkuvasta puhdistamisesta huolimatta. Kun leikkuunestettä ei enää voi huoltaa tai se ei ole enää kannattavaa, joudutaan neste käsittelemään ja hävittämään. Tällöin leikkuunesteen käsittelyssä ja hävittämisessä menetellään ongelmajätelain (Ympäristöministeriö, 1993b) mukaan.

5.2.1 Kemiallinen koagulaatio

Kemiallinen koagulaatio perustuu metallisuolojen kykyyn kumota emulsion pisaroiden pintavaraus, jolloin emulsion rakenne hajoaa (Bensadok, Belkacem ja Nezzal, 2007; Kobya *et al.*, 2008; Hilal *et al.*, 2004b). Metallisuolojen lisäksi koagulaatiossa voidaan käyttää happoja ja synteettisiä polyelektrolyyttejä. Nesteen koaguloiminen ei täysin puhdistaa leikkuunestettä, vaan leikkuunesteeseen jää vielä epäpuhtauksia, jotka joudutaan poistamaan. Bensadok, Belkacem ja Nezzal (2007) tutkivat leikkuunesteen puhdistamista kemiallisen koagulaation ja flotaation avulla.

Hilal *et al.* (2004a) tutkivat leikkuunesteen puhdistamista esikäsittelemällä leikkuunesteen kemiallisesti, jonka jälkeen erottunut neste suodatettiin ultra- ja nanosuodatuksen avulla. Ulkomaisten tutkimuksen lisäksi Savon Ammattikorkeakoulussa tehdyssä LEIKKO-projektissa (Ruokojärvi, 2010) tutkittiin erään leikkuunesteen käsittelyä kemiallisen koagulaation avulla.

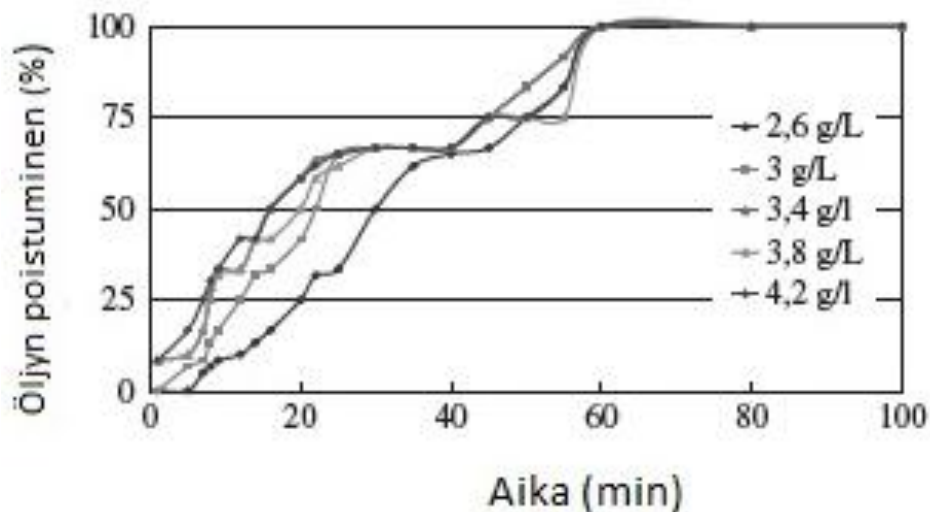
Koaguloimistutkimuksessaan Bensadok *et al.* (2007) käyttivät emulsion hajotukseen alumiinisulfaattia ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), rautakloridia ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) sekä kalsiumkloridia ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mutta tutkimuksen aikana havaittiin, että rautakloridi ei hajottanut emulsioita

toivotulla tavalla. Tutkimuksessa käytettiin kahdesta eri leikkuuöljystä (A ja B) valmistettua leikkuuemulsiota, joiden öljykonsentraatio vaihteli 2% -10% välillä. Tutkimuksessa käytettiin 6% emulsioita. Tehdyistä emulsioista mitattiin pH ja sameus. Saadut tulokset on esitetty Taulukossa II.

Taulukko II Leikkuuemulsion sameus ja pH (Bensadok, Belkacem & Nezzal, 2007)

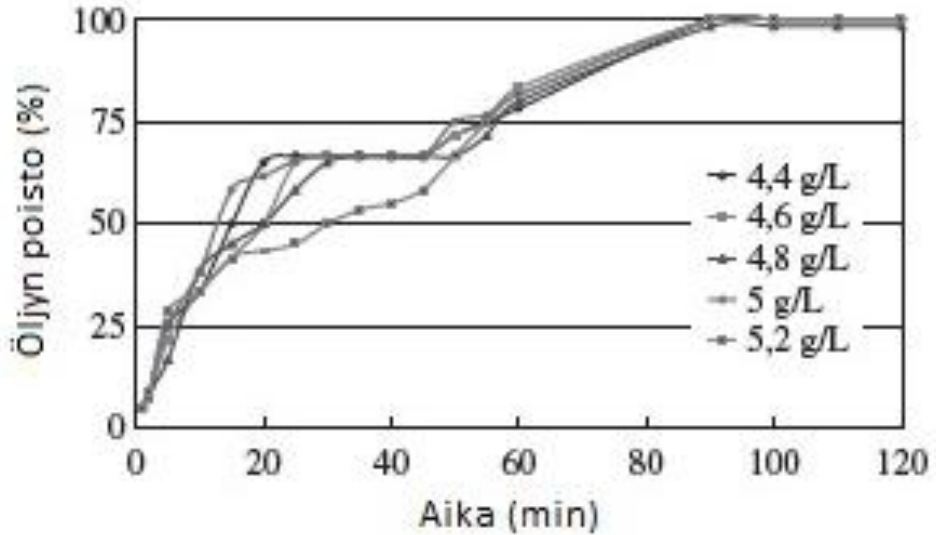
c(öljy)	2 %		4 %		6 %		8 %		10 %	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Sameus [NTU]	19140	12000	41090	17000	52000	19200	73000	23800	75000	27600
pH	9,05	8,62	9,21	8,68	9,31	8,73	9,41	8,87	9,44	8,98

Suolojen lisäämisen jälkeen leikkuunesteiden öljyjen erottumista seurattiin ja havainnot otettiin ylös. Kokeiden tulokset ovat Kuvissa 9, 10 ja 11.



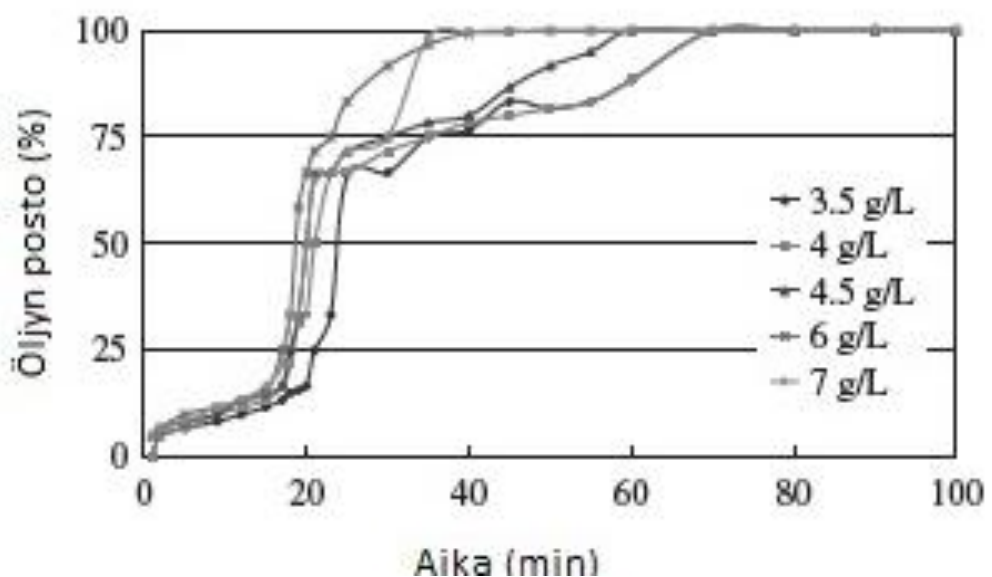
Kuva 9 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ konsentraation vaikutus öljyn A emulsion erotustulokseen (Bensadok, Belkacem ja Nezzal, 2007)

Kuvassa 9 on esitetty öljyn erottuminen kalsiumkloridin eri konsentraatioilla öljystä A valmistetussa leikkuuemulsiossa. Kuvasta havaitaan, että 40 minuutin kohdalla erottuminen on kaikilla kalsiumkloridi määrillä lähes samalla tasolla. Nesteiden emulsiot ovat hajonneet 60 minuutin kohdalla ja niiden sisältämät öljyt ovat erottuneet kokonaan. Lisäksi kuvasta voidaan havaita, että nopein erotustulos aluksi saadaan käyttämällä kalsiumkloridia konsentraatiolla 2,6 g/l.



Kuva 10 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ konsentraation vaikutus öljystä A valmistetun emulsion erotustulokseen (Bensadok, Belkacem ja Nezzal, 2007)

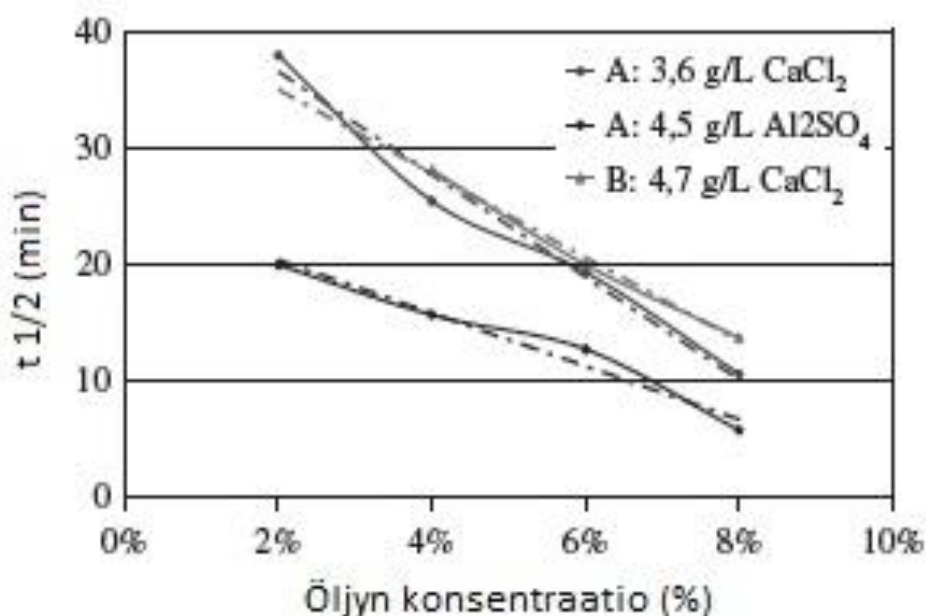
Kuvassa 10 on esitetty alumiinisulfaattikonsentraation vaikutus öljystä A valmistetun emulsion hajoamiseen. Kuvasta 10 havaitaan, että alumiinisulfaattilla erottuminen on aluksi hyvin nopeaa kaikilla alumiinisulfaattikonsentraatiolla. Erottuminen jatkuu muilla, kuin 5,2 g/l tasaisena aina 20 minuutin kohdalle saakka, jonka jälkeen erottuminen pysähtyy. Konsentraatiolla 5,2 g/l öljyjen erottumista tapahtuu vielä tämänkin jälkeen tasaisena aina noin 50 minuutin kohdalle, jonka jälkeen niiden erottuminen myös muilla jatkuu. Tämän jälkeen erottuminen tapahtuu kaikilla konsentraatioilla lähes yhtä nopeasti. Huomattavaa on myös, että alumiinisulfaatin avulla öljyjen täydellinen erottuminen tapahtuu vasta 90 minuutin kohdalla.



Kuva 11 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ vaikutus emulsion B erotustulokseen (Bensadok, Belkacem ja Nezzal, 2007)

Kuvassa 11 on esitetty kalsiumkloridikonsentraation vaikutus öljystä B valmistetun emulsion hajoamiseen ja erottumiseen. Kuvasta voidaan havaita, että verrattuna kahteen muuhun aikaisempaan kokeeseen tässä kokeessa tapahtuu aluksi todella nopea emulsion hajoaminen ja öljyjen erottuminen kaikilla kalsiumkloridin konsentraatioilla.

Emulsioiden hajoamisnopeuden avulla pystyttiin laskemaan kullekin emulsiolle sille optimaalinen koagulantin määrä. Tutkimuksen perusteella kalsiumkloridin optimikonsentraatioksi saatiin öljystä A valmistetulle emulsiolle 3,6 g/l ja B:stä 4,5 g/l. Öljystä A valmistetulle emulsiolle alumiinisulfaatin optimaaliseksi määräksi saatiin 4,7 g/l. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin öljykonsentraation vaikutuksen olevan merkityksetön erottumisnopeuteen käytettäessä laskettua optimaalista koagulantin määrää. Optimaalisen koagulanttikonsentraation avulla pystyttiin laskemaan partikkelien määrän puoliintumisaika $t_{1/2}$, jotka on esitetty Kuvassa 12. Kuvasta voidaan havaita, että molempien emulsioiden kalsiumkloridin avulla tapahtuneen erottumisen erottumisaika olevan samaa luokkaa (Bensadok, Belkacem ja Nezzal, 2007).



Kuva 12 liuenneiden partikkelien määrän puoliintumisaika öljyn konsentraation funktiona (Bensadok, Belkacem ja Nezzal, 2007)

Tutkimuksen lopuksi erottuneista leikkuuemulsioista mitattiin kokonaissameudet. Sameusmittauksen tulokset on esitetty Taulukossa III. Tutkimuksesta huomataan, että kahden leikkuuemulsion sameudet laskivat yli 99 % lähtötilanteen nähden (Taulukko II). Tästä huolimatta jäljelle jääneeseen nesteeseen jäi sellaisia määriä epäpuhtauksia, että sitä pitäisi vielä puhdistaa. Vaikka nesteeseen jäi puhdistamisesta huolimatta liuennutta öljyä, on kemiallinen emulsion hajottaminen tämän tutkimuksen perusteella hyvä esikäsittely jatkopuhdistukselle.

Taulukko III Nesteiden lopullinen sameus koagulaation jälkeen (Bensadok, Belkacem ja Nezzal, 2007)

c(öljy)	CaCl ₂		Al ₂ (SO ₄) ₃
	A	B	A
2 %	125	-	53
4 %	86	26	60
6 %	85	43	130
8 %	100	51	100
10 %	58	66	80

5.2.2 Sähköinen koagulaatio

Sähköisessä koagulaatiossa tarkoituksena on, kuten kemiallisessa koagulaatiossakin rikkoa emulsion nestepisarat. Nestepisarat hajotetaan elektrolyysissä muodostuvien positiivisten metalli-ioneiden avulla. Suurikokoiset metalliyhdisteet ja -kompleksit toimivat flokkien muodostajina ja kolloidien partikkeleiden adsorboijina. Tavallisimmin elektrodeina käytetyt metallit ovat rauta ja alumiini. Kobyja *et al.* (2008) ja Bensadok *et al.* (2008) ovat tutkineet leikkuuemulsion koaguloimista elektrolyysin avulla.

Elektrolyysissä tapahtuvat reaktiot:

Anodireaktiot



Katodireaktio



Alumiini ja rauta reagoivat hydrolyysituotteiden (katodireaktion) kanssa muodostaen useita erilaisia alumiini- ja rautayhdisteitä, kuten $\text{Al}(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^{+}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$ ja $\text{Fe}_2(\text{H}_2\text{O})_8\text{OH}_2^{4+}$. Nesteen pH:n on oltava oikea, jotta metalliyhdisteitä pystyisi muodostumaan sekä reaktiot orgaanisen aineksen kanssa olisivat mahdollisia. (Kobyja *et al.*, 2008; Bensadok *et al.*, 2008).

Alumiini muodostaa agglomeraatteja kahdella eri tavalla riippuen nesteen pH:sta. Alumiini pystyy saostamaan sekä adsorboimaan nesteessä olevia hiukkasia. Saostuminen tapahtuu monomeerisilla alumiiniyhdisteillä pH:n ollessa 4,0–5,0 ja polymeerisilla alumiiniyhdisteillä pH:n ollessa 5,0–6,0. Alumiinin kyky adsorboida partikkeleita ilmenee vasta pH:n ylittäessä 6,5 (Kobyja *et al.*, 2008).

Alumiiniyhdisteen koon lisäksi liuoksen pH vaikuttaa suuresti alumiiniyhdisteen kykyyn saostaa tai adsorboida kolloideja partikkeleita. Suurikokoiset alumiiniyhdisteet pystyvät reagoimaan orgaanisen materiaalin kanssa ja sitomaan kolloideja partikkeleita nopeasti. Tällöin syntyy suuria agglomeraatteja, jotka voidaan poistaa sedimentoinnin tai flotaation avulla.

Raudan toiminta perustuu enimmäkseen rautakompleksien muodostumiseen. Rautakompleksit alkavat polymeroitua pH:n ollessa 3,5–7,0. Rautayhdisteet ovat molekyylikooltaan suuria ja erittäin hydrofobisia, minkä johdosta ne reagoivat nopeasti orgaaniseen anionisenpartikkelin kanssa. Syntynyt rautayhdiste ja siihen tarttuneet partikkelit muuttuvat liukenemattomiksi, jolloin ne voidaan poistaa flotaation tai sedimentoinnin avulla. Raudalla on lisäksi taipumus muodostaa liukenemattomia metallikomplekseja eri ligandien, erityisesti polaaristen ja happea sisältävien funktionaalisten ryhmien kanssa. Näitä ovat esimerkiksi hydroksyyli- ja karboksyyli-ryhmät (Kobya *et al.*, 2008).

Taulukossa IV on esitetty Bensadok *et al.* (2008) tekemän elektrokoagulaatiotutkimuksessa käytetyn leikkuunesteen lähtöarvot. Tutkimuksessa käytettiin 4 % emulsiota ja siinä testattiin elektrolyysin tehoa leikkuunesteen hajottamiseen, muuttamalla sen pH:ta.

Taulukko IV Tutkittavan leikkuunesteiden alkuarvot (Bensadok *et al.*, 2008)

c(öljy)	COD [mg O ₂ /l]	Sameus (NTU)	pH _(i)	pH _(f)	σ _(i) [μs/cm]	σ _(f) [μs/cm]
2 %	60282	26400	8,63	8,43	257	3150
4 %	108208	51712	9,09	9	322	3350
6 %	116128	64125	9,69	9,3	419	3730

(f) tarkoittaa lopputilannetta (i) tarkoittaa lähtötilannetta.

Alumiinikatodia käytettäessä havaittiin elektrokoagulaation optimaalisen pH-alueen olevan 6-7 välillä. Tällöin leikkuunesteen sameudesta saatiin poistettua 99 % ja COD saatiin pienentymään 92 %. Kuitenkin vaikka sameuden ja COD alenivat huomattavasti, jäivät niiden lopulliset arvot vielä selvästi koholle. Taulukossa V on esitetty mittausten tulokset leikkuunesteen eri pH arvoilla.

Taulukko V Alumiinikatodilla käsitellyn leikkuunesteen loppuarvot (Bensadok *et al.*, 2008)

	pH _(i)					
	3	5	6	7	9	11
Sameus _(f) (NTU)	24587	20083	630	610	19024	23581
COD muutos (%)	91	91	91	91	74	60
Sameuden muutos (%)	82	61	99	99	66	54
pH _(f)	6,8	7,8	8	8,4	10,5	10,6
COD _(f)	10036	9856	8652	10058	28516	23581

f) tarkoittaa lopputilannetta (i) tarkoittaa lähtötilannetta.

Koby *et al.* (2008) suorittivat oman elektrokoagulaatiotutkimuksensa käyttämällä Al- ja Fe-elektrodeja. Tutkimuksessa käytettiin leikkuunestettä, jonka pH oli 7,6 sameus 15350 (NTU), COD 17312 mg O₂/l, orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC) 3155 mg/l ja sähkönjohtavuus 1,645 mS/cm. Taulukossa VI on esitetty elektrokoagulaation jälkeen tehtyjen analyysien tulokset.

Taulukko VI Leikkuunesteen loppuarvot Fe- ja Al-anodeilla (Koby *et al.*, 2008)

	Fe	Al
pH _(i)	7	5
Virran tiheys A/m ²	60	60
Aika (min)	25	25
COD muutos (%)	92	93
TOC muutos (%)	82	80
Sameuden muutos (%)	99,9	99,8
COD _(f)	1385	1212
TOC _(f)	568	631
Effluentin sameus (NTU)	15,4	30,7

(f) tarkoittaa lopputilannetta.

Bensadok *et al.* (2008) ja Koby *et al.* (2008) tutkimuksia vertailemalla voidaan havaita, että molemmat tutkimukset pääsivät samansuuruisiin tuloksiin COD kulutuksessa ja sameuden vähenemisessä. Tulosten samankaltaisuuksista voidaan siis vetää johtopäätös, että elektrokoagulaatio on toimiva ja tehokas menetelmä.

5.2.3 Ultrasuodatus

Ultrasuodatus on kalvoerotusprosessi, joka ominaisuuksiltaan asettuu mikro- ja nanosuodatuksen väliin. Ultrasuodatuksessa suodatettava neste suodatetaan puoliläpäisevän kalvon läpi ristikkäisvirtauksen mukaisesti (Konkola ja Ranta, 1996). Ristikkäisvirtaus tarkoittaa sitä, että neste virtaa kalvon suuntaisesti. Ultrasuodatusta käytetään yleisesti makromolekyylien sekä kolloidien suodattamiseen nesteestä (Mulder, 1996).

Ultrasuodatus soveltuu hyvin sellaisiin kohteisiin, joissa suuria molekyyliä, kuten öljypisaroita ja muita suurikokoisia partikkeleita halutaan poistaa liuoksesta tehokkaasti. Suodatuksen teho perustuu käytetyn kalvon huokosten läpäisykykyyn, käytettyyn paine-eroon, sekä nesteeseen liuenneiden molekyylien kokoon ja muotoon. Kalvoja voidaan valmistaa esimerkiksi keraamisista aineista, tai erilaisista polymeereistä, kuten polysulfonista (Mulder, 1996).

Polymeerikalvot eivät kestä korkeita lämpötiloja. Leikkuunesteessä olevat liottimet voivat myös vahingoittaa suodatinkalvoa. Tämän vuoksi käsiteltävä nesteen kemiallinen koostumus tulisikin

tietää. Mikäli leikkuunesteet eivät sovellu sellaisina ultrasuodatukseen ne voidaan käsitellä esimerkiksi edellä esitellyillä kemiallisella- tai sähköisellä koagulaatiolla.

Ultrasuodatuksessa käytettyjen kalvojen huokoskoko voi vaihdella 1nm ja 50nm välillä (Mulder, 1996). Ultrasuodatuksessa käytetyt kalvot ovat rakenteeltaan asymmetrisiä. Asymmetrisen kalvon pintakerros on huomattavasti tiheämpi kuin muut kalvon kerrokset. Ennen suodatusta leikkuunesteestä on poistettava suuret kiintoainepartikkelit. Suodattimena toimiva puoliläpäisevä kalvo voi tukkeutua helposti tai jopa rikkoutua, jos nesteessä on suuria kiintoainepartikkeleita. Alustava suodatus ja kiintoaineen erottelu voidaan suorittaa esimerkiksi lasketusaltaissa, magneettierottimilla, flotaatioerottimilla, sentrifugilla tai esimerkiksi pussisuodattimella. Lisäksi leikkuunesteelle voidaan suorittaa kemiallinen tai sähköön perustuva koagulointi, jolloin sen emulsio rikotaan ja sen sisältämät öljyt saadaan lähes kokonaisuudessaan suodatettua talteen.

Suodatusprosessissa osa syötteessä olevasta nesteestä siirtyy ylipaineen ansiosta kalvon läpi. Kalvon läpäissyttä nestettä kutsutaan permeaatiksi ja toiselle puolelle jäävää osaa konsentraatiksi. Konsentraatti syötetään takaisin suodattimen syöttösäiliöön ja se kiertää järjestelmässä niin pitkään kunnes kalvo tukkeutuu. Ultrasuodattimen kalvot puhdistetaan vastavirtapesulla. Ultrasuodatettuun nesteeseen jää pieniä määriä liuenneita metalleja, suoloja, kemikaaleja sekä mahdollisesti öljyjä. Tämän takia ultrasuodatuksella puhdistettua vettä ei välttämättä voi viemäroidä (Konkola ja Ranta, 1996).

Ultrasuodatusta ja nanosuodatusta on tutkittu runsaasti. Muun muassa Hesampour *et al.* (2008), Moulai-Mostefa *et al.* (2010) ja In-Soung *et al.* (2001) ovat tutkineet ultra- ja nanosuodatuksen tehoa leikkuunesteiden käsittelyssä.

Hilal *et al.* (2004a) ja Belkacem *et al.* (1995) tutkivat esikäsitellyn leikkuunesteen puhdistamista ultrasuodatuksella ja nanosuodatuksella. Tutkimuksissa leikkuuneste esikäsiteltiin koaguloinnin avulla ennen suodatusta. Tutkimuksissa emulsion hajottamiseen käytettiin alumiinisulfaattia ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), alumiinikloridia (AlCl_3), rautasulfaatti pentahydraattia ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) sekä rautakloridia (FeCl_3). Belkacem *et al.* (1995) käyttivät esikäsitelyaineena kalsiumkloridia CaCl_2 . Esikäsitelyn jälkeen eroteltu neste suodatettiin ultra- ja nanosuodattimilla.

Hilal *et al.* (2004b) käyttivät omassa ultrasuodatuksessa polysulfonaattikalvoja ja paineena kokeessa käytettiin 150 kN/m^2 . Nanosuodattimella käytettiin kahta eri kalvoa. Ultra- ja nanosuodatuksen tehokkuus analysoitiin molempien permeaatista, eli puhdistetusta nesteestä. Koagulaation erotustehokkuus analysoitiin seoksen supernatantista, eli kirkastuneesta nesteestä. Nanosuodatuksen koeaineena käytettiin koagulaatiosta saatua supernatanttia. Taulukossa VII on

esitetty Hilal *et al.* (2004b) suodatuksista saadut tulokset. Tuloksista havaittiin, että ultrasuodatuksen teho on koagulaatiota hieman parempi, mutta jäljelle jäänyt neste jäi ultrasuodatuksessa sameaksi kun koagulaation supernatantti oli kirkas. Nanosuodatuksen erotustehokkuus jäi kuitenkin huonoksi, jonka syyksi epäiltiin liuokseen jääneitä kalvon läpäisseitä vesiliukoisia yhdisteitä.

Taulukko VII Vertailututkimuksen koetulokset (Hilal *et al.*, 2004b)

	Leikkuuneste	Koaguloitu neste	Koaguloitu neste, yliannos	UF	NF-500Da	NF-2000Da
TOC [mg/l]	44209	5714,6	5714,6	5374	4356	3832
pH	8,55	8,55	7,4	4,3	7,4	7,4

Toisessa tutkimuksessa Hilal *et al.* (2004a) tutkivat niin ikään ultra- ja nanosuodatuksen avulla leikkuunesteen puhdistamista. Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli tutkia nano- ja ultrasuodatuksista saatavan permeaatin käyttökelpoisuutta uuden leikkuunesteen raaka-aineena. Vertailukohtana saadulle permeaatille käytettiin tavallista vesijohtovettä. Tutkimuksessa nano- ja ultrasuodattimien suodatustehoa tutkittiin muuttamalla kalvon läpi olevaa painetta. Taulukossa VIII on esitetty suodatuksista saatujen permeaattien sekä vertailukohteenä olevan vesijohtoveden analyysitulokset.

Taulukko VIII nesteiden arvot (Hilal *et al.*, 2004a)

	pH	Johtavuus [mS/cm]	Sameus [NTU]	Väri	COD [mg O ₂ /l]
Vesijohtovesi	7,4	0,5	0,1	läpin.	-
NF-permeaatti	9,3	1,283	0,8	keltainen	7850
UF-permeaatti	9,2	0,8	240	keltainen	13700

Permeaattien uudelleen käyttömahdollisuutta tutkittiin vertaamalla NF- ja UF-permeaateista tehtyjä leikkuunesteitä tavallisesta vesijohtovedestä valmistettuun leikkuunesteeseen. Leikkuunesteiden käyttäytymistä tutkittiin vaahtoamisen kautta. Vaahtoamistestien tuloksena havaittiin, että pienikin määrä puhdistettua vettä aiheutti leikkuunesteen voimakkaan vaahtoamisen (Hilal *et al.*, 2004a). Tutkimuksessa huomattiin myös, että 12,5 % nanosuodatettua vettä sisältävä neste ei enää vaahtonut.

5.2.4 Nanosuodatus

Nanosuodatus on periaatteeltaan samankaltainen suodatusmenetelmä kuin ultrasuodatus, mutta nanosuodatuksessa kalvon huokoskoko on ultrasuodatuskalvoja pienempi. Huokoskoko nanosuodatuskalvoilla on tavallisesti alle 2 nm. Nanosuodatuksen avulla nesteestä voidaan erottaa

siihen liuenneita kevyitä ja pieniä partikkeleita, jotka läpäisevät ultrasuodatuskalvon. Nanosuodatuksen ajavana voimana toimii paine-ero, joka on ultrasuodatusta suurempi johtuen kalvon hydrodynamisesta vastuksesta. Nanosuodatuksessa käytettävät paineet liikkuvat yleensä 10-20bar välillä. Suodatuksen tuloksena saadaan puhdasta vettä, mutta esimerkiksi suolat ja jotkin sokerit läpäisevät nanosuodatuskalvon (Mulder, 1996).

5.2.5 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosi on kalvosuodatusmenetelmä, jota käytetään silloin, kun nesteestä tahdotaan poistaa kolloideja partikkeleita kuten suoloja. Käänteisosmoosissa käytettävän puoliläpäisevän kalvon huokoskoko on alle 2 nm, joka mahdollistaa pienimpienkin partikkeleiden poistamisen nesteestä. Käänteisosmoosissa ajavana voimana toimii paine-ero kalvon yli. Käänteisosmoosissa nesteen virta on väkevämmältä puolelta laimeammalle. Tämä saadaan aikaiseksi, kun väkevämmälle puolelle muodostetaan nesteen osmoottista painetta suurempi paine. Osmoottinen paine riippuu erotettavista ainesta, mutta se on yleisesti 20-100 bar välillä (Mulder, 1996). Käänteisosmoosin avulla saadaan valmistettua täysin puhdasta vettä.

5.3 Biologinen käsittely

Leikkuunesteiden erääksi käsittelymenetelmäksi on esitetty biologista käsittelyä. Leikkuunesteiden monimutkainen koostumus ja niissä olevat lisäaineet hankaloittavat hajotuksessa käytettyjen bioreaktoreiden toimintaa. Cheng *et al.* (2005) tutkivat bakteerien käyttöä leikkuunesteiden käsittelyssä. Myös Moscoso *et al.* (2011) ja Perez *et al.* (2007) ovat tutkineet leikkuunesteiden käsittelyä mikrobien avulla.

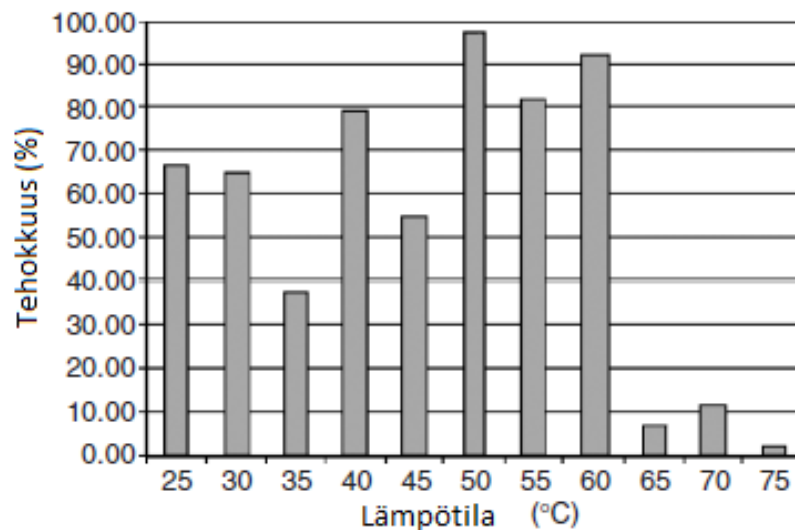
Cheng *et al.* (2005) tekemässä tutkimuksessa käytettiin yksinkertaista bioreaktoria, jonka mikrobikanta oli saatu jo olemassa olevalta kemiallalta jätettä käsittelevältä laitokselta aktiivilietteen muodossa. Bioreaktorin ravintoliuoksina käytettiin glukoosia ja käytettyä leikkuunestettä. Käytetyt leikkuunesteet olivat leikkuuemulsio, sekä synteettinen neste vesiliuoksessa. Reaktorin pH-arvo pidettiin 6,8 ja 7,2 välillä ja sen säätäminen suoritettiin natriumhydroksidiliuoksen avulla. Taulukossa IX on esitetty kokeessa käytettyjen mikrobien kemiallisen hapen poistotehokkuus eri lämpötiloissa.

Tutkimuksessa havaittiin, että vettä sisältävät leikkuunesteet ovat sellaisina hyviä kasvualustoja bakteereille. Leikkuunesteet sisältävät lisäksi jo varsin laajan bakteerikannan, joka pystyy käyttämään leikkuunestettä elinympäristönään. Leikkuunesteen tehokaan biokäsittelyn kannalta bioreaktorissa käytettävää mikrobikantaa voidaan joutua muokkaamaan (Cheng, Phipps ja Alkhattar, 2006). Tällaista mikrobikannan muuttamista kutsutaan bioaugmentaatioksi.

Taulukko IX Kemiallisen hapen poistonopeus (Cheng, Phipps ja Alkhammadar, 2006)

Lämpötila	COD kulutus [mg COD/h]
25	317
30	335
35	121
40	1515
45	898
50	2877
55	450
60	883
65	20
70	12
75	1

Tutkimuksessa havaittiin, että mikrobien kemiallinen hapen kulutus oli tehokkainta lämpötilan ollessa 50 °C. Bakteerien kemiallisen hapen kulutuksen aste (mg COD/h) on esitetty taulukossa IX ja Kuvassa 13 on esitetty mikrobien COD:n kulutuksen kokonaistehokkuus retentioajan lopussa. Reaktorin hapen määrä mitattiin jatkuvasti siihen liitetyn happi-mittarin avulla. Liuenneen hapen määrän muuttumisen avulla pystyttiin laskemaan bakteerien kemiallisen hapen kulutusnopeus.



Kuva 13 Mikrobien kemiallisen hapen kulutustehokkuus. Muokattu lähteestä (Cheng, Phipps ja Alkhammadar, 2006)

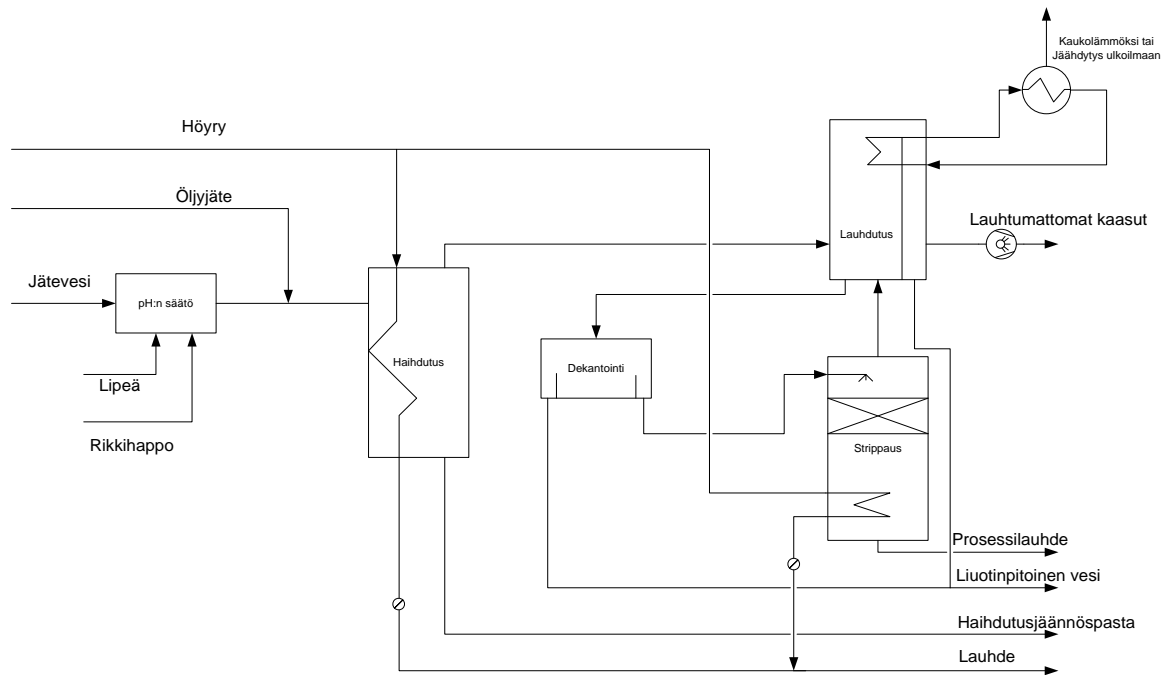
Tutkimuksen tuloksena pystyttiin osoittamaan, että biologinen käsittely käytetyille nesteille on mahdollista ja jopa kannattavaa, vaikkakin 50 °C:n lämpötilassa saavutettu 97 % erotustehokkuus

jätti lopullisen kemiallisen hapen määrän vielä niinkin suureksi kuin 5300-6000 mg/g(liuosta). Vaikka retentioaikaa jatkettiin aina 600h asti, ei seoksessa tapahtunut enää merkittävää kemiallisen hapen kulumista. Tämä kertoo siitä, että leikkuunesteessä on runsaasti biohajoamattomia yhdisteitä, joita bakteerit eivät pysty käyttämään. Perez *et al.* (2007) saivat omassa kokeessaan COD:n poistoksi myös yli 90 %. Kulutuksen eron syynä voidaan pitää erilaisia mikrobikantoja ja leikkuunesteen koostumuksia. Tehtyjen tutkimusten perusteella biologista hajottamista voidaan pitää hyvänä leikkuunesteen esikäsittelymenetelmänä.

5.4 Leikkuunesteen käsittely ongelmajätelaitoksella

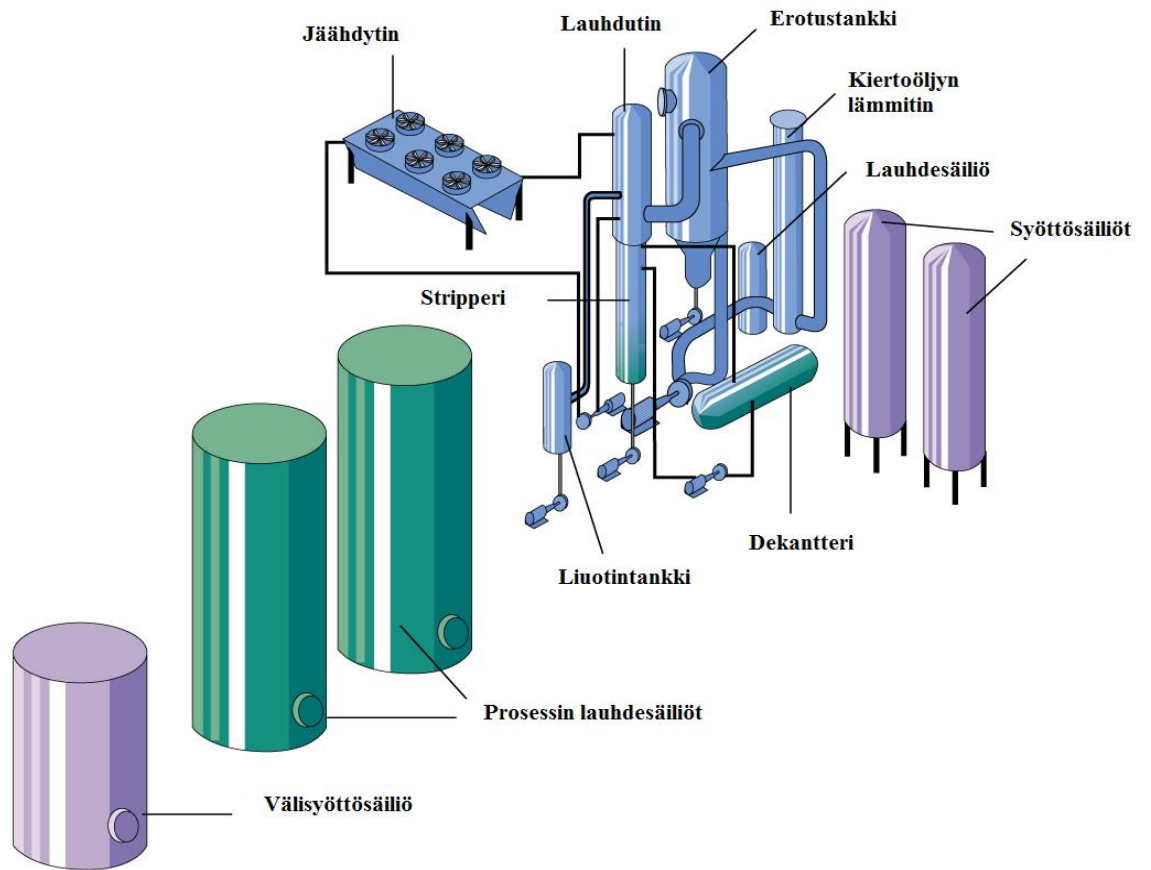
Leikkuunesteiden suodokset ja käytetyt leikkuunesteet toimivat sellaisinaan polttoaineena voimalaitoksilla. Leikkuunesteitä voidaan polttaa esimerkiksi yhdyskuntajätteen seassa. Polttamalla niiden sisältämä energia saadaan lämmön- ja sähköntuotantoon. Leikkuunestejätteen sisältämien raskasmetallien vuoksi polttolaitosten päästöille on määrätty tarkat rajat. Niistä johtuen poltto pitää suorittaa pääasiassa ongelmajätelaitoksilla. Näissä laitoksissa poltossa syntyviä kaasumaisia päästöjä voidaan seurata tehokkaasti. Poltossa syntyvä kuona sisältää mahdollisesti erilaisia raskasmetalleja ja muita palamattomia myrkyllisiä yhdisteitä. Tätä kuonaa voidaan joutua vielä jatkokäsittelyyn. Näiden syiden vuoksi leikkuunesteiden poltto tulee suorittaa laitoksella, jossa pystytään tarkkailemaan muodostuneita päästöjä ja käsittelemään palamisesta syntyneitä kiinteitä sekä kaasumaisia päästöjä ja jätteitä.

Ekokemin ongelmajätelaitos käsittelee Suomessa syntyviä leikkuunesteitä ja -öljyjä ja käyttää ne lämmön ja sähkön tuotannossa (Perttilä, 2011). Mikäli nesteen laatu ei ole tiedossa, analysoinnin avulla varmistetaan jätteelle oikea käsittelytapa. Leikkuunesteet voidaan vesipitoisuuden ollessa pienen polttaa suoraan ongelmajätelinjalla tai käsitellä haihdutuslaitoksella. Tällöin leikkuunesteiden sisältämä vesi saadaan viemäroityä ja vain orgaaninen osa haitallisine jäämineen poltetaan korkealämpötilaprosessissa. Haihdutuslaitoksen tarkoituksena on estää turhan veden joutuminen polttoprosessiin ja säästää siten energiaa ja ongelmajätteen polttokapasiteettia. Prosessin lopputuloksena puhdistunut vesi johdetaan kunnalliselle vedenpuhdistamolle normaaliin vedenpuhdistusprosessiin tai kierrätetään prosessivetenä. Haihdutuslaitoksen virtauskaavio on esitetty Kuvassa 14.



Kuva 14 Virtauskaavio Ekokem:n haihdutuslaitoksesta. Muokattu lähteestä (Perttilä, 2011b)

Haihduttimessa seoksesta höyrytetään kaikki höyrytyvät ainesosat kuten vesi ja liuottimet, jolloin jäljelle jäävät kiintoaine ja muut korkean kiehumispisteen omaavat ainesosat, kuten raskaat öljyt ja pääosa metalliyhdisteistä (Perttilä, 2011a). Lämmönlähteenä haihduttimella käytetään voimalaitokselta tulevaa prosessihöyryä. Haihdutuksessa höyrystyneet kaasut johdetaan lauhduttimeen ja sieltä edelleen dekantointiin. Haihdutusjäännökseksi jäävä pasta pumpataan polttoon. Pisaranerotuksen läpi päässeet öljyt ja haihtuneet kevyemmät aineet johdetaan lauhduttimen kautta dekanteriin, jossa öljyn ja veden erottuminen tapahtuu painovoimaisesti. Öljyseos johdetaan pois prosessista polttoon liuotinpumpun avulla. Jäljelle jäänyt painavampi fraktio johdetaan stripperiin, jossa vesi ja haihtuvat liuottimet erottuvat höyryn avulla pohjakolonnissa. Haihdutuslaitoksella käsitellään vuosittain noin 20000 tonnia erilaisia liuotin ja öljypitoisia jätteitä. Leikkuunesteiden kaltaisten vesipitoisten liuottimien osuus on tästä noin 6500 tonnia. Kuvassa 15 on esitetty haihdutuslaitoksen havainnekuva.



Kuva 15 Prosessin laitekuva (Perttilä, 2011b)

6 YHTEENVETO

Työssä tehtiin katsaus leikkuunesteiden käsittelyyn liittyviin menetelmiin ja niitä koskeviin tutkimuksiin. Leikkuunesteiden käsittely voidaan jakaa kahteen osaan: Käytön aikaiseen käsittelyyn, jolla pyritään maksimoimaan leikkuunesteen käyttöikä ja käytettävyys sekä käytön jälkeiseen, jossa esillä olevien menetelmien tarkoituksena on poistaa leikkuunesteet käytöstä tai hävittää ne.

Käytön aikaisia käsittelymenetelmiä ovat perinteiset suodattimet ja erottimet ja niiden tarkoituksena on poistaa pääasiassa leikkuunesteessä olevat kiintoaineet ja mahdolliset vuotoöljyt. Tällöin leikkuunesteet pysyvät käyttökelpoisina pidempään ja työstön jälki on hyväksyttävää. Leikkuunesteen huoltamisella pystytään myös vähentämään syntyvän jätteen määrää. Käytönaikaiset sovellukset leikkuunesteiden huoltamiseksi ovat verrattain edullisia ja yksinkertaisia ja ne soveltuvatkin jokaiseen leikkuunesteitä käyttävään kohteeseen.

Leikkuunesteiden käytönjälkeisiä menetelmiä on tutkittu runsaasti. Osa menetelmistä on ylivoimaisesti muita tehokkaampia ja osa tutkituista menetelmistä toimii erinomaisesti esikäsittelymenetelminä. Erityisen tehokkaiksi menetelmiksi osoittautuivat ultra- ja nanosuodatus. Kuitenkin näyttää siltä, että tehokkain leikkuunesteen käsittelyjärjestelmä koostuu esi- ja jälkikäsittelymenetelmästä. Esimerkiksi yhdistämällä koagulointi ja ultrasuodatus päästään tehokkaaseen ja hyvään tulokseen.

Uutena kehitys- ja tutkimusalueena leikkuunesteiden käsittelyssä tutkitaan leikkuunesteiden biologista käsittelyä. Tulokset ovat lupaavia sillä biologisella käsittelyllä lähes 100% leikkuunesteiden sisältämistä öljyistä on saatu poistettua. Tällä hetkellä biologinen käsittely näyttäisi soveltuvan parhaiten leikkuunesteen esikäsittelyyn.

Metallipajoille leikkuunesteen käsittelymenetelmää valittaessa tulee kiinnittää huomiota laitteiston todelliseen tarpeeseen. Pienille pajoille ja laitoksille, joilla leikkuunesteiden kulutus on vähäistä, sopisi käsittelylaitteiksi yksinkertaiset helppokäyttöiset, mutta tehokkaat suodatusjärjestelmät. Suurilla metallipajoilla ja laitoksilla, joilla leikkuunesteitä kulutetaan paljon, leikkuunesteiden käsittelyjärjestelmä voisi olla kehittynyt ja sisältää tehokkaan nesteen käsittely- ja puhdistusjärjestelmän. Näin leikkuunesteiden vesi pystyttäisiin puhdistamaan ja viemäröimään, tai mahdollisesti käyttämään uudelleen paikan päällä.

Lähdeluettelo

- Aaltonen, K., Andersson, P. ja Kauppinen, V. 1997. *Koneistustekniikat*. Porvoo: WSOY.
- Belkacem, M., Matamoros, H., Cabassud, C., Aurelle, Y. & Cotteret, J. 1995. "New results in metal working wastewater treatment using membrane technology". *Journal of Membrane Science*, 106(3), pp. 195-205.
- Bensadok, K., Belkacem, M. & Nezzal, G. 2007, "Treatment of cutting oil/water emulsion by coupling coagulation and dissolved air flotation", *Desalination*, 206(1-3), pp. 440-448.
- Bensadok, K., Benammar, S., Lapique, F. & Nezzal, G. 2008. "Electrocoagulation of cutting oil emulsions using aluminium plate electrodes". *Journal of hazardous materials*, 152(1), pp. 423-430.
- Chang, I., Chung, C. & Han, S. 2001. "Treatment of oily wastewater by ultrafiltration and ozone". *Desalination*, 133(3), pp. 225-232.
- Cheng, C., Phipps, D. & Alkhaddar, R.M. 2006. "Thermophilic aerobic wastewater treatment of waste metalworking fluids". *Water and Environment Journal*, 20(4), pp. 227-232.
- Cheng, C., Phipps, D. & Alkhaddar, R.M. 2005. "Treatment of spent metalworking fluids", *Water research*. 39(17), pp. 4051-4063.
- Dilger, S., Fluri, A. & Sonntag, H. 2005. "Bacterial contamination of preserved and non-preserved metal working fluids". *International journal of hygiene and environmental health*, 208(6), pp. 467-476.
- Forsell, P. 2000. *Kone- ja metalliteollisuuden ympäristöopas : tietoa yrityksen materiaali- ja jäteasioista*. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- Greeley, M. & Rajagopalan, N. 2004. "Impact of environmental contaminants on machining properties of metalworking fluids". *Tribology International*, 37(4), pp. 327-332.
- Heinonen, T. 2000. *Ongelmajäteopas*. 2. uudistettu painos. Riihimäki: Ekokem.
- Hesampour, M., Krzyzaniak, A. & Nyström, M. 2008. "Treatment of waste water from metal working by ultrafiltration, considering the effects of operating conditions". *Desalination*, 222(1-3), pp. 212-221.
- Hilal, N., Busca, G., Hankins, N. & Mohammad, A.W. 2004a. "The use of ultrafiltration and nanofiltration membranes in the treatment of metal-working fluids". *Desalination*, 167, pp. 227-238.
- Hilal, N., Busca, G., Talens-Alesson, F. & Atkin, B.P. 2004b. "Treatment of waste coolants by coagulation and membrane filtration". *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 43(7), pp. 811-821.

- Helsingin seudun ympäristöpalvelut, HSY, 2011. *Viikinmäen ja Suomenojan jätevesipuhdistamoille johdettavien jätevesien raja-arvot 1.1.2010 alkaen*. [Elektroninen aineisto]. Saatavissa: http://www.hsy.fi/vesi/Documents/Asiakaspalvelu/Poikkeavat%20j%C3%A4tevedet/jateveden_raja-arvot.pdf [2011, 30.9].
- Joseph, J.J. 1987. *Coolant Filtration*. 2.painos., East Syracuse, New York, USA: Joseph marketing, 124 s
- Kause, K. 1985. *Keskiasteen kemia*. 3. painos. Jyväskylä: Kustannus Ky teknikus
- Ken, S. 2008. "Machinery and processing: Managing cutting fluids used in metal working". *Filtration & Separation*, 45(7), pp. 20-23.
- Koby, M., Ciftci, C., Bayramoglu, M. & Sensoy, M.T. 2008. "Study on the treatment of waste metal cutting fluids using electrocoagulation". *Separation and Purification Technology*, 60(3), pp. 285-291.
- Konkola, M. ja Ranta, P. 1996. *Lastuamisnesteet : hankinnasta hävitykseen*. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus,
- Moscoso, F., Deive, F.J., Villar, P., Pena, R., Herrero, L., Longo, M.A. & Sanromán, M.A. "Assessment of a process to degrade metal working fluids using *Pseudomonas stutzeri* CECT 930 and indigenous microbial consortia". *Chemosphere*.
- Moulai-Mostefa, N., Frappart, M., Akoum, O., Ding, L. & Jaffrin, M.Y. 2010. "Separation of water from metal working emulsions by ultrafiltration using vibratory membranes". *Journal of hazardous materials*, 177(1-3), pp. 978-982.
- Mulder, M. 1996. *Basic principles of membrane technology*. Dordrecht: Kluwer.
- Perez, M., Rodriguez-Cano, R., Romero, L.I. & Sales, D. 2007. "Performance of anaerobic thermophilic fluidized bed in the treatment of cutting-oil wastewater". *Bioresource technology*, 98(18), pp. 3456-3463.
- Perttilä, Jouni. 2011a. *Haihdutuslaitokseen tutustuminen*. [Suullinen tiedonanto] ,Henkilökohtainen vierailu. 8.5.2011.
- Perttilä, Jouni. 2011b. *Haihdutuslaitokseen tutustuminen*. [Powerpoint esitys- ja materiaali], Henkilökohtainen vierailu. 8.5.2011.
- Puustinen, H. 2010. *Leikkuunesteiden käytön, kierrätyksen ja jätehuollon yleisopas*. Kuopio: Savonia ammattikorkeakoulu. [Elektroninen aineisto], Saatavissa: <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/leikkonet2.pdf>
- Reijonen, T. 2011. *Käytettyjen leikkuunesteiden käsittely- ja puhdistusmenetelmät*. Kuopio: Savonia ammattikorkeakoulu. [Elektroninen aineisto]. Saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/31511/Reijonen_Tero.pdf?sequence=1.

- Ruokojärvi, A. 2010. "*Leikkuunesteiden kierrätyksen ja jätehuoltopalveluiden kehittäminen kone- ja metalliteollisuudessa – LEIKKO*". Kuopio: Savonia ammattikorkeakoulu. [Elektroninen aineisto], Saatavissa:
http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/teknologia_ja_ymparisto/ymparistotekniikka/LEIKKO/YhteenvetoraporttiLEIKKO.pdf
- Sánchez-Oneto, J., Portela, J.R., Nebot, E. & Martínez de la Ossa, E. 2007. "Hydrothermal oxidation: Application to the treatment of different cutting fluid wastes". *Journal of hazardous materials*, 144(3), pp. 639-644.
- Sinnott, R.. 2009. *Chemical engineering design*. Volume 6. 4th ed. Amsterdam: Elsevier.
- Talbi, Z., Haddou, B., Bouberka, Z. & Derriche, Z. 2009. "Simultaneous elimination of dissolved and dispersed pollutants from cutting oil wastes using two aqueous phase extraction methods". *Journal of hazardous materials*, 163(2-3), pp. 748-755.
- Tonteri, H. 1993. *Konepajateollisuuden ympäristöhaittojen vähentäminen*. Espoo: VTT.
- Ympäristöministeriö, 1993a. Jäteasetus. Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1993/19931390>.
- Ympäristöministeriö, 1993b. Jätelaki. Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19931072?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=j%C3%A4telaki>.

LIITTEET

Liite 1 Yleisesti käytettyjä leikkuunesteiden lisäaineita

Lisäaineen tarkoitus	Käytettävät yhdisteryhmät
Pidon Lisäys	Polymeroidut alumiinisaippuat Tyydyttymättömät rasvahapot
Emulgaattori	Amiinit ja suolat Rasvahapot Sulfonihapot Nafteenihapot sulfeeni- ja nafteenihappojen saippuat
Vaahoamisen esto	Polyorganosilikaatit Vahaemulsiot
Hapettumisen estoaineet	Fenolit Aromaattiset amiinit
EP-lisäaineet	Klooriparafiinit Rikitetyt rasvahappoesterit Rikitetyt terpeenit Orgaaniset disulfidit Lyijysaippuat Orgaaniset fosforiyhdisteet kloorimetafosfonaatti Ditiofosforihapon esterisuolat Sinkkiditiokarbamaatti
Korroosionsuoja-aineet	Hiilihapot Hiilihapposuolat Amidit, amiinit Sulfonaatit Fosfaatit
Viskositeettiparantajat	Polymetakrylaatit polyisobutyleenit
Dispergointiaineet	Metallinaftenaatit Metallisulfonaatit Polyalkenyylisukkinimidit
pinta-aktiiviset aineet	Metallikarboksylaatit Metallisulfonaatit Metallialisylaatit Metallialkoholit
Biosidit	Fenolit Klooriyhdisteet Formaldehydijohdannaiset Rikki- ja typpiheterosyklit