

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

## **ALUSONNETTOMUUDESSA SYNTYNEIDEN ÖLJYISTEN JÄT- TEIDEN TERMINEN KÄSITTELY**

### **Thermal treatment of oil spill waste after a vessel accident**

Työn tarkastaja: Professori Mika Horttanainen

Työn ohjaaja: DI Mari Hupponen

Lappeenrannassa 20.2.2010

Aki Heinonen

# SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO .....	2
1. JOHDANTO .....	3
2. ÖLJYISEN JÄTTEEN KOOSTUMUS .....	4
2.1 Öljyinen maa-aines .....	4
2.2 Öljyiset kuolleet eläimet .....	6
2.3 Keräämisestä syntyneet jätteet .....	6
3. ÖLJYISEN JÄTTEEN TERMINEN KÄSITTELY .....	7
3.1 Poltto voimalaitoksissa .....	8
3.1.1 Leijupetikattila .....	9
3.1.2 Arinakattila .....	10
3.1.3 Rumpu-uunit .....	12
3.2 Termodesorptiolaitteisto .....	14
3.2.1 Toimintaperiaate .....	17
3.2.2 Käsiteltävät jätejakeet .....	18
3.2.3 Suomessa toimivat termodesorptiolaitokset .....	19
4. KOKEMUKSIA ÖLJYPERÄISEN JÄTTEEN TERMISESTÄ KÄSITTELYSTÄ .....	21
4.1 Termodesorptiolaitoksien käyttökokeuksia .....	21
4.1.1 Termodesorptiolaitoksen käyttökokemus Suomesta .....	21
4.1.2 Termodesorptiolaitteiston käyttökokemus maailmalta .....	23
4.2 Kokemukset arina- ja leijupetipoltosta .....	24
4.2.1 Öljytankkereiden Prestige ja Erika onnettomuuksien jälkeiset tutkimukset .....	25
4.2.2 Kanadalainen tutkimus arina- ja leijupetikattilatekniikalle .....	26
5. YHTEENVETO .....	30
LÄHDELUETTELO .....	31

## **SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO**

CBC: Circulating Bed Combustor, kiertopetikattila

FBC: Fluidized Bed Combustor, leijukerroskattila

HTTD: High Temperature Thermal desorption, korkealämpö termodesorptio

LTDD: Low Temperature Thermal Desorption, matala lämpö termodesorptio

N & N: Niska & Nyysönen, jätteiden käsittelyyn keskittynyt yritys

PAH: Polysykliset aromaattiset hiilivedyt. Syntyy orgaanisen aineksen epätäydellisen palamisen takia

PCB: Polychlorinated biphenyl eli polyklooratut hiilivedyt

PIMA-asetus: Asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista

SAMASE: Saastuneiden maa-alueiden selvitys ja kunnostusprojekti

USEPA: U.S. Environmental Protection Agency, Yhdysvalloissa toimiva luonnonsuojelujärjestö.

VOC – yhdisteet: Volatile organic compounds, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä.

## 1. JOHDANTO

Suomen aluevesien kautta kuljetetaan vuosittain suuri määrä raakaöljyä, sekä sen erilaisia jalostustuotteita. Suomen rannikkovedet ovat tutkitusti hyvin vaikeakulkuisia ja näin ollen alusonnettomuuden riski on suuri. Itämerellä liikkuvat alukset ovat kooltaan keskiluokkaa, sillä Ruotsin ja Tanskan välinen salmi on melko matala, joten kaikkein suurimman alukset eivät Itämerelle pääse. Kuitenkin näidenkin alusten kuljettama öljylasti on sen verran suuri, että sen poistaminen merestä olisi vaikeaa. Onnettomuuden sattuessa olisi luonnon kannalta erittäin tärkeää, ettei öljyinen jäte leviä kovin suurelle alueella ja että se voitaisiin kerätä mahdollisimman nopeasti pois. Tässä kirjallisuustyössä keskitytään alusonnettomuuksissa syntyneisiin öljyisiin jätteisiin ja niiden termiseen käsittelyyn. Tärkeimpänä syventymiskohteena ovat erilaisten termisten menetelmien esittely ja käyttökokemukset alusonnettomuuksien jälkeen.

Öljyiseksi jätteeksi luokitellaan kaikki jäte, jossa on öljyä tai sen jatkojalostustuotteita. Öljyistä jätettä ovat mm. öljyinen maa-aines, öljyinen meri- tai makea vesi. Lisäksi on muita öljyisiä jätteitä, kuten öljyn keräämisestä tulevat jätteet, joita ovat erilaiset suojapuvut, sekä keräysastiat. Öljyistä merivettä ei tarkastella tässä kirjallisuustyössä. Jätteen keräykseen on omat tekniikkansa eikä niihin puututa tämän tutkimuksen kohdalla. Öljyinen jäte aiheuttaa omat hankaluutensa. Sen puhdistamiseen voidaan käyttää erilaisia keinoja, kuten pesua tai termistä käsittelyä. Öljyisen jätteen termisen käsittely on se käsittelymuoto, mihin tässä kirjallisuustyössä tullaan keskittymään.

Termisiä käsittelymenetelmiä on useita, mutta tässä kirjallisuustyössä on perehdytty syvemmin niistä kahteen: poltto voimalaitoksissa/jätteenpolttolaitoksissa sekä käsittely termodesorptiolaitoksissa. Tarkoituksena on käydä läpi erilaisia tekniikoita, joiden avulla voidaan käsitellä öljyistä jätettä termisesti. Tässä kirjallisuustyössä keskitytään poltossa arina- ja leijupetikattiloiden sekä erilaisten rumpu-uunien toimintaan sekä termodesorptiolaitoksien toimintaan ja niiden kykyyn vastaanottaa ja käsitellä öljyistä jätettä. Tämän kirjallisuustyön yhtenä tärkeimpänä kohtana on tarkastella Suomessa ja erityisesti maailmalla tapahtuneiden alusonnettomuuksien jälkeisiä öljyisen jätteen käyttökokemuksia termisestä käsittelystä. Toisena tarkastelukohteena on öljyisellä maa-ainekselle tehdyt tutkimukset,

joiden taustalla ovat olleet suuret alusonnottomuudet ja halu kehittää käsittelymenetelmiä, joiden avulla voidaan öljyiset jätteet käsitellä tehokkaasti, kannattavasti ja ympäristöystävällisesti. Yhtenä tavoitteena on selvittää termisen käsittelyn toimivuus öljyisten jätteiden käsittelyssä.

## **2. ÖLJYISEN JÄTTEEN KOOSTUMUS**

Öljyisellä jätteellä tarkoitetaan kaikkea sitä jätettä, joka on raakaöljyn tai sen jalostustuotteiden pilaamaa. Öljyistä jätettä syntyy aina, kun raakaöljyä tai sen jalostustuotteita pääsee kosketuksiin luonnon kanssa, ja sitä syntyy viimeistään siinä vaiheessa, kun sitä ruvetaan keräämään pois luonnosta. Öljyiset jätteet voidaan luokitella periaatteessa viiteen kategoriin: öljyinen maa-aines, öljyinen vesi, öljyinen orgaaninen aines, öljyiset kuolleet eläimet ja öljyiset keräämisestä syntyneet jätteet. (Hupponen 2007, 15.) Tässä jakeessa keskitytään niistä kolmeen: Öljyiseen maa-ainekseen, kuolleisiin eläimiin ja keräyksessä syntyneisiin jätteisiin.

### **2.1 Öljyinen maa-aines**

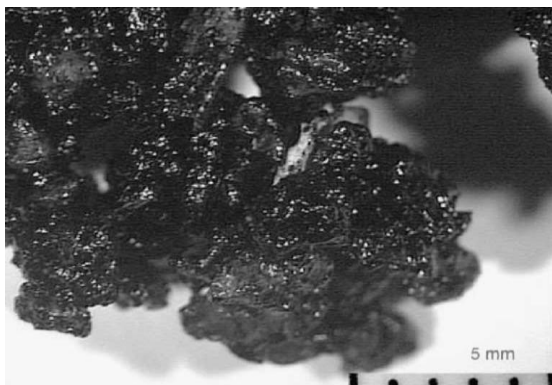
Nykyisin käytössä olevan PIMA – asetuksen (VNa 214/2007) mukaan jokaiselle haitta-aineelle on olemassa kynnys- ja ohjearvot, jotka korvasivat SAMASE – arvot. PIMA -asetuksen ohje- ja kynnysarvoilla säädellään eri haitta-aineita sisältävien maa-alueiden puhdistamis- ja kunnostamistarvetta. (VNa 1.3.2007/214.) SAMASE-arvot olivat käytössä ennen PIMA -asetuksen voimaantuloa, ja se tarkoitti saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojektia. Maaperässä olevalle öljylle ja sen eri jakeille on luokiteltu omat ohje- ja kynnysarvonsa. Taulukkoon 1 on koottu PIMA -asetuksen liitteenä olevat eri öljyjakeiden ohje- ja kynnysarvot maaperässä. PIMA-asetus tarkoittaa sitä että jokaiselle aineelle on määrätty taulukossa 1 mainitut raja-arvot, joiden tarkoituksena on määrittää maa-aineksen mahdollinen käsittelyn tarve. Aikaisemmin käytössä ollut SAMASE-asetuksen mukaan maa-aines tulee käsitellä, mikäli haitta-ainepitoisuudet ovat ohje- ja raja-arvon välissä. PIMA-asetuksessa olevat ja SAMASE-ohjeessa olleet arvot eivät eri öljyjakeiden osalta muuttuneet mitenkään merkittävästi.

**Taulukko 1.** Maaperän öljypitoisuuksien kynnys- ja ohjearvot (VNa 1.3.2007/214.)

<b>Aine</b>	<b>Kynnysarvo [mg/kg]</b>	<b>Alempi ohjear- vo [mg/kg]</b>	<b>Ylempi Ohjear- vo[mg/kg]</b>
Bensiinijakeet (C5-C10)		100	500
Keskitisleet (>C10-C21)		300	1000
Raskaat öljyjakeet (>C21- C40)		600	2000
öljyjakeet (>C10-C40)	300		

PIMA - asetuksen perusteella voidaan kerätty maa-aines luokitella neljään eri luokkaan perustuen haitta-ainepitoisuuteen. Näitä luokkia ovat: Pilaantumattomat maat, joissa maa-aineksen haitta-ainepitoisuudet ovat alle kynnysarvon. Pilaantumattomat maat, joissa on kohonneita haitta – ainepitoisuuksia. Tämä tarkoittaa, että maa-aineksessa olevat haitta-ainepitoisuudet ovat yli kynnysarvon, mutta alle alemman ohjearvon. Pilaantuneet maat. Tämä tarkoittaa, että haitta-ainepitoisuudet maa-aineksessa ovat yli alemman ohjearvon. Lisäksi on erikseen luokiteltu Ongelmajätteet. (VNa 1.3.2007/214.)

Öljyiseksi maa - ainekseksi katsotaan kaikki ns. kuollut maa-aines (kivet, hiekka, savi ym.) (Hupponen 2007, 16). Kuvassa 1 on kuva Brasilialaisesta tutkimuksessa, jossa tutkittiin termistä käsittelyä öljyvahingon käsittelymenetelmänä ja siinä kuvattua öljyistä rantahiekkaa (Araruna 2004, 162). Kuvasta 1 nähdään kuinka tehokkaasti öljy peittää hiekan itsensä ja tekee sitä jätettä.

**Kuva 1.** Öljyistä rantahiekkaa (Araruna 2004, 162.)

## **2.2 Öljyiset kuolleet eläimet**

Öljyisiä kuolleita eläimiä ei voida välttää öljyonnettomuuden sattuessa. Öljy tarttuu helposti esimerkiksi lintujen höyheniin ja estää lintujen nousemisen ilmaan, sekä kuivattaa eläinten kehoa. Kaloilla öljy estää veden virtauksen kidusten läpi, jolloin ne tukehtuvat ja kuolevat. Kuolleiden eläinten määrä voi nousta helposti tuhansiin yksilöihin, varsinkin, jos mukaan otetaan kalakuolemat. Esimerkiksi Exxon Waldezin öljyonnettomuuden yhteydessä kuolleiden eläinten ja kalojen määrä nousi useisiin tuhansiin.(WWF Suomi 2010.)

## **2.3 Keräämisestä syntyneet jätteet**

Öljyisen jätteen keräämisestä syntyneitä jätteitä ovat mm. muovipussit joihin jätteitä kerätään. Lisäksi erilaiset suoja- ja suojapuvut, joita kerääjät joutuvat oman turvallisuutensa takia pitämään, menevät keräyksen jälkeen jätteiden sekaan.

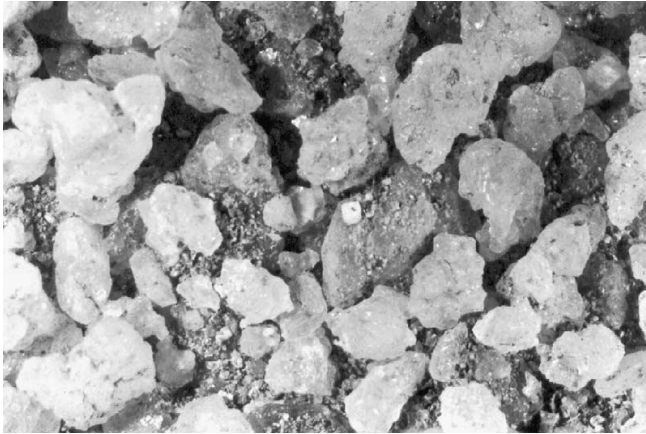
### 3. ÖLJYISEN JÄTTEEN TERMINEN KÄSITTELY

Termisen käsittelyn peruseriaatteena on korkeassa lämpötilassa tuhota ja haihduttaa haitta-aineet pois pilaantuneesta maasta tai muusta käsiteltävästä aineksesta. Huonosti haihtuvana orgaanisena yhdisteenä olevan öljyn haihtuminen maaperästä tapahtuu vasta yli 700 °C lämpötilassa. Näin korkeat lämpötilat johtavat siihen, että maa-aineksessa oleva humus palaa tai ainakin hiiltyy. Korkeassa lämpötilassa tapahtuvaa haihtumista voidaan käyttää hyväksi, kun puhdistetaan orgaanisia haitta-aineita. Terminen käsittely soveltuu erinomaisesti mm. PCB - yhdisteillä, dioksiinilla pilaantuneen maan kunnostamiseen tai ongelmajätteiden hävittämiseen. Hyvin suunnitelluissa ja toimivissa polttolaitoksissa saavutetaan suuria poistotehokkuuksia. Ongelmajätteille on mahdollista saavuttaa 99,99 % poistotehokkuus. Jotta edellä mainittuun tehokkuuteen päästään, pitää palamisen aikaansaamiseksi ja ylläpitämiseksi käyttää erilaisia apupolttoaineita. (Penttinen 2001, 32.) Apupolttoaineena voidaan käyttää mm. propaania, kun leijupetikattilassa käsitellään öljyistä maa-ainesta (Edward et al, 2006, 444). Polttoprosessissa syntyville palamiskaasuille ja -jätteille pitää olla jatkokäsittelylaitteisto. Maailmalla on useamman tyyppisiä polttoprosesseja, jotka voidaan luokitella seuraavasti: (Penttinen 2001, 32.)

- kiertopeti ( Circulating Bed Combustor, CBC)
- kiertouuni ( Rotary Kilns)
- leijupeti ( Fluidized Bed)
- infrapunapoltto (Infrared Combustion).

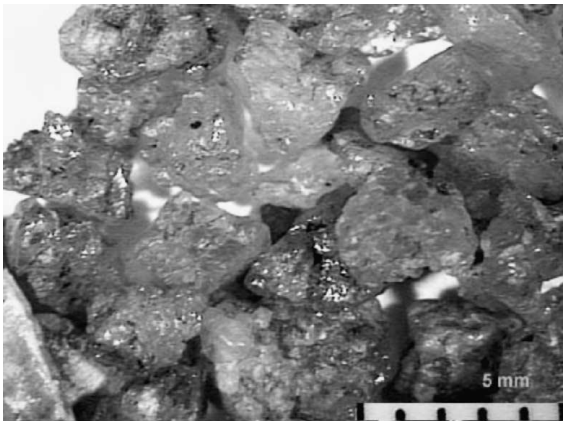
Suomessa on EKOKEM Oy:lla polttolaitos, jota voidaan käyttää niin halutessaan kahdella eri periaatteella: tehopoltto ja massapoltto. Massapoltoissa lämpötila on matalampi 500 - 800 °C, kun taas tehopoltoissa höyrystyslämpötila on yli 1 300 °C. Molemmissa käsittelymenetelmissä haihtuneet haitta-aineet johdetaan jälkipolttoon, jonka lämpötila on yli 1 000 °C. Massa- ja tehopoltto soveltuvat molemmat hyvin orgaanisten haitta-aineiden hävittämiseen. Tehopolton etuna on se, että se soveltuu paremmin puhdistamaan sellaista maaperää, jossa on sekä orgaanisia että epäorgaanisia haitta-aineita. Tehopolton jälkituotteena syntynyt maa-aines voidaan jatkosijoittaa esimerkiksi kaatopaikkojen rakennusaineksi. (Penttinen 2001, 32.) Kuvassa 2 on kuvattu hiekkaa joka on termisen käsittelyn jäljiltä.





**Kuva 2.** Rantahiiekkaa termisen käsittelyn jälkeen (Araruna 2004, 163.)

Kuvasta 2 nähdään, että öljystä ei ole juuri merkkejä eikä kiviaineskaan ole hajonnut. Jos suoritetaan vertailuna samanlaiseen rantahiikkaan kuin kuvassa 1 ja käsittelymenetelmänä on pesu, niin ero on selkeä. Kuvassa 3 on rantahiiekkaa, josta öljy on pesty pois.



**Kuva 3.** Pesun jälkeistä rantahiiekkaa (Araruna 2004, 163.)

Kuvasta 3 voidaan nähdä, että pienin aines on hävinnyt ja hiekka on menettänyt värikkyytensä. Tässä jakeessa keskitytään kolmeen yleisesti käytössä olevaan jätteiden polttotekniikkaan, joilla kaikilla voidaan käsitellä öljyisiä jätteitä termisesti.

### **3.1 Poltto voimalaitoksissa**

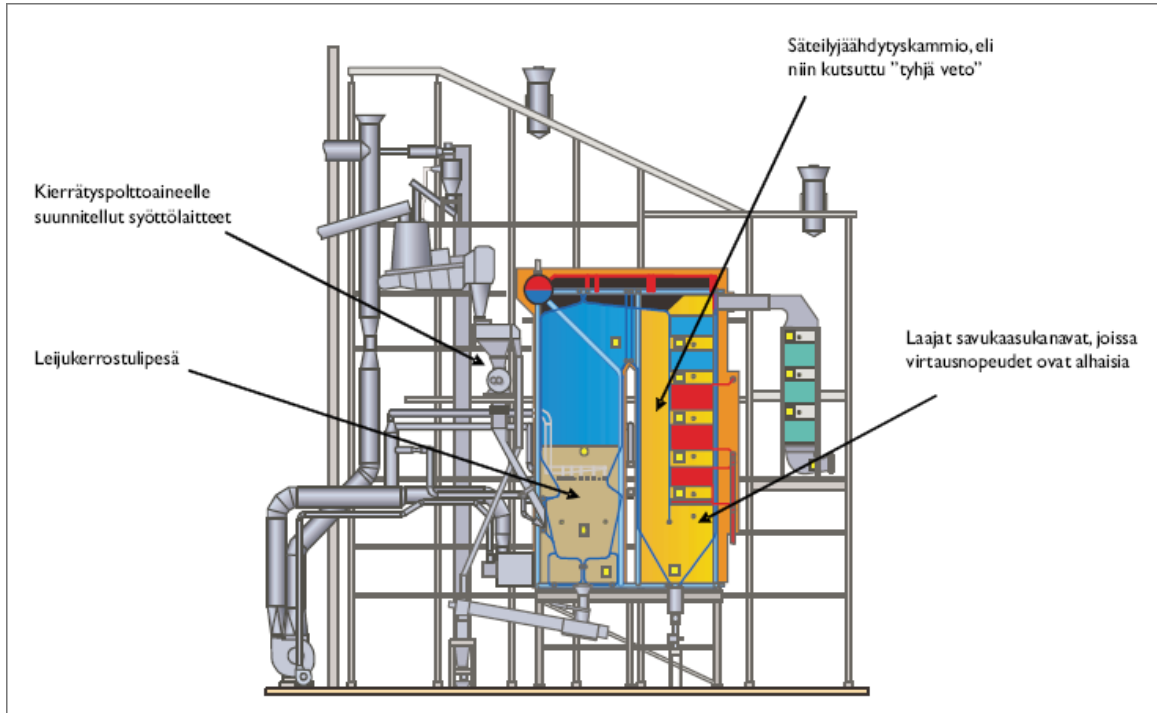
Öljyistä jätettä voidaan polttaa voimalaitoksissa. On kuitenkin muutamia rajoituksia, jolloin tämä ei ole mahdollista. Näitä rajoituksia asettavat lähinnä voimalaitosten tekniset rajoitteet käsitellä ja polttaa öljyistä jätettä. Lisäksi rajoittavana tekijänä ovat käsittelyme-

netelmistä johtuvat mahdolliset terveysriskit, joita voivat olla esimerkiksi kuolleiden eläinten kantamat bakteerit, jotka voivat jätteen murskauksen aikana levitä ympäristöön ja aiheuttaa sairastumisia.

Tässä jakeessa on tarkoitus perehtyä kolmeen Suomessa käytettyyn tekniikkaan öljyisten jätteiden poltossa. Näitä ovat leijupeti- ja arinakattilassa tapahtuva poltto, sekä rumpuunissa tapahtuva poltto. Lisäksi käsitellään termodesorptiolaitoksen toimintaperiaate, käsiteltävät jätejakeet sekä käydään läpi lyhyesti kaksi Suomessa toimivaa yritystä, joilla kyseinen laitos on.

### **3.1.1 Leijupetikattila**

Leijupetipoltossa jäte poltetaan ilmvirran avulla leijuttavassa hehkuvan tuhkan ja hiekan muodostamassa kerroksessa eli pedissä. Polttoaine ja sen mukana kulkeva öljyinen jäte liikkuu ja sekoittuu kerroksessa jatkuvasti, jolloin kaasujen ja lämmönsiirtyminen on tehokasta. Menetelmä on huomattavasti uudempi kuin arinapoltto, vaikka onkin ollut käytössä jo yli 30 vuotta. Leijupetipolttto voidaan teknisesti toteuttaa kahdella eri tavalla: kerrosleijutekniikalla tai kiertoleijutekniikalla. Kerrosleijutekniikassa tulipesän mitoitus ja muoto valitaan siten, että tulipesästä poistuvan savukaasuvirran nopeus on pieni ja petimateriaalipartikkelit eivät lähde poistuvan savukaasuvirtauksen mukaan. Kiertoleijutekniikassa virtausnopeus on suurempi ja osa petimateriaalista menetetään poistuvan kaasuvirtauksen mukana. Edellä mainituista tekniikoista löytyy suuri määrä erilaisia muunnelmia sekä yhdistelmiä. Poltettava jäte on leijupetikattilassa murskattava sopivaan palakokoon, jotta kattilan toimintaolosuhteet pidettäisiin mahdollisimman vakiona. (Vesanto 2006, 31 – 33.) Kuvassa 4 on esitetty kiertoleijupetikattilan rakenne. Kuvan 4 kattila on suunniteltu kierrätyspolttoaineen polttamiseen.



**Kuva 4.** Kierto-leijupetikattila (Vesanto 2006, 32.)

### 3.1.2 Arinakattila

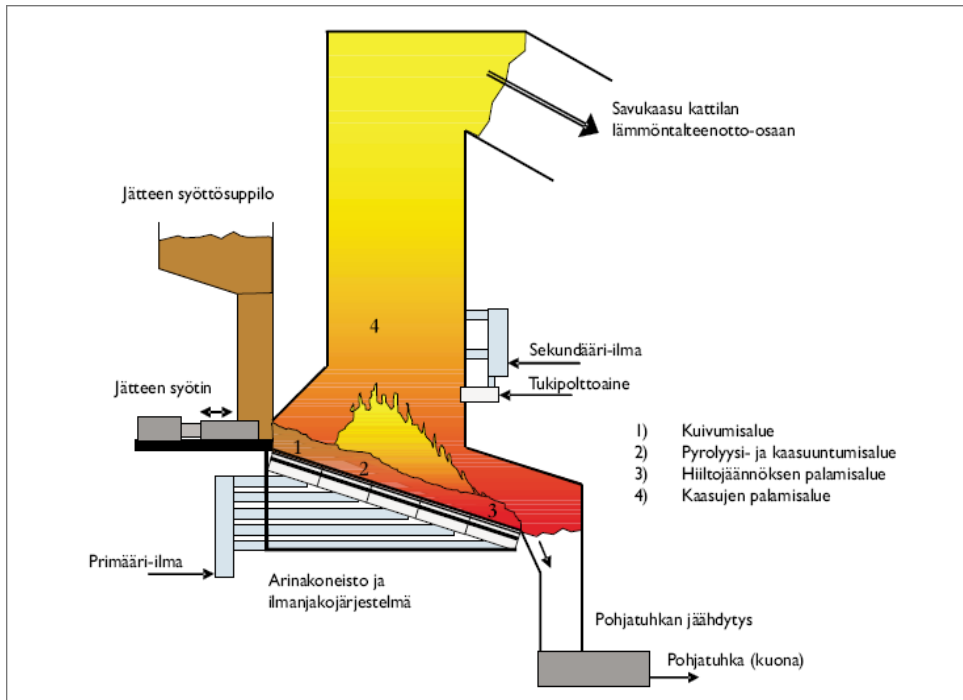
Arinakattilapoltto on ollut käytössä jo hyvin pitkään ja se toimii perustekniikkana kiinteiden jätteiden poltossa. Arinapoltossa jäte syötetään kahmarilla syöttösuppiloon, josta se jatko syötetään hydraulisella työntimellä arinalle. Tulipesässä on tavalliset kostean palamisen vaiheet, jotka ovat kuivumis-, pyrolyysi- ja kaasuuntumisvyöhykkeet ja lopulta hiiltöjäännöksen palamisalue. Uusien laitosten arinat ovat yleensä vinoja, eri menetelmillä jätettä polton aikana sekoittavia arinoita. Tällä tekniikalla voidaan säädellä ilman määrällä sitä, missä kohtaa arinaa palaminen tapahtuu. Tulipesä pyritään suunnittelemaan siten, että arinan eri vyöhykkeillä tapahtuvat kaasuuntumistuotteet sekoittuvat ja palavat mahdollisimman hyvin korkeassa lämpötilassa. Palamattomat tuotteet, kuten kivet ja metallin palaset poistuvat arinan alapäästä arinan pohjatuhkajärjestelmään. (Vesanto 2006, 30.)

Savukaasut johdetaan tulipesästä ensiksi esijäähdytyskammioon ja sieltä lämmöntalteenotokattilaan. Poistuvat savukaasut sisältävät yleensä suuren määrän hienojakoista tuhkaa ja tulipesässä haihtuneita epäorgaanisia yhdisteitä. Nämä pyritään härmistämään kiinteäksi aineeksi esijäähdyttimessä. Näin estetään kattilan lämmönsiirtimien likaantuminen. Eri

kattilavalmistajilla on erilaisia ratkaisuja arinoiden liikemekanismien ja muiden yksityiskohtien suhteen, ja varsinkin jätteen liikkeen ja sekoittumisen tuottamiskeinot voivat erota melkoisesti eri valmistajien välillä. Jätteen liike ja sekoittuminen voidaan esimerkiksi tuottaa hydraulisesti työntyvien ja pyörivien arinan pintakappaleiden avulla tai toisaalta liike ja sekoittuminen voidaan saada aikaan värinällä, pyörivillä rullilla tai mekaanisilla sekoittimilla. (Vesanto 2006, 30.)

Arinakattilat sopivat monenlaisten jätteiden polttamiseen ja tästä hyvänä esimerkkinä on tavallinen yhdyskuntajäte, jota ei tarvitse oikeastaan ollenkaan esikäsitellä. Tavallisen yhdyskuntajätteen tapauksessa on riittävää, että suuret kappaleet murskataan ja metalliesineet poistetaan. Lisäksi oikeinsäädetty prosessi kestää hyvin jätteen kosteuden, tuhkapitoisuuden ja lämpöarvon vaihteluja. Menetelmä ei sovellu nestemäisten sulavien ja jauhemaisten jätteiden polttoon. Tosin arinakattilassa voidaan polttaa muun jätteen seassa pieniä määriä kuivahkoa yhdyskuntalietettä. (Vesanto 2006, 30.) Arinakattila soveltuu hyvin niin öljyisten kuolleiden eläinten, öljyisten varusteiden ja öljyisen orgaanisen aineksen polttoon, ja muiden jätteiden yhteydessä voidaan myös polttaa pieniä määriä öljyistä maa-ainesta (Hupponen 2007, 89).

Arinapolttolaitokset on yleensä mitoitettu polttamaan hyvinkin vaihtelevaa jätettä. Tästä syystä niiden lämmöntalteenotto-prosessin rakenne mitoitetaan likaavimman ja korroosiota aiheuttavimman jätteen mukaan. Tällä menetelmällä varmistetaan laitoksen toimintavarmuus, mutta samalla se toimii rajoittavana tekijänä sähköntuotannossa, kun höyryn lämpötila joudutaan pitämään korroosion estämiseksi matalana. (Vesanto 2006, 30.) Kuvassa 5 on kuvattu jätteiden polttoon soveltuvan arinakattilan perustoimintarakenne.



**Kuva 5.** Jätteenpolttoon tarkoitetun arinakattilan rakenne (Vesanto 2006, 31.)

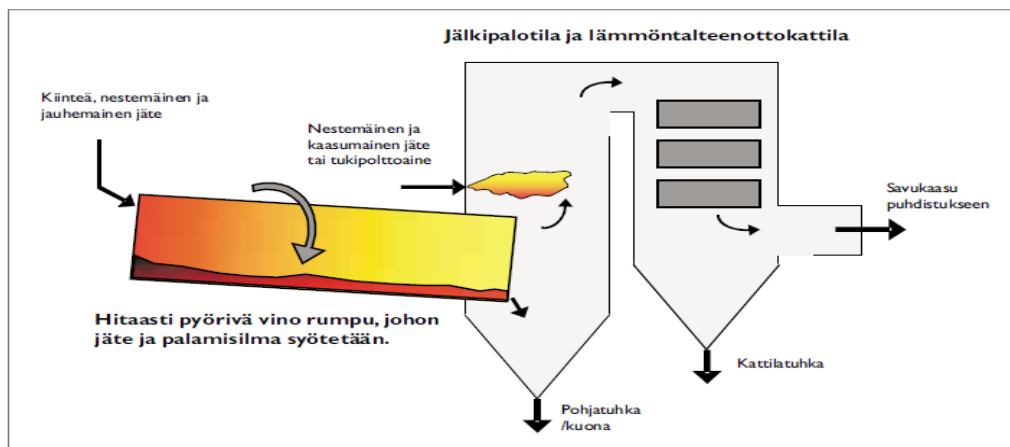
### 3.1.3 Rumpu-uunit

Rumpu-uunit soveltuvat yleisesti jätteiden polttamiseen, sillä ne soveltuvat niin kiinteiden-, nestemäisten, pastamaisten kuin kaasumaisten materiaalien polttamiseen. Poltettavan jätteen viipymäaika uunissa voi tarvittaessa olla pitkä ja myös uunin lämpötila voidaan tarvittaessa säätää hyvinkin korkeaksi. (Vesanto 2006, 34.) Esimerkiksi Ekokemin Riihimäen ongelmajätteenpolttolaitoksessa jätteet poltetaan jopa 1 300 °C lämpötilassa (Ekokem 2009). Rumpu-uuni on tavallisesti vinoon asennettu 10 – 15 metriä pitkä rumpu, jonka yläpäähän syötetään poltettava jäte ja palamisessa käytettävä ilma. Syöttölaitteisto voi olla kolmea eri tyyppiä, riippuen syötettävän jätteen laadusta. Ne voivat olla murskaava sulkusyötin, syöttöruuvi tai suppilo. Laitteistoon voi kuulua myös nestemäisten ja kaasumaisten jätteiden syöttöön soveltuvat suuttimet sekä pneumaattiset syöttösuuttimet jauhemaisia jätteitä varten. Kaasumaiset ja nestemäiset jätteet syötetään yleensä jälkipalotilaan. (Vesanto 2006, 34.)

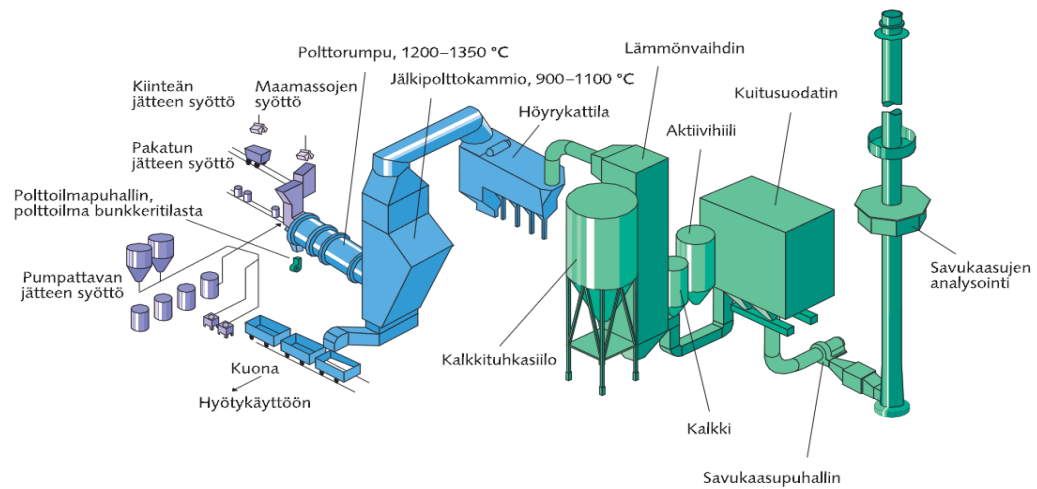
Rumpu-uuniin liittyy normaalisti erillinen jälkipalotila, jossa uunissa aiemmin muodostuneet kaasut poltetaan loppuun. Jätteenpolttolaitoksissa vaadittavat puhtaan polttoaineen tukipolttimet on normaalisti asennettu juuri jälkipalotilaan, jossa ne tarvittaessa muodosta-

vat jälkipalotilaan riittävän korkean lämpötilan. Hyvin toimiva jälkipalotila mahdollistaa sen, että savukaasuihin tai tuhkaan ei juuri jää palamattomia orgaanisia yhdisteitä. (Vesanto 2006, 34.)

Rumpu-uuni pyörii jätteestä riippuen 5 - 40 kierrosta tunnissa. Pyörimisen ja rumpun asennon takia jäte sekoittuu hyvin ja samalla siirtyy koko ajan eteenpäin. Rumpun vaipan jäähdytys on tavallisesti toteutettu vedellä tai ilmalla. Vesijäähdytteisessä uunissa voidaan polttaa korkean lämpöarvon jätteitä ja se voidaan suunnitella myös tuhkaa sulattavaksi. (Vesanto 2006, 34.) Ennen kuin jätettä voidaan polttaa rumpu-uunissa, niin siitä pitää tietää seuraavat seikat: Haitta-aineet ja niiden pitoisuudet, massan määrä kuutiometreinä tai tonneina, arvio vesipitoisuudesta, orgaanisen aineksen määrä, maan laatu esimerkiksi savi-pitoisuus ja muut maa-aineksessa olevat aineet, kuten metallit. (EKOKEM 2006, 2.) Kuvassa 6 on kuvattu rumpu-uunin toimintaperiaate ja kuvassa 7 on Ekokemin Riihimäen ongelmajätteenpolttolaitoksen rumpu-uuni.



**Kuva 6.** Rumpu-uunin toimintaperiaate. (Vesanto 2006, 35.)



**Kuva 7.** Ekokem ongelmajätteenpolttolaitoksen jätteenpolttolinjan 2 rumpu-uuni (Ekokem 2009)

Kuvasta 7 nähdään, että laitos pystyy käsittelemään kiinteitä jätteitä, sekä pumpattavissa olevia jätteitä. Lisäksi sen lämpötila on riittävän korkea, (1 350 °C) joten lähestulkoon kaikkia jätetyyppejä voidaan käsitellä laitoksessa.

### 3.2 Termodesorptiolaitteisto

Termodesorptio-käsittely on niin sanottu ex-situ käsittely, eli siinä puhdistettava aines joudutaan kuljettamaan pois pilaantumispaikalta. Kuitenkin mikäli käytössä on siirrettävä laitteisto, niin tällöin kyseessä on ns. on-situ menetelmä, jolloin haitta-ainepitoista maa-ainesta ei tarvitse kuljettaa pois alueelta käsittelyä varten. Periaatteessa termodesorptio vastaa muuta termistä käsittelyä siinä, että sen toiminta perustuu lämpöön. Se on fyysikaalinen toimenpide, jossa haitta-aineet erotetaan pilaantuneesta aineksestä lämmittämällä sitä. Toisin kuin voimalaitospoltossa, jossa haitta-aineen lisäksi menetetään maa-ainesta, termodesorptio käsittelyssä tätä pyritään välttämään. Tavoitteena on siis säilyttää orgaaninen aines vielä käsittelynkin jälkeen. Termodesorptiossa käsittelyaika ja lämpötila valitaan siten, että haitta-aineina olevat orgaaniset yhdisteet haihtuvat muusta aineksestä, mutta eivät kuitenkaan hapetu eli pala. Edellä mainitun perusteella voidaankin termodesorptiota pitää esikäsittelymenetelmänä öljyisen jätteen käsittelyssä. (Penttinen 2001, 34.) Kuitenkin termodesorptio on puhdistuskeino, sillä seuraavassa kappaleessa käy ilmi, että haitta-aineet

tuhotaan erottelun jälkeen. Termodesorptiolaitteiston perusta on edellisessä kappaleessa esitelty rumpu-uuni. Sen ainoa eroavaisuus rumpu-uuniin on se, että termodesorptiolaitteisto on liikuteltava.

Terminen desorptio voidaan jakaa kahteen eri luokkaan: matalalämpötermodesorptioon (Low Temperature Thermal desorption, LTTD) ja korkealämpötermodesorptioon (High Temperature Thermal Desorption, HTTD). LTTD:ssä haitta-ainetta sisältävä jäte lämmitetään 90 – 320 °C:ksi. Tämä lämpötilaväli on osoittautunut tehokkaaksi poistettaessa mm. öljyperäistä haitta-ainetta maa-aineksesta. LTTD:llä voidaan käsitellä myös puolihaihtuvia yhdisteitä, mutta tällöin käsittelyteho voi alentua. LTTD:llä käsitelty maa-aines säilyttää fysikaaliset ominaisuutensa ja jos käsittely tapahtuu käsittelylämpötilan alaosissa, niin myös maan omat orgaaniset ainekset säilyvät vahingoittumattomina, jolloin maa-aineksen oma biologinen toiminta palautuu helpommin. (Penttinen 2001, 34.)

HTTD:ssä tapahtuvan polton lämpötila on välillä 320 - 800 °C (Uotila 2009). Käsiteltävästä materiaalista riippuen tätä menetelmää voidaan käyttää yhdessä polton, kiinteytyksen/stabiloinnin kanssa. HTTD käytetään yleensä puolihaihtuviin yhdisteisiin ja joissain tapauksissa PCB:t ja PAH:t puhdistamiseen maa-aineksesta. HTTD voidaan käyttää myös VOC – yhdisteille, sekä polttoaineille, mutta näissä tapauksissa kustannustehokkuus ei ole korkea. (Penttinen 2001, 34.) HTTD tekniikalla voidaan maa-aines puhdistaa öljyn ja sen eri jakeiden osalta haitta-ainepitoisuuteen alle 5mg/kg (Uotila 2009).

Termodesorptio voidaan tehdä kolmessa erityyppisessä laitoksessa:

1. Suora poltto: Pilaantunut maa-aines on suorassa kosketuksessa polttoliekin kanssa. Polttoliekin tarkoituksena on pääasiassa irrottaa haitta-aineet käsiteltävästä aineksesta, kun osa haitta-aineksesta hapettuu.
2. Epäsuorapoltto: A) Suoralämmitteinen rumpukuivain lämmittää ilmavirtaa, joka johdetaan käsiteltävään ainekseen ja haihduttaa veden ja haitta-aineet muusta aineksesta  
B) Höyrykehitin tulistaa veden höyryksi, joka johdetaan käsiteltävään ainekseen, jossa se irrottaa veden ja orgaaniset aineet.
3. Epäsuoralämmitteinen: Ulkopuolelta lämmitettävä rumpukuivain haihduttaa orgaanisia yhdisteitä ja vettä käsiteltävästä aineksesta inerttiin kantajakaasuun. Tämän jälkeen kaasu puhdistetaan. (Penttinen 2001, 34.)



Taulukossa 2 on vertailtu korkea- ja matalalämpötermodesorptiolaitosten kykyä erotella eri haitta-aineita maa-aineksesta.

**Taulukko 2.** LTTD ja HTTD polton vertailu (Uotila 2009)

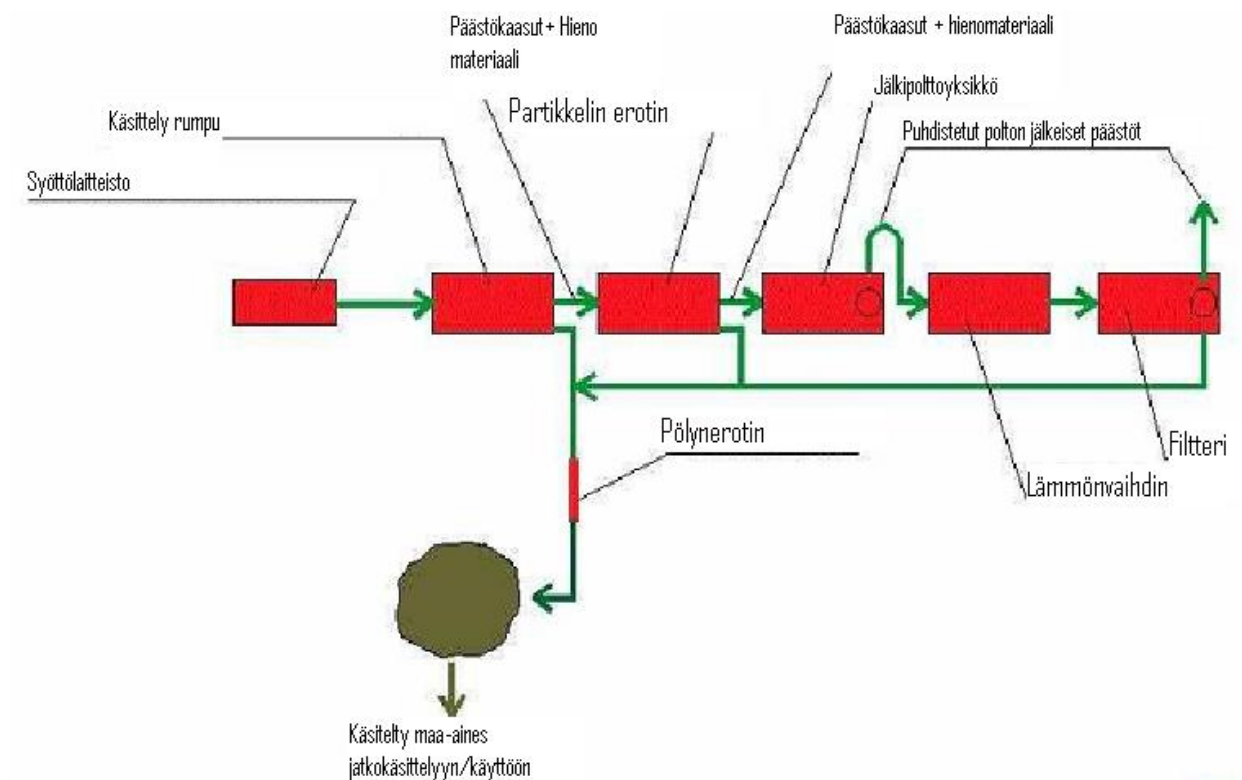
<b>Haitta-aine</b>	<b>LTTD</b>	<b>HTTD</b>
Osittain haihtuvat	sopii puhdistettavaksi, mutta vain hyvin pienissä pitoisuuksissa	sopii puhdistettavaksi
PAH	ei sovi puhdisttavaksi	sopii puhdistettavaksi
PCB	ei sovi puhdisttavaksi	sopii puhdistettavaksi
Haihtuvat yhdisteet (VOC)	sopii puhdistettavaksi	sopii puhdistettavaksi
öljy hiilivedyt	voidaan puhdistaa, mutta vain välillä C5-C20	sopii puhdistettavaksi
Kloorifenolit	ei sovi puhdisttavaksi	sopii puhdistettavaksi
PCDD/Fs	ei sovi puhdisttavaksi	sopii puhdistettavaksi
Syaniidi	ei sovi puhdisttavaksi	sopii puhdistettavaksi
haihtuvat metallit (esim elohopea)	ei sovi puhdisttavaksi	sopii puhdistettavaksi
raskasmetallit	ei sovi puhdisttavaksi	Voidaan hapettaa ei liukenevaan muotoon

Taulukosta 2 nähdään, että HTTD sopii kaikille taulukossa esitetyille haitta-aineille. Tämän kirjallisuustyön kannalta tärkeintä on huomata, että kummatkin LTTD että HTTD sopivat öljyiselle jätteelle.

Molemmissa edellä mainituissa termodesorptiomenetelmissä poistokaasut tulee käsitellä hiukkas- ja haitta-ainepäästöjen kontrolloimiseksi. Hiukkaspäästöt puhdistetaan tavallisesti joko hiukkassuodattimilla tai pesureilla. Syntyneet haitta-aineet poistetaan joko hapettamalla ne katalyyttisesti, kondensoimalla ja aktiivihiihiä käsittelemällä kaasut tai tuhoamalla ne jälkipolttolaitteistossa. (Penttinen 2001, 34.)

### 3.2.1 Toimintaperiaate

Termodesorptiolaitoksen toimintaperiaate vastaa käytännössä rumpu-uunin toimintaperiaatetta. Kuvassa 8 on kuvattu erään Suomessa toimivan yrityksen termodesorptiolaitos.



**Kuva 8.** Termodesorptiolaitoksen toimintaperiaate. (Uotila 2009)

Ensimmäisenä on maa-aineksen syöttölaite. Syöttölaitteessa ylisuuret kappaleet (halkaisija yli 100 mm) poistetaan ja samalla annostellaan kuljetushinnalle sopiva määrä ainesta, joka kuljetetaan käsittelyrumpuun. Käsiteltävät määrät vaihtelevat haitta-ainepitoisuuden ja maatyypin mukaan ja kyseisellä laitteistolla käsittelykapasiteetti on luokkaa 40-80 t/h. Kerrallaan voidaan käsitellä 2-6 tonnia esimerkiksi öljyistä maa-ainesta. (Uotila 2009). Puhdistusrummussa haitta-ainepitoista maa-ainesta käsitellään mekaanisesti ja sen läpi ohjataan jatkuvatoimisesti tulistettua höyryä, jonka tarkoituksena on haihduttaa haitta-aineet

pois maa-aineksesta. Kun käsittelyjakso on käyty loppuun, joka normaalisti kestää 3-20 minuuttia, niin rumpu tyhjennetään hihnakuuljettimelle ja puhdistettu maa-aines varastoidaan. Prosessin tarvitsema höyry kehitetään laitteistoon kuuluvassa höyrykehittimessä. (Uotila 2009; Etelä-Savon Ympäristökeskus 2004, 5.) Haihtuneet kaasut ja hienoaines imeetään jatkuvatoimisesti jatkokäsittelyyn partikkelierottimelle, jonka jälkeen ne poltetaan jälkipoltossa. Poltettavien savukaasun määrä on noin  $20\,000\text{ m}^3/h$  (Uotila 2009; Etelä-Savon Ympäristökeskus 2009, 5.) Automatisoidun laitoksen toimintaa ohjataan omasta ohjaamosta. Tämän lisäksi laitoksen yhteydessä on sähkögeneraattori ja vaadittavat säiliöt tarvittavia polttoaineita ja vettä varten. (Etelä-Savon Ympäristökeskus 2004, 5.)

Verrataan kuvan 8 termodesorptiolaitoksen kaaviopiirustusta kuvan 7 Ekokem oy rumpu-uuniin, niin huomataan selvästi, että laitosten toimintaperiaate on hyvin yhtenevä. Termodesorptiolaitoksen, kun se on kuvan 8 kaltainen, niin suurin eroavuus rumpu-uuniin on se, että termodesorptiolaitos on liikuteltava. Käsittelylämpötiloissa suurimpana eroavaisuutena on se, että kiinteät rumpu-uunit voivat saavuttaa  $1350\text{ °C}$  lämpötilan jo polttorummussa, kun puolestaan termodesorptiolaitoksessa vasta jälkipoltossa (EKOKEM 2009;Uotila 2009).

### **3.2.2 Käsiteltävät jätejakeet**

Termodesorptiolla voidaan käsitellä niitä jätetyyppejä, joiden käsittelyyn se sopii: öljyistä - maa-ainesta, kuolleita eläimiä – orgaanista ainesta - ja merivettä (Hupponen 2007, 89). Näiden lisäksi se sopii myös puolihaihtuvien orgaanisten yhdisteiden, sekä tietyissä rajoissa myös PAH:n, PCB:n ja VOC-yhdisteitä sisältävien jätteiden käsittelyyn. Kuten taulukosta 2 nähdään sopii termodesorptio melkein minkä haitta-aineen puhdistamiseen, varsinkin silloin, kun käytössä on korkealämpötilatermodesorptio. Maaperän käsittelyssä termodesorptiolla voidaan käsitellä kaikkia maatyyppejä (Penttinen 2001, 34).

### 3.2.3 Suomessa toimivat termodesorptiolaitokset

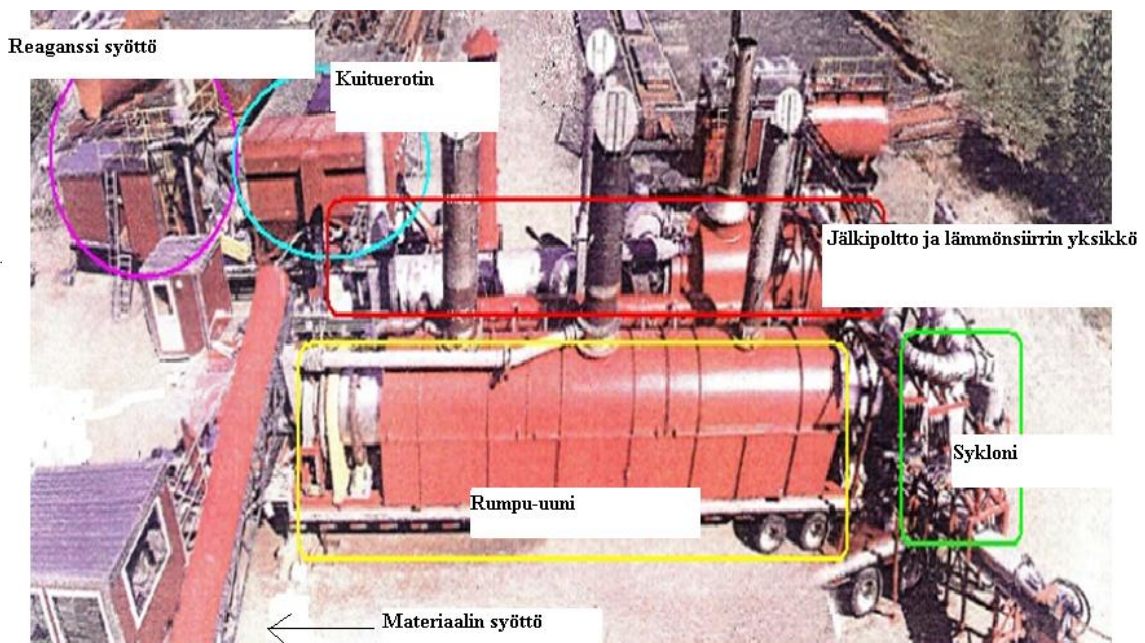
Suomessa on kahdella yrityksellä käytössään termodesorptiolaitos. Savaterra oy käyttää omista laitoksistaan nimitystä Green fix- laitos ja Niska & Nyysösen laitoksen nimi on ihan yksinkertaisesti termodesorptiolaitos. Laitoksissa on jonkin verran teknisiä eroavaisuuksia, mutta niiden toimintaperiaate on hyvin samankaltainen.

Savaterra oy:n Green fix - laitteiston toiminta on jo esitelty kuvassa 8 ja sen jälkeisessä tekstikappaleessa, joten en palaan siihen enempää. Savaterralla on näitä laitoksia kaksi kappaletta Suomessa. Ne on sijoitettu Kemiin ja Rantasalmelle. Lisäksi heillä on yksi laitos Norjassa, Skaganesetissä. Laitosten käsittelykapasiteetit eroavat melkoisesti toisistaan. Kemin laitos on suurin 180 000 tonnia/vuosi kapasiteetillaan, kun taas Skaganesetissä ja rantasalmella toimivien laitosten kapasiteetit ovat luokkaa 50 000 ja 20 000 tonnia/vuosi. Vaikka käsittelypaikoiksi on merkitty edellä mainitut, niin näitä laitoksia voidaan liikutella käsittelypaikalle. (Savaterra Oy 2009)

Rantasalmelle on sijoitettu Savaterra Oy:n EVO 2 on matalalämpötermodesorptiolaitos. Tätä laitosta voidaan kuitenkin muokata hyvinkin paljon, riippuen käsiteltävästä haitta-aineesta. Laitosta voidaan muokata ainakin kolmeen seuraavaan eri laitostyyppiin. LTDD laitos epäsuoralla lämmitykselle, joka on laitoksen perusasetus. Toinen vaihtoehto on LTDD laitos suoralla lämmityksellä. Tämä aiheuttaa laitokseen seuraavat muutokset. Puhdistusrumpu vaihdetaan poltinkyksiköllä varustettuun kuumennusrumpuun. Siinä käsiteltävä maa-ainese kuumennetaan 200 – 500 °C lämpötilaan. Kuten puhdistusrummussa, myös kuumennusrummussa maa-ainesta käsitellään mekaanisilla hajottajilla. Kuumennusrumpu on myös alipaineistettu. Laitokseen lisätään myös pölynsidonta yksikkö, jossa kuuma ja kuiva maa-ainese jäädytetään ja siitä irtoava pöly sidotaan. Näitä pölynsidontayksiköitä voi olla useita. Lisäksi laitokseen lisätään hiukkassuodatin, joka kykenee toistamaan savukaasuvirran hiukkaset 99,9 %. Nämä muutokset aiheuttavat sen, että höyrykehitin eikä puhdistusrumpu ole käytössä. Syöttö – ja seulontalaitteen toiminta ei muutu, lukuun ottamatta käsiteltävän maa-aineksen annostelua, joka tapahtuu tässä tapauksessa jatkuva-toimisena. Ei panostoimisesti, kuten epäsuorassa lämmityksessä. (Etelä-Savon ympäristökeskus 2004, 4-8.)

Toinen laitosvaihtoehto, joka peruslaitoksesta sopivilla muutoksilla saadaan, on korkealämpötermodesorptio (HTTD)/terminen poltto, suoralla lämmityksellä. Merkittäviä muutoksia LTDD:n suoralämmitteiseen ei tapahdu, ainoastaan kuumennuslämpötila nostetaan välille 320 - 850 °C. Jos haitta-aineiden käsittely vaatii muutoksia, niin seuraavat muutokset voidaan tehdä. Lisätään sykloni, jossa savukaasun sisältämästä hienoaineksesta poistetaan 60 – 90 %. Lisäksi voidaan lisätä haitta-ainesuotimet, joiden tarkoituksena on poistaa savukaasuvirrasta haitta-aineita. Haitta-ainesuotimen tehokkuus on luokkaa 80 – 90 %. Lisäksi voidaan lisätä savukaasuvälijäähdytin, joka jäähdyttää savukaasua ennen suodattimia, joiden avulla voidaan parantaa suodattimien tehokkuutta. ( Etelä-Savon Ympäristökeskus 2004, 8.)

Toinen Suomessa toimiva termodesorptiolaitoksen omistava yritys on Niska & Nyssösen. Kuten aiemmin mainitsin, ei laitteistojen toiminnassa ole suuria eroavaisuuksia. Suurimmat eroavaisuudet ovat kapasiteetissä. N&N laitoksen kapasiteetti on luokkaa 10-40t/h. kun se Savaterra Oy:n laitoksilla luokkaa 40-80t/h. (Sarvi 2009; Uotila 2009.) Niska & Nyssösen laitoksilla on käsitelty erilaisia haitta-aineita sisältäviä maita vuodesta 2002 lähtien 7000 - 8000 t:a (Sarvi 2009). N & N laitoksen rakenne käytännössä on esitetty kuvassa 9 Niska & Nyssösen termodesorptiolaitos. Laitos on myös liikuteltava ja sen koamisaika on noin viikko (Sarvi 2009).



**kuva 9.** Niska & Nyssösen termodesorptiolaitoksen ulkokuva (Sarvi 2009.)

## 4. KOKEMUKSIA ÖLJYPERÄISEN JÄTTEEN TERMISESTÄ KÄSITTELYSTÄ

Öljyonnettomuuksien puhdistamiseen voidaan käyttää hyvin monenlaisia tekniikoita. Näistä tekniikoista terminen käsittely on yksi käytetyistä menetelmistä öljyisen jätteen puhdistamisessa tai hävittämisessä. Monien suurien ja pienempienkin alusonnettomuuksien jälkeen tapahtuneiden öljyvuotojen jälkeen puhdistuksessa on käytetty termistä käsittelyä. Alusonnettomuuksista voidaan mainita Erika 1999, Prestige 2003, Naknodka 1997 ja Exxon waldez 1989, joista kaikissa käytettiin puhdistusmenetelmänä termistä käsittelyä jossain määrin. (Hupponen 2007, 113.)

### 4.1 Termodesorptiolaitoksien käyttökokemuksia

Tässä jakeessa käydään läpi Suomessa tehty puhdistushanke öljyiselle maa-ainekselle ja tämän lisäksi australiassa tehty pienimuotoinen koepuhdistus öljyiselle maa-ainekselle. Suomessa tehtyyn puhdistushankkeeseen liittyen tarkastellaan haitta-ainepitoisuuksien muutosta käsittelyn yhteydessä ja käsittelyn aiheuttamia päästöjä ympäristöön. Toisena esimerkkinä tarkastellaan Australialaisten tutkimus amerikkalaisten kehittämästä termodesorptiolaitteesta, joka eroaa Suomessa käytettävästä laitoksesta täysin. Teknisen eroavaisuuden takia tämä laitteisto esitellään tässä kirjallisuustyössä ja tarkastellaan sen kykyä puhdistaa maa-aineksesta öljyä.

#### 4.1.1 Termodesorptionlaitoksen käyttökokemus Suomesta

Savaterra Oy:n toimeksiantona oli käsitellä Neste Oil Oyj:n omistaman maa-alueen. Alueelle oli viety jätteitä 1950-luvulta lähtien. Alue toimi Neste Oil Oyj:n kaatopaikkana. Alueella olevan maa-aineksen öljypitoisuudet vaihtelivat 70 000 mg/kg ja 300 000 mg/kg välillä. Yhtiön suorittamien haitta-ainepitoisuuksien mittaamisen tuloksena saatiin seuraavaa: Bensiiniä 5 % ( $C_6 - C_{10}$ ), kevyttä polttoöljyä 72 % ( $C_{11} - C_{23}$ ) ja raskasta öljyä/voiteluöljyä 23 % ( $C_{24} \rightarrow$ ). Tämän lisäksi havaittiin PAH-yhdisteitä ja raskasmetalleja. Kaiken kaikkiaan käsiteltävä maa-ainesta oli 175 000 tonnia ja käsittely suoritettiin on-site käsittelyinä, eli laitos oli käsiteltävän kohteen välittömässä läheisyydessä. Käsittelyme-

netelmänä käytettiin yhtiön kehittämää Green fix- laitosta ja käsittelyn jälkeinen keskimääräinen öljypitoisuus oli pudonnut arvoon 500 mg/kg raskailla öljylaaduilla. (Uotila 2009.) Jos tätä arvoa verrataan taulukon 1 arvoihin, niin nähdään, että se alittaa ylemmän kynnyksarvon selkeästi sekä alemman ohjearvon melko selvästi. Ilmeisesti pudotus oli yhtä selvää muillakin öljyjakeilla. Kyseinen tulos näyttää selvästi termodesorptiolaitoksen toimintakyvyn öljyisten jätteiden termisessä käsittelyssä.

Termodesorptiolaitteiston päästöt on mitattu ja niiden on todettu täyttävän EU:n asettamat päästörajat. Taulukossa 3 on esitetty Savaterra Oy:n Green fix - laitoksen päästöt vertailtuna EU:n päästönormien kanssa. (Uotila 2009.) Saamiene tietojen mukaan taulukon 3 arvot eivät ole mitattu tässä jakeessa tehdyn puhdistuksen yhteydessä.

**Taulukko 3.** Termodesorptiolaitteiston savukaasupäästöjen ja EU: normien vertailu (Uotila 2009)

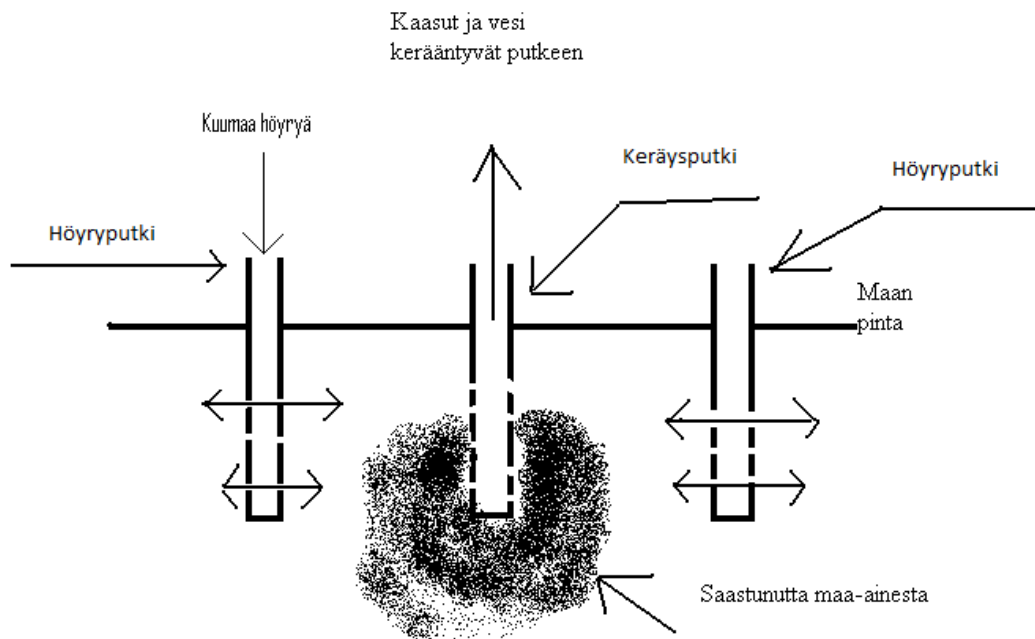
<b>Komponentit</b>	<b>Konsentraatio [mg/kg] polton jälkeän mitatut arvot</b>	<b>Konsentraatio [mg/kg] polton jälkeen sallitut arvot (362/2003)</b>
Kaikki partikkelit	10	10
Kokonaishiilipitoisuus (TOC)	<1	10
Suolahappo (HCl)	<1	10
hiilifluoridihappo (HF)	<1	1
rikkioksidi (SO <sub>2</sub> )	43	50
Typpioksidit (NO <sub>x</sub> )	143	200
Hiilidioksidi (CO <sub>2</sub> )	7,50 %	Ei tarvitse määrittää
Hiilimonoksidi (CO)	2	50
Metallit Cd + Tl	0,00001	0,05
Metallit: elohopea Hg	0,001	0,05
Metallit: Sb+ As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	0,022	0,5
Dioksiinit ja furaanit	0,00007 ng/m <sup>3</sup>	0,1ng/m <sup>3</sup>

Taulukosta nähdään se, että kyseinen laitos täyttää lain vaatimat päästötavoitteet selvästi. Kuten esimerkiksi Dioksiinin ja furaanin tapauksessa mitatut arvot ovat murto-osa sallituista arvoista.

#### 4.1.2 Termodesorptiolaitteiston käyttökokemus maailmalta

Brasilialaiset tutkijat tutkivat termodesorptiolaitteiston toimintakykyä, koska heidän öljyputkistoissaan sattui useita vuotoja vuoden 2001 aikana. Tämä johti siihen, että haluttiin löytää nopea käsittelymenetelmä öljyisen maa-aineksen puhdistamiseen. Käsittelyssä brasilialaiset vertailivat pesua ja termodesorptiotekniikkaa keskenään. (Aaruna 2004, 161 - 162.)

Brasilialaisten käyttämä tekniikka eroaa täysin Suomessa käytetystä termodesorptiolaitteistosta. Tämä laitteisto perustuu siihen, että saastunutta maaperää ei nosteta olinpaikastaan, vaan käsittely tapahtuu in-situ, jolloin käsiteltävää maa-ainesta ei tarvitse nostaa pois paikaltaan käsittelyn ajaksi. (EPA 2001, 2.) Parhaiten laitteiston toimintaa selventää kuva 10. Kuva 10 on mukaelma EPA:n, eli Yhdysvalloissa toimivasta luonnonsuojelujärjestön. vastaavasta laitteiston toimintakuvasta.



**Kuva 10.** In situ termodesorptiolaitteiston toimintakaavio (EPA 2001, 2.)

Höyry johdetaan maahan kuvan 10 mukaisilla putkilla ja sen lämpövaikutuksen avulla höyrystetään haitta-aineet ja mahdollinen vesi keräysputkea pitkin maan pinnalle, jossa se voidaan jatkokäsittää. Höyryn lisäksi syöttöputkiin voidaan johtaa kuumaa ilmaa, kuumaa



vettä, sähköjännitettä, radioaaltoja tai kuumien metalliputken avulla johdettua lämpöä. Jos haitta-aineet ovat helposti haihtuvia, voidaan keräysalue kattaa. (EPA 2001, 1.)

Brasialaisten tekemässä tutkimuksessa käytetty laitteisto oli kooltaan 415x425 mm, joten mistään teollisuusmittakaavan laitoksesta ei ole kysymys (Araruna 2004, 166). Kyseisessä tutkimuksessa käytettiin suoraa maan lämmittämistä lämpövästusten avulla. Koe tehtiin niin, että eri öljy- ja rasvapitoiset maa-ainekset laitettiin eri korkeudelle tutkittavassa laitteistossa ja tämän jälkeen aloitettiin lämmittäminen. Tuloksena saatiin, että pintakerroksissa olleet haitta-aineet poistuivat täydellisesti tai lähes täydellisesti, mutta syvemmillä olleista kerroksista ei poistunut paljoakaan haitta-ainetta. Esimerkkeinä näistä tuloksista ovat, että pinnassa oli ennen koetta 3200 ppm ja käsittelyn jälkeen 0 ppm öljyä ja pohjalla vastaavat luvut olivat 3950 ppm ennen ja 3600 ppm käsittelyn jälkeen. Joten haitta-aineiden poistuma pohjalta oli todella vähäistä. Kuitenkin tutkijat pääsivät siihen tulokseen, että heidän käyttämä termodesorptio on hyvä ja nopea keino öljyisten jätteiden poistossa maaperästä. (Aruna 2004, 168.)

## **4.2 Kokemukset arina- ja leijupetikoltosta**

Tässä jakeessa tarkastellaan kansainvälisiä tutkimuksia, arina- ja leijupetikattilan, ja niiden eri sovellusten hyödyntämisestä öljyisen jätteen poltossa. Jakeissa 3.1.1 ja 3.1.2 on esitelty arina- ja leijupetikattilan perustoimintaperiaatteet ja nyt tässä jakeessa tarkastellaan niiden toimintaa käytännön tilanteessa. Ensiksi tarkastellaan ranskalaisten tekemiä tutkimuksia leijupetikattilapoltolla. Näiden tutkimuksien takana ovat suurten öljytankkereiden Prestige ja Erika onnettomuudet vuosina 1999 ja 2003, jotka pakottivat viranomaiset pohtimaan hyviä keinoja öljyisen jätteen käsittelemiseksi. Erikan onnettomuuden jälkeen tutkijat tekivät kartoitusta käyttökelpoisen tekniikan valitsemiseksi. Käsittelymenetelmän piti pystyä täyttämään seuraavat vaatimukset: tekniikan käyttökelpoisuus, kyky toimia näin suuressa projektissa, kyky käsitellä kaikki toimitettava jäte kahdessa vuodessa ja toimittaa arviot lopullisista kustannuksista (Shcerrer & Couvrer 2001, 748). Toisessa esiteltävässä tutkimuksena käydään lävitse kanadalaisten tekemät tutkimukset arinakattilan käytölle öljyn osakomponentin tervan pilaamalla maalle. Tämän kirjallisuustyön kannalta merkittävämpi osa on kuitenkin leijupetikattilan käyttö öljyisen hiekan, sekä meriveden puhdistuksessa.

Tämän tutkimuksen taustalla ovat päivittäiset, lähinnä vesistöihin ja rannoille, tapahtuvat öljyvuodot Kanadassa. Lisäksi edellä mainitut suuronnettomuudet vaikuttivat myös tämän tutkimuksen tekemiseen. Näissä tutkimuksissa on painotettu öljyisen hiekan ja maa-aineksen käsittelyä, joten suoraa johtopäätöstä muiden öljyä sisältävien jätejakeiden soveltuvuudesta ei saada. Tuloksissa on painotettu käsittelystä tulevia päästöjä, kustannuksia sekä tietysti tekniikan soveltuvuutta öljyiselle maa-ainekselle.

#### **4.2.1 Öljytankkereiden Prestige ja Erika onnettomuuksien jälkeiset tutkimukset**

Öljytankkeri Erika hajosi kahtia lähellä Ranskan rannikkoa vuonna 1999 ja siitä pääsi mereen 15 000 tonnia raskasta öljyä. Tankkeri Prestige hajosi ja upposi mereen Ranskan ja Espanjan rannikkovesillä vuonna 2002. Arviolta 63 000 tonnia raakaöljyä pääsi mereen. Näiden onnettomuuksien jälkeen Ranskan valtio alkoi tutkia erilaisia keinoja öljyisen rantahiekan puhdistamiseksi tehokkaasti ja nopeasti. Tutkimuksessa tutkittiin myös öljyisen meriveden puhdistamistekniikoita. Tutkimusta tehtiin kahdella erilaisella käsittelymenetelmällä, sekä kuudella erilaisella jätetyypillä. (Babu 2007, 143-144, 149.) Tämän kirjallisuustyön kannalta merkittävämpi osa oli termisellä käsittelyllä tehty puhdistus, jossa apuna käytettiin leijupetikattilatekniikkaa. Scherrer & Couvreren (2001, 747–748.) mukaan Erikan katastrofin tapauksessa termistä käsittelyä käytettiin ainoastaan hienon mineraalin käsittelyyn, jota oli 5000 tonnia, kun kaiken kaikkiaan käsiteltiin yhteensä 260 000 tonnia öljyistä jätettä.

Leijupetikattilalla tehtyjen öljyisen maa-aineksen käsittelyn tulokset olivat hyvät. Haitta-ainepitoisuus oli ennen käsittelyä 50 000 mg/kg, joka oli lähellä Erika tankkerin jälkeisiä pitoisuuksia rantahiekassa, ja käsittelyn jälkeen 2500 mg/kg. (Babu 2007, 149.) Tämä 2500 mg/kg on raja-arvo, jonka alle piti päästä, jotta käsiteltyä maa-ainesta voitiin käyttää tienpohjana tai rakennusten pohja-aineena (Scherrer & Couvrer 2001, 748). Tähän tulokseen päästiin vain kuuden minuutin käsittelyllä. Lämpötilalla ei ollut suurta vaikutusta tähän, sillä ranskalaisten tekemien laskelmien mukaan lämpötila sai vaihdella 600 – 850 °C:een välillä. Kuitenkin jos raja-arvoksi otetaan esimerkiksi arvo 500 mg/kg, niin tarvittava käsittelyaika on yli 20 minuuttia. Tämän kaltaiset tulokset edellyttivät öljypitoisuuden ja polttoon tulevan palakoon pysymistä samana. Käsittelyssä käytetty reaktorityyppi oli siis leiju-

petikattilan kaltainen ja yhdellä kattilalla ja käsittelyajan ollessa yli 40 minuuttia, niin puhdistustehokkuus oli 98 %. Kahdella reaktorilla/kattilalla puhdistusaika oli 20 minuuttia per reaktori ja puhdistustehokkuus oli yli 99,9 %. Tämän kaltaisen käsittelyn jälkeen öljypitoisuus hiekassa oli 30 mg/kg. (Babu 2007, 149.)

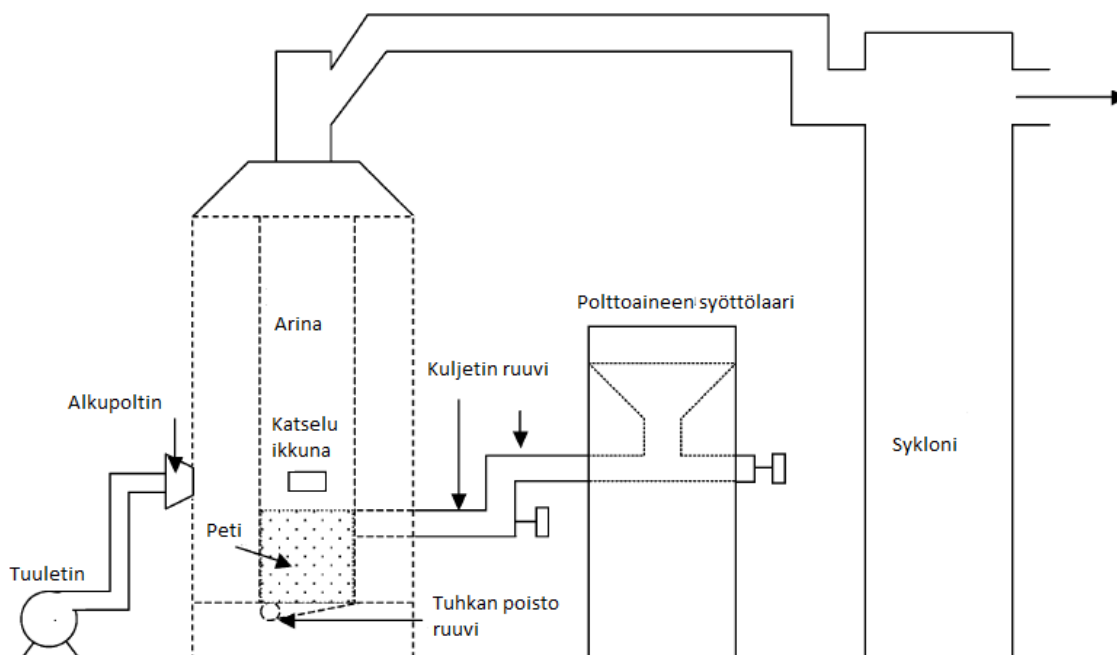
Ranskalaisten tutkimuksessa tutkittiin myös taloudellisia kustannuksia eri haitta-ainepitoisuuksilla ja erilaisia tekniikoita käytettäessä. Vertailun tuloksena saatiin, että leijupetikniikalla käsiteltyjen öljyisten jätteiden kokonaiskustannukset vaihtelivat välillä 80–115 €/t. Fysikaalis-kemiallisella käsittelyllä puhdistetun hiekan kustannukset olivat noin 110 €/t. Lisäksi Erikan puhdistuksessa käytetty fysikaalis-kemiallisen pesun kokonaiskustannukset olivat yli 200 €/t. Pääasiassa leijupetikattilalla tehtyjen käsittelyjen kustannukset olivat alle 100€/t, vaikka haitta-ainepitoisuudessa oli eroja, niin silti kustannukset pysyivät halvempina kuin pesun kustannukset. Lisäksi käsittelystä vapautuvat savukaasut ja niiden haitta-ainepitoisuudet olivat hyväksyttävät. Näin ollen ranskalaiset tulivat siihen tulokseen, että öljyisen rantahiekan puhdistaminen leijupetikattilatekniikalla on kannattavaa, eikä aiheuta ympäristölle lisäkuormitusta. (Babu 2007, 150 - 151.)

#### **4.2.2 Kanadalainen tutkimus arina- ja leijupetikattilatekniikalle**

Kanadan ympäristöviranomaisten mukaan Kanadassa tapahtuu päivittäin useita öljyvahinkoja, joista suurin osa vielä vesialueilla. Osittain edellä mainitun ja osittain suurten öljytankkereiden Prestige ja Erika onnettomuuksien takia Kanadan viranomaiset käynnistivät hankkeen, jossa selvitettiin öljyisen jätteen polttamista sekä arina- ja leijupetikattilassa. (Edward & Wang 2006, 443 – 445.)

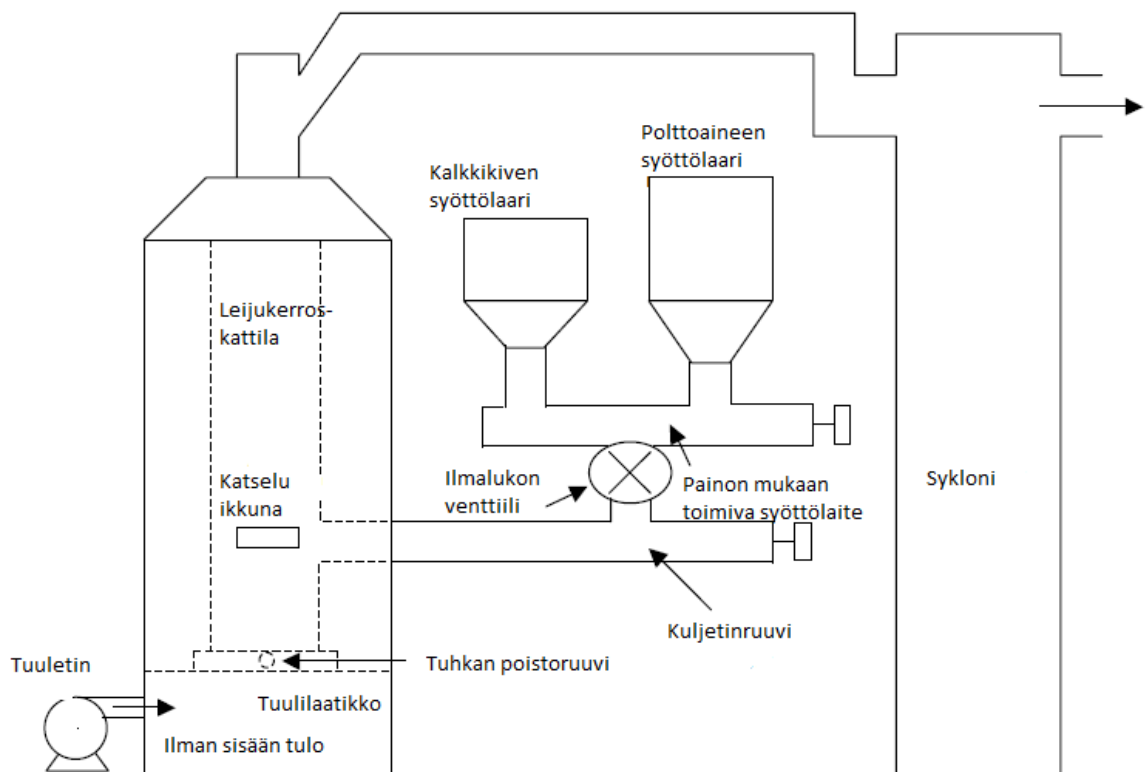
Tutkimuksissa käytettiin sekä arinakattilaa että leijupetikattilaa. Leijupetikattila oli ollut aikaisemmin käytössä öljyisen hiekan käsittelyyn tarkoitettussa laitoksessa ja siinä oli kaikki jakeessa 3.1.1 käsitellyt yksiköt. Kattilan käyttöhistoriasta selvisi, että apupolttoaineena oli käytetty propaania ja öljyisen hiekan palamislämpötila oli ollut niin alhainen, että propaania oli jouduttu käyttämään jatkuvasti prosessin pitämiseksi toiminnassa. Tutkijat huomasivat myös joitakin ongelmia tavallisessa leijupetikattilapoltossa ja erityisesti sen polttoaineensyöttöä koskien. Tervanen jäte on tahmeaa ja se tarttuu helposti sitä käsitteleviin

laitteisiin ja täten haittaa niiden toimintaa. Tämän ongelman tutkijat ratkaisivat siten, että sekoittivat poltettavan jätteen sekaan kivihiiltä. Tämän uskottiin nostavan palamislämpötilaa, sillä kivihiilen syttymislämpötila on alle 300 °C ja koska kivihiili palaa ensin niin lämpötila nousisi. (Edward & Wang 2006, 444- 445.) Kuvassa 11 on esitelty kivihiilitervan ja maa-aineksen polttamiseen modifioitu arinakattila. Kattila on modifikaatio kuvan 12 leijupetikattilasta. Arinakattilassa on mm. muutettu polttoaineen syöttömekanismia.



**Kuva 11.** Kanadalaisessa tutkimuksessa käytetty arinakattila (Edward & Wang , 2006, 444.)

Prosessiin tehdyt muutokset testattiin kivihiilitervan ja hiekan seoksen ja siihen lisätyn kivihiilen polttamisella arinakattilassa. Kokeessa vaihdeltiin kivihiilen ja tervaisen maa-aineksen suhdetta. Kokeessa mitattiin syntyviä päästöjä sekä poistuvan savukaasun että pedin lämpötilaa. (Edward, Wang 2006, 444- 445.) Savukaasun pitoisuuksista voidaan sanoa se, että päästöt. Arinakattilassa saavutettiin keskimäärin noin 300 ppm rikkidioksidipitoisuudet, kun termodesorptiolla saavutettiin 43 mg/kg pitoisuus. Arinakattilassa tehtyjen polttokokeiden happi-pitoisuudet vaihtelivat 2,5 – 5.7 % välillä. Suomessa voimassa olevan lainsäädännön mukaan jätteenpoltossa käytettävien eri haitta-aineiden tulee olla 11 % happi-pitoisuudessa ja öljyn polttamisessa happi-pitoisuuden tulee olla 3 %. (Edward & Wang 2006. 444- 445; Uotila 2009)



**Kuva 12.** Kanadalaisessa tutkimuksessa käytetty leijukerroskattila (Edward & Wang 2006, 445.)

Tämän kirjallisuustyön kannalta merkittävämpi tutkimus tehtiin kolmella erilaisella jätejakeella. Ensimmäinen koe tehtiin kaksi painoprosenttisella tuoreella öljyllä, joka oli sitoutunut hiekkaan. Tämän tarkoitus oli simuloida juuri tapahtunutta onnettomuutta, jossa öljy oli jo ehtinyt rantaan. Toinen koe tehtiin sekoittamalla  $\frac{1}{4}$  2 painoprosenttista öljyä  $\frac{3}{4}$  osaan merivettä. Tämän tarkoituksena oli simuloida tilannetta, jossa öljyä on päässyt vuotamaan meriveteen. Kolmas koe tehtiin ensimmäisen kokeen tapaan, mutta nyt öljyisen maaineksen annettiin olla sään armoilla kaksi viikkoa, jonka jälkeen ne suljettiin 800 kg tynnyreihin. Öljyisellä hiekalla tehtyjä kokeita tehtiin kuvan 12 leijupetikattilalla ja siinä havaittiin pieniä ongelmia polttoaineen syötössä, koska ilmalukko osoittautui liian pieneksi. Toisaalta todettiin että tehdasmittakaavan laitoksessa, jota tämä laitos ei ollut, niin kyseistä ongelmaa ei ole. Tämä sen takia, että uutta tekniikkaa tämän ongelman ratkaisuksi on kehitetty ja joissakin ratkaisuissa ilmalukko voidaan jopa kokonaan poistaa käytöstä. Polttoolosuhteita ja savukaasuja tarkkailtiin samaan tapaan kuin terva-hiekka-kivihiihi sekoituksen poltossa. (Edward & Wang 2006, 446.)

Tuloksista voidaan sanoa se, että petin lämpötilat olivat 824-877 °C, kun ne terva-hiekka-kivihiili poltossa olivat vain 121-368 °C välillä kivihiilen ja haitta-ainetta sisältävän maa-aineksen suhteesta riippuen. Savukaasujen mittauksista saatiin tulokseksi rikkidioksidin osalta 100 ppm hiekan ja tuoreen öljyn poltossa ja 119 ppm sekä öljyn ja meriveden poltossa että säiden armoilla olleen hiekan ja öljyn käsittelyssä. Nämä arvot ovat huomattavasti pienemmät kuin kivihiiltä ja tervaa sisältävän maa-aineksen poltossa saatuja arvoja, jotka vaihtelivat välillä 109 - 354 ppm kivihiili- ja haitta-ainepitoisuudesta ja palamislämpötilasta riippuen. Savukaasuista mitatut happi-pitoisuudet olivat 10.4 % tuoreen hiekan poltossa, 12.0 % meriveden ja öljyn sekoituksen poltossa ja 11.8 % vanhan öljyn ja hiekan poltossa. Tutkimuksen yhtenä tärkeimmistä tiedoista oli se, että polton jälkeisestä hiekasta ei löydetty lainkaan tai todella vähän öljyä. (Edward & Wang 2006, 448 - 450.)

Lopputuloksena saatiin, että öljyisen hiekan käsitteleminen leijupetiteknikalla on toimiva ratkaisu. Lisäksi selvisi se, että öljyistä merivettä voidaan käsitellä leijupetiteknikalla. Toinen merkittävä tulos oli se, että saavutetut päästöarvot, ovat alle Kanadan päästönormien ja näin ollen leijupetikattilaa voidaan käyttää öljyisen hiekan käsittelyssä. (Edward & Wang 2006, 448- 450.) Tämä tutkimus vahvisti niitä samoja tuloksia, joita ranskalaiset olivat saaneet omissa tutkimuksissaan leijupetikattilalla. Toisaalta kumpikin tutkimus oli keskittynyt lähestulkoon vain ja ainoastaan öljyisen hiekan käsittelemiseen, eikä näin ollen ole tietoa, kuinka leijupetikattila tai arinakattila käytännössä soveltuu esimerkiksi öljyisille kuolleille eläimille tai keräämisestä syntyneille jätteille.

## 5. YHTEENVETO

Öllyistä jätettä ovat kaikki materiaali, joka on muodostunut öljyvuodon tai -vahingon seurauksena ja se tulee käsitellä asiaan kuuluvalla tavalla. Suurten öljyonnettomuuksien yhteydessä öljyistä jätettä syntyy yleensä suuria määriä. Öljyistä jätettä voidaan termisesti käsitellä arina- ja leijupetikattilassa, rumpu-uunissa sekä termodesorptiolaitteistolla. Yhteenvedona voidaan sanoa, että terminen käsittely on nopea ja tehokas tapa puhdistaa öljyinen aines esimerkiksi maa-aineksesta. Leijupeti – ja arinapolton yhteydessä menetetään maa-aines, mutta esimerkiksi termodesorptiolaitoksessa maa-aines jää jäljelle ja se voidaan käsittelyn jälkeen jatkosijoittaa vaikka kaatopaikan rakennusaineeksi tai palauttaa alkupe- räiselle paikalleen, mikäli haitta-ainepitoisuudet ovat riittävän pienet.

Kappaleessa 4 läpikäytyjen tutkimusten perusteella voidaan sanoa, että leijupetikattilaan perustuva käsittely ovat myös kustannusten kannalta kannattava vaihtoehto. Lisäksi termisestä käsittelystä aiheutuvat päästöt ilmakehään ovat pienet. Lisäksi ne täyttävät ainakin Ranskan ja Kanadan ympäristöviranomaisten määrittämät päästörajat. Päästöjen pitäminen sallituilla tasoilla edellyttää laitoksien toimivan tavalla, jota niiltä edellytetään. Lisäksi termisen käsittelyn yhtenä merkittävänä etuna ovat suuret käsittelykapasiteetit, joiden avulla haitta-aineet pystytään puhdistamaan esimerkiksi maa-aineksesta nopeasti ja tehokkaasti. Termodesorptiolaitosta, kuin myös leijupetikattilaa koskevissa tutkimuksissa keskityttiin lähinnä vain öljyisen maa-aineksen puhdistukseen, joten varsinaista tutkimusta siitä, että miten kyseiset tekniikat soveltuvat esimerkiksi kuolleille eläimille tai keräämisestä syntyneille jätteille ei voitu tehdä. Toisaalta suurin osa keräämisestä syntyneistä jätettä on muoviperäistä ja muovihan on öljyperäinen tuote, niin mitään erityistä ongelmaa tämän ei pitäisi mielestäni tuoda.

## LÄHDELUETTELO

Alappat Babu J. et al. 2007 Thermal remediation of oil polluted sands from black tides: The fluidized bed option [pdf-dokumentti] Chemical Engineering Journal. volume 129. issues 1-3. sivut 143-151. [viitattu 4.11.2009] Saatavissa sivulta:

[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=MIImg&\\_imagekey=B6TFJ-4MH2C97-1-1&\\_cdi=5228&\\_user=949867&\\_orig=search&\\_coverDate=05%2F01%2F2007&\\_sk=998709998&\\_view=c&\\_wchp=dGLbVtb-zSkzV&\\_md5=4636eeebcd717095422a734ee8f28935&\\_ie=/sdarticle.pdf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIImg&_imagekey=B6TFJ-4MH2C97-1-1&_cdi=5228&_user=949867&_orig=search&_coverDate=05%2F01%2F2007&_sk=998709998&_view=c&_wchp=dGLbVtb-zSkzV&_md5=4636eeebcd717095422a734ee8f28935&_ie=/sdarticle.pdf)

Araruna J.T. et al, 2004. Oil spills debris clean up by thermal desorption, [verkkodokumentti] Journal of Hazardous Materials volume 110. sivut 161–171. [viitattu 4.11.2009] Saatavissa pdf-dokumenttina:

[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=MIImg&\\_imagekey=B6TGF-4CDJF0-2-1C&\\_cdi=5253&\\_user=949867&\\_orig=search&\\_coverDate=07%2F05%2F2004&\\_sk=998899998&\\_view=c&\\_wchp=dGLbVlz-zSkWz&\\_md5=69e76352ea09670a069e13c445df195d&\\_ie=/sdarticle.pdf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIImg&_imagekey=B6TGF-4CDJF0-2-1C&_cdi=5253&_user=949867&_orig=search&_coverDate=07%2F05%2F2004&_sk=998899998&_view=c&_wchp=dGLbVlz-zSkWz&_md5=69e76352ea09670a069e13c445df195d&_ie=/sdarticle.pdf)

Edward J. Anthony, Jinsheng Wang. 2006 Pilot plant investigations of thermal remediation of tar-contaminated soil and oil-contaminated gravel [pdf-dokumentti] Fuel. Volume 85. sivut 443-452. [viitattu 29.1.2010] Saatavissa sivulta:

[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleListURL&\\_method=list&\\_ArticleListID=1188462750&\\_sort=r&\\_view=c&\\_acct=C000049133&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_user=949867&\\_md5=37ee3976eaf309d3852fa8055cbaed33](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1188462750&_sort=r&_view=c&_acct=C000049133&_version=1&_urlVersion=0&_user=949867&_md5=37ee3976eaf309d3852fa8055cbaed33)

Ekokem 2009a. Korkea lämpötila poltto. [verkkodokumentti] [viitattu 26.8.09]. Saatavissa pdf-tiedostona:

[http://www.ekokem.fi/portal/fi/ekokem-yhtiot/kasittelyprosessit/ongelmajatteiden\\_kasittelyprosessit/korkealampotilapoltto/](http://www.ekokem.fi/portal/fi/ekokem-yhtiot/kasittelyprosessit/ongelmajatteiden_kasittelyprosessit/korkealampotilapoltto/)



Ekokem 2009b. Terminen käsittely [verkkodokumentti] [viitattu 3.10.09] 2 s. Saatavissa pdf-tiedostona:

[http://www.ekokem.fi/attachments/pilaantunut\\_maapera\\_ja\\_kunnostaminen/terminen\\_kasittely\\_0609\\_.pdf](http://www.ekokem.fi/attachments/pilaantunut_maapera_ja_kunnostaminen/terminen_kasittely_0609_.pdf)

Etelä-Savon Ympäristökeskus. 2003. Ympäristölupapäätös 4.7.2003, Dnro ESA-2003-Y-26-121 [verkkodokumentti] [viitattu 5.11.2009] saatavissa pdf-tiedostona:

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=21399&lan=FI>

Hupponen Mari. 2007. Öljyvahinkojätteiden käsittely Kymenlaakson alueella alusonnnettomuuden jälkeen. Diplomityö. Lappeenranta 2007

Hupponen Mari, et al. 2007 Öljyvahinkojätteiden käsittely alusonnnettomuuden jälkeen kymenlaakson alueen näkökulmasta. Lappeenranta. 176 s. + liite 6 s. ISBN 978-952-214-520-8 (nid.) ISBN 978-952-214-521-5

Penttinen Riina, 2001 Maaperän ja pohjaveden kunnostus, Helsinki 2001, Suomen ympäristökeskus, ISBN 952-11-0943-2

Sarvi Minna. 2009 Niska & Nyysönen oy. Sähköpostiviesti 5.11.2009

Savatererra Oy. 2009 Greenfix saastuneiden maa-ainesten käsittely ja tuotteistus.[Savatererra yhtiön www-sivu][viitattu 26.10.2009] Saatavissa osoitteesta:

<http://www.savatererra.fi/fi/index.php?os=2>

Scherrer Pierre & Couvrer Jean-Francois 2001 Treatment of waste from the Erika spill. [pdf-dokumentti] [viitattu 20.1.2010] saatavissa osoitteesta:

<http://www.iosc.org/papers/02229.pdf>

Suomen ympäristökeskus 2009. Öljy ja kemikaalivahinkojen torjunta. [Suomen ympäristökeskuksen www-sivut] [viitattu 12.8.09], saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=465&lan=fi>

Uotila Juha. 2009, Tekninen johtaja Savaterra Oy. Sähköpostiviesti 19.10.2009

EPA 2001. A Citizen's Guide to In Situ Thermal Treatment Methods. United States Environmental Protection Agency. [verkkodokumentti] [viitattu 5.11.2009] 2 s. Saatavissa pdf-tiedostona: <http://www.epa.gov/tio/download/citizens/insitutherm.pdf>

Vesanto Petri 2006, Jätteenpolton parhaan käytettävissä olevan tekniikan(BAT) vertailuasiakirjan käyttö suomalaisessa toimintaympäristössä, Edita Prima Oy, Suomen ympäristö 27/2006. 102 s. ISBN 952-11-2308-7(nid), ISBN 952-11-2309-5

VNa 1.3.2007/214. Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. Liite: Maaperän haitallisten aineiden pitoisuuksien kynnys- ja ohjearvoja. [verkkodokumentti] [viitattu 29.10.2009] Saatavissa osoitteesta: <http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/5382.pdf>

WWF Suomi, 2010. WWF Suomi www-sivut. [viitattu 13.4.2010] Musta Surma – Pandan polku 3/2004, artikkeli. Saatavissa osoitteesta: [http://www.wwf.fi/tiedotus/pandan\\_polku/pandan\\_polun\\_artikkelit/musta\\_surma\\_pandan.html](http://www.wwf.fi/tiedotus/pandan_polku/pandan_polun_artikkelit/musta_surma_pandan.html)