

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
TAMPERE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Degree programme in Environmental Engineering
Henna Niemelä

Opinnäytetyö

Pajukerpputorni kaatopaikkavesien käsittelyssä

Työn ohjaaja
Työn tilaaja
Tampere 6/2010

Lehtori Eeva-Liisa Viskari
Tampereen ammattikorkeakoulu / Pajukäsittely-projekti

Tampereen ammattikorkeakoulu
Environmental Engineering

Tekijä	Henna Niemelä
Työn nimi	Pajukerpputorni kaatopaikkavesien käsittelyssä
Sivumäärä	46 + 6 liitesivua
Valmistumisaika	Kesäkuu 2010
Työn ohjaaja	Lehtori Eeva-Liisa Viskari
Työn teettävä	Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö on tehty osana Tampereen ammattikorkeakoulun Pajukerppu-projektia. Työn tarkoituksena oli selvittää, miten torni toimii ja kuinka tehokas se on. Edelleen on tarkoitus löytää, käytetäänkö vastaavanlaisia torneja jossain muuallakin Suomessa tai ulkomailla, tai onko käytössä muita vastaavia menetelmiä.

Opinnäytetyö tehtiin tekemällä kirjallisuuskatsaus sekä analysoimalla haastatteluja ja tarkkailutuloksia pajukerpputorneista. Osana työtä analysoitiin pajukerpputornien mittausdatat Kemistä, Pälkäneeltä, Ulvilasta ja Vaasasta. Tutkimuksen perusteella pajukerpputornista on tarkoitus kerätä tietoa, missä ja miten sitä käytetään; tämän jälkeen siitä olisi mahdollista kehittää toimiva menetelmä kaatopaikkavesien erilliskäsittelyn osaksi tai muuhun vesien puhdistamiseen.

Pajukerpputorni on kaatopaikkavesien puhdistusjärjestelmä, jota käytetään Suomessa tehostamassa kaatopaikkavesien puhdistusta neljällä suljetulla tai vielä käytössä olevalla kaatopaikalla. Kaatopaikkavesi pumpataan puisesta kehikosta ja pajukerpuista rakennetun korkean tornin päälle, josta se suihkutetaan pajukerppujen läpi ylhäältä alas tasausaltaaseen ja uudelleen ylös. Veden kierrättämistä tornissa jatketaan niin kauan, että haluttu puhdistustaso on saavutettu. Pajukerppupuhdistamoä käytetään usein yhdessä toisen biologisen puhdistusmenetelmän kanssa tehostamaan puhdistusprosessia.

Tutkimuksessa ovat mukana Tampereen ammattikorkeakoulu, Vaasan kaupunki ja Humuspehtoori Oy. Hanketta koordinoi Tampereen ammattikorkeakoulu, jossa projektipäällikkönä toimii lehtori Eeva-Liisa Viskari. Pajukerppu-hanke käynnistyi syksyllä 2009. Kaksi vuotinen tutkimus toteutetaan 1.9.2010 ja 30.08.2011 välisenä aikana. Tutkimuksen aikana pajukerpputornista tehdään taustaselvitys, johon tämä opinnäytetyö kuuluu, sekä testiajoja kahdessa eri tornissa, joissa kesän 2010 aikana mitataan tornien toimintaa eri kierrätystaajuuksilla ja tulevan veden laadulla.

Avainsanat: kaatopaikkavesi, pajukerpputorni, biologinen suodatin

TAMK University of Applied Sciences
Environmental Engineering

Writer	Henna Niemelä
Name of the thesis	Willow stack tower in landfill leachate management
Number of pages	46 pages + 6 Appendices
Graduation time	June 2010
Thesis Supervisor	Senior Lecturer Eeva-Liisa Viskari
Commissioned by	Tampere University of Applied Sciences

ABSTRACT

This work is part of the Tampere University of Applied Sciences' Willow stack tower-project. The purpose of this final thesis was to study the operational functions of the Willow stack towers and how well the existing towers are operating. Purpose was also to discover whether the same kinds stack towers or similar purification processes are used elsewhere in Finland or abroad. The final thesis was conducted by making a literature review and by analysing the interviews from the personnel and data from monitoring results from Kemi, Pälkäne, Ulvila and Vaasa.

Willow stack tower is a purification system for landfill leachate. In Finland the Willow stack tower is being used to intensify the leachate purification system in four operating or closed landfills. The landfill leachate is pumped up to the stack tower and sprinkled through its wooden structure, filled with willow stacks. The circle is repeated few times or as many times as the desired result is achieved. Willow stack tower is often used alongside with some other biological water treatment system.

Willow stack tower-project was launched in fall 2009 and it continues for two years. Tampere University of Applied Sciences, the City of Vaasa and Humuspehtoori PLC are accompanied in the research .The Willow stack project manager is Senior lecturer Eeva-Liisa Viskari. The project continues with the test runs in the Willow Stack tower.

Keywords; Leachate water, Willow stack tower, Biological filter

Esipuhe

Marraskuussa 2009 tarjoutui mahdollisuus opinnäytetyöhön, joka käsitteli esiselvitystä kaatopaikkavesien puhdistamisesta pajukerpputorin avulla. Opinnäytetyön tekeminen oli antoisaa ja haastavaa. Työn edetessä uusia näkökulmia tuntui löytyvän koko ajan lisää.

Erityiset kiitokset kuuluvat työnohjaaja Eeva-Liisa Viskarille kiinnostavasta lopputyön aiheesta ja osaavasta työn ohjauksesta, sekä Seija Haapamäelle, joka asiantuntevasti jakoi neuvoa ja opastaa projektin eri vaiheissa. Lisäksi haluan kiittää kaikkia projektissa mukana olleita. Special thanks for Matthias Hoffmann for helping me to translate material from German origin.

Tampereella kesäkuussa 2010

Henna Niemelä

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT.....	3
Esipuhe.....	4
1 Johdanto	8
2 Taustatietoa	9
2.1 Lainsäädäntö	9
2.2 Kaatopaikkavesi	10
2.3 Kaatopaikkaveden suodatusmenetelmät	12
2.4 Ympäristövaikutukset	15
3 Pajukerpputorni jätevesien käsittelyssä	17
3.1 Historia.....	17
3.2 Pajukerpputornin rakenne	18
3.3 Pajukerpputornin puhdistustehokkuuden optimoiminen	22
3.4 Hyödyllisyysmallisuoja.....	23
3.5 Kaatopaikkojen taustatiedot.....	24
3.5.1 Vaasa, Suvilahden kaatopaikka.....	24
3.5.2 Kemi, Holstinharjun kaatopaikka	28
3.5.3 Pälkäne, Humuspehtoori Oy	31
3.5.4 Ulvila, Haistilan kaatopaikka.....	34
3.6 Kaatopaikkojen tarkkailutulosten vertaileminen	36
3.7 Muut vastaavat hankkeet Suomessa ja ulkomailla.....	38
4 Yhteenveto	40
LÄHTEET.....	42
LIITTEET	46
LIITE 1	Hyödyllisyysmalli
LIITE 2	Pajukerpputornin piirrustukset
LIITE 3	Vuoden kuntatekniikan kunniamaininta
LIITE 4	Artikkeli – Pajukerpputorni suotovesien puhdistajana

Lyhenteiden ja termien luettelo

BOD	Biokemiallisella hapenkulutuksella tarkoitetaan sitä happimäärää, joka kuluu määrättyissä oloissa ja tiettyinä aikana (yleensä 5 tai 7 vrk + 25°C lämpötilassa) näytteessä olevien orgaanisten aineidenbiologiseen hajotukseen happipitoisessa tilassa
COD	Kemiallinen hapenkulutus (KHK), kemiallinen hapentarve (KHT). Mittaa vedessä olevien happea kemiallisesti liuottavien aineiden määrää
epäorgaaninen aine	Eloton, elottomaan luontoon liittyvä. Vrt. orgaaninen
jälkihoito	Käytöstä poistetun tai poistettavan kaatopaikan ympäristövaikutusten seuraamiseksi tai torjumiseksi tarvittavia toimia
kaatopaikkaprosessit	Kaatopaikalla jätetäytössä tapahtuvia fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia prosesseja, joissa jäte liukenee, muuntuu ja / tai hajoaa sekä aiheuttaa muuntumis- ja hajoamistuotteiden päästöjä ympäristöön pääasiassa kaasumaisessa tai nestemäisessä olomuodossa
kaatopaikkavesi	Kts. suotovesi
kiintoaine	Vedessä kulkeutuvaa eloperäistä tai mineraaleista koostuvaa ainesta, jonka raekoko on suurempi kuin 0,45 µm
kok. N	Kokonaistyyppi. Typpi esiintyy vedessä liuenneina, liukenemattomina tai kolloidisina orgaanisina yhdisteinä tai liuenneina epäorgaanisina yhdisteinä: ammoniumina, ammoniakkina, nitraattina, nitriittinä ja vapaana typpinä. Typpi on toisen pääkasviravinteen fosforin ohella vesien tuotannon ja rehevöitymisen kannalta tärkein ravinne
kok. P	Kokonaisfosfori. Veden sisältämän fosforin eri muotojen kokonaismäärä. Fosfori on toisen pääkasviravinteen typen ohella vesien tuotannon ja rehevöitymisen kannalta tärkein ravinne

NH ₄ -N	Ammoniumtyppi. Ammonium on typen epäorgaaninen yhdiste ja vesien tuotannon kannalta keskeinen ravinne. Ammoniumia joutuu vesiin typpipitoisten orgaanisten aineiden hajoamistuotteena, lannoitteista sekä teollisuuden ja asutuksen jätevesien mukana
orgaaninen aine	Eloperäinen aines. Peräisin valuma-alueelta tai vesistön omasta tuotannosta. Orgaaninen aine aiheuttaa vesistöissä yleensä happikatoa ja edistää rehevöitymistä
pajukerpputori	Kaatopaikkavesien biologinen puhdistusjärjestelmä. Pajukerpputori rakennetaan yleensä puisesta kehikosta, joka täytetään pajupaaleilla. Kaatopaikalta suotautunut kaatopaikkavesi kerätään salaojaputkien avulla tasausaltaaseen ja pumpataan ylös torniin, minkä jälkeen se valuu tornin läpi ja palautuu takaisin tasausaltaaseen
raskasmetalli	Antimoni-, arseeni-, kadmium-, kromi(VI)-, kupari-, lyijy-, elohopea-, nikkeli-, seleeni-, telluuri-, tallium- ja tinayhdisteet
sakokaivo	Saostuskaivo. Raskaampi kiintoaine painuu kaivon pohjalle ja neste johdetaan avo-ojiin. Sakokaivo tyhjennetään ajoittain loka-autolla
SO ₄	Sulfaatti-ioni. Sulfaattiyhdisteet ovat yleensä runsasliukoisia ja liukenevat veteen. Sulfaattipitoisuuden määrittäminen on tehokas keino tutkia vesien laatua. Sulfaatti saattaa muodostaa myrkyllistä rikkivetyä, joka aiheuttaa erilaisia haju- ja makuhaittoja
suotovesi/kaatopaikkavesi	Kaatopaikalle sijoitetun jätteen läpi suotautuvaa tai muuta kaatopaikalla muodostuvaa likaantunutta nestettä
TOC	Total Organic Carbon eli orgaaninen kokonaishiili. Sisältää partikkelimuodossa olevan orgaanisen hiilen (POC) sekä liuenneen orgaanisen hiilen (DOC)

1 Johdanto

Suomessa käytetään pajukerpputorneja neljällä suljetulla tai vielä käytössä olevalla kaatopaikalla tehostamassa kaatopaikkavesien puhdistusta. Nämä neljä tornia sijaitsevat Kemissä, Pälkäneellä, Ulvilassa ja Vaasassa. Pajukerpputornista voidaan käyttää myös nimityksiä vedenkäsittelyjärjestelmä, pajutorni, pajukerppupuhdistamo, kerppupuhdistamo tai risupuhdistamo. Pajukerpputorni on biologinen suodatin, jonka toimintaperiaatetta selvitetään seuraavassa tarkemmin.

Pajukerpputorni rakennetaan yleensä puisesta kehikosta, joka täytetään pajupaaleilla. Kaatopaikalta suotautunut kaatopaikkavesi kerätään salaojaputkien avulla tasaaltaaseen ja pumpataan ylös torniin, minkä jälkeen se valuu tornin läpi ja palautuu takaisin tasaaltaaseen. Jotta haluttu puhdistustulos saavutettaisiin, vesi pumpataan yleensä noin neljä – kuusi kertaa tornin läpi. Pajukerpputorni toimii vain sulan maan aikana, yleensä toukokuusta lokakuuhun.

Pajukäsittely-hankkeen avulla halutaan selvittää tornin käytön taustaa, nykyistä käyttöä ja toimintamahdollisuuksia sekä kehittää tornista toimiva ratkaisu erilliskäsittelyn osaksi eri suoto-, hule- ja jätevesien puhdistukseen. Pajukerpputorni vaikuttaa tehokkaalta menetelmältä osana kaatopaikkojen suotovesien puhdistamista. Kuitenkaan sen kaikkia prosesseja ja vaikutuksia ei tarkkaan tiedetä. Pajukerpputorni voisi olla myös kansainvälisesti kiinnostava puhdistusmenetelmä, sillä torni on edullinen rakentaa ja sillä on alhaiset käyttökustannukset. Tämä työ on osa Pajukäsittelyprojektia, ja sen tarkoituksena on selvittää pajukerpputornien määrä, käyttö ja toiminta Suomessa tällä hetkellä. Kyseessä on esiselvitysprojekti, jonka jatkohankkeena selvitetään tornin toimintaa ja kehitetään sitä.

Osana työtä analysoidaan jo olemassa olevien tornien mittausdatat Kemistä, Pälkäneeltä, Ulvilasta ja Vaasasta sekä kartoitetaan, onko pajukerpputorneja tai jotain vastaavaa käytössä jossain muuallakin Suomessa tai ulkomailla.

Opinnäytetyö tehtiin tekemällä kirjallisuuskatsaus sekä analysoimalla haastatteluja ja tarkkailutuloksia pajukerpputorneista. Tutkimuksen perusteella pajukerpputornista on tarkoitus kerätä tietoa missä ja miten sitä käytetään, minkä jälkeen siitä olisi mahdollista kehittää toimiva menetelmä kaatopaikkavesien erilliskäsittelyn osaksi tai muuhun vesien puhdistamiseen.

2 Taustatietoa

2.1 Lainsäädäntö

Suomessa on nykyisin noin 1900 kaatopaikkaa. Toimivien kaatopaikkojen määrä tästä on hieman alle 250, ja loput kaatopaikoista on suljettuja. Suljettujen kaatopaikkojen määrä on kasvanut vuosittain. Suuri suljettujen kaatopaikkojen määrä selittyy myös sillä, että Suomessa ollaan siirtymässä jätteiden käsittelyssä yhä suurempiin yksiköihin. (Ympäristötilasto 2004) Vuonna 1999 vain muutamalla Suomen kaatopaikalla oli kaatopaikkavesien erillispuhdistamo. (Marttinen, Kaatopaikkavesipuhdistamot Suomessa, Vesitalous, 2/2001)

Oikein hoidettu jätehuolto estää haitallisten aineiden leviämisen ympäristöön ja luonnon kiertokulkuun. Suomen jätelain päämääränä on tukea kestävästä kehitystä edistämällä luonnonvarojen järkevää käyttöä sekä ehkäisemällä ja torjumalla jätteistä aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja läheiselle ympäristölle. Jätelain noudattamista valvoo valtion lupa- ja valvontaviranomaisten lisäksi kunnan ympäristönsuojeluviranomainen. (Finlex, Valtion säädöstietopankki)

Suomen liittyttyä Euroopan unioniin yhteisölainsäädäntö, joka koskee kaikkia jäsenmaita, toimeenpantiin myös Suomen lainsäädännössä. Jätelakiin (1072/1993) ja jäteasetukseen (1390/1993) sisällytettiin kaikki keskeiset jätealan puitedirektiivit, jotka astuivat voimaan alkuvuonna 1994, mikä tiukensi kaatopaikkojen vaatimuksia. Jätelain päätavoite on kustannustehokas jätteen keräys ja turvallinen loppukäsittely. (Finlex, Valtion säädöstietopankki)

Valtioneuvoston päätöksellä (VNP861/1997) vuoden 2002 alusta lähtien kaikki toimivien kaatopaikkojen suotovedet pitää käsitellä tehokkaasti jo kaatopaikalla tai johdettava muualle puhdistettavaksi niin kauan kuin siellä on jotain biologista toimintaa ja kunnes kaatopaikka on saavuttanut vakaan tilan. Numeerisia raja-arvoja ei ole säädetty puhdistustehokkuudelle tai puhdistetun kaatopaikkaveden laadulle, vaan vaadittava taso puhdistustehokkuudelle ja tarkkailtavat aineet tai ominaisuudet ovat ympäristöviranomaisen harkittavissa. (Finlex, Valtion säädöstietopankki)

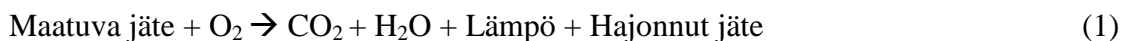
2.2 Kaatopaikkavesi

Kaatopaikkavesi tai suotovesi on nestettä, joka muodostuu pääasiassa kaatopaikalla sadevesien tai lumen suotuessa maamassan ja jätetäytön läpi, jätteen mukana tulevasta vedestä tai kaatopaikan ympäristöstä valuvasta nesteestä. Kaatopaikkavesi on se elementti, jonka mukana haitalliset aineet voivat päästä ympäristöön.

Kaatopaikkavesien laadullinen ja määrällinen vaihtelu on suurta vuodenajan mukaan. Vaihtelu aiheuttaa haasteita kaatopaikkavesien tehokkaaseen käsittelyyn - esimerkiksi keväisin kaatopaikkavesiä suotautuu runsaasti, ja kesällä taas veden haihtuminen on runsaampaa, jolloin suotovesi on vahvempaa. Suotautuneen veden laatuun vaikuttavat jätemateriaalin koostumus, kaatopaikan täyttötekniikka ja -nopeus, kaatopaikan rakenne, jätemateriaalin ikä sekä alueen ilmasto-olosuhteet. Kaatopaikkavedet sisältävät runsaasti kiintoainetta, orgaanista ainesta, ravinteita, metalleja ja muita ympäristölle haitallisia aineita. (Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2008) Suotovesien laadulle ovat ominaisia vaikeasti hajoavan COD:n sekä ammoniumtypen suuret pitoisuudet, vähäinen fosforipitoisuus, alhainen lämpötila. (Reinikainen, Tanskanen, Kaatopaikkavesien käsittelymenetelmät.) Kaatopaikkavesien puhdistamiseen vaikuttavat suotautuneiden vesien määrä ja veden laatu. (Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2008)

Maatuva kaatopaikkajäte hajoaa hapellisissa oloissa muodostaen hiilidioksidia, vettä ja lämpöä (kaava 1). Kaatopaikoilta tuleva suotovesi on yleensä hieman hapanta, mikä edesauttaa metallien ja kemikaalien liukenemista veteen korroosion seurauksena. (Rajala, Vesitalous 2001) Happamuus aiheutuu maatumisprosesseista, jotka tapahtuvat

hapettomissa olosuhteissa (kaava 2) Happamassa vaiheessa jätetäytöstä muodostuu paljon orgaanisia aineita COD ja BOD. (Reinikainen, Tanskanen, Kaatopaikkavesien käsittelymenetelmät) Hapettomissa olosuhteissa vedystä ja hiilidioksidista muodostuu myös metaania CH₄ (kaava 3), joka on kasvihuonekaasu. Metaani on hallittuna käyttökelpoinen energialähde, mutta ongelma vapaasti ilmaan päästessään. (Tammemagi 1999, s 105-106)



Metalleja liukenee kaatopaikkavesiin esimerkiksi metalliromuista, erilaisia puunsuojakemikaaleja metsäteollisuuden tuotteista sekä lyijyä ja raskasmetalleja vanhoista akuista. Kaatopaikalla mikrobit hajottavat orgaanista ainesta, mikä aiheuttaa jätteessä myös kemiallisia muutoksia. (Rajala, Vesitalous 2001)

Puhdistustehokkuudelle tai puhdistetun kaatopaikkaveden laadulle ei ole annettu tarkkoja numeerisia raja-arvoja, vaan vaadittava taso ja tarkkailtavat aineet tai ominaisuudet ovat ympäristöviranomaisten harkittavissa ja ne voivat vaihdella eri kaatopaikkojen mukaan. Valtioneuvosto on kuitenkin antanut päätöksen suotovesien enimmäispitoisuuksista, joita tulee noudattaa (Taulukko 1). Enimmäispitoisuuksista nähdään, että biologinen hapenkulutus BOD-arvo ei saisi ylittää 30 mg/l ja että kokonaisfosforin tulisi olla alle 2 mg/l. (Finlex, Valtion säädöstietopankki VNp 365/1994 ja 757/1998)

Taulukko 1. Valtioneuvoston päätös suotovesien enimmäispitoisuuksista. (Finlex, Valtion säädöstietopankki VNP 365/1994 ja 757/1998)

Haitta-aine	Enimmäispitoisuus
BOD₇	30 mg/l O₂
COD_{Cr}	125 g/l
Kiintoaine	35 mg/l
Kokonaisfosfori	2 mg/l
Kokonaistyyppi	15 mg/l

Puhtaiden vesien biologinen hapenkulutus - BOD₇-arvo on yleensä alle 2 mg/l O₂. Vesistön tila alkaa häiriintyä kun BOD₇-arvo on yli 5 -15 mg/l O₂, jätevesissä BOD₇-arvo on luokkaa 20 mg/l O₂ jolloin happikato on todennäköinen. (RiverLife, Ympäristökeskus)

2.3 Kaatopaikkaveden suodatusmenetelmät

Kaatopaikkavedet kerätään salaojaverkostolla tai avo-ojilla kaatopaikka-alueelta erilliskäsittelyä varten. Ulkopuolisten puhtaiden pintavaluntavesien pääsy kaatopaikalle pyritään estämään veden suuntaa ohjaavalla niskaajalla.

Kaatopaikkavesiä voidaan käsitellä fysikaalis-kemiallisilla tai biologisilla prosesseilla. Käsittelymenetelmiä kaatopaikkaveden puhdistamiselle on hyvä yhdistää eri puhdistustavoista kaatopaikkojen erilaisten epäpuhtauksien lukuisuuden vuoksi, ongelmia tuottaa myös suuri suotovesien laadun ja määrän vaihtelu vuodenaikojen mukaan. Usein kaatopaikkavesien käsittelymenetelmän valintaan vaikuttavat myös puhdistusmenetelmän käsittelykustannukset, laitoksen hoito- ja huoltotoimenpiteiden tarve sekä tilantarve. (Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2008) Puhdistusmenetelmiä on esitetty tarkemmin taulukossa 2.

Fysikaalis-kemiallisissa jätevedenpuhdistamisprosesseissa voidaan puhdistaa suotovettä kemikaalien tai mekaanisten prosessien avulla. Käsittelymenetelmiä ovat esimerkiksi mekaaninen suodatus, sedimentaatio eli laskeutus, flotaatio sekä erilaiset kemialliset saostusmenetelmät. Suodattamisen tai laskeutuksen avulla voidaan poistaa kiintoaine

kaatopaikkavedestä, jolloin ne sopivat hyvin esi- tai jälkikäsittelymenetelminä, mutta eivät yksittäisinä puhdistusmenetelminä. *Fysikaalis-kemiallisten prosessien etuja ovat helpompi ohjattavuus, käyntiinlähtö, automatisointi ja vähäisempi lämpötilaherkkyys kuin biologisilla menetelmillä. Haittapuolina ovat usein suuret käyttökustannukset, kemikaalien tarve, suuret ja vaikeasti käsiteltävissä olevat lietemäärät.* (Reinikainen, Tanskanen, Kaatopaikkavesien käsittelymenetelmät)

Biologinen jätevedenpuhdistaminen on aerobinen tai anaerobinen prosessi, jossa haitta-aineita hajotetaan mikrobien tai niiden tuottamien entsyymien avulla. Puhdistumisen onnistumiseksi ympäristön olosuhteiden, kuten kosteus- ja happipitoisuuden, lämpötilan ja pH:n tulisi olla suotuisat mikrobien kasvulle. Parhaiten biologinen puhdistaminen soveltuu suotovedelle, jossa biohajoavan orgaanisen aineksen pitoisuudet ovat korkeita. Biologinen jäteveden puhdistaminen on usein edullisempaa kuin fysikaalis-kemialliset prosessit.

Keinotekoiset kosteikot perustuvat kasvien, maaperän ja bakteerien yhteistoimintaan. Kasvipuhdistuksessa kasvit yhteyttävät, varastoivat saasteita, kuljettavat happea juurivyöhykkeeseen ja tuottavat ravinteita mikrobiologiseen toimintaan.

(Reinikainen, Tanskanen, Kaatopaikkavesien käsittelymenetelmät) Toimiakseen oikein juurakkopuhdistamo usein tarvitsee tarpeeksi laajan alueen. Yleisimpiä ongelmia ovat oikovirtaukset tai hapenpuute. Tukkeutumisen estämiseksi kaatopaikkavesi tulisi jotenkin esikäsittää. (Reinikainen, Tanskanen, Juurakkopuhdistamo jäte- ja kaatopaikkavesien käsittelyssä)

Taulukko 2. Kaatopaikkavesien käsittelymenetelmiä ja niiden vaikutus kaatopaikkaveden ominaisuuksiin. (Christensen ym. 1992, U.S. EPA 1995, Ketunen 1997, Reinikainen ja Tanskanen 1992 ja Ettala 1998)

Menetelmät	Ominaisuus, johon menetelmä vaikuttaa	Huomioitavaa
1. Fysikaalis-kemialliset menetelmät		
Laskeutus, flotaatio	Kiintoaine	Harvoin riittää käsittely yksin
Suodatus	Kiintoaine	Harvoin riittää käsittely yksin
Kaasujen strippaus	NH ₄ -N, hajuyhdisteet (rikki)	Kaasupäästöjen hallinta
Ioninvaihto	Metallit valikoivasti, suolat	Esikäsittely- ja regenerantin jatkokäsittelytarve
Kemiallinen saostus	Metallit, kiintoaine, väri	Lietteen käsittelytarve
Kalvosuodatus	NH ₄ -N, orgaaninen aines, metallit, suolat kiintoaine	Esikäsittelytarve
Aktiivihiihiadsorptio	Toksiset ja hydrofobiset yhdisteet, metallit, suolat, väri	Esikäsittelytarve
Kemiallinen hapetus	Orgaaninen aines, rauta, väri	Suuri kemikaaliannostus, haitalliset sivutuotteet
Haihdutus	NH ₄ -N, toksiset yhdisteet, orgaaninen aines, metallit, suolat, väri	Konsentraatin käsittelytarve, saostumien hallinta, kaasupäästöjen hallinta
2. Biologiset menetelmät		
Aerobiset, esim. aktiivilieteprosessi, biosuodatin	Orgaaninen aines, NH ₄ -N, toksiset yhdisteet (osa), metallit (osa), väri	Toksiset yhdisteet heikentävät tehoa, jälkikäsittelytarve, lietteen käsittelytarve
Anaerobiset, esim, lietepatjareaktori, biosuodatin	Orgaaninen aines, NO ₃ -N, metallit (osa), toksiset yhdisteet (osa), väri	Toksiset yhdisteet heikentävät tehoa, jälkikäsittelytarve, NH ₄ -N-poistotarve

Suomessa kaatopaikkavedet johdetaan pääosin jätevesienpuhdistamolle, mikäli viemäriverkosto on tarpeeksi lähellä kaatopaikkaa. Kaatopaikkaveden puhdistaminen tulee suunnitella hyvin ilman että puhdistamon toiminta häiriintyisi. Suotovesi voi häiritä jätevedenpuhdistamon mikrobitoimintaa, joka on herkkä muutoksille. Suotoveden ammoniakkipitoisuus aiheuttaa ongelmia putkistoissa, mikäli se ylittää 40 mg / l. Lisäksi metaani voi kerääntyessään aiheuttaa räjähdysvaaran ja rikkivety työturvallisuushaitan. Kokonaiskuormituksesta kaatopaikkavesien osuus saa olla alle 1 %. Kaatopaikkavesiä ei voida ohjata kemialliseen jätevedenpuhdistamoon, koska saostus ei poista riittävästi typpeä. (Ympäristöhallinnon ohjeita. 2008)

2.4 Ympäristövaikutukset

Vuonna 1997 asetetussa valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoilta vaaditaan parempia pohjarakenteita kaatopaikkojen aiheuttamien ympäristö- ja terveystaikutusten vähentämiseksi. Täytäntöönpanon siirtymäaika päättyi vuoden 2007 lokakuussa, jonka jälkeen vanhan lainsäädännön mukaan tehdyt kaatopaikat tuli poistaa käytöstä. Siirtymäajan jälkeen kaatopaikkoja on poistettu runsaasti pois käytöstä, minkä takia niiden jälkihoito jatkuu vielä laajamittaisena lähivuosisikymmenet.

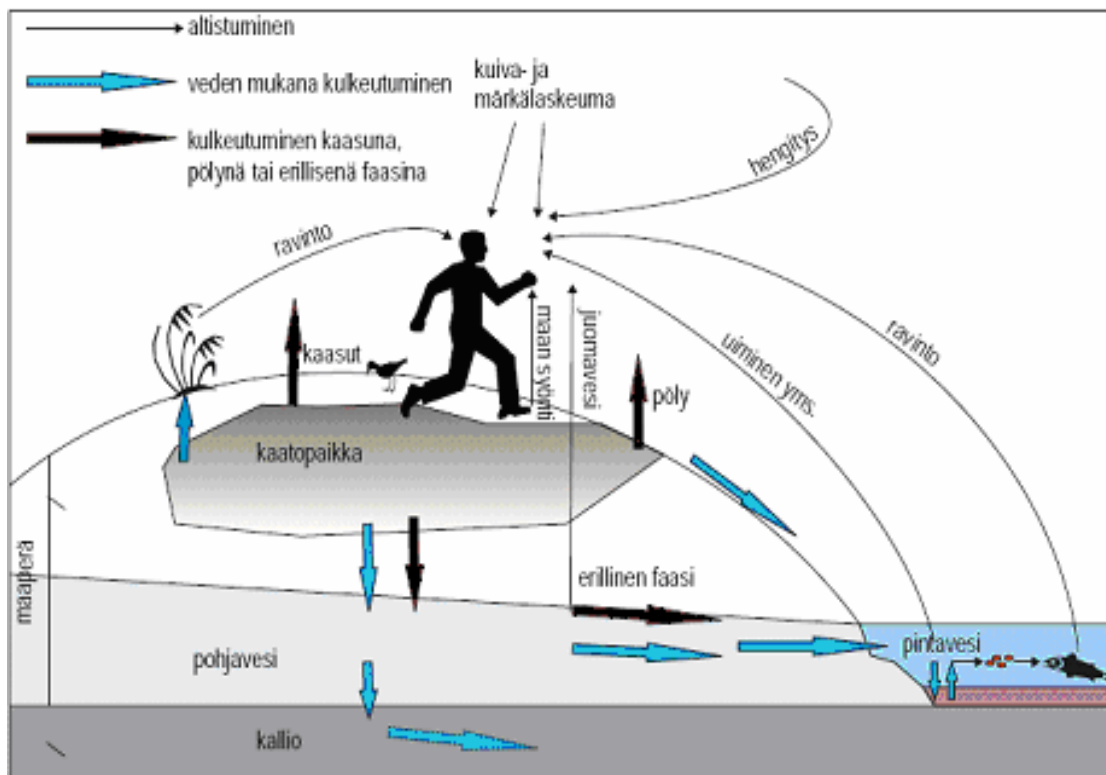
Kaatopaikan asianmukaisen lopettamisen jälkeen tulee huolehtia tarvittavista hallinnallisista toimenpiteistä, kunnostustoimenpiteistä sekä kaatopaikan jälkihoidosta. Jälkihuoltoon kuuluu päästöjen seuranta ja hallinta, jotka voivat jatkua jopa vuosikymmeniä kaatopaikan sulkemisen jälkeen. Jälkihuollon tarkoituksena on estää haitalliset päästöt maaperään, pinta- ja pohjavesiin sekä ilmaan. (Ympäristöhallinnon ohjeita, 2008)

Jokaiselle kaatopaikalle tehdään sijainnin ja kaatopaikan tilan selvitysten perusteella omakohtainen suunnitelma tarvittavista kunnostus- sekä jälkitoimenpiteistä. Toimenpiteet voivat esimerkiksi pitää sisällään suunnitelmat kaatopaikalla syntyvien vesien sekä kaasujen keräämisestä ja käsittelystä, mahdollisesta kaatopaikan eristämisestä. Huomioon on otettava myös suotovesimäärät, pohjavesihavainnot,

painumatarkkailu, kaatopaikan erityispiirteet, tuleva maankäyttö, sääolosuhteet sekä käytettyjen materiaalien ja rakenteiden laadunvarmistus. Jälkiseurannan avulla tarkkaillaan kunnostustoimenpiteiden toimivuutta. (Ympäristöhallinnon ohjeita 2008)

Kaatopaikkaveden suurin ympäristöuhka on suotoveden valuminen pohja- tai pintavesiin. Pohjaveden puhdistaminen on haasteellista, sillä saastuminen voidaan löytää vasta myöhemmin, pohjaveden virtausmäärä on alhainen ja puhdistamien on hankalaa ja kallista. Tämän vuoksi on tärkeää keskittyä suotovesien vuotamisen ennaltaehkäisyyn. (Landfill waste pollution and control, 1995) Suotovesi voi vahingoittaa maaperän rakennetta ja kasveja. (Reinikainen, Tanskanen, Kaatopaikkavesien käsittelymenetelmät)

Haitta-aineet voivat kulkeutua ympäristöön monella eri tavalla. (Kuva 1) Kulkeutumiseen ja laajuuteen vaikuttavat ominaisuudet, esiintymisen laajuus, jakautuminen ja sijainti. Maaperään sitoutuneet aineet saattavat levitä eteenpäin irtoavan pölyn mukana tai kulkeutua valumaveden mukana kauemmaksi. Tyypillisesti haitta-aineet ovat jakautuneet kaatopaikalle tasaisesti. Lähiympäristön maankäyttö määrittää haitta-aineille todennäköisimmin altistuvat ihmisryhmät ja eliöt.



Kuva 1. Kaatopaikan haitta-aineiden kulkeutumis- ja altistusreitit. (Mukaeltu; Penttinen ja Kauppila, 2001)

3 Pajukerpputorni jätevesien käsittelyssä

3.1 Historia

Suomen ensimmäinen pajukerpputorni rakennettiin Kemin Holstinharjun kaatopaikalle vuonna 1994. Idea pajukerpputornin rakentamisesta syntyi sattumalta, kun Kemin kaupungin rakennusmestari Kyösti Kenttä luki jäte- ja ympäristöalan lehdestä artikkelin saksalaisen kylpylän vesien puhdistamisesta puisen tornin avulla. Kenttä vastaa Kemin kaupungin kaatopaikan toiminnasta, ja tiukkenevat kaatopaikkamääräykset ja ympäristöluvut vauhdittivat idean kypsymistä. Kenttä ajatteli pajukerpputornin olevan edullinen ja toimiva ratkaisu vesienpuhdistusongelmaan, joten rakentaminen alkoi nopeasti jätehuollon vakituisen työporukan voimin, varsinaisen työajan ohessa. Rakentaminen alkoi niin ripeästi, ettei tornille ollut vielä hankittu rakennuslupaa. (Kuntatekniikka 1996)

Hankalin ongelma kaatopaikoilla ovat suotovedet, joiden puhdistamiseen on käytössä monia eri menetelmiä. Muutamissa paikoissa käytetään juurakkopuhdistamoja, joiden periaate on sama kuin pajukerpputornissa, mutta ne toimivat vaakatasossa, jonka vuoksi ne vievät paljon tilaa ja ovat hintavia. Pajukerpputornin väitetään olevan ”Suomen halvin puhdistamo”, Seppo Korhonen kirjoittaa. (Suomen luonto 9/1998) Kemin kaupungin puhdistuslaitos maksoi tornistaan ainoastaan 40 000 mk, joka on noin 6700 euroa. Kentän mukaan summa on mitätön kaatopaikkavesien puhdistamosta; jos vertaa muihin kaatopaikkavesi puhdistamoihin, usein puhutaan jopa 25-kertaisista summista. (Demari, 1997)

Pajukerpputornin osoittautuessa toimivaksi ratkaisuksi jätevesien puhdistukseen herätti keksintö kiinnostusta jätehuollon alalla ja eri julkaisuissa. Pajukerpputori sai vuoden kuntatekniikan kunniamaininnan vuonna 1997. (Liite 3) Kuntatekniikan saavutukset valitsee Suomen kuntatekniikan yhdistys. Pajukerpputornin alkuvaiheista kerrotaan myös liitteessä 4, jossa Kyösti Kenttä kertoo pajukerpputornin alkuvaiheista.

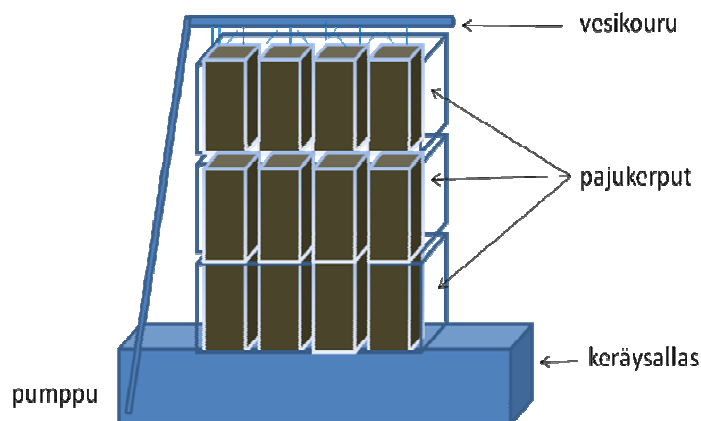
3.2 Pajukerpputornin rakenne

Pajukerpputornin rakenne voi vaihdella paljon käyttötarkoituksen ja paikan mukaan. Esimerkissä on kuvailtu pajukerpputornia Ulvilan kerpputornin rakennussuunnitelman mukaan.

Kaatopaikalta suotuvat kaatopaikkavedet johdetaan salaojien (\varnothing 160 mm) kautta pumppukaivoon ($\varnothing \geq 1000$). Salaojaputket peitetään karkealla hiekalla, jotta putken ympärille saadaan paremmin vesitilaa. Salaojaputkien lähtöpäihin rakennetaan pienet kaivot ($\varnothing \geq 300$ mm), joiden kautta salaojaputket voidaan tarvittaessa puhdistaa. Pumppukaivo, josta torniin kiertävä vesi pumpataan, rakennetaan tasausaltaan reunalle. Tasausaltaasta tuleva imuputki ($\varnothing \sim 250$ mm) asetetaan kauemmaksi pumppukaivosta, jolloin altaaseen saadaan hyvä vedenkierto. Imuputki suojataan sepelöinnillä, joka estää hiekan pääsyn pumppuputkelle.

Pajukerpputornin alle rakennetaan keräysallas. Tornin runkopilareita varten asennetaan teräsputket (\varnothing 300 mm), jotka valetaan betonilla. Keräysaltaasta rakennetaan isompi kuin tornin pohjan pinta-ala. Veden ohjaamiseksi pois tornista rakennetaan altaasta viettävä liuska takaisin tasausaltaaseen. Tasausaltaan ja liuskan pohjalle on hyvä asettaa suodatinkangas sekä sepeliä, joiden avulla pohjalle kulkeutunut sakka on helppoa kerätä pois.

Pajukerpputornin runkona on hirsistä koottu kehikko. Tornin perusrakenne nähdään kuvasta 2. Tornin mitat voivat vaihdella paikan ja käyttötarkoituksen mukaan, minkä vuoksi mitat voivat vaihdella. Korkeus voi olla 12 metriä, jossa on 2,5 metrin välein olevia pohjallisia pajupaalitasoja. Leveys on 2 metriä ja pituus 6 metriä. Ranteen paksuisesta pajusta kerätään nippuja, joita on helppo ihmisvoimin nostella. Pajut on hyvä kerätä ja pinota torniin talven aikana, jolloin ne jatkavat kasvuaan keväällä (Kuva 3). Kasvu lisää pajun käyttöikä ja pinta-alaa. Nosturin avulla pajut nostetaan tornin tasoihin nippuina (Kuva 4). Pajut tulisi vaihtaa torniin, kun ne alkavat mädäntyä, noin 4-6 vuoden välein. Laskettaessa pajukerpputornin pohjan pinta-ala 2 metriä x 6 metriä, kerrottuna pajunippujen korkeudella 10 metriä, saadaan pajukerppunippujen tilavuudeksi Ulvilassa on noin 120 m^3 . Tornia tuetaan sivuihin asennettavalla harusvaijerilla, joten tornia on helppo oikoa tarpeen vaatiessa. Tornin mittoja on esitelty tarkemmin taulukossa 3.



Kuva 2. Pajukerpputornin toimintaperiaate. (Eeva-Liisa Viskari. Tutkimussuunnitelma. Pajukerpputorni erilaisten jätevesien käsittelyssä)



Kuva 3. Pajuniput kasataan ranteen paksuisista pajuista. (Kyösti Kenttä, Kemi)



Kuva 4. Pajunippuja nostetaan torniin. (Kyösti Kenttä, Kemi)

Kaatopaikkavesi pumpataan tornin yläosaan vesikourua pitkin. Tornin ylätasossa olevan reikäputken avulla suotovesi jaetaan tasaisesti koko pajukerpputornin poikkipinnalle. Vesi pirskottuu vähitellen pajupaalien läpi. Pajukerput hidastavat alas tulevan veden valumista, ja puun pintaan muodostuu hyvä kasvualusta mikrobeille (Kuva 5). Alastullessaan vesi hapettuu ja mikrobit hajoittavat haitta-aineita. Torniin tulevan veden määrää voidaan hallita pumppauskaivossa olevan sulkuventtiilin avulla. Pajukerppupuhdistamon läpi kulkee 1440 m³ suotovettä vuorokaudessa pumpulla, jonka huipputeho on 15 metrin nostokorkeudella ja 50 metrin putkivirtausvastuksella. Mikrobialustaa ei tulisi päästää kuivaksi, sillä se haittaa mikrobitoimintaa. Lämpimänä kesäpäivänä suotovettä voi haihtua tasausaltaasta pajukerpputornista runsaastikin.



Kuva 5. Pajujen päälle muodostuu mikrobikerros. (Kyösti Kenttä, Kemi)

Pajukerpputorni ei yksinään riitä puhdistaman kaatopaikkavesiä, mutta yhdistettynä muihin puhdistusmenetelmiin se on osoittautunut hyväksi ratkaisuksi puhdistaa kaatopaikkavettä. Pajukerpputorni toimii vain sulan maan aikana, yleensä toukokuusta lokakuuhun. Parhaiten torni toimii loppukesästä, kun lämpötila on hyvä mikrobitoiminnalle. Lämpötilan laskiessa mikrobitoiminta lakkaa. (Kenttä, Pajukerppupuhdistamo, Ulvilan kaupunki)

Taulukko 3. Pajukerpputornin esimerkkimitat Ulvilan pajukerpputornin mukaan. (Kyösti Kenttä)

Pajukerpputornin tiedot	
Korkeus	12 m
Leveys	2 m
Pituus	6 m
Paju kerrokset	4 kpl - 2,5 m välein
Pajunippujen tilavuus	120 m ³
Kaatopaikan täyttöalueen pinta-ala	3,7 ha
Kerpputornin ala-altaan pinta-ala	7,35 m ³
Pumppukaivo Ø	≥ 1000 mm
Tasausaltaan pinta-ala	3300 m ³
Kerpputornin ala-altaan pinta-ala	7,35 m ³
Pumpun teho	~ 1440 m ³ / vrk
Tasausaltaan kierto kerpputornin kautta	2,5 vrk

3.3 Pajukerpputornin puhdistustehokkuuden optimoiminen

Pajukerpputornin peruseriaate on hapettuminen ja mikrobitoiminta. Suotoveden ilmaistuminen alkaa jo tasausaltaassa, ja veden pumppaaminen pirstotellen tornin läpi lisää sitä. Tasausaltaan happipitoisuus on hyvä saada korkeaksi, jolloin biologinen puhdistusprosessi saadaan käyntiin jo altaassa. Kesäisinä päivinä suotovesi myös haihtuu, jolloin vesipitoisuus vähenee. Tuulisena kesäpäivänä haihtuminen voi olla jopa 10 % pumpatusta vesimäärästä. (Kenttä, Pajukerppupuhdistamo)

Pajukerpputornin pinnalla olevat mikrobit muuttavat yhdisteiden muotoa ja hajottavat tyyppiä ja fosforia, jotka ovat tavallisimmat suotovesiä kuormittavat haitta-aineet. (Uusi-Lounais artikkeli, 1996) Tornin toiminnassaoloaikana tornia ei olisi hyvä päästää kuivumaan, vaan vettä tulee pyörittää tornin läpi koko ajan. Mikrobitoiminta häiriintyy, jos pajun pinta pääsee kuivumaan. Mikrobitoiminta häiriintyy myös jos lämpötila on liian alhainen. (Kenttä, 2010)

Pajukerpputornin käyttöaika on rajoittunut vain sulan maan aikaan. Pohjois-Suomessa toiminta-aika on vielä lyhyempi kuin Etelä-Suomessa. Kyösti Kenttä halusi kokeilla, onko tornin toimintaa mahdollista pitkittää kattamalla torni ja asentamalla

ilmalämpöpumppu, joka ei kuitenkaan toiminut toivotulla tavalla. Kuvassa 4 nähdään torni katettuna. (Kenttä, 2010)

Kaatopaikkaveden kiintoaine voidaan kerätä pajukerpputornin ala-altaasta, sakokaivosta ja tasausaltaan pohjalta. Ala-altaan pohja on hyvä päällystää suodatinkankaalla ja sepelillä, jolloin sakka on helppo poistaa. Sakokaivoja olisi hyvä olla vähintään kaksi, suodatustarpeen mukaan ottaen. Pajukerpputornin mikrobitoiminta muuttaa raskasmetalliyhdisteet sellaiseen muotoon, että ne sakeutuvat hyvin sakkaan. (Kenttä, Pajukerppupuhdistamo)

3.4 Hyödyllisyysmallisuoja

Patentti on yleisin suojamuoto erilaisille teknisille keksinnöille. Hyödyllisyysmallisuoja turvataan tuotteeseen, laitteeseen, aineeseen tai yhdisteeseen sekä valmistus- tai työkäyttömenetelmään liittyviä uusia ja keksinnöllisiä, konkreettisia ja toistettavissa olevia ratkaisuja. (Fakta Amk, 2010) Patenttijärjestelmä on tiedonlevitysjärjestelmä, joka on olemassa siksi, että se edistäisi tekniikan kehittymistä ja kansakunnan hyvinvointia. Tavoitteen kannalta keskeistä on uuden teknisen tiedon tuominen yhteiskunnan hyödynnettäväksi. ”Patentti on yhteiskunnan keksijälle myöntämä yksinoikeus, jonka vastineeksi keksijän on sallittava keksintönsä julkaiseminen. Patentin voi saada teollisesti käyttökelpoiseen keksintöön, joka on uusi ja eroaa olennaisesti aikaisemmista.” (Patentti- ja rekisterihallitus)

Pajukerppu-vedenkäsittelyjärjestelmälle myönnettiin hyödyllisyysmallisuoja 11.05.2001. Hyödyllisyysmalli myönnettiin pajukerpputornin seuraaviin teknisiin ominaisuuksiin;

”Keksinnön kohteena on vedenkäsittelyjärjestelmä käsittäen tornirakennelman, joka käsittää puuainesta olevaa täyteainetta; välineet veden johtamiseksi tornirakennelmaan, käsittäen pumppaamon ja putkiyhteet; välineet veden johtamiseksi tornirakennelman täyteaineeseen; välineet veden keräämiseksi tornirakennelmasta; sekä välineet veden

johtamiseksi pois vedenkäsittelyjärjestelmästä.” (Patentti- ja rekisterihallitus, Hyödyllisyysmalli No 5048, 2001)

Hyödyllisyysmallisuoja purkautui myöhemmin Kentän toimesta, sillä hänen mielestään patenttia oli melko helppo kiertää vain muuttamalla tornin asetuksia. Nyt tornilla ei ole patenttia. Hyödyllisyysmallisuoja julkaisu on liitteessä 1.

3.5 Kaatopaikkojen taustatiedot

3.5.1 Vaasa, Suvilahden kaatopaikka

Vaasan Suvilahden kaatopaikka otettiin käyttöön vuonna 1966 ja poistettiin käytöstä 1999. Pajukerppupuhdistamo (Kuva 6) otettiin käyttöön suotovesien puhdistamiseen vuonna 2001. Kaatopaikan pinta-ala on noin 30 ha, josta jätepenkan pinta-ala on noin 20 ha. Jätetäytön tilavuus on noin 1 500 000 m³, josta jätettä on arvioitu olevan 40 %, voimalaitostuhkia 20 % sekä loput ylijäämämaita. Kaatopaikka sijaitsee tasaisen merenlahden Sundholminlahden läheisyydessä. Kaatopaikalla muodostuva biokaasu kerätään hyötykäyttöön lämmöksi ja sähköksi. (Ympäristölupayksikkö, 2002) & (Laurila, 2010) (Länsi-Suomen Ympäristökeskus, Ympäristölupa, 2002)



Kuva 6. Suvilahden Pajukerppupuhdistamo ja selkeytysallas (Henna Niemelä)

Suvilahdella kaatopaikkavedet kerätään salaojaverkoston avulla tasausaltaaseen, josta ne pumpataan pajukerpputornin kautta selkeytsaltaaseen. Selkeytsallas näkyy pajukerpputornin edustalla (Kuva 6) Noin 1/8 selkeytsaltaan vesimäärästä kiertää hidassuodatusaltaaseen ja loput takaisin selkeytsaltaaseen. Kaatopaikkavesi kiertää pajukerpputornin läpi noin seitsemän kertaa. Hidassuodatusaltaassa kaatopaikkavesi suodatetaan maamassan läpi (Kuva 7). Seuraavaksi kaatopaikkavesi kiertää pajukosteikkoalueen kautta mereen (Kuva 8). (Ympäristölupayksikkö, 2002) & (Laurila, 2010)



Kuva 7. Suvilahden hidassuodatusallas (Henna Niemelä)



Kuva 8. Suvilahden kaatopaikka ja pajukosteikkoalue (Henna Niemelä)

Pajukerpputornin läpi suotautuvia kaatopaikkavesiä mitataan kolmesti vuodessa: keväällä, kesällä ja syksyllä. Vuoden 2009 mittaustulokset nähdään taulukoissa 4-6. Taulukosta voidaan nähdä myös puhdistusvaiheiden prosentuaalinen puhdistustehokkuus verrattuna lähtöarvoon tasausaltaaseen. Puhdistustulos on laskettu taulukon mittaustuloksista. Näytteet kerätään tasausaltaasta, selkeytsaltaasta, hidassuodatusaltaan alapuolelta ja kosteikkopuhdistamon jälkeisestä kaivosta. Kosteikkopuhdistamisen jälkeisiä tuloksia ei tarkastella taulukoissa. Vedestä tutkitaan BOD₇, COD_{Cr}, kiintoaine, kokonaistyyppi, ammoniumtyppi, kokonaisfosfori, rauta ja sulfaatti. Lisäksi kerran vuodessa tehdään hidassuodatusaltaan alapuolisesta tarkkailukaivosta vesikirpuilla toksisuustesti. Kaatopaikalta valuvia pintavesiä tarkkaillaan kaatopaikan eteläpuolisesta purosta ja itäpuolisesta ojasta. Pintavesistä tutkitaan tyyppipitoisuus ja sähkönjohtokyky. Mittaukset tehdään Vaasan kaupungin ympäristölaboratoriossa. (Alanne, Vaasan kaupungin ympäristölaboratorio, 2009)

Taulukko 4. Kaatopaikan suotoveden puhdistustulokset kunkin puhdistusvaiheen jälkeen. Mittaustulokset, Suvilahti, Vaasa. 11.5.2009

	Tasausallas	Puhdistamolta lähtevä / selkeytysallas	Puhdistus %	Hidassuoda- tusallas	Puhdistus %
Kiintoaine mg/l	91	70	23	31	69
BOD₇ mg/l	46	32	30	33	28
COD_{Cr} mg/l	310	290	6	240	23
Kok.N mg/l	110	110	0	95	14
NH₄-N mg/l	99	100	-1	63	36
Kok. P mg/l	0.53	0.53	0	0.48	9
Fe mg/l	4.2	4.4	-5	0.78	81
SO₄ mg/l	260	260	0	130	19

Taulukko 5. Mittaustulokset, Suvilahti, Vaasa. 15.7.2009

	Tasausallas	Puhdistamolta lähtevä / selkeytysallas	Puhdistus %	Hidassuoda- tusallas	Puhdistus %
Kiintoaine mg/l	250	230	8	55	78
BOD₇ mg/l	110	120	-9	28	75
COD_{Cr} mg/l	540	920	-70	400	26
Kok.N mg/l	110	110	0	58	47
NH₄-N mg/l	49	39	20	16	67
Kok. P mg/l	0.97	1.0	-3	0.82	15
Fe mg/l	3.3	3.8	-15	2.0	39
SO₄ mg/l	120	100	16.7	140	-17

Taulukko 6. Mittaustulokset, Suvilahti, Vaasa. 28.9.2009

	Tasausallas	Puhdistamolta lähtevä / selkeytysallas	Puhdistus %	Hidassuoda- tusallas	Puhdistus %
Kiintoaine mg/l	130	100	23	40	69
BOD₇ mg/l	66	70	-6	24	64
COD_{Cr} mg/l	460	480	-4	380	17
Kok.N mg/l	79	94	-19	80	-1
NH₄-N mg/l	26	22	15	3.2	88
Kok. P mg/l	0.49	0.54	-10	0.13	73
Fe mg/l	2.5	2.7	-8	1.9	24
SO₄ mg/l	193	197	-2	266	-37

Pajukerppupuhdistamolta tulevassa selkeytsaltaassa puhdistustulokset ovat lähes samaa tasoa kuin tasausaltaassa. Tyydestä oli ammoniumtyypimuodossa keväällä 91 %, kesällä 35 % ja syksyllä 23 %. Tasausaltaan ja selkeytsaltaan muiden ainepitoisuuksien välillä ei ole kovin suurta eroa, mikä voi johtua osittain myös siitä, että tasausaltaassa on myös pajukerppupuhdistamossa kiertänyttä vettä. Sulfaatteja lukuun ottamatta vesi oli laadultaan parempaa hidassuodatusaltaan jälkeen. Syksyllä veden laatu oli parempaa kuin keväällä. (Alanne, Vaasan kaupungin ympäristölaboratorio, 2009)

Suvilahden pajukerpputornin pajupinnalta otettiin bakteri- ja alkuaineanalyysit 3.3.2009. Pajukerppujen pinnalta kerättiin näytteet eri puolilta kerppupuhdistamo noin kymmenestä kohdasta. Näytettä otettaessa pajukerput olivat olleet toiminnassa ainakin yhden puhdistuskauden. Kerppujen pinnalla oleva bakterimäärä, 7,5 milj kpl/g, oli varsin korkea ottaen huomioon, että näyte oli kerätty tornin lepovaiheessa, talvella.

Pajukerppujen pinnalta todettiin korkeita fosfori-, rikki-, kalsium-, kupari-, magnesium-, rauta- ja sinkkipitoisuuksia. Vaasan kaupungin tarkkailuraportissa todetaan; ”*Tulosten perusteella kerppujen pinnassa elää vahva bakterikasvusto, ja kerput ottavat hyvin itseensä kaatopaikkavedessä olevia aineita*”. (Alanne, Vaasan kaupungin ympäristölaboratorio, 2009)

3.5.2 Kemi, Holstinharjun kaatopaikka

Kemin Holstinharjun suljetulle kaatopaikalle rakennettiin Suomen ensimmäinen pajukerpputorni. Kaatopaikka otettiin käyttöön vuonna 1976, ja se on suljettu vuonna 2007. Kaatopaikalle on sijoitettu tavanomaisen yhdyskuntajätteen lisäksi jonkin verran asbestia ja muita rakennusjätteitä. Lisäksi kaatopaikka-alueella on ollut puhdistamolietteen ja biojätteen kompostointialue. Kaatopaikan läheisyydessä on yksityinen saastuneiden maiden käsittelyalue, jossa maat puhdistetaan polttamalla. Jätetäytön kokonaispinta-ala kaatopaikalla on 7 ha. (Pöyry Holstinharjun kaatopaikan jälkitarkkailu, 2009), (Kenttä, 2010)

Kaatopaikkavedet kerätään salaojaverkoston avulla jätepenkasta tai ympärysojia pitkin tasausaltaaseen. Pumppukaivon avulla suotautuneet vedet kierrätetään pajukerpputornin päälle, josta se vähitellen valuu rakennelman läpi. Betonista valetun altaan ja porrastetun

liuskan avulla kaatopaikkavesi palaa takaisin tasausaltaaseen, josta se kierrätetään jälleen tornin läpi. Osa tasausaltaassa olevasta vedestä poistetaan kierrosta kolmen sakokaivon kautta. Kaatopaikkavesi kiertää tornin läpi noin viisi kertaa. (Kenttä, 2010)



Kuva 9. Holstinharjun pajukerppupuhdistamo (Kyösti Kenttä)

Holstinharjun kaatopaikalla tarkkaillaan pajukerpputonin kautta kulkevia suotovesiä kaksi kertaa vuodessa tasausaltaasta ja puhdistamolta lähtevästä purkupuutkesta. Vuoden 2009 kevään ja syksyn mittaustulokset nähdään taulukoista 7-8.

Taulukko 7. Kaatopaikan suotoveden puhdistustulokset kunkin puhdistusvaiheen jälkeen. Mittaustulokset, Holstinharju, Kemi.3.6.2009

	Tasausallas	Puhdistamolta lähtevä / purkuputki	Puhdistus %
Kiintoaine mg/l	79	82	-4
COD_{Cr} mg/l	190	170	11
Kok.N mg/l	28	29	-4
NH₄-N mg/l	20	21	-5
Kok. P mg/l	1.1	0.74	33
pH	6.9	8.0	-

Taulukko 8. Mittaustulokset, Holstinharju, Kemi 22.9.2009

	Tasausallas	Puhdistamolta lähtevä / purkuputki	Puhdistus %
Kiintoaine mg/l	200	23	88
COD_{Cr} mg/l	510	230	55
Kok.N mg/l	120	120	0
NH₄-N mg/l	110	7.2	93
Kok. P mg/l	3.2	0.28	91
pH	7.0	8.0	-

Kaatopaikalta lähtevä vesi on monilta osin puhtaampaa kuin vesi tasausaltaassa.

Veden laatu tasausaltaassa oli syksyllä paljon huonompi kuin kesällä, mutta puhdistustehokkuus oli syksyllä huomattavasti parempi johtuen ehkä siitä, että kerpputorni toimii paremmin loppukesästä.

3.5.3 Pälkäne, Humuspehtoori Oy

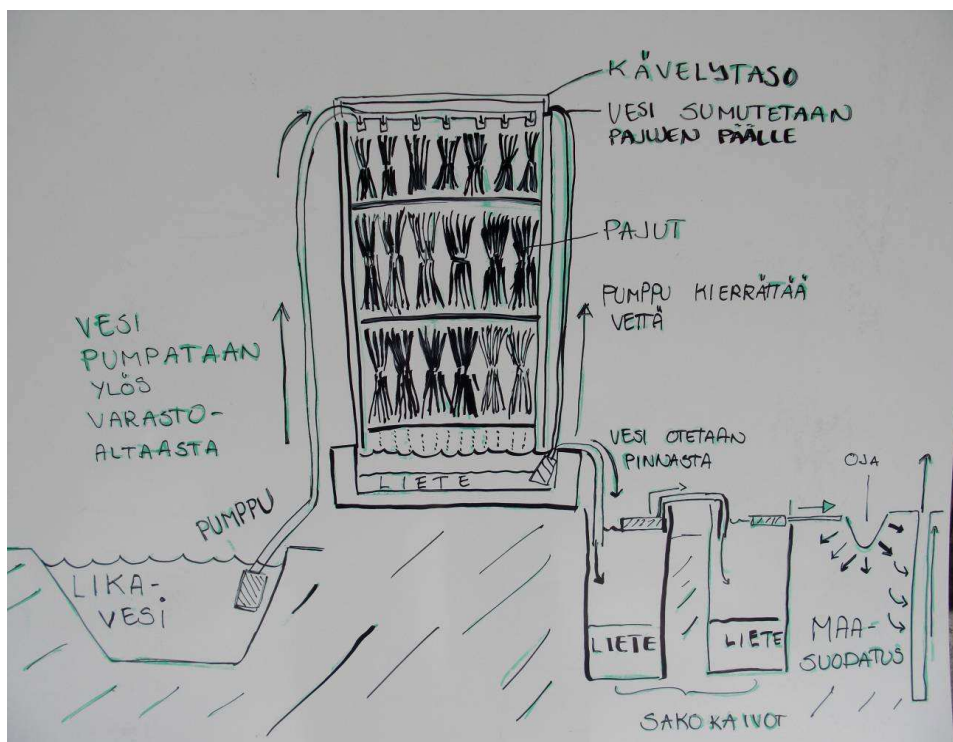
Pälkäneellä pajukerpputorni on käytössä Humuspehtoori Oy:ssä. Humuspehtoori Oy on perustettu vuonna 1984, ja yritys tuottaa maanparannus- ja lannoitustuotteita maanviljelijöille. Humuspehtoori valmistaa orgaanisia tuotteita, joilla on maata parantava vaikutus. Yritys käyttää tuotteissaan mm. puukuitua, broilerinlantaa, hevosen lantaa, jätekipsiä, allaslietettä. Tilojen läheisyydessä sijaitsee suljettu kaatopaikka. (Mantsinen, 2010)



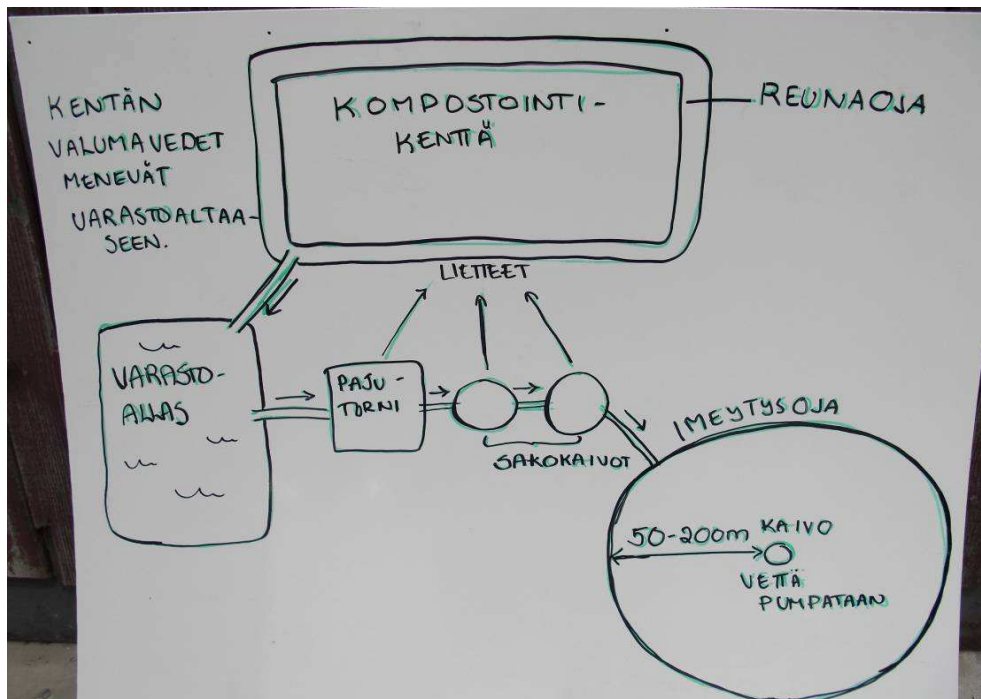
Kuva 10. Pälkäneen pajukerpputorni (Henna Niemelä)

Pälkäneellä kompostikentältä suotautunut vesi kerätään salaojaputkien ja reunaojien kautta varastoaltaaseen, josta se pumpataan pajukerpputorniin, (kuva 10). Varastoaltaan pohja on tehty mineraalitiivisteestä, joka on päällystetty kumimatolla. Pohjalla on salaojat, jotka keräävät mahdollisesti altaasta valuvat vedet takaisin altaaseen. Vettä

kierrätetään suljetusti pajukerpputornissa niin kauan kunnes haluttu puhdistusteho on saavutettu. Puhdistettavan kaatopaikkaveden kiertoajasta tai kiertävän veden määrästä ei ole tarkkoja tietoja. Tämän jälkeen vesi ohjataan sakokaivoihin. Sakokaivojen jälkeen vesi suodatetaan vielä ohuenmaakerroksen läpi. On suunniteltu, että prosessiin rakennettaisiin vielä laajempi maakerrossuodatus. Liette laskeutuu tornin pohjalla olevaan altaaseen tai sakokaivon pohjalle, joista se voidaan kerätä. Puhdistamisen jälkeen keräysaltaaseen, pajukerpputornin alle ja sakokaivoon kerääntynyt sakka kerätään ja kompostoidaan maanparannusaineeksi. Suotovesien puhdistamiseen käytetään myös kemiallistapuhdistamoja. (Mantsinen, 2010) Kuvassa 10 pajukerpputorniin oltiin juuri vaihtamassa pajukerppuja. Kuvassa näkyvät hyvin tasot, joihin pajukerput asetetaan. Tornin mittaustulokset vuodelta 2009 nähdään taulukossa 9. Kuvissa 11 ja 12 nähdään kerpputornin toimintaperiaate.



Kuva 11. Pälkäneen pajukerpputornin toimintakaavio. (Kuva; Henna Niemelä & Kaavio Reino Mantsinen – Humuspehtoori Oy)



Kuva 12. Pälkäneen pajukerpputornin toimintakaavio (Kuva; Henna Niemelä & Kaavio Reino Mantsinen – Humuspehtoori Oy)

Taulukko 9. Kaatopaikan suotoveden puhdistustulokset kunkin puhdistusvaiheen jälkeen. Mittaustulokset, Humuspehtoori Pälkäne. 9.6.2009

	Tasaus- allas	Puhdistamolta lähtevä	Puhdistus %	Suopuhdistamon mittapato	Puhdistus %
Sameus FNU	-	30	-	2.6	-
Kiintoaine mg/l	330	80	76	2.4	99
Sähkönjohta- vuus mS/m	197	213	-8	164	17
pH	8.0	7.5	6	7.8	2
CODCr mg/l	890	340	62	180	80
TOC mg/l	-	120	-	69	-
Kok.N mg/l	66	43	35	27	59
NH4-N mg/l	39	33	15	23	41
Kok. P mg/l	4.9	0.8	84	0.1	98
Fe mg/l	6.2	2.3	63	1.0	84

Tasausaltaan lähtöpitoisuudet ovat korkeita, johtuen alueella suotuvista orgaanisista aineista. Pajukerpputornin puhdistustehokkuus kokonaisuudessaan on hyvä jo kesäkuun alussa.

3.5.4 Ulvila, Haistilan kaatopaikka

Ulvilan Haistilan kaatopaikka on otettu käyttöön vuonna 1970 ja suljettu 2000. Haistilan kaatopaikan velvoitetarkkailua hoitaa Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys r.y. Tarkkailutulokset otetaan kaksi kertaa vuodessa keväällä ja syksyllä keräilykaivosta ja purkuputken suulta. Vuoden 2008 tarkkailutulokset nähdään taulukossa 10. Keväällä keräilykaivon mittaustuloksia ei ole analysoitu, sillä torni ei ole vielä ollut käytössä. Tarkkailuohjelman mukaan kaatopaikkakaasua, pinta- ja pohjavesiä tarkkaillaan myös kahdesti vuodessa.

Suotovedet johdetaan salaojaverkoston ja pintakeräyksen kautta tasausaltaaseen. Suotovesiä tulee jätetäytöstä sekä kompostikentältä. Keräilykaivon kautta kaatopaikkavedet pumpataan pajukerpputorniin. Pajukerpputornin kautta kiertäneet vedet johdetaan juurakkopuhdistamoon, josta vedet suotuvat kaatopaikalta laskevaan ojaan. Kaatopaikkavesi kiertää pajukerpputornin kautta noin neljä kertaa. Laskuoja virtaa Musanojaan, joka laskee 2.5 kilometrin päässä Kokemäenjokeen. Pajukerput vaihdettiin kesän 2008 aikana, mikä voi vaikuttaa tuloksiin.

Taulukko 10. Kaatopaikan suotoveden puhdistustulokset kunkin puhdistusvaiheen jälkeen. Mittaustulokset, Haistilan kaatopaikka, Ulvila. 9.4.2008

	Keräilykaivo	Puhdistamolta lähtevä / purkuputken suu	Puhdistus %
Kiintoaine mg/l	-	290	-
COD_{Cr} mg/l	-	3400	-
Kok.N mg/l	-	320	-
NH₄-N mg/l	-	300	-
Kok. P mg/l	-	4.2	-
Fe mg/l	-	150	-

Taulukko 11. Mittaustulokset, Haistilan kaatopaikka, Ulvila. 7.10.2008

	Keräilykaivo	Puhdistamolta lähtevä / purkuputken suu	Puhdistus %
Kiintoaine mg/l	230	240	-4
COD_{Cr} mg/l	2000	1900	5
Kok.N mg/l	200	190	5
NH₄-N mg/l	180	170	6
Kok. P mg/l	3.2	2.9	9
Fe mg/l	42	43	-2

Rambollin selvitysten mukaan biologisen hapenkulutuksen ja fosforin rajat ovat ylittyneet jatkuvasti Ulvilan Holstinharjun kaatopaikalla. Rambollin arvion mukaan ravinteet suotuvat pääosin läheiseltä jätevesilietteiden kompostikentältä. (Ramboll, 2007) Kompostikentän käyttö on loppumassa vuoden 2010 aikana. (Kartastenpää, 2010) Tällöin ravinnekuormitus kompostikentältä vesistöihin laskee oleellisesti.

Pajukerpputornin puhdistava vaikutus oli erittäin pieni. Haitta-aineiden pitoisuudet olivat laskeneet vain vähän kierron jälkeen, ja kaatopaikalta poistuva vesi oli voimakkaasti likaantunutta elektrolyyttien, ravinteiden, orgaanisen aineen ja hygieenisen

laadun osalta. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistyksen tilastojen mukaan ”kaatopaikkaveden laatu on viimeisen kymmenen vuoden aikana huonontunut, mikä on näkynyt elektrolyyttipitoisten ja typpiyhdisteiden pitoisuuksien kasvuna” (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry, 2008) Pajukerpputornin puhdistustulosten perusteella torni ja juurakkopuhdistamo eivät ole toimineet toivotulla tavalla, tämän vuoksi alueelle on suunniteltu rakennettavaksi maasuodatuskenttä. Kaatopaikkavesi on myös likaisempaa kuin Kemissä, Vaasassa ja Pälkäneellä. Ilmeisesti kerpputornin ja juurakkopuhdistamon puhdistuskapasiteetti ei ole ollut riittävää.

3.6 Kaatopaikkojen tarkkailutulosten vertaileminen

Pajukerpputornin puhdistustuloksia on haastavaa vertailla keskenään, sillä kaatopaikkaveden puhdistustulokset voivat vaihdella monien eri tekijöiden mukaan. Puhdistustulokseen voivat vaikuttaa jätetäyttö, säätila/sademäärä sekä tekniset ratkaisut, kuten kuinka monta kertaa kaatopaikkavettä kierrätetään tornin läpi ja tornien koko. Usein kaatopaikkavesi johdetaan puhdistamisen jälkeen takaisin tasausaltaaseen, jolloin kaatopaikkaveden alkupitoisuuksia on vaikea mitata. Kaikkien muiden pajukerpputornien puhdistustulokset ovat vuodelta 2009, mutta Ulvilan Haistilan kaatopaikalta tutkimustulokset ovat vuodelta 2008.

Taulukoissa 12 ja 13 nähdään pajukerpputornien puhdistusprosentit kesällä ja syksyllä. Puhdistusprosentit on laskettu saaduista puhdistustuloksista, jotka on esitelty kaatopaikkojen esittelyissä tasausaltaan ja pajukerpputornista poistuvan kaatopaikkaveden väliltä. Puhdistusprosentti on laskettu jakamalla puhdistustulos tasausaltaan alkupitoisuudella ja kertomalla prosenteiksi. (Kaava 4)

$$\frac{\text{Puhdistustulos}}{\text{Tasausallas}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Taulukko 12. Pajukerpputornien puhdistustehokkuus kesällä 2009

	Suvilahti 15.7.2009	Holstinharju 3.6.2009	Humuspehtori Oy 9.6.2009	Haistila
Kiintoaine mg/l	8	-4	76	-
BOD₇ mg/l	-9	-	-	-
COD_{Cr} mg/l	-70	11	62	-
Kok.N mg/l	0	-4	35	-
NH₄-N mg/l	20	-5	15	-
Kok. P mg/l	-3	33	84	-
Fe mg/l	-15	-	63	-
SO₄ mg/l	17	-	-	-

Puhdistusprosentit vaihtelevat kesällä paljon eri tornien kesken. Joillakin kaatopaikoilla pajukerpputori puhdistaa paremmin joitain muita haitta-aineita kuin jossain muualla. Humuspehtori Oy:llä on korkeimmat puhdistusprosentit kesällä. Humuspehtori Oy:llä pajukerpputori toimii kaikkein parhaiten fosforin 84 %, kiintoaineen 76 %, raudan 63 % ja kromin kemiallisen hapenkulutuksen osalta 62 %. Kemin Holstinharjun kaatopaikalla torni puhdistaa parhaiten fosforia 33 %, ja kromin kemiallista hapenkulutusta 11 %. Vaasan Suvilahdella pajukerpputori puhdistaa parhaiten ammoniumtyyppiä 20 % sekä sulfaatti-ioneja 17 %. Alkukesällä öisin voi olla vielä hallaa, joka haittaa pajukerpputornin pinnalla olevaa mikrobitoimintaa.

Taulukko 13. Pajukerpputornien puhdistustehokkuus syksyllä 2009 ja Haistilassa 2008

	Suvilahti 28.9.2009	Holstinharju 22.9.2009	Humuspehtori Oy	Haistila 7.10.2008
Kiintoaine mg/l	23	88	-	-4
BOD₇ mg/l	-6	-	-	-
COD_{Cr} mg/l	-4	55	-	5
Kok.N mg/l	-19	0	-	5
NH₄-N mg/l	15	93	-	6
Kok. P mg/l	-10	91	-	9
Fe mg/l	-8	-	-	-2
SO₄ mg/l	-2	-	-	-

Syksyllä pajukerpputornin puhdistustehokkuus on parantunut huomattavasti Kemlin Holstinharjun kaatopaikalla. Pajukerpputorni puhdisti kaatopaikkavedestä parhaiten ammoniumtyyppiä 93 %, fosforia 91 %, kiintoainetta 55 %. Puhdistustehokkuuden nousu voi selittyä esimerkiksi, sillä että torni alkaa toimia Kemissä melko myöhään viileän lämpötilan takia. Puhdistusprosentit ovat Vaasan Suvilahden suljetulla kaatopaikalla joissain kohdin negatiivisia. Suvilahden tulokset voivat osittain selittyä sillä, että tasausaltaaseen palaa takaisin pajukerpputornissa jo kiertänyttä vettä. Puhdistustulokset ovat hyviä hidassuodatusaltaan sekä pajukosteikkoalueen jälkeen, eli kun vesi on kulkenut koko puhdistusprosessin läpi. Ulvilan Haistilan kaatopaikalla puhdistustehokkuus on melko alhainen. Haistilan kaatopaikalla kaatopaikkavesi on selvästi likaisempaa kuin Vaasassa, Kemissä tai Pälkäneellä ja kaatopaikkavettä kierrätetään pajukerpputornissa vähemmän kuin muualla.

3.7 Muut vastaavat hankkeet Suomessa ja ulkomailla

Pajukerpputornin toimintaa on tietävästi kokeiltu myös Teuvalla Suupohjan humustuotteella sekä Tornion kaupungissa. Muitakin kokeiluja on saattanut olla esimerkiksi Länsi-Suomen alueella Ulvilan pajukerpputornin valmistuttua.

Pajukerpputornia kokeiltiin Suupohjan humustuotteella Teuvassa 90-luvun puolessa välissä. Torni oli kokeilukäytössä yhden kesän aikana, jonka jälkeen tornin käytöstä päätettiin luopua. Valitettavasti kokeilusta ei ole saatavilla mittaustuloksia. Pajukerpputornikokeilun jälkeen Suupohjan humustuotteella päädyttiin käyttämään hiekkasuodatusta suotovesien puhdistamiseen. Nykyään suotovedet puhdistetaan turvesuodatuksen avulla. (Suupohjan humustuote, 2010)

Tornion kaupungissa on kokeiltu vastaavan tyyppistä kerppupuhdistamoja 90-luvun puolessa välissä. Rakenteeltaan torni oli samanmallinen kuin Kemissä käytetty pajukerpputorni, mutta täyttöaineena oli käytetty pajun sijasta heinäkasveja. Tornilla ei saavutettu toivottua puhdistustulosta ja tornin käytöstä luovuttiin. Kerpputorni oli käytössä muutamia vuosia. (Kenttä Kyösti, 2010) Ilmeisesti kerpun rakenne ei ollut soveltuva tällaiseen käyttöön.

Kyösti Kenttä kertoi saaneensa idean pajukerpputornin rakentamiseen jäte- ja ympäristöalan lehdestä. Artikkelissa kerrottiin kylpylän jätevesien puhdistamisesta vastaavanlaisen tornin avulla. Julkaisua ei kuitenkaan löytynyt, eikä vastaavaa tietoakaan löytynyt. Koska pajukerpputornin alkuperä on Saksassa, yritettiin vastaavia jätevesipuhdistamoita löytää erityisesti Saksasta.

Sokeritehtaan jätevesien puhdistamiseen Saksassa on käytetty pajukerpputornin kaltaista rakennelmaa. Juurekkaita prosessoitaessa sokeriksi orgaaninen aines alkaa luonnollisesti kuohua, se haisee pahalle ja tukkii poistoputket. Jätevettä alettiin puhdistaa käyttäen apuna hapetusprosesseja ja suodatusta, jolloin ongelma alkoi helpottua. Jätevesimassa suodatettiin butaanihapon ja maitohapon muodostumisen välttämiseksi. Seuraavaksi jäteveteen lisättiin kalkkia. Lopulta jätevesi hapetettiin suolaprosesseissa käytetyn tornin kautta. (Lexicon '88)

Saksassa käytetään pajukerpputornimaisia rakennelmia suolanvalmistusprosesseissa. Torni muodostuu myös puisesta kehikosta, joka on täytetty oratuomen oksilla (kuva 13) Tornin osuus suolan valmistamisessa liittyy haihduttamiseen, jolloin nesteen suolapitoisuutta saadaan korotettua ja puhdistettua. Suolavesi pumpataan tornin yläosiin, jonka jälkeen se valuu oksien läpi alas. Heikosti liukenevat ainesosat kuten sulfaatit ja karbonaatit asettuvat oksien pinnalle ja muodostavat kovan kerroksen. Haihtuvan veden mukana ilmaan kulkeutuu myös suolapartikkeleja, joilla on todettu olevan terveysvaikutuksia hengitettynä. Suolapitoinen ilma lisää verenkiertoa keuhkoissa ja auttaa astman oireita. Tornia onkin käytetty kylpylöissä eräänlaisina suolahuoneina. Suolan valmistusprosesseissa puisia torneja on käytetty jo satoja vuosia sitten. (Academic dictionaries and encyclopedias), (Föderverein region Halle Saale)



Kuva 13. Tornin suolan valmistamiseen (Academic dictionaries and encyclopedias)

4 Yhteenveto

Suomessa pajukerpputorneja käytetään neljällä käytössä olevalla tai suljetulla kaatopaikalla Vaasassa, Kemissä, Pälkäneellä ja Ulvilassa. Pajukerpputornin puhdistustehokkuuden mukaan kerpputorni on ollut toimiva menetelmä puhdistaa kaatopaikkavesiä, erityisesti yhdistettynä toiseen puhdistusmenetelmään. Ulvilan Haistilanharjun kaatopaikalla puhdistustehokkuus oli vähäinen, todennäköisesti johtuen likaisemmasta kaatopaikkavedestä. Pajukerpputorni ei ilmeisesti ole kovin hyvä puhdistusmenetelmä pahoin likaantuneelle vedelle, vaan se toimii tehokkaimmin vähän likaantuneissa vesissä.

Kaatopaikkavesien puhdistamiseen sopivat hyvin myös yksinkertaiset luonnonmukaiset puhdistusmenetelmät. Kaatopaikkavedet sisältävät runsaasti biohajoavaa ainetta. Siksi niiden puhdistamiseen sopivat hyvin biologiset puhdistusmenetelmät, joissa orgaaninen

aines hajoaa pääasiassa haitattomiksi tuotteiksi muodostaen samalla lietettä. (Marttinen, Vesitalous, 2/2001) Tiukentuvat puhdistusvaatimukset tosin edellyttävät prosessikehittelyä ja menetelmien optimointia ja mahdollisesti eri puhdistusprosessien yhdistämistä. Pajukerpputorni on käytännössä osoittautunut toimivaksi menetelmäksi, mutta sen toimivuuden varmistamiseksi ja laajemman puhdistustehon saavuttamiseksi se on hyvä yhdistää muiden biologisten puhdistusmenetelmien, kuten esimerkiksi juurakkopuhdistamon tai suodatuskentän, kanssa. Pajukerpputornin toiminnan selvittämiseksi tarvitaan lisää tutkimuksia ja kokeiluja.

Pajukerpputorni on myös edullinen rakentaa. Kalleimmat rakennusvaiheet ovat altaiden rakentaminen ja pumpun ostaminen. Lisäksi kerpputornilla on alhaiset käyttökustannukset. Kerpputornin lopettaessa toimintansa puukehikko ja pajukerput voidaan kompostoida tai polttaa. Kerpputorni toimii Suomen olosuhteissa vain sulan maan aikana toukokuusta lokakuuhun. Pajukerpputornilla olisi siis hyvät edellytykset toimia suotovesien puhdistamona hieman lämpimämmässä ilmastossa, jossa sen toiminta-aika olisi pidempi.

Pajukerpputorni olisi toimiva ratkaisu osana kaatopaikkavesien ja hulevesien puhdistamista. Hulevedet ovat maan pinnoilta, rakennusten katoilta ja muilta vastaavilta pinnoilta poisjohdettavia sade- tai sulamisvesiä. Torni voisi mahdollisesti soveltua esimerkiksi tekopohjaveden valmistuksen osaksi. Pajukerpputorni voisi olla myös erittäin sopiva, maatalouden suotovesien puhdistamiseen. Suotovesien käsittelytarve on arvioitava aina tapauskohtaisesti, sillä suotoveden laatu riippuu monesta eri tekijästä kuten esimerkiksi jätetäytöstä, jätetäytön iästä, sademäärästä ja säätilasta.

Pajukerpputornissa voitaisiin luultavasti käyttää lähes minkäläistä puuta vain. Pajua on alettu käyttää tornissa sen nopeakasvuisuuden ja myös sen vuoksi, että sitä pidetään yleisesti rikkakasvina. Torniin asetettaessa pajun on hyvä olla noin ranteen paksuinen, ohuempaa paju maatuksi nopeampaa lyhentäen sen käyttöikä. Esimerkiksi heinäkasveista tehdyt kerppupuhdistamot eivät toimi niin hyvin, sillä heinäkasvit hajoavat nopeasti, eikä pinnalle saada muodostumaan niin hyvää mikrobialustaa.

LÄHTEET

Academic dictionaries and encyclopedias [www-sivu] [viitattu 28.4.2010] Saatavissa:
<http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiksi/537653>

Alanne, Vaasan kaupungin ympäristölaboratorio, Suvilahden lakkautettu kaatopaikka – Vedenlaadun tarkkailu vuonna 2009. 2010.

Demari. Artikkel. Lahti Seppo. Risupuhdistamo maksoi vain 40 000 markkaa – Kemin keksintö pitää kaatopaikan kunnossa. 29.8.1997.

Fakta Amk 07-08, Kustannus Oy Maamerkki. 2007.

Finlex, Valtion säädöstietopankki. [www-sivu] [viitattu 25.3.2010] Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19931072>

Föderverein region Halle Saale [www-sivu] [viitattu 28.4.2010] Saatavissa:
<http://www.region-halle-saale.de/de/kultur/industriekultur/salzgewinnung.html>

Humuspehtoori Oy. Vesinäytteiden tutkimustuloksia. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 2009.

Kartastenpää Jyrki, Haastattelu 8.1.2010.
Ulvilan kaupunki.

Kemin kaupunki. Holstinharjun suljetun kaatopaikan jälkitarkkailu v. 2009.
Pöyry Finland Oy. 2009

Kenttä Kyösti. Haastattelu. 2.3.2010.
Kemin kaupunki.

Kenttä Kyösti, Pajukerppupuhdistamo – Ulvilan kaupunki, Haistilan kaatopaikka.
Rakennussuunnitelma.

Kuntatekniikka. Artikkel. Kyösti Kenttä. Pajukerppupuhdistamo suotovesien puhdistajana. 1996.

Lapin ympäristökeskus. Ympäristölupapäätös. Kemin kaupunki Holstinharjun kaatopaikka. 2004.

Laurila Juhani. Haastattelut 27.1.2010 & 25.5.2010.
Vaasan kaupunki.

Lexicon '88 [www-sivu] [viitattu 28.4.2010] Saatavissa:
http://www.peter-hug.ch/lexikon/01_0070

Ympäristötekniikka
Henna Niemelä

Mantsinen Reino. Haastattelut 27.1.2010 & 26.5.2010.
Humuspehtoori Oy, Pälkäne.

Marttinen, Kaatopaikkavesipuhdistamot Suomessa, Forssan kirjapaino Oy, Vesitalous, 2/2001.

Patentti- ja rekisterihallitus. [www-sivu] [viitattu 26.4.2010] Saatavissa:
<http://www.prh.fi/fi.html>

Patentti- ja Rekisterihallitus, Hyödyllisyysmalli No 5048, 2001.

Rajala, Geofysikaaliset menetelmät pilaantuneiden maa-alueiden tutkimisessa. Forssan kirjapaino Oy, Vesitalous 1/2001

Reinikainen, Tanskanen, Juurakkopuhdistamo jäte- ja kaatopaikkavesien käsittelyssä. Forssan kirjapaino Oy, Vesitalous, 6/1993.

Reinikainen, Tanskanen, Kaatopaikkavesien käsittelymenetelmät, Forssan kirjapaino Oy, Vesitalous, 6/1993.

RiverLife, Ympäristökeskus. [www-sivu] [viitattu 14.4.2010] Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=5452&lan=sv>

Suomen luonto. Artikkelit. Korhonen Seppo. Suomen halvin puhdistamo. 9/1998.

Suupohjan humustuote. Puhelinkeskustelu 28.5.2009. Yhteyshenkilö, Seija Haapamäki, Tampereen ammattikorkeakoulu.

Tammemagi Hans, The waste crisis – Landfills, Incinerators, and the Search for a Sustainable Future. Oxford University Press 1999. ISBN 0-19-512898-2.

Ulvilan kaupunki. Haistilan kaatopaikka vesistökuormituksen rajoittaminen toimenpide-ehdotuksia. Rambol Finland Oy. 2007.

Ulvilan kaupunki, tekninen toimisto. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. Haistilan kaatopaikan kuormitus- ja vesistöntarkkailu vuonna 2008.

Uusi-Lounais. Artikkelit, Pajukerput puhdistavat. 29.8.1996.

Westlake Kenneth. Landfill waste pollution and control. Albion Publishing 1995. ISBN 1-898563-08-X.

Ympäristöhallinnon ohjeita. 2008. Kaatopaikkojen käytöstäpoistaminen ja jälkihoito. Vammalan kirjapaino. ISBN 978-9552-11-3150-9.

Ympäristölupayksikkö, Länsi-Suomen ympäristökeskus. Ympäristölupapäätös Suvilahden kaatopaikka, Vaasa 2002 [www-sivu] [viitattu 26.4.2010] Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=21075&lan=sv>

Ympäristötilasto 2004. Tilastokeskus.Yliopistopaino, Helsinki 2004. ISBN 952-467-297-9

Kaavat

1. Aerobinen maatuminen.Tammemagi 1999, s 105
2. Anaerobinen maatuminen.Tammemagi 1999, s 105
3. Metaani.Tammemagi 1999, s 106
4. Pajukerpputornien puhdistusprosentti

Taulukot

1. Valtioneuvoston päätös suotovesien enimmäispitoisuuksista. Finlex, Valtion säädöstietopankki VNp 365/1994 ja 757/1998.
2. Kaatopaikkavesien käsittelymenetelmiä ja niiden vaikutus kaatopaikkaveden ominaisuuksiin. Christensen ym. 1992, U.S. EPA 1995, Ketunen 1997, Reinikainen ja Tanskanen 1992 ja Ettala 1998, Ympäristöhallinnon ohjeita. 2008.
3. Pajukerpputornin esimerkkimitat Ulvilan pajukerpputornin mukaan. Kyösti Kenttä. Pajukerppupuhdistamo – Ulvila.
4. Mittaustulokset, Suvilahti, Vaasa.11.5.2009. Vaasan kaupungin ympäristölaboratorio, Alanne Heli. Suvilahden lakkautettu kaatopaikka - Vedenlaadun tarkkailu vuonna 2009.
5. Mittaustulokset, Suvilahti, Vaasa.15.7.2009. Vaasan kaupungin ympäristölaboratorio, Alanne Heli. Suvilahden lakkautettu kaatopaikka - Vedenlaadun tarkkailu vuonna 2009.
6. Mittaustulokset, Suvilahti, Vaasa.28.9.2009. Vaasan kaupungin ympäristölaboratorio, Alanne Heli. Suvilahden lakkautettu kaatopaikka - Vedenlaadun tarkkailu vuonna 2009.
7. Mittaustulokset, Holstinharju, Kemi.3.6.2009 Kemin kaupunki. Pöyry. Holstinharjun suljetun kaatopaikan jälkitarkkailu, 2009.
8. Mittaustulokset, Holstinharju, Kemi 22.9.2009 Kemin kaupunki. Pöyry. Holstinharjun suljetun kaatopaikan jälkitarkkailu, 2009.

9. Mittaustulokset, Humuspehtoori Pälkäne. 9.6.2009 Humuspehtoori Oy.
Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. Vesinäytteiden tutkimustuloksia, 2009.
10. Mittaustulokset, Haistilan kaatopaikka, Ulvila. 9.4.2008 Ulvilan kaupunki.
Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 2008.
11. Mittaustulokset, Haistilan kaatopaikka, Ulvila. 7.10.2008 Ulvilan kaupunki.
Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 2008.
12. Pajukerpputornin puhdistustulokset kesällä.
13. Pajukerpputornin puhdistustulokset syksyllä.

Kuvat

1. Kaatopaikan haitta-aineiden kulkeutumis- ja altistusreitit. Mukaeltu; Penttinen ja Kauppila, 2001. Ympäristöhallinnon ohjeita. 2008.
2. Pajukerpputornin toimintaperiaate. Eeva-Liisa Viskari. Tutkimussuunnitelma - Pajukerpputori erilaisten jätevesien käsittelyssä. 2009.
3. Pajuniput kasataan ranteen paksuisista pajuista. Kyösti Kenttä, Kemi.
4. Pajunippuja nostetaan torniin. Kyösti Kenttä, Kemi.
5. Pajujen päälle muodostuu mikrobikerros. Kyösti Kenttä, Kemi.
6. Suvilahden Pajukerppupuhdistamo ja selkeytysallas. Henna Niemelä 25.5.2010.
7. Suvilahden hidassuodatusallas. Henna Niemelä 25.5.2010.
8. Suvilahden kaatopaikka ja pajukosteikkoalue. Henna Niemelä 25.5.2010.
9. Holstinharjun pajukerppupuhdistamo. Kyösti Kenttä.
10. Pälkäneen Pajukerpputori. Henna Niemelä 26.5.2010.
11. Pälkäneen Pajukerpputornin toimintakaavio. Kuva; Henna Niemelä 26.5.2010.
Kaavio; Reino Mantsinen – Humuspehtoori Oy.
12. Pälkäneen Pajukerpputornin toimintakaavio. Kuva; Henna Niemelä 26.5.2010.
Kaavio; Reino Mantsinen – Humuspehtoori Oy.
13. Torni suolan valmistamiseen. Academic dictionaries and encyclopedias.
http://de.academic.ru/pictures/dewiki/71/Gradierwerk_Bad_Kosen.jpg 24.4.2010

LIITTEET

- LIITE 1 Hyödyllisyysmalli (Patentti- ja Rekisterihallitus 13.09.2001)
- LIITE 2 Pajukerpputornin piirustukset (Kyösti Kenttä. Pajukerppupuhdistamo - Ulvila)
- LIITE 3 Vuoden kuntatekniikan kunniamaininta (Suomen kuntatekniikan yhdistys)
- LIITE 4 Artikkeli – Pajukerpputorni suotovesien puhdistajana (Kuntatekniikka 5·1996)

SUOMI - FINLAND

Hyödyllisyysmalli No 5048

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS

*on 10. päivänä toukokuuta 1991 hyödyllisyysmallioikeudesta annetun lain
ja siihen myöhemmin tehtyjen muutosten perusteella tänään myöntänyt
hyödyllisyysmallioikeuden tässä todistuksessa esitettyyn keksintöön.*



Helsingissä 13.09.2001

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. K. K.', is written over a horizontal line.

Jaostopäällikkö

*Certification of the Registration of a Utility Model Right granted by
the National Board of Patents and Registration of Finland.*



SUOMI - FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

- (73) Haltija - Innehavare
1 •Kenttä, Kyösti, Hillevinkatu 7, 94700 Kemi, SUOMI - FINLAND, (FI)
- (72) Keksijä - Uppfinnare
1 •Kenttä, Kyösti, Hillevinkatu 7, 94700 Kemi, SUOMI - FINLAND, (FI)
- (74) Asiamies - Ombud: Kolster Oy Ab
Iso Roobertinkatu 23, 00120 Helsinki
- (54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning
Vedenkäsittelyjärjestelmä
Vattenbehandlingsystem
- (57) Suojavaatimus - Skyddskrav
1. Vedenkäsittelyjärjestelmä, käsittäen tornirakennelman (100), joka käsittää puuainesta olevaa täyteainetta (102); välineet (104, 108) veden johtamiseksi tornirakennelmaan; käsittäen pumppaamon (104) ja putkiyhteet (108); välineet (110) veden johtamiseksi tornirakennelman täyteaineeseen; välineet (127) veden keraamiseksi tornirakennelmasta; välineet (112, 114, 116, 118, 306, 120, 122, 124) veden johtamiseksi pois vedenkäsittelyjärjestelmästä; tunnettu siitä, että vedenkäsittelyjärjestelmä käsittää lisäksi: tornirakennelmaan (100) irrotettavasti kiinnitettävissä olevan suojaseinämän (126); tornirakennelmaan (100) irrotettavasti kiinnitettävissä olevan, avattavissa olevan kattorakennelman (128); lämmitysvälineet (130) tornirakennelman (100) ja sen läpi virtaavan veden lämmittämiseksi.
- Lisäksi suojavaatimukset 2 - 7.
1. System för behandling av vatten, vilket omfattar en tornkonstruktion (100), som omfattar ett av trämaterial varande fyllningsämne (102); don (104, 108) med vars hjälp man leder vatten till sagda tornkonstruktion; vilka omfattas av ett pumpverk (104) och rörstutsar (108); don (110) med vars hjälp man leder vatten till sagda tornkonstruktions fyllningsämne; don (127) med vars hjälp man samlar in vatten från sagda tornkonstruktion; don (112, 114, 116, 118, 306, 120, 122, 124) med vars hjälp man leder vatten bort från sagda system för behandling av vatten; kännetecknat av att sagda system för behandling av vatten ytterligare omfattar: en skyddsvägg (126), som löstagbart kan fästas vid sagda tornkonstruktion (100); en takkonstruktion (128) som kan öppnas och som löstagbart kan fästas vid sagda tornkonstruktion (100); värmningsdon (130) med vars hjälp man kan värma upp sagda tornkonstruktion (100) och det genom densamma strömmande vattnet.
- Därtill skyddskraven 2 - 7.

12) HYÖDYLLISYYSMALLIJULKAISU
NYTTIGHETSMODELLSKRIFT

(11) FI 5048

(47) Rekisteröintipäivä - Registreringsdag

13.09.2001

(51) Kv.lk.7 - Int.kl.7

C02F 9/14, 9/10, 3/00, 1/04

(21) Hakemuksen numero - Ansökningsnummer

U20010198

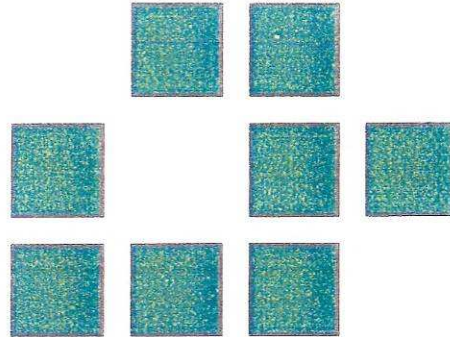
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag

11.05.2001

(24) Alkupäivä - Löpdag

11.05.2001

Liite 3: Vuoden kuntatekniikan kunniamaininta



**VUODEN
KUNTATEKNIIKAN
KUNNIAMAININTA**

Suomen kuntatekniikan yhdistys on myöntänyt
kuntatekniikan kunniamaininnan vuonna 1997

**KEMIN
KAATOPAIKAN
SUOTOVESIEN
PAJUKERPPUPUHDISTAMOLLE**

Jyväskylässä 5. kesäkuuta 1997

Suomen kuntatekniikan yhdistys -
Finlands kommuntekniska förening ry.

Martti Tieaho

Martti Tieaho
puheenjohtaja

Ari Kettunen

Ari Kettunen
sihteeri

Pajukerppupuhdistamo suotovesien puhdistajana

Kyösti Kenttä
Jätehuoltomestari
Kemin Kaupunki

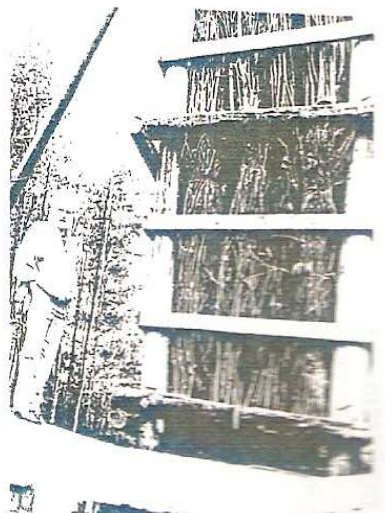
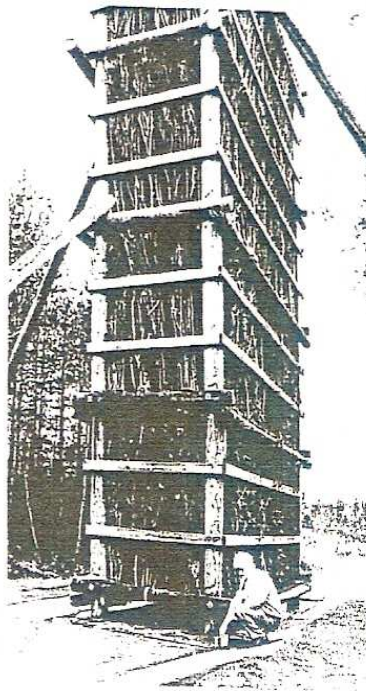
Toimittanut KOJ



Suomen ensimmäinen pajukerppupuhdistamo on valmistunut ja aloittanut toimintansa Holstinharjun kaatopaikalla. Massiivinen 10,5 metriä korkea rakennelma toimii kaatopaikan saastuneiden suotovesien luonnollisena puhdistajana. Ajatus lähti muhimaan mielessäni luettuani -94 alkuvuonna ilmestyneestä Jäte- ja ympäristölehdessä kirjoituksen, jonka mukaan Saksassa puhdistetaan kylpylöiden vesiä kyseisellä tavalla.

Kun tämän vuoden alkupuolella valmistelin ympäristölupa-anomuspapereita Lapin ympäristökeskukselle Kempe kaupungin jätteiden loppusijoituspaikan osalta tulin vakuuttuneeksi siitä, että ympäristöluvan yhteydessä tullaan vaatimaan suotovesille jonkinlaista puhdistusmenettelyä ja yleensä näissä yhteyksissä puhutaan kustannusten osalta miljoonista markoista.

Lähtötilanne meillä Kempeissä oli se, että kaatopaikka-alueen ympärille on kaivettu oja, josta suotovesiä oli varsinkin lämpimänä kesäaikana ilkeästi haisevana nähtävissä. Pelastuksena oli vain tiheä pensaikko, jonka seassa sitä kaatopaikan vastaavana hoitajana oli mahdollisuus piilottaa. Ojan ulkopuolella on kaatopaikka-alueella vain noin 15 metriä, joten minkäänlaista lammikko-puhdistusmenettelyä ei juurikaan ole mahdollisuutta rakentaa ilman lisämaa-alueen hankkimista.

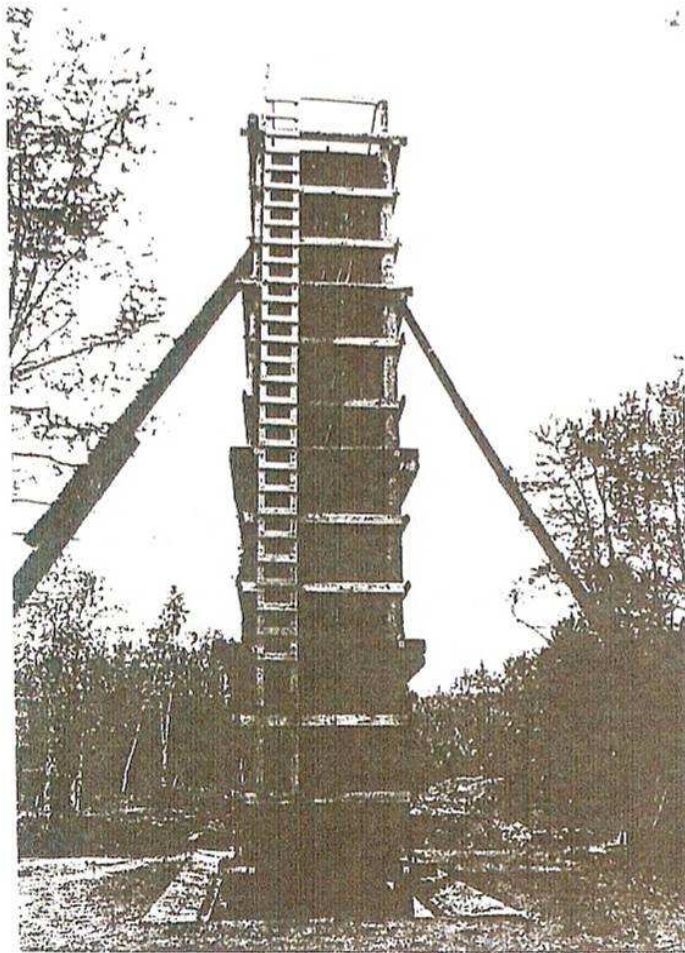


Pajukerppupuhdistamon toimintaperiaate on sama kuin juurakkopuhdistamon. Puhdistamo on kuitenkin pystytössä ja vie noin vanhemman pinta-ala. Pajukerppupuhdistamo on noin 700 kpl ja niiden tilavuus on noin 70 m³.

Vedenbündistusprosessi perustuu luonnolliseen hapettumiseen ja mikrobitoimintaan. Myös veden raskasmetallijäämät sitoutuvat pajukerppuihin. Pajujen pinnassa näkyy "kanahkaa", jossa mikrobitoiminta tapahtuu.



Pajukerppupuhdistamo on tullut maksamaan Kemian kaupungille vain kymmeniä tuhansia markkoja, kun esimerkiksi Joensuun seudulle toteutettu juurakkopuhdistamo on maksanut peräti 14 miljoonaa markkaa.



Tähän 15 metrin maakannakseen rakennettiin vuonna '85 pohjapato lasikuituvahvisteisella muovimatolla noin 2,7 metriä maanpinnasta 650 metrin matkalle estämään suotovesien virtauksia. Maton asentamisen yhteydessä minulle tuli kuva, että näin rakennettu pohjapato ulottuu tiiviseen siltiseen perusmaahan asti. Kunnes viime syksynä suoritettiin perusmaan tutkimuskärsäuksia Lapin ympäristökeskuksen vaatimuksesta, selvisi minulle, että varsinainen tiivis maakerros alkaa vasta noin 4 metrin syvyydellä maanpinnasta.

Tämän jälkeen, kun viime keväällä tuli tilanne, että työporukkaani kuuluville miehille en osannut osoittaa asiallista työtä ja mietin, että mitä tehdään. Päätin, todennäköisesti se oli illalla kotona, että aamulla aletaan tehdä pajukerppupuhdistamo (nimi on muotoutunut työn aikana). Olin kyllä tätä aikaisemmin soitellut ja kysellyt, josko tällainen olisi Suomen jonnekin jo rakennettu, mutta selvisi, että työpiirustuksia ei mistään löydy. Ajattelin tässä vaiheessa vuosien varrella kokemani, että kyllä työ tekijänsä neuvoo.

Aamulla kyselin energialatoksen puolelta löytäisikö sieltä käytettyjä sähkötolppia. Ja löytyihän niitä, pisimpien ollessa noin 13,5 metriä. Pörsin miehille ruutupaperille, että tällaista "reteliä" aletaan tehdä elementeiksi, joka sitten keväällä siirretään lavetille paikanpäälle. Näin työ eteni ns. täyttyönä varsinaisten työtehtävien ohessa, ja huomasin mainita asiasta lähimmälle esimiehellenikin vasta kun elementtejä oli tehty jo melko pitkälle.

Kesäkuun puolenvälän seutuvilla rakennelma oli pystyssä ja voitiin uppopumppu asentaa kaivoon, jonka jälkeen puhdistamo on toiminut ympäri vuorokaudet. Kolme kuukautta myöhemmin ojassa oleva vesi on puhdistunut silmämääräisestikin niin, että aivan kuin paikalla olisi uusi oja.

Kustannuksia muodostui materiaalin ja kone työn osalta noin 25 000 markkaa. Miestyön palkkakustannuksia (joita ei mielestäni tässä tapauksessa tarvitsisi laskea ollenkaan, koska paikat olisivat olleet maksussa joka tapauksessa.) kertyi noin 95 000 markkaa.

Veden laatua on tutkittu ojasta ja puhdistamosta vedestä kahden viikon välein otetuilla näytteillä, joiden analysointi on vielä kesken, mutta esimerkiksi biologisen hapenkulutuksen osalta 9,7, otettujen näytteiden mukaan ennen puhdistusta hapenkulutus oli 22,5 mg/l ja puhdistuksen jälkeen hapenkulutus oli 11,1 mg/l ja 6,8, otettujen näytteiden mukaan vastaavat tulokset olivat 6,8 mg/l ja 3,6 mg/l.

Kuitenkin kaikkein suurimman ongelman koko projektissa olen kokenut todenperäisten näytteiden otossa lähinnä lähtötilanteen osalta. Ensimmäisenä keväällä, jolloin suotovesien keräilyoja tulee ruopata syvemmäksi, täytyykin rakentaa varsinainen näytteidenottoajava.