

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Paperi- ja prosessitekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

Tutkintotyö

Tomi Martikainen

**TUULIVOIMAKÄYTTÖINEN LAMPI-ILMASTIN KANGASALAN YHTEISKYLÄN
HAIHDUTUSALTAASEEN**

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2005

Lehtori Eeva-Liisa Viskari
KtOy Kangasalan Yhteiskylä

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paperi- ja prosessitekniikka

Kemiantekniikka

Martikainen, Tomi

Tuulivoimakäyttöinen lampi-ilmastin Kangasalan Yhteiskylän haihdutusaltaaseen

Tutkintotyö

50 sivua + 6 liitesivua + CD-ROM

Työn ohjaaja

Lehtori Eeva-Liisa Viskari

Työn teettävä

Kiinteistö Oy Kangasalan Yhteiskylä

Marraskuu 2005

Hakusanat

ilmastin, ilmastus, Savonius-roottori, tuulivoima

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tarkoituksena oli suunnitella tuulivoimalla toimiva lampi-ilmastin Kangasalan Yhteiskylän harmaan veden puhdistamisessa käytettävään haihdutusaltaaseen sekä rakentaa siitä pienoismalli. Tuulivoimailmastimia ei ole aikaisemmin rakennettu ainakaan Suomessa.

Tuloksena syntyi kaksi eri ilmastusperiaatteella toimivaa pienoismallia. Molemmissa tuuliroottorina oli Savonius-roottori. Toinen oli perinteinen ilmastin, joka hapettaa siirtämällä ilmaa veteen, ja toinen nosti vähähappisempaa vettä syvältä pintaan hapettumaan. Kangasalan Yhteiskylään sopi paremmin vettä nostava ilmastin. Tästä laadittiin ohjeet ilmastimen rakentamiseen.

Valittu ilmastin rakentuu roottorista, kehikosta, akselistä, potkurista, putkesta akselin ympärillä ja kellumislaitteistosta. Tuulen pyörittäessä roottoria, akselin päässä syvällä vedessä oleva potkuri pyöriessään nostaa vettä ylöspäin. Putki ei päästä nousevaa vettä pakenemaan sivuille. Roottori, akseli ja putki kiinnitetään kehikkoon. Kellumislaitteisto pitää styroksien avulla ilmastimen pinnalla.

Valittu ilmastin ei ilmasta niin tehokkaasti kuin ilmaa veteen toimittava. Valittu ilmastin käynnistyi huomattavasti alhaisemmalla tuulen nopeudella. Valintapäätös tehtiin ilmastimen käyntiinlähtökyvyn, harmaan veden puhdistustarpeen sekä Yhteiskylän mielipiteen perusteella.

Ilmastin vaatii täysikokoisen prototyypin tekemisen, jotta selviää toimiiko se käytännössä. Ilmaa veteen siirtävä ilmastin olisi tehokkaampana ilmastajana tuotekehittelyn jälkeen vartenotettavampi vaihtoehto tuulivoimalla toimivaksi lampi-ilmastimeksi.

TAMPERE POLYTECHNIC
Paper and Process Engineering
Chemical Engineering
Martikainen, Tomi

Engineering Thesis
Supervisor
Commissioned by
November 2005
Keywords

Wind-powered pond aerator to the evaporation pond of the
Ecovillage of Kangasala
50 pages + 6 appendices + CD-ROM
Senior lecturer Eeva-Liisa Viskari
Kiinteistö Oy Kangasalan Yhteiskylä
aeration, aerator, Savonius-rotor, wind power

ABSTRACT

The aim of this work was to design and build a model of a wind-powered pond aerator for grey water evaporation pond of Kangasala Ecovillage. This to my knowledge was the first time that this kind of aerator is being planned in Finland.

As a result two models were built. Both are based on using Savonius-rotor but have different aeration principles. The first is based on a usual aerator and presses air into water and the other lifts water up to the surface from the bottom. The aerator, which lifts water up, was recommended for Kangasala Ecovillage. Building instructions for the prototype were designed and the prototype tested.

The main parts of the aerator are a rotor, a frame, an axis, a propeller, a pipe around the axis, and a pontoon equipment. When the wind swings the rotor propeller which is deep in the water end of the axis, it revolves and lifts water up. The pipe around the axis directs water up to the surface. The rotor, the axis and the pipe are fastened to the frame. The pontoon equipment holds the aerator floating.

The chosen aerator does not aerate as effectively as the other model, but it starts to work with much lower wind speed. The selection was done after considering simple working principle, the demands of the grey water quality, and the opinion of the residents in Kangasala Ecovillage.

A full-size prototype of the aerator must be built before knowing if it will work in practice. Where aeration is really needed, an aerator which presses air into water would be more efficient, but only after more product development.

ALKUSANAT

Halusin tutkintotyöni käsittelevän jollain tavoin jätevedenpuhdistusta. Tutkintotyötä edeltävinä kahtena kesänä olin ollut töissä laitoksissa, joissa käsitellään paperi-/sellutehtaan jätevesiä. Vaikka tässä tutkintotyössä en kunnolla päässytäkään haistamaan jäteveden voimakasta aromia, olin erittäin tyytyväinen saadusta aiheesta.

Aiheen saamisesta kuuluu suuri kiitos tutkintotyöni ohjaajalle lehtori Eeva-Liisa Viskarille sekä Kiinteistö Oy Kangasalan Yhteiskylälle. Lisäksi haluan kiittää Eeva-Liisa Viskaria työn ohjauksesta. Aina oli aikaa, jos oli jotain kysyttävää. Haluan myös kiittää Kangasalan Yhteiskylän Jarmo Tanskasta työhön annetusta ohjeistuksesta. Lisäksi kiitän kaikkia työni valmistumista edesauttaneita henkilöitä, kuten Kristian Willmania sekä vaimoani.

Erityisesti haluan kiittää Tampereen ammattikorkeakoulun laboratorio-insinööriä Veikko Venerantaa. Hän opasti ja ohjeisti minua pienoismallien rakentamisessa niin suurella sydämellä, ettei pienoismalleista voinut rakentaa huonoja.

Tampereella 7.11.2005

Tomi Martikainen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
1.1 Taustatietoa	6
1.2 Käsittely	8
2 TUULIVOIMA	8
2.1 Tuulen teho	9
2.2 Tuuliroottorit	10
2.3 Savonius-roottori	12
2.4 Tuuliolosuhteet Suomessa ja Kangasalan Yhteiskylän alueella	14
3 ILMASTUS	17
4 PIENOISMALLIN ROOTTORIN JA KEHIKON RAKENTAMINEN	18
4.1 Savonius-roottorin valmistus	19
4.2 Kehikon valmistus	21
5 ILMASTIMIEN VALMISTUS	23
5.1 Ilmaa veteen toimittava ilmastin	23
5.1.1 Hapetinosa	23
5.1.2 Matopyörä	25
5.1.3 Kellumislaitteisto	27
5.1.4 Koeuitto	28
5.2. Vettä nostava ilmastin	32
5.2.1 Kehikko	33
5.2.2 Potkuri	33
5.2.3 Koekäyttö	35
6 VAIHTOEHTOJEN VERTAILU JA EHDOTUS ILMASTIMESTA	37
6.1 Nollavaihtoehto	38
6.2 Ilmaa veteen toimittava vaihtoehto	38
6.3 Syvältä pintaan vettä toimittava vaihtoehto	39
6.4 Kaupallinen vaihtoehto	39
6.5 Ehdotus lammen ilmastukseen	40
7 TÄYSIKOKOISEN ILMASTIMEN RAKENTAMINEN	41
7.1 Roottori	43
7.2 Kehikko	43
7.3 Kellumislaitteisto	44
7.4 Akseli ja potkuri	44
7.5 Putki	46
8 PÄÄTELMÄT	47
LÄHTEET	49
LIITTEET	
1 Haihdutusaltaan dimensiot	
2 Kustannusarvio	
3 Ilmaston ehdotus	
4 CD-ROM (sisältää video-otoksia ilmastimien koekäytöstä)	

1 JOHDANTO

Tutkintotyö käsittelee lampi-ilmastinta. Ilmastusta, joka on veden happipitoisuuden nostamista, käytetään hyväksi niin jäteveden kuin juomavedenkin puhdistamisessa. Lampi-ilmastimia käytetään parantamaan lammen veden laatua. Lampi voi olla esimerkiksi pieni uiskentelulampi tai jäteveden puhdistuksessa käytettävä haihdutusallas.

Työn tavoitteena oli suunnitella lampi-ilmastin, joka toimisi tuulivoimalla ympäri vuoden sekä rakentaa siitä pienoismalli. Suunnittelin ilmastimen Kangasalan Yhteiskylän harmaan veden haihdutusaltaaseen. Tuuli, joka on välillä hento kuin vastasyntyneen vauvan hengitys ja välillä tuhoja aiheuttavan myrskyisä, vaikutti tietenkin oleellisesti lopputulokseen.

Oman haasteensa suunnittelutyöhön asetti se, että aikaisempia tuulivoimailmastimia ei ollut rakennettu. Pirkanmaan ja Suomen ympäristökeskusten mukaan ainakaan Suomessa ei ole aikaisemmin valmistettu tuulivoimalla toimivaa ilmastinta, joten pääsin suunnittelemaan jotain ihan uutta /7;9/.

1.1 Taustatietoa

Kiinteistöosakeyhtiö Kangasalan Yhteiskylä sijaitsee Tampereen kupeessa Kangasalan Rikussa. Asuinrakennuspaikkoja kylässä on yhdeksän. Kahdeksan asuinrakennusta on valmiina, ja yksi on valmisteilla. Kyläyhteisö huolehtii yhteisesti muun muassa lämmityksestä hakelämpökeskuksella sekä jätehuollosta ja pyrkii toimissaan ympäristöystävällisyyteen. Talot ovat puurakenteisia omakotitaloja. Rakentamisessa on osittain hyödynnetty

kierrätettäviä materiaaleja kuten purkutiiltä, väliovia ja ikkunalasias korjaustyömailta. /14/

Kangasalan Yhteiskylän jätevesi on niin sanottua harmaata vettä. Harmaa vesi on peseytymisessä, ruuanlaitossa, astianpesussa ja pyykinpesussa syntyvää jätevettä /15/. Yhteiskylän jokaisessa talossa on kompostivessa, koska kylään ei saa rakentaa vesivessaa /14/. Jätevesi kerätään rakennuksilta kolmen sakokaivon kautta kahteen rinnakkaiseen Green Pack -kivikuitupuhdistamoon, joista jätevesi menee haihdutusaltaana toimivaan lampeen. Keväisin sulamisvesien takia vedenpinnan ollessa haihdutusaltaassa korkealla vesi valuu ylivuotokohdasta ojaan. Jarmo Tanskasen tekemä piirros haihdutusaltaasta on esitetty liitteissä (LIITE 1). Haihdutusaltan kokonaistilavuus on noin 180 m³, kun vesi on ylivuotokorkeudessa.

Kiinteistöosakeyhtiö Kangasalan Yhteiskylä on halukas parantamaan poistuvan jätevetensä laatua. Ensin tarkoitukseni oli rakentaa Green Pack -kivikuitupuhdistamojen tilalle uusi Teemu Pakkalan keväällä 2005 suunnittelema harmaavesisuodatin. Tein Green Packien uudistamisesta kustannusarvion (LIITE 2). Hankkeesta kuitenkin luovuttiin kalliin hinnan ja saavutettavan hyödyn epävarmuuden takia. Harmaavesisuodattimista luopumisen jälkeen tutkintotyön aiheeksi valittiin Kangasalan Yhteiskylän harmaan veden haihdutusaltaaseen tuulivoimalla toimivan ilmastimen suunnittelu.

Sinänsä Kangasalan Yhteiskylän ei tarvitse puhdistaa jätevettä enempää. 1.1.2004 voimaan tulleen valtioneuvoston asetuksen mukaan talousjätevesien enimmäispäästöt saavat olla fosforilla 0,33 grammaa/asukas/vuorokausi ja typellä 8,4 grammaa/asukas/vuorokausi. /6/ Lammesta otettujen ja Tampereen ammattikorkeakoulussa tehtyjen mittausten mukaan kyläläiset saivat tuottaa jätevettä (eli käyttää puhdasta vettä) vuorokaudessa 214 litraa/asukas pysyäkseen enimmäispäästöjen alapuolella. Kylässä käytetään vettä noin 50 litraa/asukas/vuorokausi, jolloin enimmäispäästöraja on erittäin kaukana jo tämän hetken laitteistolla.

1.2 Käsittely

Etenen tutkintotyössäni siten, että tuulen ja tuulivoimaroottoreiden teoriaa käsitellään ensiksi, jonka jälkeen on ilmastuksen teoria. Tämän jälkeen alkaa pienoismallin valmistaminen roottorin ja kehikon rakentamisella. Näiden jälkeen jatkan kahden eri ilmastuseriaaarten mukaisten ilmastimien rakentamiseen. Rakentamisen jälkeen vertailen ilmastinvaihtoehtoja sekä valitsen Kangasalan Yhteiskylän haihdutusaltaaseen sopivan ilmastimen. Sitten ryhdyn ohjeistamaan täysikokoisen ilmastimen rakentamista. Lopuksi on analyysiä tutkintotyöstä ja sen eri vaiheista.

Tutkintotyössäni ei ole teknisiä piirustuksia, koska niiden lopulliseen laatimiseen olisi tarvinnut rakentaa täysikokoinen prototyyppi. Prototyypin rakentaminen olisi laajentanut tutkintotyötäni kohtuuttomasti, jolloin laajuus olisi vastannut yliopistotason Pro gradu-työtä. Muun muassa tuulen hyötysuhdetta ei käsitellä lainkaan, koska yhden ja saman tuulivoimalan hyötysuhde voidaan esittää monella eri tavalla niin, ettei laitteen teho muutu ollenkaan. Asioiden selkeyttämiseksi jätin hyötysuhteen kokonaan käsittelemättä. Ilmastuksen teoria on niin monisyistä, ettei kaikkea ollut järkevää käsitellä.

2 TUULIVOIMA

Tässä luvussa perehdytään tuulivoiman teoriaan lyhyesti. Jos on mielenkiintoa tutustua tuulivoiman teoriaan kattavammin, niin viitatuista lähteistä löytyy paljon tietoa. Tuulivoiman hyötysuhteen teoriaa löytyy mm. lähteistä /2/ ja /18/. Hyötysuhdetta ei tässä tutkintotyössä teoreettisesti käsitellä.

Auringon säteily, joka tunkeutuu ilmakehän läpi, heijastuu maanpinnasta takaisin avaruuteen. Auringon säteily, joka on sähkömagneettista säteilyä, lämmittää maan pintaa lähinnä olevaa ilmamassaa. Lämmitessään ilma kohoaa ylöspäin, koska lämmin ilma on kylmää ilmaa kevyempää. Ylös kohoavan ilmamassan paine kasvaa. Tätä kutsutaan korkeapaineen alueeksi, ja sinne mistä ilma lähti kohoamaan, syntyi matalapaine. Korkeapaineesta maan pintaa pitkin virtaa ilmaa täyttäen matalapaineen alueelle syntyneen ilman vajauksen. Syntyneitä ilmavirtausta kutsutaan tuuleksi. Tuulen syntymisen aiheuttaa siis ilman epätasaisesta lämpenemisestä johtuvat paine-erot, jolloin tuulivoima on välillisesti aurinkoenergiaa. /2/ Tuulen nopeus riippuu ilmanpaineiden eroista sekä korkea- ja matalapaineiden keskusten välisestä etäisyydestä. Mitä suurempi on ilmanpaineiden ero ja mitä lyhyempi on keskusten väli, sitä nopeampaa tuuli on. /16/

Tuulen nopeuteen vaikuttaa maanpinnan läheisyydessä oleellisesti kitka ja maanpinnan laatu eli karkeus. Maanpinnan ja tuulipatsaan välinen kitka hidastaa tuulen virtausnopeutta, ja kitka on sitä suurempi, mitä karkeampi (kasvillisuus ym.) maanpinta on. Esimerkiksi meren yläpuolella kitkan vaikutus ei ole suuri. Siirryttäessä sisämaahan kasvillisuuden peittämään maastoon maanpinnan karkeus kasvaa ja tuulen nopeus maanpinnan tasalla laskee. /16/ Tuulen nopeuden mittauspisteen nostaminen 10 metristä 50 metriin kasvattaa tuulen nopeutta 20–50 % riippuen maanpinnan karkeudesta /18/.

2.1 Tuulen teho

Tuulen teho voidaan johtaa perinteisistä mekaniikan laeista. Tuulivoimalan suhteen ilman massa lasketaan roottorin tai potkurin pyyhkäisyypinta-alan läpi kulkevan ilmamäärän mukaan, jolloin ilmakappaleen massa $m = \rho u t A$, kun ρ on ilman tiheys [kg/m^3], u on tuulen nopeus [m/s], t on aika [s] ja A on pyyhkäisyypinta-ala [m^2].

Sijoitetaan ilman massan kaava liike-energian kaavaan ja jaetaan yhtälö ajalla t , jolloin saadaan johdetuksi tuulen teho.

$$P_{\text{tuuli}} = \frac{1}{2}\rho A u^3 \quad (1)$$

P_{tuuli} = tuulen teho [W]

ρ = ilman tiheys [kg/m^3]

A = roottorin pyyhkäisyypinta-ala [m^2]

u = tuulen nopeus [m/s]

Kuten kaavasta (1) voidaan todeta, tuulen teho riippuu tuulen nopeuden kolmannesta potenssista. Pienetkin tuulen nopeuden muutokset vaikuttavat huomattavasti tuulen tuottamaan tehoon. Jos tuulen nopeus kaksinkertaistuu, niin teho kahdeksankertaistuu.

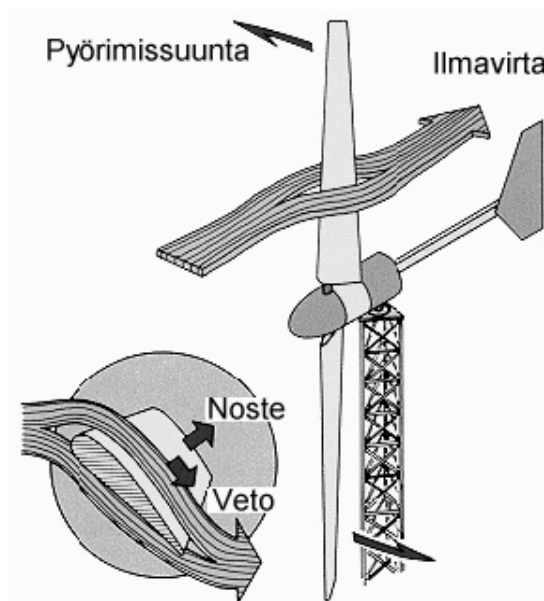
Tuulen tehoon vaikuttaa oleellisesti myös lämpötila. Lämpötilan laskiessa ilman tiheys kasvaa, jolloin tuulen sisältämä energia kasvaa tuulen nopeuden pysyessä samana. Jos tuulen nopeus on 5 m/s ja lämpötila laskee +15 °C:sta -10 °C:een pyyhkäisyypinta-alan ollessa 1 m², ilmavirtauksen sisältämä energia laskennallisesti kasvaa 9,5 %:a.

2.2 Tuuliroottorit

Tuuliroottorit voidaan luokitella monella eri tavalla. Yleisimmin roottorit jaetaan aerodynamiikan tai akselin suunnan eli orientaation perusteella. Aerodynamiikan perusteella voidaan jakaa nosteeseen (lift) ja vetoon (drag) perustuviin laitteisiin. Akselin suunnan mukaan roottorit voidaan jakaa

pysty akselisiin eli vertikaalisiin (vertical axis) ja vaaka-akselisiin eli horisontaalisiin (horizontal axis) roottoreihin.

Nosteella toimivat roottorit perustuvat samaan aerodynaamiseen rakenteeseen kuin lentokoneen siipi. Ilmavirrassa lentokoneen ilmassa pysymisen sekä tuuliroottorin pyörimisen aiheuttaa siipien pintojen välille muodostuva painero, josta syntyy nostava voima. Vetoon perustuvissa roottoreissa ilmavirta törmää kappaleen pintaan ja vetää sitä mukaansa. Vetoon perustuvien roottoreiden siivet ovat suurempia kuin nosteeseen perustuvien. Roottorit useimmiten perustuvat jonkinlaisena yhdistelmänä sekä nosteeseen että vetoon (kuva 1). /18/



Kuva 1. Nosteen ja vedon periaate siiven pinnoilla /18/.

Pysty akseliset tuulivoimalat eivät ole suurelle yleisölle kovinkaan tuttuja sillä lähes kaikki tiedotusvälineissä esiintyvät tuulivoimalat ovat vaaka-akselisia (kuva 1). Vertikaalisista roottoreista, ainakin mäkihyppyä aktiivisesti seuranneille, tunnetuin on tuulennopeuden mittaamiseen käytettävä kuppimittari (kuva 2), joka pyörii välillä vinvasti mäkihyppystadioneilla. Kuppimittari on loistava esimerkki vetoon perustuvasta roottorista. Ranskalaisen keksijänsä Georges Darrieuksen mukaan nimensä saanut nosteeseen perustuva Darrieus-roottori (kuva 2) on ainoa myös kaupallisessa tarkoituksessa

valmistettu vertikaalinen tuuliroottori /12/. Darrieus-roottorin käyntiinlähtökyky on heikko, ja se tarvitsee aputurbiinin saadakseen alkunopeuden. Aputurbiinina on yleisesti käytetty Savonius-roottoria (jatkossa myös S-roottori). /2/ S-roottorissa yhdistyvät nosteen sekä vedon ominaisuudet siipien välissä olevan läpisyöttöraon ja päätylevyjen ansioista. Tarkemmin Savonius-roottorista luvussa 2.3. Vaaka-akseliset ovat hyötysuhteeltaan keskimäärin pystyakselisia parempia /18/.

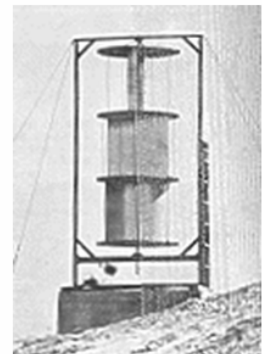
Kuppimittari



Darrieus-roottori



Savonius-roottori



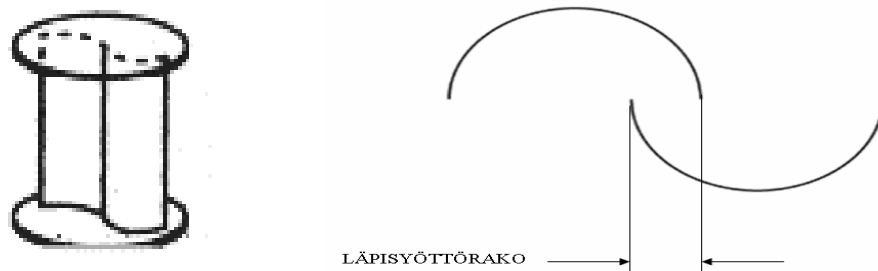
Kuva 2. Vertikaalisia roottorityyppejä /11/.

Vertikaalisten roottorien etuna horisontaalisiin roottoreihin on virtauksen vangitseminen tuulen suunnasta riippumatta. Horisontaalisissa tuulivoimaloissa potkurin suunnan on jatkuvasti muututtava tuulen suunnan vaihtuessa /2/. Pyörteisissä tuulissa horisontaaliset propellimallit eivät aina pysy tuulta vasten /18/. Vertikaaliset roottorit sen sijaan ovat rakenteensa perusteella aina oikeassa asennossa tuulta vasten /2/.

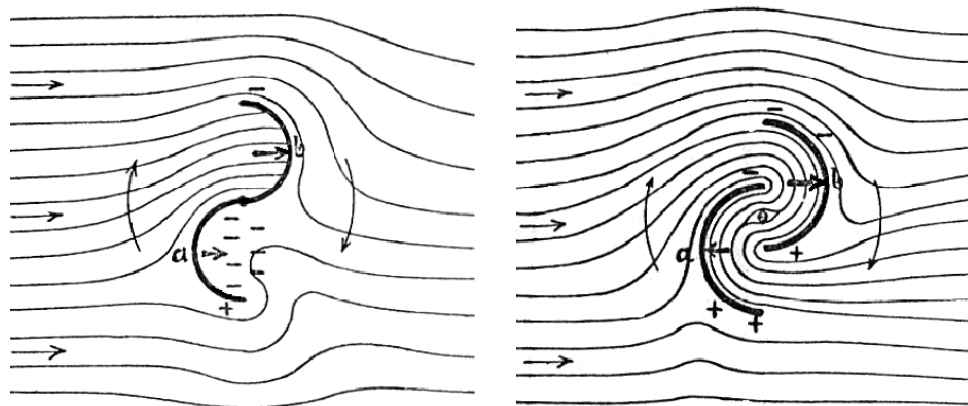
2.3 Savonius-roottori

Vuonna 1924 suomalainen insinööri Sigurd Savonius (1884–1931) patentoi Savonius-roottorin, joka soveltuu hyvin mekaanisiin sovellutuksiin /2;18/. S-roottoria on käytetty vedenpumpaukseen mm. kehitysmaissa yksinkertaisen

rakenteensa, halvan hinnan sekä huoltovapautensa vuoksi /18/. S-roottori muodostuu pystysuoran akselin päässä pyörivistä halkaistun lieriön osista, joita siirretään halkaisusuunnassa 20–30 % roottorin halkaisijasta vastakkain, jolloin ilmavirta pääsee kulkeutumaan lieriön puolikkaasta toiseen. Kaarten keskelle jäävä osa on läpisyöttörako (overlap) (kuva 3), jonka kautta kulkeva ilmavirta poistaa vastatuuleen kulkevan lieriön sisään syntyvän alipaineen (kuva 4). Päätylevyt parantavat tehokkuutta. S-roottori perustuu pääasiassa vetoon ja pystyy vangitsemaan ilmavirtauksen tuulen suunnasta riippumatta. /18/



Kuva 3. Savonius-roottori /18/.



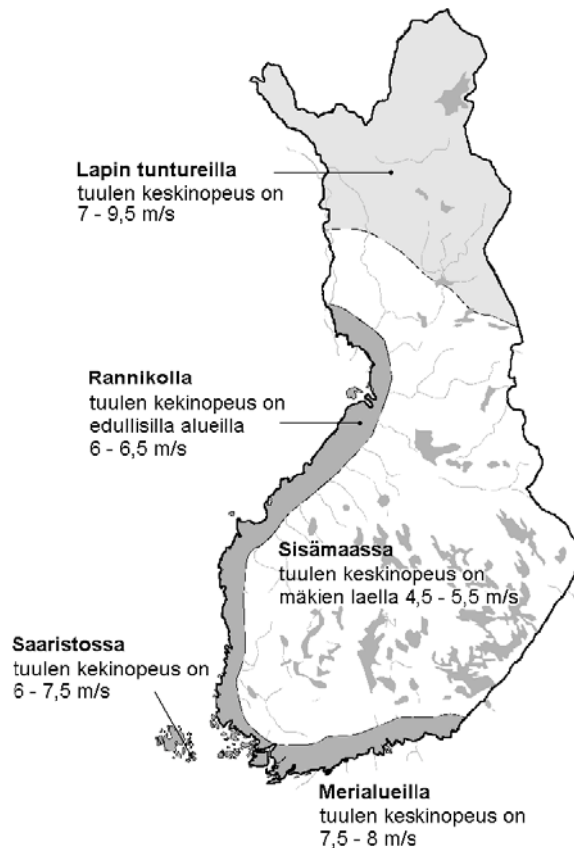
Kuva 4. Savonius-roottorin virtausperiaate /18/.

Yllä olevista kuvista (kuva 4) vasemman puoleinen esittää lähinnä kuppimittaria (kuppimittari on kolmisiipinen), jossa ei ole läpi-syöttörakoa. Kuvasta voi nähdä, että vastatuuleen kulkevan lieriön taakse syntyy alipaine, joka hidastaa roottoria. Oikean puoleisessa, S-roottoria esittävässä kuvassa alipaine poistuu läpisyöttöraon kautta kulkevan ilman ansiosta.

Yleisesti Savonius-roottorin käynnistyvyyttä heikoillakin tuulilla pidetään hyvänä. S-roottorin suhteellisen suuri pinta-ala kohdistaa myrskytuulissa suuria rasitusvoimia torniin, jolloin isoja yli 1 kW roottoreita ei kannata rakentaa /2/.

2.4 Tuuliolosuhteet Suomessa ja Kangasalan Yhteiskylän alueella

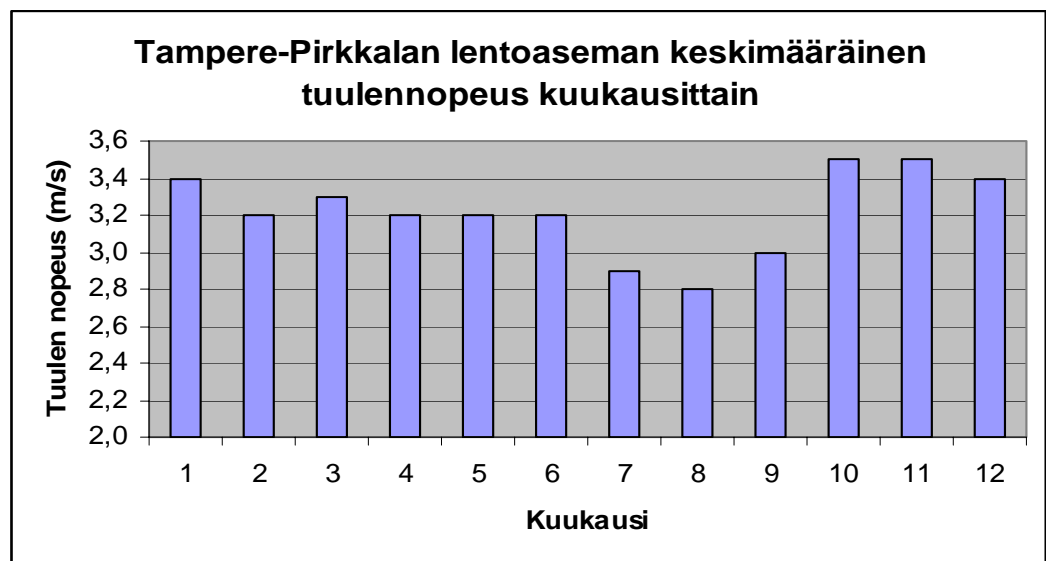
Suomen tuulioloihin vaikuttaa merkittävästi Atlantilla tapahtuvat sään vaihtelut. Atlantin matalapainetoiminnan vaihtelut ovat suuria eri vuosina, vuodenaikoina ja lyhyempinäkin jaksoina. Vaikka Suomessa tuulee enemmän kuin maapallolla keskimäärin, Suomen maantieteellinen sijainti ja suurilmastolliset olot laskevat tuulen keskinopeutta verrattuna lähempänä Atlanttia sijaitseviin Norjan rannikkoon tai Tanskaan. /4/



Kuva 5. Tuuliolosuhteet Suomessa /18/.

Kuvassa 5 on nähtävissä suuntaa antavat tuulen nopeudet Suomessa. Lähteessä ei ilmoiteta mittauskorkeutta. Varsinkin sisämaassa keskimääräinen tuulen nopeus voi vaihdella huomattavasti maanpinnan karkeuden vaihdellessa.

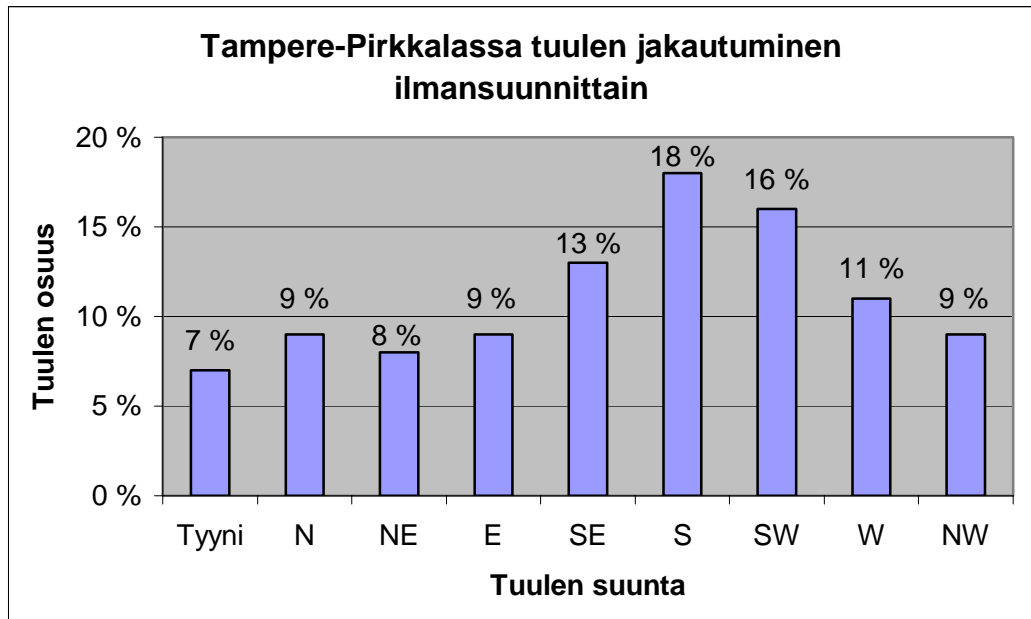
Ilmatieteen laitoksen tilastojen mukaan Tampere-Pirkkalan lentoaseman, joka on Yhteiskylää lähinnä oleva tuulen nopeuden mittauspaikka, keskimääräinen tuulen nopeus on 3,2 metriä sekunnissa /5/. Lentoaseman ja Yhteiskylän välinen etäisyys on noin 26,5 kilometriä, mutta oletan kuitenkin keskimääräisen tuulen nopeuden olevan samaa luokkaa. Ilmastin on tulossa pienen mäen päälle pellolle, johon tuuli pääsee käymään aika vapaasti etelän suunnalta. Työn aikataulun takia riittävän kattavaa tuulen nopeuden mittaamista ei ollut mahdollista järjestää. Ilmatieteen laitoksen tilaston mukaan eniten tuulee juuri etelästä. Vesijärven läheisyys voi vaikuttaa tuulen suuntaan hieman, mutta voimakkuuteen se ei ainakaan laskevasti vaikuta.



Kuva 6. Tampere-Pirkkalan lentoaseman keskimääräinen tuulen nopeus vuosilta 1971 – 2000.

Kuvasta 6 voi havaita, että niin Tampere-Pirkkalan lentoasemalla kuin Suomessa yleisestikin voimakkaimmin tuulee alku- ja loppuvuodesta /16/. Kun alku- ja loppuvuonna ilman lämpötila on alhainen eli ilman tiheys on myös suurempi, tuulen tuottama keskimääräinen teho on huomattavasti suurempi kuin kesällä.

Suomessa lounaistuuli on yleensä vallitseva ja suurimmat tuulen nopeudet ovat etelä-länsi-sektorissa /4/.



Kuva 7. Tuulen prosentuaalinen jakautuminen ilmansuunnittain Tampere-Pirkkalan lentoasemalla.

Kuva 7 on piirretty ilmatieteen laitoksen tilastojen perusteella. Tampere-Pirkkalan lentoasemalla prosentuaalisesti eniten tuulee etelästä (kuva 7). Suurin osa tuulesta jakautuu länsi-kaakko väliselle alueelle. Kangasalan Yhteiskylän haihdutusallas sijaitsee hyvällä paikalla tuulivoiman käytön kannalta: peltoaukealla mäen rinteellä jonne tuuli pääsee lähes vapaasti virtaamaan lounaan ja etelän suunnilta.

3 ILMASTUS

Tässä luvussa kerrotaan lyhyesti ilmastamisesta. Ilmastus on veden happipitoisuuden nostamista, joka tapahtuu joko ilmastimella tai juoksuttamalla vettä, jolloin happea sekoittuu ilmasta veteen. Ilmastin on vedenkäsittelylaite, joka työntää ilmaa veden sekaan. Vedessä ilmakuplista vapautuu happea, jolloin veden happipitoisuus nousee. /19/ Mitä pienempiä ilmakuplat ovat, sitä tehokkaampaa hapettuminen on /3/. Talvella ilmastusta tarvittaisiin eniten, koska lammen pinta jäätyy, jolloin puhdistustyötä tekevät mikro-organismit kuluttavat hapen lammesta vähiin. Tämän seurauksena on happikato, joka saa aikaan pohjasedimenttiin sitoutuneen fosforin liukenemisen veteen. Fosforin liukenemisen myötä lammen sisäinen kuormitus käynnistyy ja rehevöityminen voimistuu. /13/

Nykyään jätevedenkäsittelyprosessissa käytetään paljon aktiiviliete-menettelmää, jossa ilmastuksella on oleellinen tehtävä jätevedenpuhdistamisessa. Jätevedenpuhdistamoissa ilmastuksen tarkoituksena on toimittaa vedessä oleville mikro-organismeille happea. Mikro-organismit käyttävät jäteveden liuennutta orgaanista ainesta ravintonaan ja sitovat sen tällä tavalla muodostuvaan biomassaan. Sitominen kuluttaa paljon happea, joten ilmaa johdetaan kovalla paineella ilmastusaltaan pohjaan, jotta hapen puute ei aseta rajoja mikro-organismien puhdistamisteholle. /3/ Kovalla paineella purkautuva ilma myös sekoittaa lietettä. Tätä ilmastusmenettelmää kutsutaan pohjailmastukseksi.

Pintailmastimet ovat yleensä mekaanisia kartio-, suihku- tai harjailmastimia. Toimintaperiaatteena on, että ilmastin nostaa hapetettavan veden altaasta roiskuttaen sitä ympärilleen pisaroina. Pintailmastimia käytetään nykyään vähän, lähinnä esi-ilmastuksessa, mutta ennen pohjailmastimien tuloa niitä käytettiin enemmänkin jätevedenpuhdistuksessa. Lisäksi on vielä väli-ilmastimia, joissa ilma työnnetään kovalla paineella noin metrin syvyyteen veden pinnasta. /8/

Ilmastus voi tapahtua myös veden pinnan kautta /3/. Tällöin pintaveden sekoittuu ilmasta happea. Syvemmällä veden happipitoisuus laskee, jolloin ilmastus voidaan järjestää toimittamalla vähähappisempaa vettä pintaan. Veden pintaan pumpulla tai jollain muulla tavalla toimitettu vähähappisempi vesi hapettuu.

Aivan pohjalta vettä ei ainakaan kovin voimakkaasti saa nostaa, sillä on mahdollista, että pohjan happikato laajenee koko vesialuetta kattavaksi. Sekoittumisen seurauksena pohjanläheisen vesikerroksen yhdisteet hapettuessaan nopeasti kuluttavat happea pintavedestä. /13/

4 PIENOISMALLIN ROOTTORIN JA KEHIKON RAKENTAMINEN

Ilmastimen roottorityypiksi valittiin Savonius-roottori seuraavin perustein (katso luku 2.3):

- Edullinen
- Yksinkertainen
- Soveltuu mekaanisiin sovelluksiin
- Hyvä käyntiinlähtökyky
- Riippumattomuus tuulen suunnasta
- Huoltovapaa rakenne

4.1 Savonius-roottorin valmistus

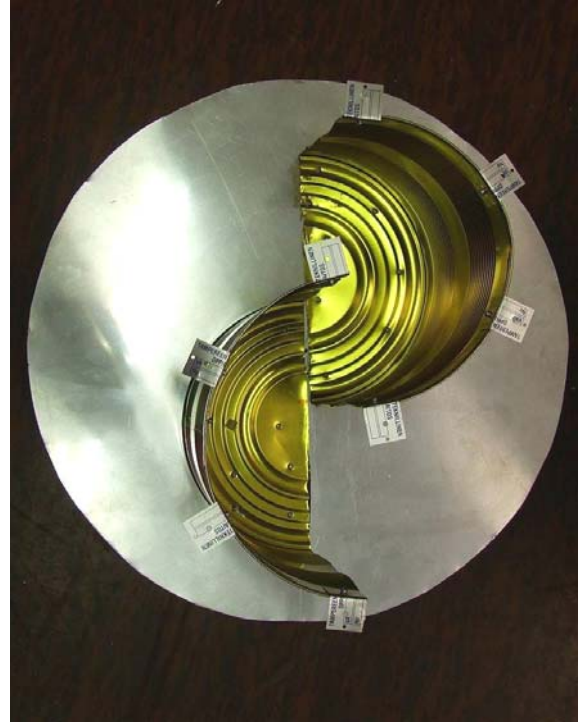
Tehtäessä pienoismallia roottorista haluttiin valmistaa kompaktin kokoinen, jotta sitä olisi helppo käsitellä. Tärkeintä pienoismallin rakentamisessa oli saada selville, että se alkaa pyöriä. Roottorin valmistamiseen haluttiin käyttää mahdollisimman paljon kierrätysmateriaaleja.



Kuva 8. Roottorin siivet.

Roottorin siiviksi valittiin noin 9 litran toisesta päästä avattu peltinen suolakurkkupurkki, joka halkaistiin pituussuunnassa (kuva 8). Purkki haettiin pienmetallinkeräysastiasta. Halkaisemisen jälkeen molempien puolikkaiden yläosaan oli kiinnitettävä pieniä alumiinilevyjä, jotta siivet pystyttiin kiinnittämään päätylevyyn. Alumiinilevyjä, joita laitettiin neljä molempiin siipiin, ei olisi tarvinnut kiinnittää, jos käytössä olisi ollut avaamaton suolakurkkupurkki, ja kurkkujen poistaminen olisi suoritettu halkaisemalla purkki, ei avaamalla päätyä. Tällöin siipien molemmissa päissä olisi valmiina ollut pinta päätylevyn kiinnittämiseen. Alumiinilevyt kiinnitettiin siipiin popniiteillä. Alumiinilevyt haettiin alumiinikierrätysastiasta.

Kuvasta 9 voi selkeästi havaita S-roottorille ominaisen siipien tekemän (tässä tapauksessa peilikuva) s-kirjaimen muodon. Seuraavaksi roottoriin kiinnitettiin päätylevyt. Päätylevyt olivat alumiinia, ja toinen löytyi koulun varastosta, mutta toinen piti ostaa. Roottorin läpisyöttöraoksi valittiin 9 senttiä, joka on 25,7 prosenttia siipien kokonaishalkaisijan ollessa 35 senttiä (kuva 9). Roottorin pyyhkäisyypinta-ala on $0,09 \text{ m}^2$.



Kuva 9. Roottori päätylevyn päällä.

Siivet kiinnitettiin pyöreisiin, 1,5 millimetriä paksuihin päätylevyihin popniiteillä. Alemman päätylevyn halkaisija on 48 senttiä ja ylemmän 46,5 senttiä. Alempi päätylevy kiinnitettiin ennen kuin ylempi oli hankittu. 1,5 senttiä kapeampi ylempi päätylevy löytyi valmiiksi leikattuna ja se valittiin, koska sillä ei oletettu olevan käytännössä merkitystä pienoismallin toiminnan kannalta.



Kuva 10. Akseloitu ja laakeroitu Savonius-roottori.

Laakerointi tuotti hieman päänvaivaa, sillä ei haluttu ostaa valmiita laakereita. Toisaalta hyvän laakerin rakentaminenkaan ei olisi ollut helppoa. Koulun varastoista löytyi kuitenkin kaksi kappaletta 12 tuumaisen polkupyörän renkaan etuvannetta. Polkupyörissä on loistava laakerointi ja vanteen pystyy myöhemmin kiinnittämään kehikkoon (luku 4.2). Akseliksi valittiin ruostumattomasta teräksestä valmistettu 8 mm kierretanko, koska vanteen laakeriin mahtui maksimissaan 8 mm akseli. Todettiin kyseisen akselin olevan riittävän vahvaa pienoismalliin. Akseli kiristettiin ensin vanteeseen, jonka jälkeen roottori nostettiin vanteen päälle päätylevyjien keskelle porattujen reikien kautta (kuva 10). Roottori kiinnitettiin akseliin muttereilla, ja todettiin roottorin pyörivän todella herkästi. Roottori lähti pyörimään kevyesti puhaltaen.

4.2 Kehikon valmistus

Kehikon tarkoituksena on yhdistää ilmastukseen energian tuottava roottori ilmastuksen tekevään osaan. Kehikko valmistettiin pääasiassa liimapuusta ja listoista.



Kuva 11. Kehikko edestäpäin.



Kuva 12. Kehikko sivultapäin.

Kehikosta valmistettiin ylöspäin kapeneva, jotta siitä saataisiin tukeva ja että roottorin laakerina toimiva 12 tuuman vanne saadaan helposti tuettua rakenteeseen. Liimapuun leveys on 65 mm ja korkeus 38 mm. Liimapuun ylä- ja alareunoista sirkkelöitiin 10 asteen kulmalla palat pois molemmista suunnista, jotta kehikon seistessä sekä ylä- että alareunat ovat tasaisia (kuvat 11 ja 12). Rakennusmateriaaleina käytetty sahatavara oli koululta ylitse jäänyttä materiaalia. Kehikon korkeus on 85 senttiä, leveys 58 senttiä ja pituus 69 senttiä. Kehikkoa jouduttiin hieman muuttamaan molempiin ilmastintyyppeihin sopivaksi.



Kehikon valmistamisen jälkeen roottoria soviteltiin kehikon päälle ja uudemman kerran todettiin roottorin lähtevän pyörimään todella herkästi. Tällä kertaa ulkona, jossa oli lähes tyyni ilma. Silti roottori lähti pyörimään helposti (kuva 13, LIITE CD-ROM). Rakennelma todettiin käyttökelpoiseksi ilmastiimeen.

Kuva 13. Roottorin käyntiinlähtökyvyn kokeilu.

5 ILMASTIMIEN VALMISTUS

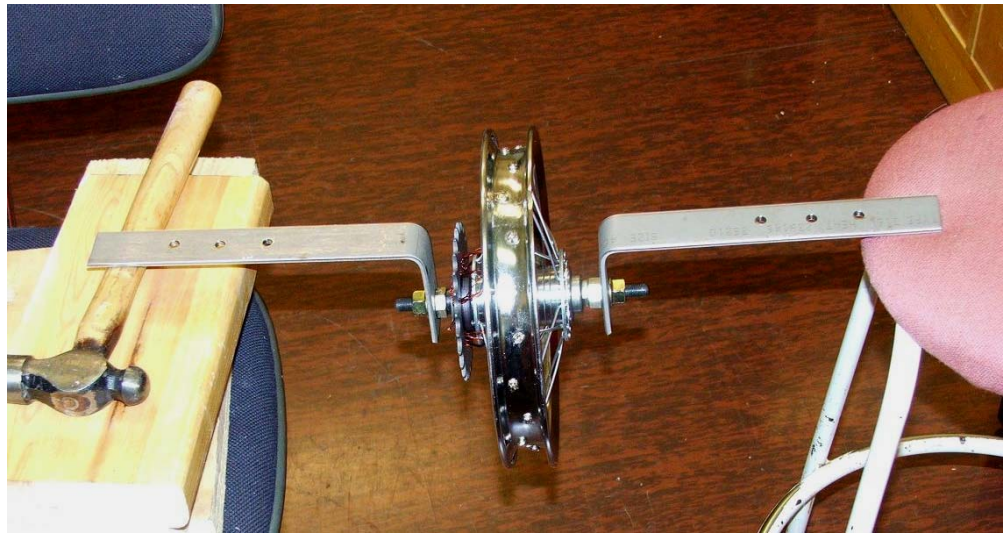
Aikaisemmin jo ilmeni, että tutkintotyöstäni syntyi kaksi eri toimintatapaan perustuvaa ehdotusta Kangasalan Yhteiskylän ilmastimeksi. Alla käydään molempien valmistusprosessit läpi. Roottori on molemmissa täysin sama kuin yllä esitetty, mutta kehikkoa hieman muokattiin kumpaankin ilmastimeen.

5.1 Ilmaa veteen toimittava ilmastin

Ensimmäisenä ilmastinvaihtoehtona rakennettiin ilmastin, joka toimii samalla periaatteella kuin jätevedenpuhdistamoissa olevat ilmastimet, eli ilma toimitetaan suoraan veteen.

5.1.1 Hapetinosa

Ensiksi piti kehittää tapa, jolla ilma saadaan toimitettua veteen. Mitä syvemmälle sitä parempi. Lopullinen idea lähti ajatuksesta rakentaa vertikaalinen hihnakuuljetin, jossa olisi kuppeja ulkoreunalla kiinni. Kupit kävisivät pinnan yläpuolella täyttymässä ilmalla, ja alhaalla kääntyessään ilma poistuisi kupeista ja noustessaan ilma hapettaisi vettä. Hihnakuuljetin-idea olisi ollut hankala rakentaa, ja mikä tärkeämpää, siinä olisi ollut liikaa energiaa syöviä rakenteita. Perusidea kuitenkin jäi: hihnan tilalle sijoitettiin lasten polkupyörän 12 tuuman takavanne, joka jouduttiin ostamaan. Vanteen oli oltava takavanne, koska siinä oli valmiina ratas ketjua varten, joka tulisi pyörittämään hapetusosaa. Vanteesta poistettiin kitkaa aiheuttavat jarruosat, jonka jälkeen huomattiin, ettei ratasta saa enää pysymään paikallaan. Ratas kiinnitettiin kuparilangalla.



Kuva 14. 12 tuuman takavanne ilmastimeen.

Vanteeseen kiinnitettiin lattaraudasta taivutetut tuet kehikkoon kiinnitystä varten (kuva 14). Lattarauta kiinnitettiin vanteeseen muttereilla ja siihen porattiin reikiä kiinnitystä varten. Seuraavaksi hapettimeen valmistettiin kupit tyhjästä tomaattipyrepurkeista. Yhden purkin tilavuus on noin desilitra. Purkkeja laitettiin neljä, koska ne oli helpompi tasapainottaa kuin esimerkiksi kuusi ja neljä purkkia on riittävä määrä hapetukseen. Purkkien pohjiin tehtiin reiät kiinnittämistä varten, ja ne kiinnitettiin vanteeseen kuparilangalla (kuvat 15 ja 16).



Kuva 15. Hapetinosa sivulta.



Kuva 16. Hapetinosa edestä.

Purkkeihin tehdyt reiät kiinnittämistä varten olisivat saaneet olla hieman pienempiä. Esimerkki reiästä (kuva 16) alaosassa. Reikien kautta ilma purkautui liian nopeasti, eikä syvimmissä kohdassa ilmaa enää juurikaan ollut purkissa. Toisaalta veden pinnan yläpuolella pyörintävastus väheni veden valuessa reiästä nopeasti pois. Reikä saisi olla hieman pienempi, jolloin saavutettaisiin tehokkaampi ilmastus.

5.1.2 Matopyörä

Matopyörää eli kulmavaihdinta tarvittiin vaihtamaan roottorin horisontaalitason, vasen–oikea, pyörimisliike vertikaalitason, ylös–alas, pyörimisliikkeeksi hapetinosaa varten. Drilliporassa (eräänlainen käsipora) oli valmiina matopyörä. Drillipora ostettiin halpamarketista. Pora oli huomattavasti halvempi kuin irtokulmavaihtimet pienoismalliliikkeestä. Pora jouduttiin hieman muokkaamaan, koska siinä ei myöskään ollut valmiina ratasta.

Drilliporasta poistettiin veivauskahva ja tilalle laitettiin polkupyörän ratas. Ratasta ei kuitenkaan ihan suoraan saanut laitettua kahvan tilalle vaan poran leveään kulmavaihtimeen jouduttiin poraamaan reiät, jonka jälkeen laitettiin välikappale ennen ratasta. Rataan sisäosan vastakkaisille reunoille hiottiin U:n muotoiset kolot, jotta ratas pysyy paikallaan. Lopuksi ratas kiristettiin U-kolojen kautta kahdella pultilla ja mutterilla paikalleen.

Oikealla olevasta kuvasta (kuva 17) näkee välikappaleen, joka tuli rataan ja kulmavaihtimen väliin. Lisäksi kuvasta näkee kulmavaihtimen toimintaperiaatteen: ylhäällä ja alhaalla ovat pienet reunoista vinot kulmavaihdinpyörät, jotka pyöriessään pyörittävät toiseen suuntaan pyörivää isoa kulmavaihdinta.



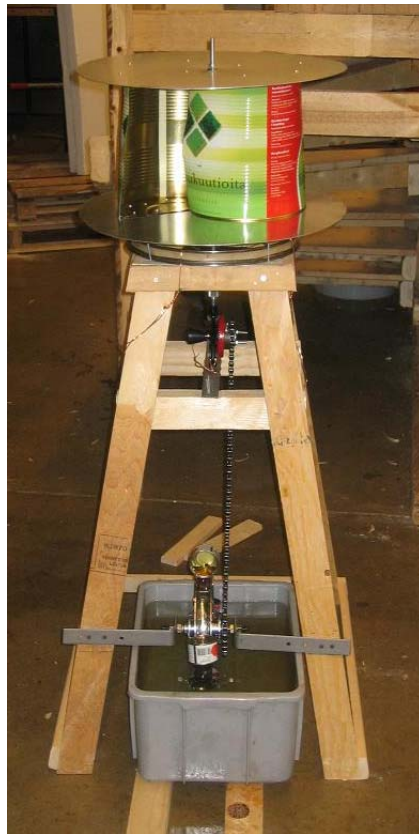
Kuva 17. Matopyörän rakenne.



Kuva 18. Matopyörä paikallaan.

Kehikkoon laitettiin puusta tasot matopyörän kiinnitystä varten (kuva 18). Matopyörä kiinnitettiin tason väliin laitettuun lattarautaan drilliporan irrotettavalla kahvalla sekä kuparilangalla. Rautaan porattiin reiät kiinnitystä varten. Kahvasta poistettiin tyviosasta muovia lattarautan paksuuden verran eli 3 mm. Rootorin akselin alaosa hiottiin kolmion muotoiseksi noin 3 sentin matkalta kulmahiomakoneella, jotta poran leuat kiinnittyivät tukevasti akseliin.

Matopyörä kiinnitettiin kehikkoon ennen hapetinosaa, jotta osien välille tuleva polkupyörän ketju saatiin helpommin paikalleen. Hapetinosaa varten kehikon etureunasta piti poistaa tukipuu. Se ei kuitenkaan heikentänyt ilmastimen tukevuutta sillä hapetinosan kiinnittäminen hieman ylemmäksi korvasi kiinnityksen (kuva 19).



Kuva 19. Ilmastin edestä.

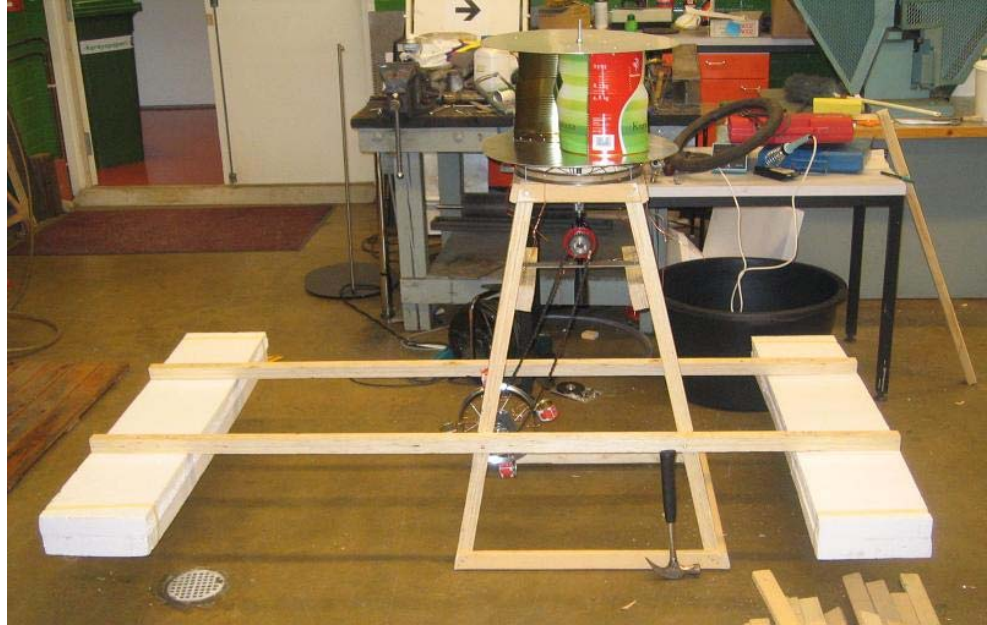


Kuva 20. Ilmastin sivulta.

Ilmastinta kokeiltiin ilman kelluntalaitteistoa vedellä täytetyssä laatikossa (kuva 19 ja 20, LIITE CD-ROM). Tuulena oli paineilmapuhallin. Kokeilu oli lupauksia herättävä, joten työtä jatkettiin rakentamalla ilmastimeen kellukkeet.

5.1.3 Kellumislaitteisto

Ilmastin tulee kellumaan ilmastimen sivuilla oleviin puuaisoihin kiinnitetyillä styrokseilla. Styrokseksi löytyi koulun varastosta. Aisoista tehtiin 2 metriä pitkät, jotta ilmastin ei vedessä kaatuisi pituussuunnassa. Koska ilmastimen painopiste on hapetinosan takia enemmän etureunaa kohti, tarvitsi aisat myös sijoittaa etupainoisesti.

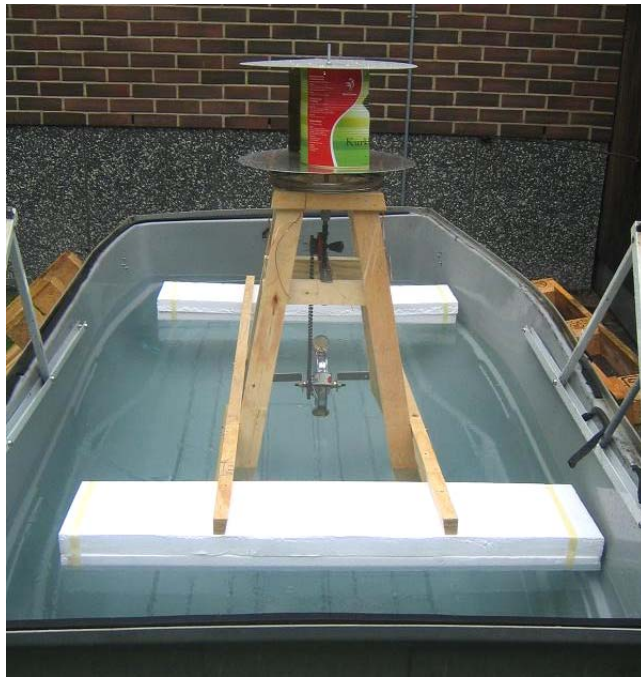


Kuva 21. Kelluntalaitteisto kiinnitettyinä.

Aisat sijoitettiin selkeästi ilmastimen etupainoisuus huomioiden (kuva 21). Styrokseista tehtiin reilusti ilmastinta leveämmät, jotta ne pitävät ilmastimen sivusuuntaisesti pystyssä vedessä. Ilmastimen massa on vaa'an mittavirhe huomioiden noin 15 kiloa. Styroksin kantavuus tulee Arkhimedeen lain mukaan: styroksi syrjäyttää tilavuutensa verran vettä. Eli toisin sanoen styroksi kantaa vettä tilavuutensa verran. Styroksia on yhteensä $2 \times 0,1 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \times 0,25 \text{ metriä} = 0,06 \text{ m}^3$, joka on 60 litraa. Litra vettä painaa yhden kilon, joten ilmastin saisi teoriassa painaa huomattavasti enemmän. Pitää kuitenkin styroksin määrää mitoittaessa huomioida tuulen aiheuttama sekä veden että ilmastimen liike. Styroksia pitää laittaa reilusti, ainakin kaksinkertainen määrä teoreettiseen kantavuuteen verrattuna.

5.1.4 Koeuitto

Ilmastinta koeuitettiin ensimmäisen kerran Tampereen ammattikorkeakoulun prosessihallin ulko-ovien edessä nurinpäin käännettyssä, vedellä täytetyssä peräkärryn kuomussa. Ilmastin on suorana hyvässä tasapainossa (kuva 22).



Kuva 22. Ensimmäinen koeaitto

Todettiin ilmastimen uivan liian korkealla, koska hapetinosa ei veteen juuri kosketakaan (kuva 23). Tutkintotyön tekijä oli liian innokkaasti kiinnittänyt aisat kymmenen senttiä, eli styroksien korkeuden verran, liian alas. Tekeväälle sattuu.



Kuva 23. Ilmastin ui liian korkealla.



Kuva 24. Ilmastin aisojen nostamisen jälkeen.

Aisoja nostettiin 10 senttiä ylöspäin (kuva 24). Vertaa kuvaan 21, jolloin näkee selkeästi, että aisoja on nostettu ylöspäin. Tutkintotyön tekijä olisi voinut laittaa vasaran nojaamaan ilmastimen kylkeen merkkipaaluksi, kuten on kuvassa 21.



Kuva 25. Hapetinosan korkeus aisojen nostamisen jälkeen.

Aisojen nostamisen jälkeen ilmastin ui suunnitellulla korkeudella eli ilmastinkuppi käy vain hieman kääntymässä veden pinnan yläpuolella tyhjentäen vedestä ja täyttyen ilmasta (kuva 25).

Koeuittopaikalle tuuli ei seinien välittömän läheisyyden takia päässyt, joten ilmastimen toimintaa kokeiltiin käyttäen paineilmaa tuulena. Ilmastin toimi suunnitellusti hapetinosan toimittaessa ilmaa veteen (LIITE CD-ROM). Ilmastus ei mene kovin syvälle (noin 20 cm), joten kyseessä on pintailmastin.



Hapetinosaa pyörii sekoittaen ilmaa veteen (kuva 26). Väilyssuhde hapetinosan ja roottorin pyörimiselle on 1:6 eli hapetinosan yhteen kokonaiseen kierrokseen tarvitsee roottorin pyörähtää kuusi kierrosta. Tämä helpottaa hapetinosan liikkeelle lähtöä verrattuna siihen, että hapetinosaa ja roottori pyörisivät samalla nopeudella.

Kuva 26. Ilmastin käynnissä.

Myöhemmin ilmastinta kokeiltiin Vesijärvessä Kangasalan Suinulassa. Havaittiin, että hapetinosan, matopyörän ja ketjun aiheuttama vastus on kohtalaisen suuri ja käynnistyäkseen ilmastin tarvitsee ainakin 3,5 m/s tuulen nopeuden, mahdollisesti 4 m/s tuulen nopeuden lämpötilan ollessa noin 20 astetta. Tuulimittaria ei ollut käytettävissä, mutta arvio perustuu mm. MAOL:n taulukkokirjassa /1/ olevan tuulen voimakkuuden arviointiin. Tuulen nopeuden ollessa 3,4 - 5,2 m/s (heikonlainen tuuli) maol:n mukaan: ”lehdet liikkuvat, vaahtoa aallon harjalla”. Vesijärvellä kokeiluajana lehdet liikkuivat ja siellä täällä oli havaittavissa vaahtoa aaltojen harjalla, joten tuulen nopeus oli mieluiten yllä esitetyn asteikon alapäässä kuin yläpäässä. Hetkellisesti tuulen reilusti tyyntynyt ilmastin pysähtyi, mutta tuulen taas voimistuessa yllä esitettyyn voimakkuuteen se käynnistyi uudelleen.

5.2. Vettä nostava ilmastin

Tilaajan toivomuksesta /10/ tehtiin toinenkin ilmastinversio, koska ensimmäisessä versiossa oli paljon energiaa kuluttavia kohtia:

- veden pintajännityksen rikkominen
- ilman vieminen veden alle
- vaihteisto
- ketju.

Toisaalta tässäkin versiossa on huonot puolensa, joten tutkintotyöhön sisällytettiin molemmat ehdotukset vertailua varten. Vertailu ja päätös siitä, kumpi ilmastinvaihtoehto on Kangasalan Yhteiskylän kannalta parempi, on esitetty luvussa 6.

Jarmo Tanskasen tekemän ehdotuksen (LIITE 3) perusteella oli helppoa kokeilla laitteen toimivuutta pienoismallin muodossa. Ehdotuksessa on esitetty kaikki tarvittava tieto ilmastimen kokeilua varten ja sen rakenne on erittäin yksinkertainen. Ensimmäisen ilmastimen roottoria ja kehikkoa pystyi käyttämään hyväksi kokeilussa.

5.2.1 Kehikko

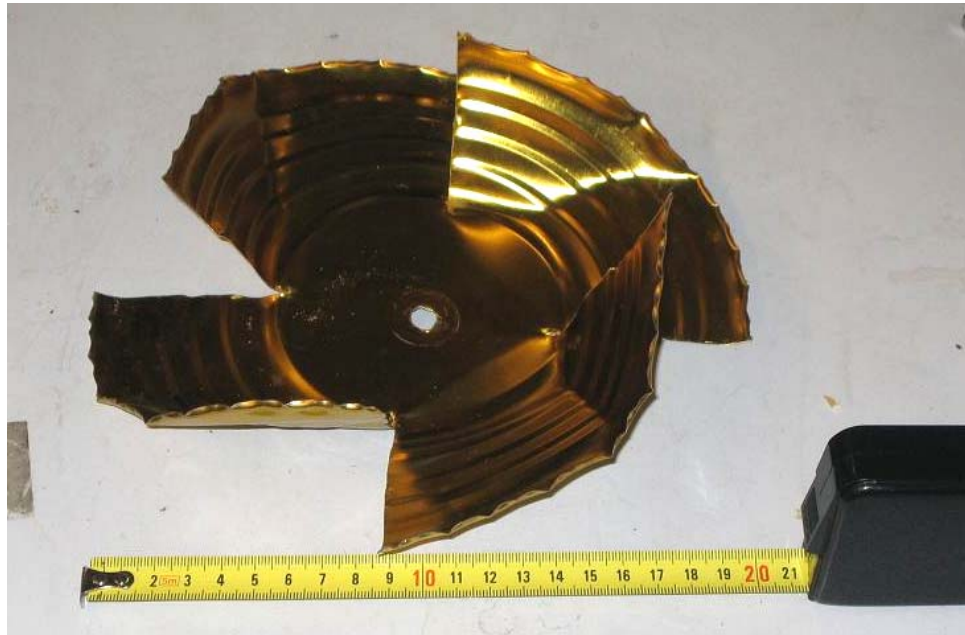
Kehikosta poistettiin ensimmäisen ilmastimen hapetinosa sekä matopyörä. Matopyörää varten kiinnitetyt kannatintuet jätettiin paikalleen (kuva 28). Kehikon alaosaan lisättiin molemmin suuntaiset tuet, koska jäljellä oleva 12 tuuman etuvanne oli loistava keino saada akseli tuettua myös alemmalla, erittäin vähän energiaa kuluttavalla polkupyörän kuulalaakerilla. Tällöin roottorin pyöriessä kovaa mahdollisesti yhden kiinnityskohdan aiheuttama akselin huojunta saadaan eliminoitua. Huojuntaa ei aluksi välttämättä ole, mutta ajan saatossa rakenteet voivat hieman väsyä, jolloin huojunta voi syntyä. Lisäksi tukea pystyy hyväksikäyttämään mahdollisesti akselin ympärille tulevan putken kiinnitykseen.



Kuva 28. Kehikko toista ilmastinta varten.

5.2.2 Potkuri

Vettä ylöspäin nostavan voiman synnyttää akselin päässä oleva potkuri. Potkuri valmistettiin säilykepurkin kannesta leikkaamalla tasaisin välein kantta neljästä kohtaa keskustaa kohti noin viisi senttiä. Leikatuista kohdista kantta taivutettiin ylöspäin, jolloin potkurin pyöriessä vesi nousee peltiä pitkin ylöspäin (kuva 29).



Kuva 29. Valmis potkuri.

Yllä olevasta kuvasta (kuva 29) näkee, että potkurin halkaisija on 20 senttiä. Potkurin keskelle porattiin reikä akselia varten. Potkuri kiinnitettiin akseliin muttereilla potkurin molemmin puolin. Mutterien ja potkurin väliin laitettiin mutteria leveämmät aluslevyt, jottei mutteria kiristettäessä potkuri mene rikki.



Kuva 30. Ilmastin valmiina.

Vanne ja potkuri kiinnitettiin akselin jatkeeseen, joka yhdistettiin roottorin akseliin korkealla mutterilla. Vanne kiinnitettiin tämän jälkeen kehikkoon rakennettuun tasoon kuparilangalla (kuva 30). Koska ei käytetty yhtä pitkää akselia, oli tärkeää laittaa alempi vanne tukemaan akselia alhaalta, ettei akseli pääse vääntymään. Kun käytetään kahta eri osaa akselissa, niin kiinnityskohtaan jää helposti hieman väljyyttä. Ainakin käytetyssä kiinnitystavassa on hieman väljyyttä, jolloin huojumista tapahtuu jo pienillä pyörimisnopeuksilla, jos akselia ei tueta alhaalta.

5.2.3 Koekäyttö

Ilmastinta kokeiltiin ensimmäisen kerran Tampereen ammattikorkeakoulun prosessihallissa saavin päällä (kuva 31) paineilman toimiessa jälleen tuulena. Kelluntalaitteistoa ei asennettu, koska se oli jo huomattu toimivaksi ensimmäisellä ilmastimella. Toisen ilmastimen painopiste olisi keskellä, jolloin aisat sijoitettaisiin siten että aisojen päät olisivat saman verran ilmastimen molemmin puolin. Lisäksi ilmastinta ei kokeiltu avovedessä eli ilmastin ei kellunut missään vaiheessa, ja koekäytön aikana aisat olisivat vain olleet tiellä.



Kuva 31. Koekäyttö saavin päällä.

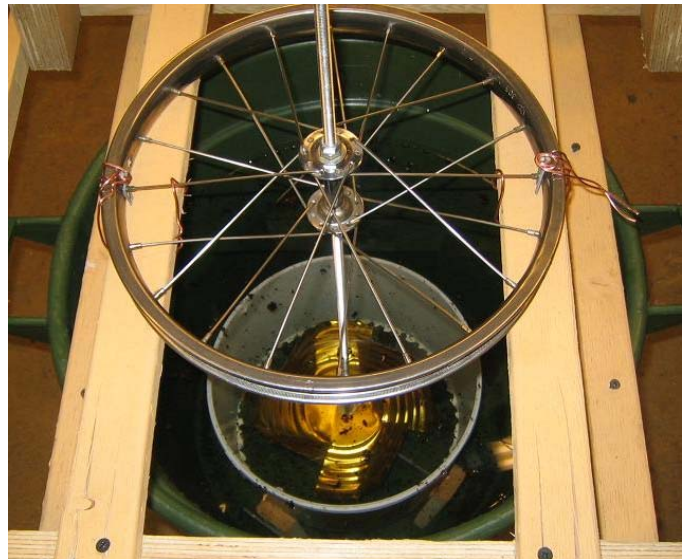
Ensin kokeiltiin ilmastinta ilman minkäänlaista putkea (kuva 31, LIITE CD-ROM). Saavi täytettiin vedellä ja siellä oli tarkoituksella hieman kevyitä roskia (vessapaperin palasia yms), jotta nähtäisiin paremmin miten vesi liikkuu saavissa. Koekäytössä todettiin, etteivät roskat juuri liikkuneet saavissa vasta kuin todella kovalla kierrosnopeudella, joten päätettiin valmistaa putki akselin ympärille. Koska ei ollut varmuutta, että putkikaan toimisi, tehtiin sovellettu putki rikkinäisestä 10 litran muoviämpäristä ja yli jääneistä listan kappaleista.



Ämpärin pohja oli valmiiksi halki, joten pohjan poistaminen kävi helposti. Kahva poistettiin ja neljä noin kymmenen sentin mittaista listan palasta asetettiin ämpärille ruuveilla jaloiksi (kuva 32). Rakennelmasta tuli liian kevyt jotta se pysyisi saavin pohjalla, joten jalkoihin kiinnitettiin metallipainoja. Putken kokonaiskorkeus 26 cm, josta ämpärin osuus 20 cm. Ämpärin halkaisija on 28 cm.

Kuva 32. Sovellettu putki ilmastimeen.

Putki nostettiin saaviin ja ilmastin sen päälle. Putki sijoitettiin saaviin niin, että potkuri tuli sen keskelle (kuva 33). Potkuri jäi suunnitellusti noin viisi senttiä ämpärin alareunan yläpuolelle, jolloin pyöriessään potkuri imee putkeen vettä.



Kuva 33. Putki ja potkuri saavissa.

Koekäytön toinen yritys aloitettiin jälleen paineilmalla (LIITE CD-ROM). Saavissa olevat roskat lähtivät nousemaan putkea pitkin ylöspäin huomattavasti



alhaisemmassa kierrosnopeudessa kuin ensimmäisessä koekäytössä ilman putkea (kuva 34). Kuitenkaan hiljaa pyöriessään potkuri ei jaksanut nostaa roskaa pintaan. Koska roskat eivät nousseet, ei myöskään vesi noussut ylös. Tämä tarkoittaa, että potkurin pyöriessä hiljaisella kierrosnopeudella syvällä olevan veden ilmastusta ei tapahdu.

Kuva 34. Koekäyttö putken kanssa.

Ilmastinta koekäytettiin vastaavanlaisena kuin sisällä eli saavin päällä myös ulkona. Tuuli pääsi alueelle puhaltamaan kohtuullisen vapaasti. Koekäytön aikana tuuli oli pääasiassa heikonlainen (3,4 – 5,2 m/s) eli samaa suuruusluokkaa kuin kokeiltaessa ensimmäistä ilmastinta Vesijärnessä. Hetkittäin tuuli tyyntyi. Toinen ilmastin pyöri tuulessa kokoajan, myös tuulen tyyntyessä, jolloin ensimmäinen ilmastin olisi pysähtynyt. (LIITE CD-ROM.)

6 VAIHTOEHTOJEN VERTAILU JA EHDOTUS ILMASTIMESTA

Vertailussa käytetään osittain apuna ympäristövaikutusten arviointia (YVA), jonka tavoitteena on vähentää tai lieventää suunnitellun hankkeen kielteisiä vaikutuksia sekä vahvistaa hankkeen myönteisiä vaikutuksia. YVA-menettely lisää ihmisten mahdollisuuksia osallistua ja vaikuttaa suunnitteluun. Ympäristövaikutusten arvioinnissa on aina mukana nollavaihtoehto eli ettei tehdä mitään sekä erinäinen määrä muita vaihtoehtoja. Tässä tutkintotyössä

lisäksi on molempien valmistettujen ilmastimien sekä sähköllä toimivan kaupallisen ilmastimen arviointi. Jokaisessa vaihtoehdossa on + ja – -merkillä esitetty vaihtoehdon hyvät ja huonot puolet.

6.1 Nollavaihtoehto

Nollavaihtoehto on, ettei lampea ilmastettaisi ollenkaan, jolloin tilanne säilyisi entisellään.

- + Lammesta poistuva vesi alittaa reilusti jo tällä hetkellä talousvesiasetuksen päästörajat
- Ei paranna poistuvan jäteveden laatua

6.2 Ilmaa veteen toimittava vaihtoehto

Ilmastimen pienoismallin rakentamisesta kertovassa luvussa (luku 5.1) kerrotaan laitteen rakenne ja toimintaperiaate.

- + Aina laitteen ollessa käynnissä ilmastusta tapahtuu parantaen veden laatua
- + Kohtuullisen huoltovapaa rakenne
- Tarvitsee luultavasti sähkömoottorin avuksi toimiakseen talvella
- Talvitoimivuutta ei ole käytännössä kokeiltu

- Veden pintajännityksen rikkominen, ilman vieminen veden alle, vaihteisto ja ketju kuluttavat energiaa, jolloin ei pyöri heikolla tuulella

6.3 Syvältä pintaan vettä toimittava vaihtoehto

Ilmastimen pienoismallin rakentamisesta kertovassa luvussa (luku 5.2) kerrotaan laitteen rakenne ja toimintaperiaate.

- + Yksinkertainen rakenne, ylimääräistä energiaa ei kulu laitteen käyntiin
- + Erittäin huoltovapaa rakenne
- + Toimisi luultavasti ympäri vuoden

- Talvitoimivuutta ei ole käytännössä kokeiltu
- Heikolla tuulella ilmastin pyörii, mutta ilmastusta ei tapahdu, koska potkuri ei jaksaa nostaa vettä pintaan asti

6.4 Kaupallinen vaihtoehto

Kaupalliseksi vaihtoehdoksi otettiin Waterix Oy:n Waterix Micro -ilmastin /20/. Hyvät ja huonot puolet tosin sopisivat suurimpaan osaan markkinoilla olevista ilmapumpuista.

- + Ilmastaisi ympäri vuoden tehokkaasti
- + Pitäisi talvella lammen ainakin osittain jäättömänä
- + Lähes huoltovapaa

- Sähköllä toimivana ei sovellu Yhteiskylän imagoon
- Kallis (vähintään 1000 euroa)

6.5 Ehdotus lammen ilmastukseen

Päätökseen siitä, mikä on paras ratkaisu Kangasalan Yhteiskylän haihdutusaltaan ilmastimeksi, vaikuttivat lammesta tällä hetkellä poistuvan jäteveden puhtaus, talvi sekä Yhteiskylän oma mielipide.

Lähtökohtana oli, että lampeen sijoitetaan ilmastin, joten nollavaihtoehto hylätään, vaikka vesi alittaakin jo tällä hetkellä jätevesiasetuksen päästörajat. Tehokkain ja varmin ilmastin olisi kaupallinen vaihtoehto, mutta sähköllä toimivana se ei sovellu Kangasalan Yhteiskylän ideologiaan. Kaupallinen vaihtoehto voidaan siten saman tien unohtaa. Jäljelle jäävät tuulivoimalla toimivat ilmastimet. Ilmaa veteen toimittava ilmastin olisi kokonaisuutena tehokkaampi (olettaen, että talvi ei pysäytä sitä) vaikkakin sen käyntiinlähtökyky on selkeästi vettä syvältä nostavaa ilmastinta heikompi. Tehokkaammaksi ilmaa veteen toimittavan tekee se, että ilmastinkuppien veteen toimittava ilma on huomattavasti laajemmalla pinta-alalla kosketuksissa veden kanssa kuin ilmastimessa jossa ilmastus tapahtuu pelkästään pinnan kautta. Talvi tekee valinnan ongelmalliseksi, koska ilmaa veteen toimittavassa ilmastimessa on seuraavia huonoja puolia, jos se pysähtyy:

- Matopyörässä on hampaistus, joka voi mennä jumiin lumesta ja jäästä ilmastimen pysähtyessä.
- Ketju pyörii osittain vedessä, jolloin kovalla pakkasella ilmastimen pysähtyessä se kangistuu ja käyntiinlähtökyky heikkenee entisestään.
- Ilmastimen pysähtyessä kovalla pakkasella veden pinta jäätyy eivätkä kupit pysty rikkomaan jäätä.

Ensimmäiseen kohtaan ratkaisuna on rakentaa kehikolle seinät ja katto ohuesta levystä, jolloin ainakaan lumi ei pääse paakkuuntumaan hammaspyörien väliin. Tosin tässä ratkaisussa tuuli ottaisi enemmän ilmastinkehikkoon, jolloin sitä pitäisi tukea enemmän. Toiseen ja kolmanteen kohtaan ei ole ainakaan tällä hetkellä käytössä muuta ratkaisua kuin sähkömoottori. Sähkömoottorin ei tarvitsisi olla iso pyörittääkseen ilmastinta hiljakseen. Ongelmana vain on se, ettei Yhteiskylä halunnut sähköllä toimivaa ilmastinta. Lisäksi Yhteiskylä haluaa sen ilmastimen näistä kahdesta, joka pyörii mahdollisimman paljon tuulen nopeudesta riippumatta, siis vaikka talvi ei muodostaisi jäätymisongelmaa, eikä kummassakaan olisi sähkömoottoria, eikä ole merkitystä kumpi ilmastaa tehokkaammin. Onhan mahdollista, että vettä pintaan nostava ilmastinkin jäätyy laakereidensa kohdalta kiinni, mutta se on huomattavasti epätodennäköisempää kuin ilmaa veteen toimittavalla ilmastimella. Yllä olevan perusteella ehdotan, että Kangasalan Yhteiskylään rakennetaan vettä syvältä pintaan nostava ilmastin.

7 TÄYSIKOKOISEN ILMASTIMEN RAKENTAMINEN

Täysikokoisen ilmastimen rakentamisessa täytyy ottaa huomioon, että tässä tutkintotyössä on rakennettu vain pienoismalli. Ohjeet ilmastimen rakentamiseksi voivat näin ollen jossain määrin olla ristiriidassa käytännön kanssa. Parasta olisi ensin rakentaa prototyyppi, jota voisi parannella tarpeen mukaan. Esimerkiksi potkurin kokoa muuttamalla pystyy vaikuttamaan ilmastimen käyntiinlähtökykyyn. Tällöin pitää myös muistaa, että potkurin muuttaminen vaikuttaa myös veden pintaan nostamiseen. Prototyypin rakentamista ei voinut enää sisällyttää tähän tutkintotyöhön, mutta se olisi loistava tutkintotyö jollekin toiselle opiskelijalle. Varsinkin, jos Kangasalan Yhteiskylä haluaa antaa prototyypin valmistamisen jollekin muulle. Yhteiskylässä olisi valtava määrä tietotaitoa prototyypin valmistamiseen.

Kuten tuulen teoriassa todettiin (luku 2), mitä korkeammalle maan pinnasta nousee, sitä kovempi on tuulen nopeus. Tähänhän vaikutti maan pinnan karheus ja kitka. Roottoria ei kuitenkaan voida nostaa hirveän korkealle, koska tällöin lampeen sijoitettavasta rakennelmasta, lähinnä kehikosta, tulisi liian painava eikä se luultavasti olisi esteettisestikään mikään kaunistus. Myös rakennuskustannukset nousisivat ja rakentaminen sekä ilmastimen pystytys vaikeutuisi.

Ilmastimen toimintaperiaate selviää Jarmo Tanskasen tekemästä ehdotuksesta (LIITE 3). Ilmastimen rakentamisessa huomioon otettavia asioita ovat:

- Ilmastin tarvitsee ehdottomasti ilmastaakseen putken potkurin ja akselin ympärille.
- Akseli on laakeroitava S-roottorin lisäksi myös alemmaa, jotta akseli ei ala heijaamaan puolelta toiselle, eikä näin ollen riko rakenteita.
- Yksi pitkä akseli olisi vakain, mutta käytännössä vaikea toteuttaa.
- Potkurin vaihtamisella pystyy vaikuttamaan veden nostokykyyn, mutta pitää muistaa että se vaikuttaa myös roottorin toimintaan.

Haihdotusallas tulee ruopata muutaman vuoden välein. Ruoppaus eli vesistön pohjalle kertyneen pohjasedimentin poistaminen vähentää ravinnekiertoa veden ja sedimentin välillä sekä vähentää kasvillisuutta. Kasvillisuuden vähentäminen esimerkiksi edesauttaa ilmastimen potkurin vapaata pyörimistä vedessä. Yleensä kasvillisuuden poistamiseksi riittää 0,3 metrin syvyydeltä ruoppaaminen. /17/

7.1 Roottori

Savonius-roottori on helpointa rakentaa tyhjästä noin 200 litran tynnyristä. Sen saanee ilmaiseksi tai ainakin huokeaan hintaan esimerkiksi huoltoasemalta tai jostain tehtaasta. 200 litran tynnyrin korkeus on 110–120 senttimetriä ja halkaisija 48–46 senttimetriä. Läpisyöttörako kannattaa olla noin 25 prosenttia eli pituussuunnassa halkaistut tynnyrin puolikkaat tulevat vastakkain noin 18–19 senttimetrin matkalta. Tällöin pyyhkäisyypinta-alaa roottorille tulee noin 0,9 m². Pyöreät päätylevyt saavat olla 20–30 prosenttia roottoria leveämmät eli halkaisija 90–100 senttimetriä. Päätylevyt kannattaa olla alumiinista tai muovista, koska ne ovat materiaaleina kevyitä. Paksuutta sen verran, etteivät ne taivu tynnyrin painosta eli noin 3–5 millimetriä. Lopulliset dimensiot riippuvat hankitusta tynnyristä, mutta mainitut luvut antavat hieman käsitystä siitä, minkä kokoinen roottorista tulee. Tynnyrin puolikkaiden kiinnittäminen päätylevyihin kannattaa tehdä pulteilla, muttereilla ja aluslevyillä. Jos tynnyristä puuttuu jompikumpi kansi, on tynnyriin tehtävä korvakkeet kiinnitystä varten. Kiinnitys on tehtävä riittävän monesta kohtaa. Reiät on porattava myös akselia varten etukäteen. Akselina ruostumattomasta teräksestä oleva noin 20 mm halkaisijaltaan oleva kierretanko. Akselin kiinnitys roottoriin muttereilla sekä riittävän leveillä aluslevyillä. Laakerina käytettävä kuulalaakereita. Roottori kiinnitetään laakerista kehikkoon, mikä on laakeria hankittaessa muistettava. Roottoriin on rakennettava jonkinlainen jarru myrskytuulia varten. Esimerkiksi roottorin kovan pyörimisnopeuden aiheuttaman keskipakoisvoiman avulla aukeava jarru.

7.2 Kehikko

Kehikko rakennetaan samanlaisesta liimapuusta (65 x 38 mm) kuin pienoismallikin ja kehikon muoto on samanlainen (luku 5.2.1). Liimapuu on tunnettu hyvistä lujuusominaisuuksistaan. Vaakasuorina tukipuina kannattaa

käyttää myös liimapuuta heikompien listojen sijasta, ja tukipuita tulee laittaa hieman tiheämpään kuin pienoismallissa sekä myös ristikkäin. Korkeutta kehikolle kannattaa rakentaa noin puolitoista metriä, josta veden pinnan alapuolelle jää noin puoli metriä. Tällöin veden pinnan yläpuolella ilmastinta olisi näkyvissä noin 2 metriä. Rakentamisenkin pitäisi onnistua henkilövoimin ilman ylimääräisiä rakenteita. Leveyttä kehikolla alapäässä saa olla 1 metri ja yläpäässä 0,5 metriä.

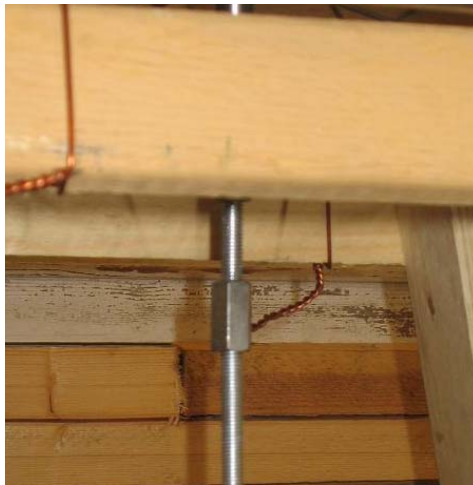
7.3 Kellumislaitteisto

Styroksi vettyy ajan mittaan, jolloin sen kantavuus pienenee. Styroksin tilalla kannattaa käyttää tyhjiä tynnyreitä. Tynnyreiden kantavuus tulee Arkhimedeen lain mukaan kuten styroksillakin (luku 5.1.3). Ilmastimen kellumista varten kehikon sivuille pitää kiinnittää aisat, joihin tynnyrit saadaan kiinnitettyä. Koska rakenteesta tulee suhteellisen korkea ja kapea, täytyy aisat ja tynnyrit laittaa myös poikkisuuntaisesti toisiin aisoihin nähden. Ilmastimen horisontaalinen painopiste tulee olemaan keskellä ilmastinta, jolloin aisat kiinnitetään niin, että ilmastimen keskikohta on aisojen keskikohdan tasalla. Jokaisen aisan pituudeksi kannattaa rakentaa noin 2 metriä ja tynnyreitä riittävästi ilmastimen paino huomioiden. Ilmastin kiinnitetään haihdutusaltaan syvimpään kohtaan neljällä köydellä, jotka kiinnitetään kehikkoon. Köydet voivat olla hieman löysällä jolloin ilmastin pääsee vähän liikkumaan haihdutusaltaassa.

7.4 Akseli ja potkuri

Akselina 20 mm kierretanko. Kokonaispituutta akselille tulee potkurin päästä roottorin yläpähän noin 3 metriä. Koska altaan vedenpinnan korkeus vaihtelee

vuodenaikojen mukaan, ei akselia kannata mitoittaa pohjaan asti veden ollessa korkeimmillaan. Kuten aikaisemmin todettiin (luku 3) hapetonta pohjavettä ei pidä nostaa ylös. Näin ollen paras vaihtoehto on rakentaa ilmastin nostamaan vettä noin metrin syvyydestä, jolloin veden korkeuden vaihtelu ei tuota ongelmaa. Vakain ratkaisu olisi käyttää ylhäältä alas yhtä akselia, mutta rakentaessa helpompi olisi käsitellä kahta akselia, joista toinen roottorille ja toinen roottorista potkuriin. Akselit voitaisiin yhdistää jatkomutterilla (kuva 35). Jatkomutterin käyttö hieman epävakauttaisi akselia, mutta molempien akselien alueella olevat laakerit vakauttavat akselin huojumisen.



Kuva 35. Akselit yhdistettyinä jatkomutterilla.

Potkuri voi olla joko itse tehty tai jostain muualta hankittu. Tärkeintä on, että potkuri pyöriessään nostaa vettä. Potkuri saa olla kohtuullisen iso, noin puoli metriä halkaisijaltaan. Potkurin kokoa säätämällä voidaan vaikuttaa veden nostoon sekä ilmastimen käyntiinlähtökykyyn. Mitä isompi potkuri on, sitä enemmän se nostaa vettä. Toisaalta taas roottorin käyntiinlähtökykyä voidaan alentaa pienentämällä potkurin kokoa. Paras koko potkurille selviää kokeilemalla prototyypillä eri potkurin kokoja. Yhtenä potkurina voi kokeilla 200 litran tynnyrin kantta joka on taivutettu kuvan 36 mukaisesti.



Kuva 36. Muotoiltu potkuri.

Potkurin voi itse valmistaa kuten kuvassa (kuva 36). Yllä olevan kuvan tapauksessa potkurin pyörimissuunta on myötäpäivään. Jos potkuri on taivutettu pellistä, ajan kuluessa vesi painaa potkurin ylös nostettuja siipiä alaspäin.

7.5 Putki

Putki pitää sijoittaa niin, että sen alareuna on noin 10 cm potkuria alempana, jotta potkuri imee putkeen vettä. Potkurin ei kannata olla isompi kuin 50 cm, jolloin putken sisähalkaisijan pitää olla noin 60 cm. Tällä potkurin ja putken seinämän välillä varaudutaan siihen, että ajan kuluessa akseli alkaa hieman heijata, jolloin potkurin liikerata kasvaa. Jos prototyypivaiheessa huomataan, että potkurin pitää olla reilusti pienempi, jotta haluttu käyntiinlähtökyky saavutetaan, tulee tällöin myös putken halkaisijaa pienentää. Yläpäästä putki pitää jättää 5–10 cm veden pinnan alapuolelle, että nouseva vesi pääsee putkesta pois pinnan läheisyydessä. Akselin alaosan laakeroinnin takia voi ilmetä ongelmia putken kiinnittämisen kanssa. Joka tapauksessa putki on välttämätön ilmastimen toiminnan kannalta, ja se on kiinnitettävä tukevasti kehikkoon.

8 PÄÄTELMÄT

Kangasalan Yhteiskylän haihdutusaltaan tapauksessa sopivimmaksi lampi-ilmastimeksi soveltui vettä syvältä pintaan nostava tuulivoimailmastin. Kuten edellä on todettu, heidän tapauksessaan haihdutusaltaasta poistuva vesi on jo kohtuullisen puhdasta alittaen helposti talousjätevesiasetuksessa määritetyt päästörajat. Näin ollen heille tärkeämpi kriteeri ilmastimelle oli laitteen jatkuva pyöriminen paikallisella tuulivoimalla kuin tehokas ilmastaminen heikommin käyntiin lähtevällä ilmastimella. Lähes koko ajan tuulen voimasta pyörivä ilmastin nostaa Yhteiskylän imagoa enemmän kuin heikommin käyntiin lähtevä ilmastin. Heikomman käyntiinlähtökyvyn ilmastin eli ilmaa veteen toimittava ilmastin, olisi tarvinnut avukseen pienen sähkömoottorin pyöriäkseen myös talvella. Yhteiskyläläiset ostavat tuulisähköä, joten olisihan sähkömoottorikin silloin toiminut tuulivoimalla, mutta sähkön käyttö ilmastimessa oli poissuljettu, koska ilmastustehokkuus ei ollut ilmastimen ensisijainen kriteeri.

Jossain matalahkossa lammessa, jossa ilmastus olisi oikeasti tarpeellista, ilmaa veteen toimittava ilmastin, johon olisi liitetty pieni sähkömoottori, olisi parempi. Syviin lampiin ilmastin ei sovellu, koska haluttaessa ilmastaa syvälle, hapetinosana toimivasta pyörästä tarvitsisi tehdä todella iso, jotta kupit ylettyisivät syvälle. Tällöin rakennelmasta roottori mukaan lukien tarvitsisi tehdä kohtuuttoman suuri. Mataliin lampiin, syvyys noin kaksi metriä, 200 litran tynnyristä valmistetulla roottorilla ja sähkömoottorilla varustettu ilmastin, olisi varmasti ekologisesti toimiva vaihtoehto. Tuulen heikentyessä niin paljon, että ilmastin pysähtyisi ja olisi ollut pysähdyksissä esimerkiksi viisi minuuttia sähkömoottori käynnistyisi. Sähkömoottori pyörittäisi ilmastinta hiljalleen ja sammuisi, kun tuuli yltyisi niin kovaksi, että roottorin pyörimisnopeus nousisi ennalta määritetyksi. Tähän laitteistoon tarvittaisiin hieman elektroniikkaa, mutta en usko sen nousevan esteeksi, jos joku haluaisi rakentaa yhdistetyn sähkö- ja tuulivoimailmastimen. Olisi loistavaa, jos joku opiskelija ottaisi tutkintotyökseen sähkötuulivoimailmastimen prototyypin rakentamisen. Tällöin nähtäisiin oikeassa mittakaavassa, onko alulle panemastani ilmastimesta

mihinkään ja mitä toimenpiteitä siinä kaiken kaikkiaan pitäisi tehdä, että se pyörisi myös talvella.

Oma työskentelyni tutkintotyön aikana ei ollut täydellistä. Osaltaan siihen vaikutti se, että en ollut aiemmin tehnyt yhtään lähellekään näin laajamittaista projektia, jolloin ei ollut kokemusta miten tietyissä ongelmatapauksissa pitäisi edetä. Sen kuitenkin opin, että ongelmathan ovat kuitenkin vain ylämäkiä ja yleensä ylämäkeä seuraa alamäki, joka tässä tapauksessa oli nautinnollisen tuloksekasta työskentelyä. Se, ettei Kangasalan Yhteiskylässä mitattu tuulta laisinkaan, oli virhe. Vaikka tutkintotyön aikataulun puitteissa ei kovin kattavaa tuulianalyysiä olisi voinut tehdä, olisi voinut kuitenkin verrata saatuja arvoja Tampere-Pirkkalan lentoasemalla samana aikana mitattuihin arvoihin. Tällöin olisi tiedetty voiko Tampere-Pirkkalan tuulituloksia käyttää suoraan. Kuitenkin olen edelleen sitä mieltä, että Yhteiskylän haihdutusaltaalla tuulee riittävästi, jotta ilmastimen saa siellä komeasti pyörimään. Myös, ettei tuulimittaria ollut käytettävissä tehtäessä ilmastimien koekäyttöjä, lisää työn epäluotettavuutta. Onneksi ero ilmastimien käyntiinlähtökyvyssä oli erittäin selkeä, jolloin käyntiinlähtökyvyn vertailun kannalta sillä ei ollut niin suurta merkitystä. Se harmittaa kuitenkin, ettei tiedetä tarkkaan, millä tuulen nopeudella ilmastimet lähtisivät käyntiin.

Tutkintotyön tekeminen opetti paljon. Oppiminen työskentelystä jonkin projektin kimpussa on tulevaisuuteni kannalta erityisen tärkeää, sillä luultavasti tulen vielä työskentelemään monessa eri projektissa työurallani. Tuulen teorian oppiminen, ja se miten helppoa loppujen lopuksi on rakentaa esimerkiksi tuuliroottori, kuten Savonius-roottori, oli erittäin mielenkiintoista.

LÄHTEET

Painetut lähteet

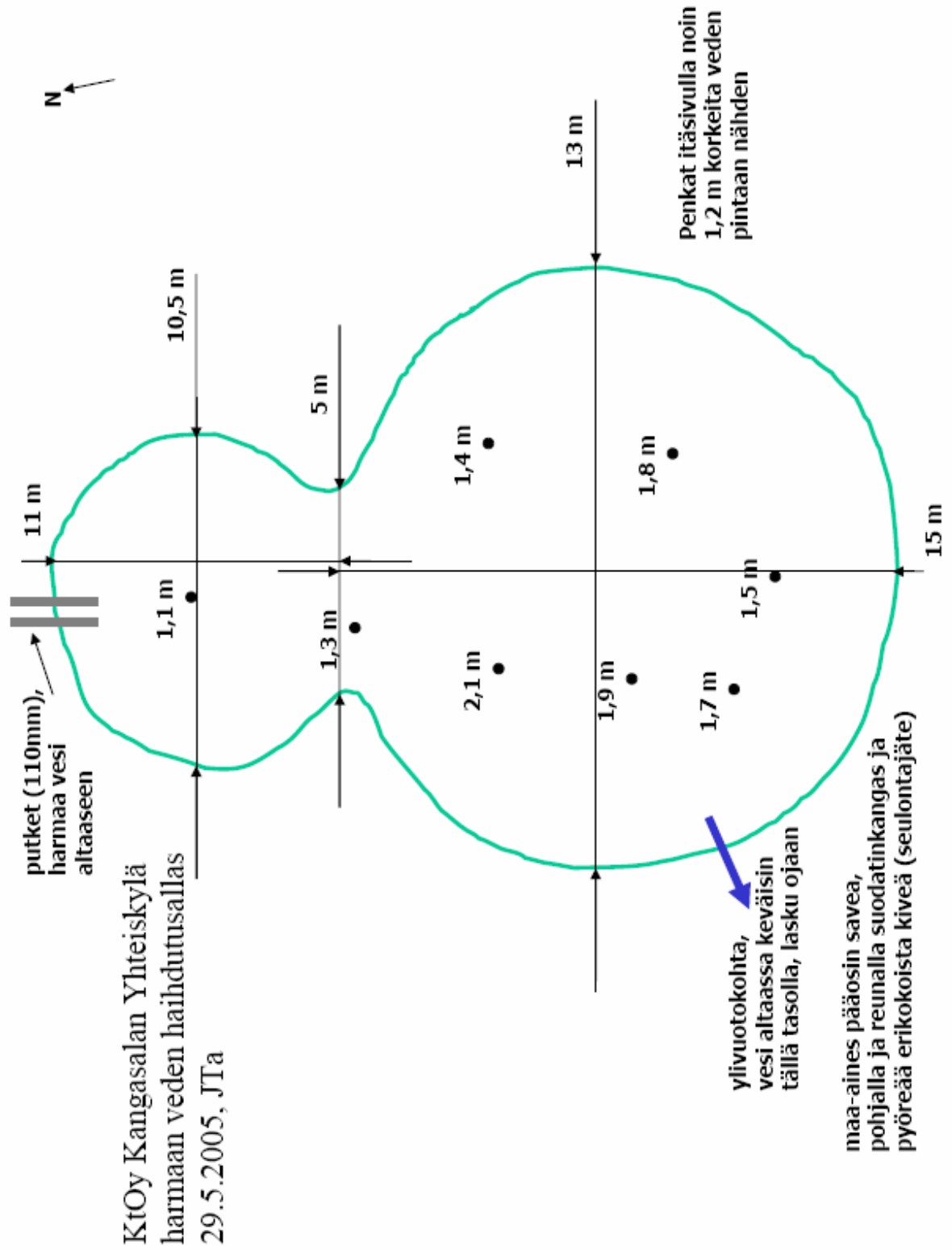
- 1 MAOL-taulukot. Kustannusosakeyhtiö Otava. Helsinki 1996. 157 sivua.
- 2 Pakkanen, Jari, Tuulienergian hyväksikäyttö ja sen fysikaaliset perusteet. Fysiikan Pro Gradu-työ. Jyväskylän yliopisto 1979. 81 sivua.
- 3 Scragg, Alan, Environmental Biotechnology. Longman. 1999. 249 sivua.
- 4 Tammelin Bengt, Suomen Tuuliatlas. Ilmatieteen laitos. Helsinki 1991. 355 sivua.
- 5 Tilastoja Suomen ilmastosta 1971–2000 = Climatological statistics of Finland 1971–2000. Ilmatieteen laitos. Helsinki 2002.
- 6 Valtioneuvoston asetus talousjätevesien käsittelystä vesihuoltolaitosten viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla 11.6.2003. 542/2003.

Painamattomat lähteet

- 7 Antton, Keto, tutkija. Puhelinkeskustelu 6.6.2005. Suomen ympäristökeskus.
- 8 Dyer, Marjukka, Yliopettaja. P5226 Biotekniikka ja ympäristö -kurssi. Luentomuistiinpanot 2005. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- 9 Meisalmi, Tapio, suunnitteluinsinööri. Puhelinkeskustelu 3.6.2005. Pirkanmaan ympäristökeskus.
- 10 Tanskanen, Jarmo, RE: Tuulivoimailmastimen malli. [sähköpostiviesti]. 11.8.2005.

Sähköiset lähteet

- 11 American Wind Energy Association. [www-sivu]. FAQ: Basic Information on Vertical Axis Wind Turbines. [viitattu 17.9.2005] Saatavissa: <http://www.awea.org/faq/vawt.html>
- 12 Danish Wind Industry Association. [www-sivu]. Wind Turbines: Horizontal or Vertical Axis Machines?. [viitattu 17.9.2005] Saatavissa: <http://www.windpower.org/en/tour/design/horver.htm>
- 13 Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. [www-sivu]. Järvien happitilanne heikkenee. [viitattu 23.9.2005] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/print.asp?contentid=59511&clan=FI>
- 14 Kangasalan yhteiskylä. [www-sivu]. [viitattu 25.8.2005] Saatavissa: <http://sun.info.tpo.fi/~abceko/index.htm>
- 15 Lounais-Suomen ympäristökeskus. [www-sivu]. Jätevesien käsittely haja-asutusalueella. [viitattu 25.8.2005] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=25599&lan=fi>
- 16 Solis projekti. [www-sivu]. Tuulivoimavesipumppu demonstraatio. [viitattu 16.9.2005] Saatavissa: <http://solis.wwnet.fi/koulutus/tuulivoimavesipumppu/>
- 17 Suomen ympäristökeskus. [www-sivu]. Monitavoitteiset kunnostusmenetelmät. [viitattu 16.9.2005] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=32240&lan=fi>
- 18 Tiusanen, Johannes, Salaojakastelu tuulivoimalla. Pro Gradu tutkielma. Helsingin yliopisto 2002. Maa- ja kotitalousteknologian laitos. [www-sivu]. [viitattu 17.9.2005] Saatavissa: <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/maaja/pg/tiusanen/salaojak.pdf>
- 19 Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. [www-sivu]. [viitattu 25.8.2005] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/>
- 20 Waterix Oy. [www-sivu]. [viitattu 29.9.2005] Saatavissa: <http://www.waterix.com>



Tomi Martikainen
Tampereen ammattikorkeakoulu
Tutkintotyö
S-posti: petomar@tpu.fi
Puh. 044 515 8019

KUSTANNUSARVIO

20.05.2005

Kiinteistö Oy Kangasalan yhteiskylä
Hallitus

KUSTANNUSARVIO GREEN PACKIN UUDISTAMISEKSI

Liitteenä on Teemu Pakkalan tämän hetken versio puhdistuslaitteistosta (Liite 1). Lopullinen suunnitelma voi sisältää kiinnikkeiden yms. paikkoja, mutta ainakin toimintaperiaate on tässä versiossa pysyvää. Rakentaminen tapahtuisi Teemun suunnitelman pohjalta ja pääasiallisesti käytettävä materiaali on ruostumaton teräs. Kierrätysmateriaalin, muun kuin romuraudan, käyttäminen on hankalaa. Kylässä olevaa aaltopeltiä ei voida hyödyntää laatikon pohjana, koska pohjan täytyy olla tasainen ja vahva. Aaltopelti ei tulisi kestäväksi eikä sen aaltomaisuus toimisi. Kehikon täytyy olla tukeva, jotta rakennelma pysyy ehjänä.

Arviossa on käytetty pohja- ja kansilevyille sekä laatikon seinämille 2 mm vahvuutta ja laatikon sisällä oleville kaistoille 1,5 mm vahvuutta. Hinta-arvio romurautana ostetulle ruostumattomalle teräkselle:

- Ruostumaton teräs maksaa 3 euroa/kilo
- Kehikossa käytettävien teräsputkien metripainon puuttuminen aiheuttaa vaihteluvälin hintoihin. Oletan metripainon olevan 2-3 kiloa/metri.
- Laitteiston paino 175-205 kiloa riippuen teräsputkista
- Teräs maksaa 525-615 euroa riippuen teräsputkista
- Teräsputkia tarvitaan vähintään 28 metriä

Hintaan tulisi ainakin vielä:

- Suodatusmateriaali, josta Biolan vaatii vähintään 80 euroa/huoltoväli. Suodatusmateriaalin tarkka määrä ei ole tiedossa
- Saranoita vähintään kaksi kappaletta
- Tiivisteitä
- Teräsverkkoa karkeasuodattimeen (mahdollisesti tarpeeton)
- Vähintään 40 cm putkea

Tässä vaiheessa hintaa on vähintään 600 euroa luultavasti yli 700 euroa.

Lisäksi tarvitaan nostolaitteisto (vinssi, kolmijalka) sekä tilan lämpöeristäminen sillä jäätyessään suodatusmateriaali ei toimi.

Vaihtoehto ruostumattomalle teräkselle

Laatikon voisi ehkä rakentaa muovista, jolloin siitä tulisi huomattavasti kevyempi. Kehikossa on joka tapauksessa käytettävä teräsputkista tehtyä kehikkoa tukevan rakennelman varmistamiseksi. Laatikko valmistettaisiin määrämittaan leikatusta muovista ja hinta tulisi

olemaan samassa suuruusluokassa (TKA Yhtymän ilmoittamalla hinta-arviolla). Painoa tulisi 95-125 kiloa joka on melkein puolet vähemmän kuin kokonaan teräksestä valmistetulla. Ei ole vielä varmuutta mikä muovi sopisi parhaiten. Hinta-arvio on tehty polyeteenillä.

LAITTEISTON HUOLTO

Laitteisto vaatisi suodatusmateriaalin vaihdon vähintään kerran vuodessa. Huoltoa varten laitteisto on nostettava ylös. Suodatusmateriaalin ollessa märkää laitteiston paino on joitain kymmeniä kiloja enemmän. Biolan lupaa kesämökkikäytössä omalle laitteelleen samalla suodatusmateriaalilla 100 vuorokauden toimimisen, joten voi olla, että suodatusmateriaali tarvitsisi vaihtaa kolme kertaa vuodessa. Joka kerta hintaa vähintään 80 euroa. Koska teillä on jätevesi puhtaampaa kuin suurella osalla kaupallisen version käyttäjistä, vaihtamista ei tarvitse tehdä ihan niin usein kuin kaupallisessa versiossa.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Uusien harmaavesisuodattimien rakentaminen tulisi kalliiksi, ja näyttää siltä, ettei niiden toimivuudesta ole takeita. Tuleva vesi on jo kohtuullisen puhdasta, jolloin se ei sisällä paljoa ravinteita. Tästä johtuen on mahdollista, että puhdistusta tekevät mikrobit eivät saa vedestä tarpeeksi ravinteita vaan alkavat syödä suodatusmateriaalia. Ravinteiden riittämättömyyttä tukee Tamkin viime syksynä tekemät mittaukset jotka osoittavat Green Packeilta lähtevän veden sisältävän enemmän typpeä kuin sinne saapuva. Joku toinen suodatusmateriaali voisi toimia paremmin, mutta luultavasti lopputulos olisi samanlainen. Taulukossa 1 ovat keskimääräiset mittaustulokset viime syksyltä.

Taulukko 1. TAMK:ssa tehtyjen mittausten tulokset.

	Fosfori (P) mg/l	Typpi (N) mg/l
GreenPackiin tuleva (sakokaivojen jälkeen)	2,3	13
GreenPackista lähtevä	1,9	14,5
Lampi	1,54	7,8

1.1.2004 voimaan tulleen valtioneuvoston asetuksen mukaan talousjätevesien enimmäispäästöt saavat olla fosforilla 0,33 grammaa/asukas/vuorokausi ja typellä 8,4 grammaa/asukas/vuorokausi. Lammesta otettujen mittausten mukaan saisitte tuottaa jätevettä (eli käyttää puhdasta vettä) vuorokaudessa 214 litraa/asukas pysyäkseen enimmäispäästöjen alapuolella. Kylässänne ymmärtääkseni käytetään vettä noin 50 litraa/asukas/vuorokausi, jolloin enimmäispäästöraja on erittäin kaukana jo tämän hetken laitteistollanne.

EHDOTUKSET

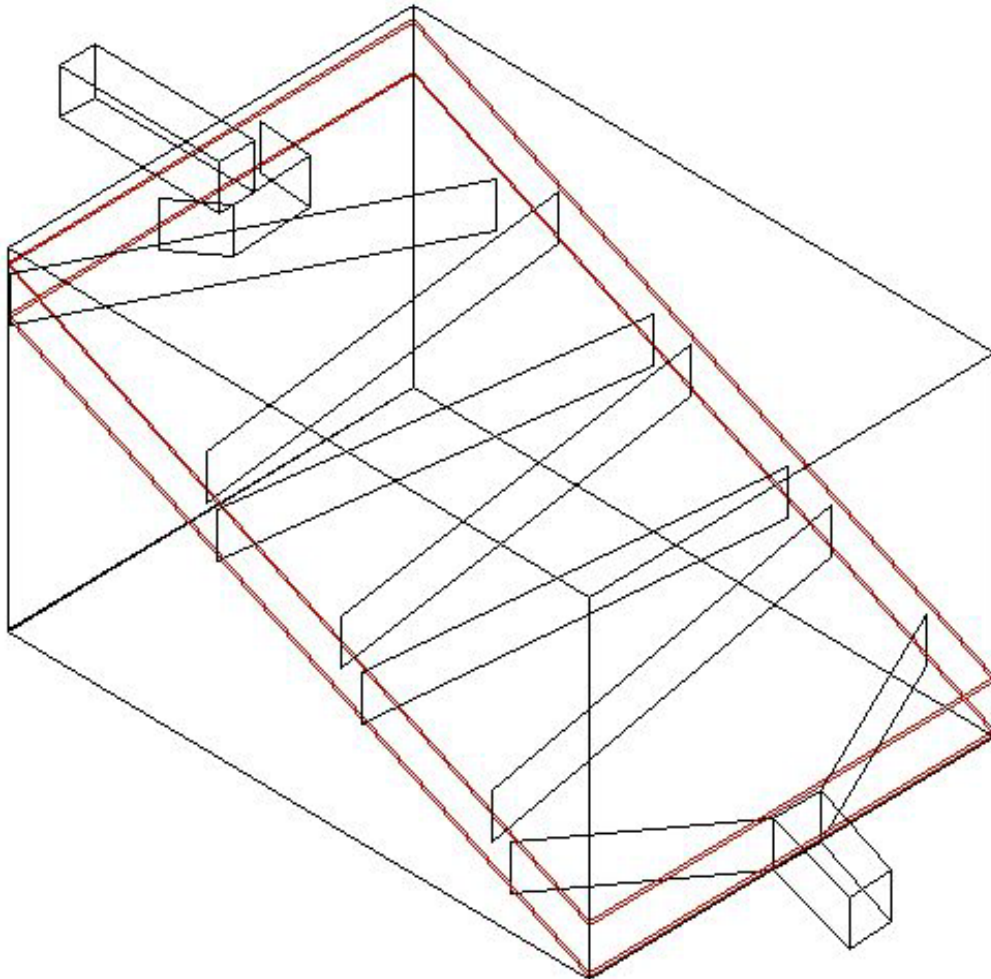
Mielestäni uuden laitteiston rakentaminen GreenPackien tilalle on resurssien ja materiaalin tuhlausta. Luultavasti uudella laitteistolla ei olisi vaikutusta jäteveden puhtauteen. Jos haluarne parantaa jätevetenne laatua, kannattaisi keskittyä haihdutusaltaaseen eli lampeen. Lammen ilmastaminen ei ainakaan heikentäisi veden laatua. Suurissa puhdistamoissa käytetään ilmastusta, koska sen on todettu auttavan puhdistusprosessia. Miksi ei ilmastus parantaisi myös lammen puhdistusprosessia? Tutustumiskäynnillä 10.5.2005 oli puhetta tuulivoimalla toimivan ilmastimen käyttämisessä lammessanne. Voisin suunnitella laitteen joka toimisi tuulivoimalla, mutta siinä olisi myös mahdollisuus käyttää sähköä energian lähteenä. Kylässänne käytetään tuulisähköä, jolloin sähkölläkin pyörivä ilmastin olisi tuulivoimalla toimiva. Sähköllä toimiva ilmastin pitäisi ainakin osan lampea sulana myös talvella. Rakentamisvaiheeseen asti tutkintotyön laajuus ei ehkä riitä, mutta ainakin esimerkiksi tiskialtaassa toimivan mallin tekisin.

Tulevana syksynä oli tarkoituksena jonkun tehdä tutkintotyö liittyen uuden laitteiston toiminnan seuraamiseen. Voisihan tuon tutkintotyön tehdä myös ilmastuksen toiminnan seuraamisena tai mahdollisesti ilmastinlaitteiston rakentamisena.

Päätöstänne innokkaana odottaen,

Tomi Martikainen

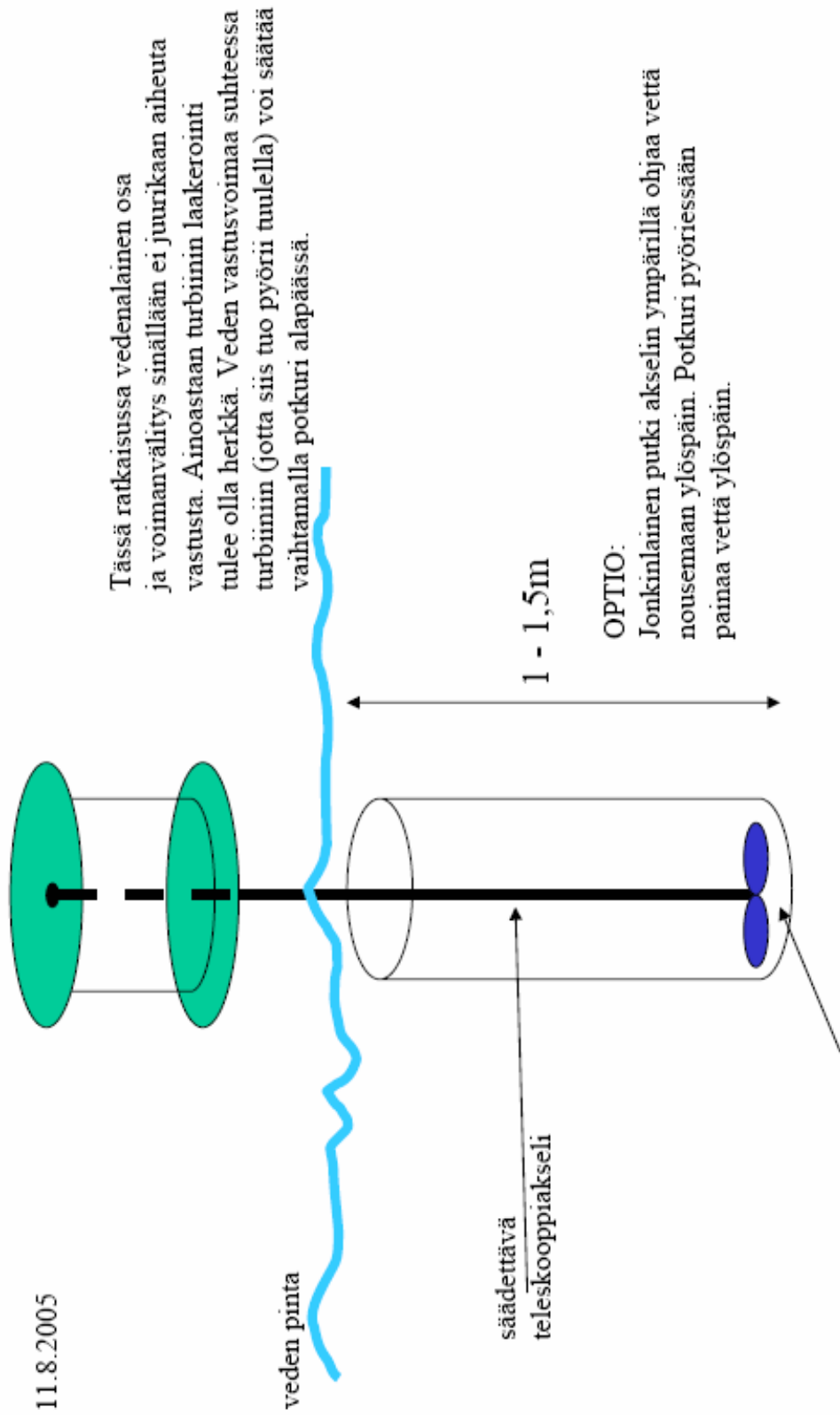
LIITE 1



PERIAATEKUVA:

Mittasuhteet eivät siis ole piirroksessa
kohdallaan

JTa, 11.8.2005



potkurin (vaihdettava) kiinnitys ruostumaton pultti tms.