

Juho Danska

Lumikuilun elinkaarikustannukset

Tekijä Otsikko	Juho Danska Lumikuilun elinkaarikustannukset
Sivumäärä Aika	48 sivua + 10 liitettä 20.4.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennustuotantotekniikka
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Mika Lindholm Projektipäällikkö Matti Kokko Osastopäällikkö Matti Kalliomäki
<p>Lumikuilun elinkaarikustannuksista tehtiin opinnäytetyö Helsingin kaupungin rakennusviraston tilauksesta. Lumikuilusta tehtiin Saanio & Riekkola Oy:lle vuonna 2011 projektityö, jota suunniteltiin jo vuoden 2010 syksyllä. Saanio & Riekkola Oy on yksityinen ja riippumaton insinööritoimisto, jonka erityisosaamiset ovat kalliotilojen suunnittelu ja ydinjätteen loppusijoitustekniikka.</p> <p>Lumikuilu on maan alle sijoitettava lumen sulatukseen tarkoitettu lumen vastaanottoaika, jonka reunaehtoina ovat lumen sulattaminen ekologisesti ja lumikuilun sijoittaminen Helsingin alueelle. Lumen sulatusmenetelmäksi valittiin puhdistettu jätevesi monien muiden sulatusmenetelmien joukosta. Lumikuilun elinkaareksi suunniteltiin 50 vuotta. Lumikuilu rakennettaisiin noin 20 metriä maan pinnan alle, jossa sulatushallista olisi kuiluyhteys maan päälle. Sulatushallin toiminnan kannalta halliin louhittaisiin huoltotunneli, jonka kautta huolto- ja ylläpitotoimenpiteet suoritettaisiin. Lunta pudotettiin kuilun kautta sulatushalliin, jossa se sulaisi ja josta se pumpattaisiin puhdistetun jäteveden purkutunneliin.</p> <p>Lumikuilun elinkaarikustannuksia tutkittiin tekemällä rakennuskustannuksista määrälaskentataulukko ja kokoamalla yhteen kaikki huolto- ja ylläpitokustannukset. Huoltokustannusten määrittämiseen käytettiin osakseen Helsingin kaupungin rakennusviraston välittämiä tietoja hiekan ja roskan määristä sekä tietoa edellisvuosien Helsingin alueella toimivista lumen vastaanottoaikoista.</p> <p>Lumikuilun elinkaarikustannukset käsiteltiin nykyarvomenetelmällä, jossa kaikki tulevaisuuden kustannukset diskontattiin nykyarvoon. Tuloksena syntyi kokonaiskustannus lumikuilulle koko elinkaaren ajalta. Lumikuilun kalliolaadulle tehtiin lisäksi herkkyystarkastelu, jonka tarkoituksena oli osoittaa kalliolaadun muutosten vaikutuksia rakentamiskustannuksiin. Lumikuilun käyttökustannukset jätettiin nykyarvomenettelyn ulkopuolelle niiden arvaamattomuuden takia, joten niitä käsiteltiin erillisessä luvussa tutkielman lopussa.</p>	
Avainsanat	Lumikuilu, elinkaari, kustannukset, kalliorakentaminen

Author Title	Juho Danska Lifecycle Costs of a Snow Melting System
Number of Pages Date	48 pages + 10 appendices 20 th April 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Construction and Site Management
Instructor(s)	Mika Lindholm, Principal Lecturer Matti Kokko, Project Manager Matti Kalliomäki, Department Manager
<p>This Bachelor's degree explored the lifecycle costs incurred by a snow melting system. The study was done for Helsinki City Public Works Department. In 2011 a project work was made about the snow melting system for Saanio & Riekkola Oy. Originally the planning for the project had already begun in Autumn 2010. Saanio & Riekkola Oy is a private and independent engineering office. The company specializes in the design of underground construction projects and technology for the disposal of radioactive waste.</p> <p>Snow melting system is an underground snow melting facility. The boundary conditions were ecological snow melting and that the facility should be located within the Helsinki City region. For the melting process, purified waste water was chosen from many other possibilities. The planned lifecycle for the snow melting system is 50 years. The facility would be built approximately 20 meters underground and there would be an access to the surface. A maintenance tunnel would be quarried to the melting hall, where all the maintenance and upkeep procedures would be carried out. Snow would be dropped through the melting hall access. The melting waters would be pumped out to the purified waste water tunnel.</p> <p>The lifecycle costs of a snow melting system were studied by recording the construction costs in quantity calculation tables and gathering all the maintenance and upkeep costs together. Studies conducted by the Helsinki City Public Works Department of the current snow dump locations were partially used for the quantification of the maintenance and upkeep costs.</p> <p>The expenses of the snow melting system were treated with current value method, which shows the current value of the future values. As a result, the total cost of the lifecycle for the snow melting system was acquired. A vulnerability simulation was made to the snow melting system's rock quality, which shows the effects on the construction costs depending on the rock quality. The operation costs of the snow melting system were excluded from the current value method calculations because of their unpredictability and volatile nature. The operation costs are dealt with in a separate paragraph at the end of this study.</p>	
Keywords	Snow melting system, lifecycle, expenses, rock construction

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Lumensulatus maailmalla ja Helsingissä	2
2.1	Lumen sulatuksen tarve	2
2.2	Lumen sulatus maailmalla	2
2.3	Lumenvastaanotto Helsingissä	4
3	Lumikuilu	7
3.1	Lumikuilu, rakenne ja sulatusprosessi	7
3.2	Huoltotunneli	8
3.3	Tekninen tila	9
3.4	Kuilu	10
3.5	Sulatushalli	11
4	Elinkaarikustannukset	12
4.1	Elinkaari	12
4.2	Elinkaarikustannukset	12
5	Lumikuilun elinkaarikustannukset – Case-tarkastelu	18
5.1	Esimerkkilaskelman reunaehdot ja oletukset	18
5.2	Elinkaarikustannusten tulokset	19
5.3	Rakentamiskustannukset	22
5.3.1	Louhinta	23
5.3.2	Lumikuilun kalliolaadun vaikutukset rakennus- ja elinkaarikustannuksiin	25
5.3.3	Esi-injektointi	27
5.3.4	Lujitus	28
5.3.5	Varustus	29
5.4	Lumikuilun huoltokustannukset	31
5.4.1	Huoltokatkot	31
5.4.2	Hiekan poisto	31
5.4.3	Roskan poisto	32
5.4.4	Öljyn ja bensiinin poisto	33
5.4.5	Sulatushallin tyhjentäminen vedestä	33
5.5	Lumikuilun ylläpitokustannukset	34
5.5.1	Uudelleenlujitus	34
5.5.2	Ovi- ja seinärakenteiden uusiminen	34

5.5.3	Sähköistyksen uusiminen	35
5.5.4	Pumppujen huolto	35
5.5.4	Johtopäätökset esimerkkilaskelmista	37
6	Lumikuilun käyttökustannukset	39
6.1	Lumen kuljetuskustannukset	40
6.2	Lumensulatuksen valvonta	40
6.3	Lumen sulatusmäärä	40
6.4	Johtopäätökset käyttökustannuksista	41
7	Yhteenveto	43
	Lähteet	44
	Liitteet	48

Käsiteluettelo

Annuiteettitekijä

Annuiteettitekijän avulla voidaan laskea, tiedossa olevien kustannusten elinkaaren aikana muodostamat vuotuiset kustannukset.

Diskonttaus

Diskonttauksella tarkoitetaan tulevan rahavirran nykyarvon laskemista.

Diskonttaustekijä

Diskonttaustekijän avulla voidaan laskea, mikä on sellaisen euron nykyarvo, joka saadaan valitun ajanjakson kuluttua valitun korkokannan mukaan arvostettuna.

Elinkaari

Elinkaari on tuotteen tai rakenteen valmistamisesta ja käyttöönotosta poistoon kuuluva ajanjakso.

Elinkaarikustannus

Elinkaarikustannuksilla tarkoitetaan kaikkia niitä kustannuksia, joita kohteelle syntyy tai oletusten mukaan syntyy kohteen elinkaaren aikana.

Esi-injektointi ja injektointi

Injektoinnilla tarkoitetaan täyteaineen pumppaamista paineella kalliossa oleviin rakoihin. Injektoinnin tarkoituksena on estää veden pääsyä maanalaisiin tunneleihin ja tiloihin. Esi-injektointi suoritetaan ennen kallion louhintaa ja injektointi tarpeen vaatiessa vasta louhinnan jälkeen.

Hukkaenergia

Hukkaenergialla tarkoitetaan hyödyntämättä jäänyttä energiamuotoa, joka voidaan valjastaa hyötykäyttöön. Kyseessä olevia energiamuotoja ovat esimerkiksi puhdistetun jäteveden lämpöenergia ja kaukojäähdytys.

Kustannusten originaaliarvo

Kustannusten originaaliarvolla tarkoitetaan elinkaaren aikana syntyneiden laskennassa käytettyjen kustannusten alkuperäistä muokkaamatonta arvoa.

Määrälaskenta

Määrälaskennalla tarkoitetaan rakennelman toteuttamiseen käytettävien tarvikkeiden määrällistä laskentaa. Määrälaskentaan otetaan huomioon tarvittavat kalusteet, työkoneet, työntekijät ja rakennusmateriaalit.

Nykyarvo

Nykyarvo kuvaa rahan tämän päivän arvoa. Rahan arvo muuttuu joka päivä liikuttaessa menneisyyteen tai tulevaisuuteen.

Paineseinä

Paineseinällä tarkoitetaan tilojen väliin asennettavaa painetta kestäväää rakennetta, joka estää paineen muutosten siirtymistä toiseen tilaan. Yleensä paineseinä toimii vain toiseen suuntaan, joten asennus on tehtävä harkiten.

Pitoaika

Pitoajalla tarkoitetaan investointiajanjaksoa eli aikaa, jona investointia käytetään.

Rusnaus

Rusnauksella tarkoitetaan louhinnan yhteydessä tapahtuvaa irtonaisen kiviaineksen poistoa louhitulta pinnalta ennen lujituksen asennusta.

Ryöstö

Ryöstöllä tarkoitetaan louhinnan yhteydessä tapahtuvaa ylilouhintaa, joka korostuu heikossa kalliolaadussa.

Täkkäysmatto

Täkkäysmatolla tarkoitetaan rakennustyömailla esimerkiksi louhinnan yhteydessä käytettävää paineentasausmattoa. Matoilla peitetään louhittava pinta siten, että matto estää louhinnasta irtoavan kiviaineksen sekä lohcareiden leviämisen.

1 Johdanto

Keväällä 2011 tehty projektityö herätti mielenkiintoa uudentyyppistä lumen vastaanottoa paikkaa, lumikuilua kohtaan. Helsingin kaupungin rakennusvirasto tilasi opinnäytetyön, joka tutkisi lumikuilun elinkaarikustannuksia. Opinnäytetyö tutki lumikuilun elinkaarikustannuksia sen rakennus-, huolto-, ylläpito- ja käyttökustannusten osalta. Tavoitteena on saada mahdollisimman laaja ja kattava kuva lumikuilun elinkaarikustannuksista.

Elinkaarikustannusten laskemiseksi lumikuilun lumen sulatusmenetelmäksi valittiin puhdistettu jätevesi, joka osoittautui tehokkaimmaksi sulatusvaihtoehdoksi jo projektityövaiheessa. Projektityön tutkimuksissa käy ilmi, että puhdistettu jätevesi on suuren määränsä ja käyttämättömyytensä takia oivallinen lumensulattaja.

Opinnäytetyö toteutetaan laskemalla kaikki lumikuilun elinkaarikustannukset omina osina. Työ aloitetaan hahmottelemalla lumikuilun rakennusvaiheiden sisällyttämistä yksittäisistä työvaiheista syntyviä kustannuksia. Seuraavaksi arvioitiin kaikkien lumikuilun huoltoon ja ylläpitoon vaadittavien toimenpiteiden kustannuksia, joiden avulla määritetään kokonaiskustannukset huolto- ja ylläpitotoimenpiteille. Lopuksi määritellään lumikuilun käytöstä mahdollisesti aiheutuvia kustannuksia. Kaikki edellä mainitut tulokset yhdistetään ja niistä tehdään koontitaulukko. Tuloksista johdetaan elinkaaren ajalle yksi mahdollinen elinkaarikustannusten skenaario, jota analysoimalla ja pohtimalla todetaan tutkimuksen johtopäätökset.

Opinnäytetyön aikana konsultoitiin useita eri alojen asiantuntijoita. Tarkoituksena oli varmistaa riittävä laajuus ja laatu lumikuilun elinkaarikustannusten määrittämiselle.

2 Lumen sulatus maailmalla ja Helsingissä

2.1 Lumen sulatuksen tarve

Lumen sulatuksen tarve on runsasta suurissa kaupungeissa, joissa lumen kasautumiselle ei löydy riittäviä alueita. Ongelmaksi nousee tiealueiden avaruuden hidastuminen ja lumen kuljetusmatkojen pidentyminen. Lumen vastaanottoaikojen täytyessä avataan varavastaanottoaikoja, joiden sijainti ja koko ovat usein ongelmallisia. Lumen sulatukseen tulisi kehittää menetelmä, joka toisi helpotusta lumen kuljettajille, auraajille sekä erityisesti kaupungin asukkaille.

Lumen sulatusmenetelmiä on kehitetty maailmalla runsaasti. Jokaisella menetelmällä on hyviä ja huonoja puolia, joista tehokkuuden ja ekologisuuden yhteen saattaminen on ollut ongelmana jo useita vuosia. Usein kaikkein tehokkaimmat menetelmät ovat myös vähiten ympäristöystävällisiä, joten ekologisuutta parantamalla tehokkuus heikkenee. Ekologisuuden kannalta olisi suotavaa, että lumen sulatukseen käytettäisiin uusiutuvaa tai hukkaenergiaa, joka ei kuormittaisi luontoa.

2.2 Lumen sulatus maailmalla

Maailmalla lunta on yritetty valjastaa hyötykäyttöön ja muutamissa tapauksissa siinä on onnistuttu loistavasti. Lumen varastointi vaatii usein suuria alueita ja alueiden löytäminen kaupunkialueelta on hankalaa, jos ei lähes mahdotonta. Lumen kylmäenergian hyötykäyttö on myös ongelmallista talvella, jolloin kylmäenergian tarve on kesäistä huomattavasti pienempi.

Kiinassa Harbinin kaupunki aikoo rakentaa lumensulatuhuoneen, jossa kaksi höyrykattilaa sulattaa lunta. Sulatusmenetelmä ei ole ekologisimmasta päästä, koska höyrykattiloiden lämmitys tapahtuu kivihieillä. Kattiloiden sulatuskapasiteetti päivässä olisi noin 180 m³.¹

¹ Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumenvastaanottoaikojen raporttiluonnos. s.78

Gaz Métropolitain yritys Montrealissa Kanadassa tarjoaa maakaasulla lämmitettäviä lumensulatuslaitteita erityisesti helpottamaan kaupunkien lumiongelmaa. Sulatus tapahtuu maakaasulla, joka palaa rikittömänä puhtaammin kuin kivihiili kylmissä olosuhteissa.²

Maailmalla on myös laitteita, joilla helpotetaan kaupunkien toivottomia lumitilanteita. Kuvassa 1 on amerikkalainen yritys Thermal-Solution Inc., joka valmistaa Buffalo Snow Melter -nimisiä lumensulatusasemia. Asema toimii maakaasulla vastaavasti kuten edellä mainittu Gaz Métropolitain sulatusallas.³



Kuva 1. Liikutettava lumensulatusasema.⁴

Quebecin kaupungissa on käytössä lumensulatuslaitos, joka kerää lumen sulattamiseen aurinko- ja geotermistä energiaa. Laitoksen kapasiteetti on noin 60 000 m³ lunta vuodessa.⁵

Ruotsin Sundsvallissa sairaalaa jäähdytetään kesäisin maalle kerätyn lumikinoksen avulla. Lumikinokseen peitetään kevään tullen sahanpurulla ja se takaa sairaalalle pitkäaikaisen jäähdytyksen lähteen.⁶

² Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumen vastaanottoaikkojen raporttiluonnos. s.87

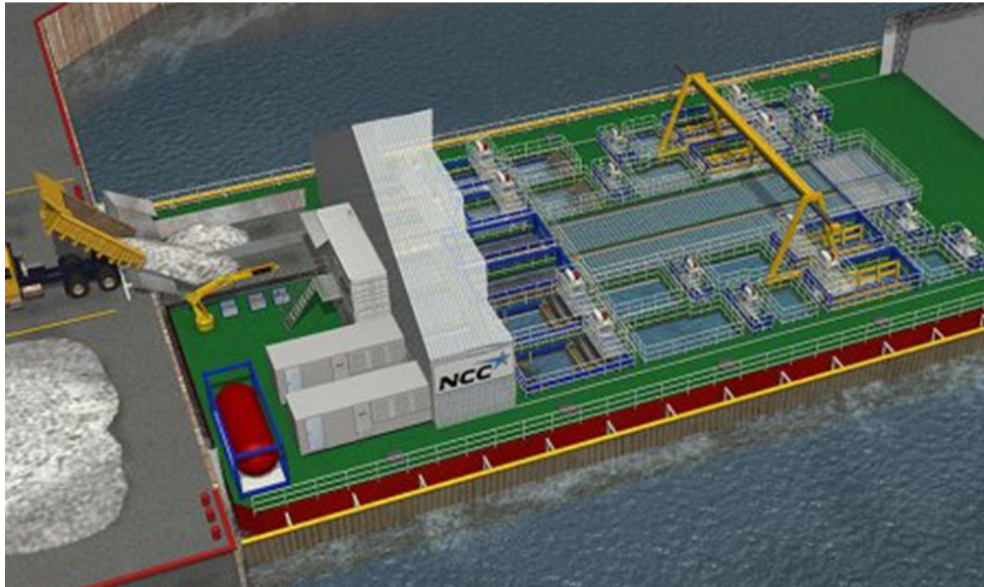
³ Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumen vastaanottoaikkojen raporttiluonnos. s.79 – 81

⁴ Snowdragonmelters. 2012. Verkkodokumentti. Luettu 28.3.2012.

⁵ Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumenvastaanottoaikkojen raporttiluonnos. s.79

⁶ Rakennuslehti. 2012. Lumi kylmentää ruotsalaissairaalaa kesällä. Verkkodokumentti. Luettu 28.3.2012.

Norjan Oslossa vuoden 2012 alusta lumi on kuljetettu satamassa kuvan 2 näköisiin proomuihin. Lumi sulatetaan ja siitä erotetaan kaikki roskat. Prosessin lopussa sulamisvesi käytetään mikrofilttereiden läpi, ennen kuin vesi lasketaan mereen. Prosessin tarkoituksena on vähentää kuljetuksesta aiheutuvia päästöjä ja kustannuksia.⁷



Kuva 2. Norjaan suunniteltu lumensulatusproomu.⁸

2.3 Lumenvastaanotto Helsingissä

Helsingissä lumesta on tullut talvisin kaupungille varsinainen ongelma. Talvena 2009 – 2010 Helsingin seudulla lunta aurattiin yli 3 000 000 m³. Lunta on tullut ennätysmääriä jo kolmen talven aikana, viimeksi lunta on aurattu yhtä paljon Helsingin alueella talvena 1990 – 1991. Tuolloin lunta aurattiin noin 6 000 000 m³.⁹

Suomessa lunta on käsitelty usealla eri tavalla, tavallisesta maavastaanotto paikalle kasaamisesta aina lumen sulattamiseen merivedellä ja puhdistetulla jätevedel-

⁷ Rakennuslehti. 2012. Oslo ei tarvitse lumenkaatopaikkoja. Verkkodokumentti. Luettu 28.3.2012

⁸ YLE. Norjaan suunniteltu lumensulatusproomu. 2012. Verkkodokumentti. Luettu 28.3.2012

⁹ Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumen vastaanotto paikkojen raportti-luonnos. s.10

lä. Helsingin alueella toimii kahdeksan lumen vastaanottoaikkaa, joista yksi on merivastaanottoaikka, kaksi on lumen sulatusaltaita ja loput viisi ovat lumen maavastaanottoaikoja. Lisäksi Helsingin alueella toimii lukuisia varavastaanottoaikoja, joita avataan vuosittain lumetilanteen mukaan.

Hernesaaren lumen merivastaanottoaikka on erittäin tehokas, mutta se ei ole ekologinen ja kustannukset kohoavat korkealle. Aurattua ja kuormattua lunta kaadetaan laiturin päästä suoraan mereen, jossa hinaaja sekoittaa vettä estäen meren jäätyksen umpeen. Helsingin Kyläsaarella (kuva3) ja Viikissä sijaitsevat lumen sulatusaltat, joissa Kyläsaarella käytetään lumen sulatukseen merivettä ja Viikissä puhdistettua jätevettä. Molempien vastaanottoaikkojen haittana ovat odottamattomat käyttökatkokset ja yksinkertaisesti se, ettei kumpaakaan vastaanottoaikkaa ole suunniteltu alkuperäisesti lumen vastaanottoaikaksi.¹⁰



Kuva 3. Kyläsaaren lumen vastaanottoaikka 3.2.2011.¹¹

¹⁰ Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumen vastaanottoaikkojen raporttiluonnos. s.17 ja 24 – 25.

¹¹ Saanio & Riekkola Oy. Lumikuilu. 2011. s.4

Helsingin seudun lumen maavastaanottopaikoissa on useita ongelmia, joiden vaikutus näkyy ympärivuotisesti. Lumen sulamisnopeus on keväällä ja kesällä niin heikkoa, etteivät lumimassat ehdi sulaa ennen seuraavaa talvea. Lumen kasaimisen jälkeenkin lumikasoja joudutaan purkamaan kauhakuormaajilla, jotta sulamisprosessi nopeutuisi. Kustannukset kertyvät maavastaanottopaikoille koko vuoden ajalta ja siten lumen maavastaanottopaikkojen kannattavuus laskee.

3 Lumikuilu

Ajatus lumikuilusta syntyi Timo Saanion ja Samuli Korven kanssa pidetyssä palaverissa 24.9.2010. Vuosien 2009 – 2010 kovalumisen talven jälkeen lumikuilusta päädyttiin tekemään projektityö vuonna 2011. Projektityön jälkeen aiheesta heräsi lukuisia kysymyksiä ja niiden perusteella myös opinnäytetyö sai alkunsa. Lumikuilun ideana oli sijoittaa lumi pois maanpäältä kallioiloihin, jossa se sulatettaisiin käyttämällä ekologisia sulatusmenetelmiä. Ensimmäisten suunnitelmien mukaan lumikuilusta oli tarkoitus tehdä pienikokoisia ja vain paikalliseen lumitilanteeseen vaikuttavia.¹²

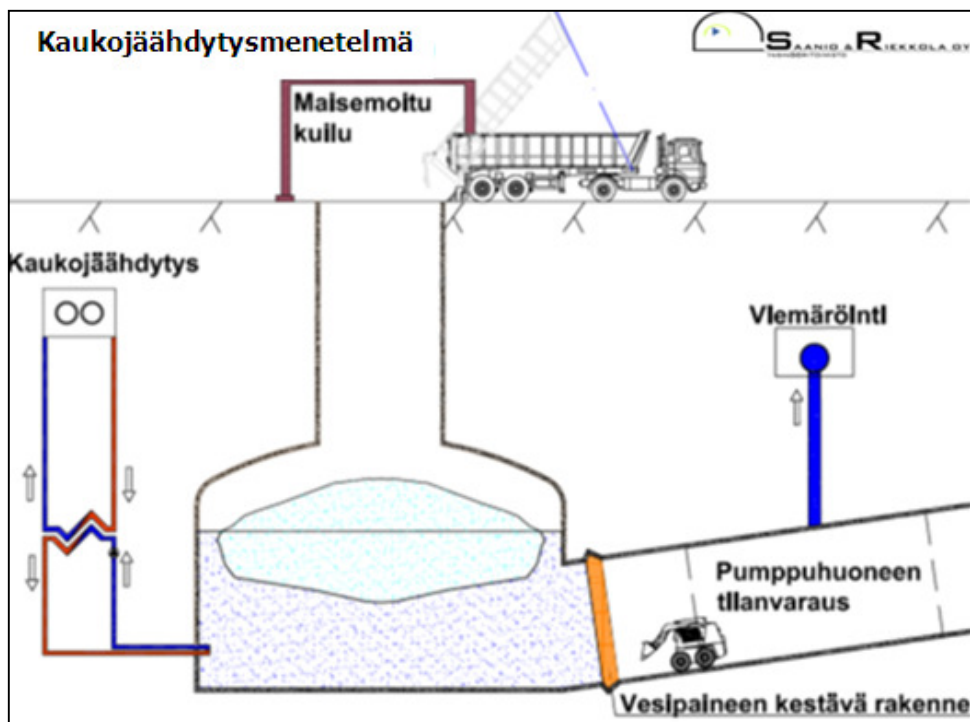
3.1 Lumikuilu, rakenne ja sulatusprosessit

Lumikuilusta tehtiin keväällä 2011 Metropolia Ammattikorkeakoulun projektityö Saanio & Riekkola Oy:lle. Tarkoituksena oli tarkastella erilaisia vaihtoehtoja lumen sulatukselle maan alle louhittavassa tilassa. Lumikuilu rakentuu lumen sulatustilan ympärille. Sulatustilaan pudotetaan lunta kuilusta, joka yhdistää lumen sulatustilan maan pinnalle. Huoltotunneli mahdollistaa lumikuilun teknisen tilan käytön ja tarkkailun lumen sulatusprosessien aikana.

Lumikuilun toiminnalle löytyi lukuisia toimivia ratkaisuja ja lumen sulatukselle ehdotettiin useita eri sulatusprosesseja. Sulatusprosessin tuli olla ekologinen, niin sanottua hukkaenergiaa hyödyntävä ja ennen kaikkea muunneltava kokonaisuus. Sulatusprosessin vaihtoehtoista valittiin tarkempaan tarkkailuun lumen sulattaminen puhdistetulla jätevedellä, kaukojäähdytyksellä ja maalämpöpumpuilla. Tehokkain edellä mainituista vaihtoehtoista lumen sulatukseen oli puhdistetun jäteveden käyttö.

Toisaalta ekologisin vaihtoehto sulatusprosesseista olisi kaukojäähdytys, joka tuottaa lumen sulatuksen yhteydessä tuotetta, jota myymällä lumen sulatusprosessin kustannuksia voitaisiin lieventää. Kaukojäähdytyksen tarkoituksena on kierrättää kaukojäähdytyksen paluuvettä lumen sulatusaltaassa ja palauttaa jäähdytetty vesi takaisin kiertoon (kuva 4).

¹² Lumikuilun suunnittelupalaveri. 21.9.2010. Saanio & Riekkola Oy, Helsinki

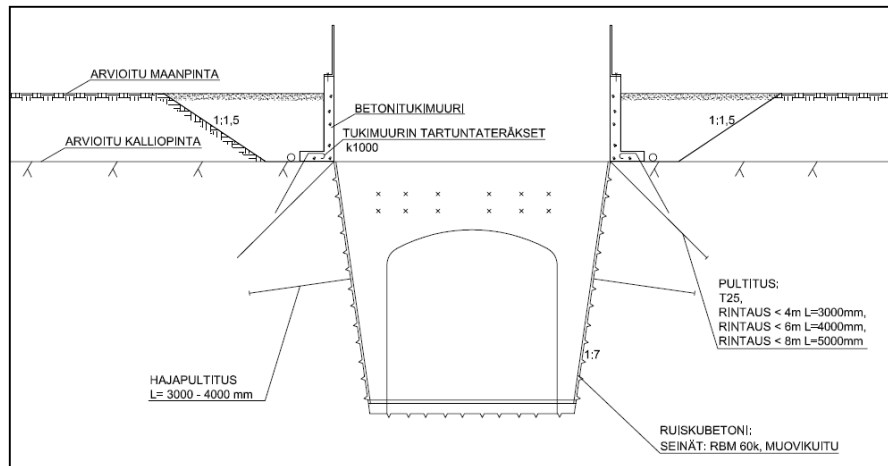


Kuva 4. Hahmotelma lumen sulatuksesta kaukojäähdytyksen avulla.¹³

3.2 Huoltotunneli

Lumikuilun huollon kannalta huoltotunnelin louhiminen helpottaa teknisen tilan käyttöä ja huoltoa (kuva 5). Huoltotunneli tulisi olemaan pienimuotoinen yksikais-tainen ajotie, joka päättyisi sulatushallin viereen. Huoltotunnelin suurin tarkoitus olisi sulatushalliin kerääntyneen roskan ja hiekan poisto. Huoltotunneli tulisi louhia mahdollisimman pienenä ja mahdollisimman lyhyenä. Rajoittavana tekijänä toimii huoltotunnelissa ajettavien huoltoajoneuvojen korkeus- ja leveysmitat. Huoltotunnelista tapahtuva roskien ja hiekan poisto on ajoitettava siten, ettei se estä lumikuilun käyttöä. Huoltotunnelin ja sulatushallin väliin asennettavan paineoven tulee kestää sulatushallissa lumen sulatuksesta tapahtuva paine-ero.

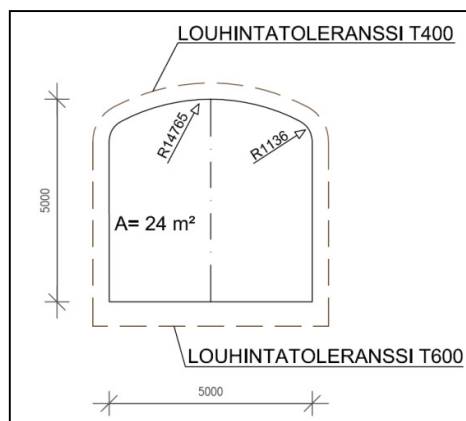
¹³ Saanio & Riekkola Oy. Lumikuilu. 2011. s.24



Kuva 5. Lumikuilun huoltotunnelin avolouhinnan poikkileikkaus

3.3 Tekninen tila

Teknisen tilan sijainnin määritti sulatushallin poistopumppujen tekniset vaatimukset (kuva 6). Teknisen tilan tulisi sijoittua lähelle sulatushallia siten, että mahdolliset tarkastukset ja huollot voitaisiin suorittaa ilman sulatushallin tyhjentämistä. Teknisten tilojen avustuksella lumen sulattamisesta aiheutuva vesi saadaan poistettua takaisin puhdistetun jäteveden purkutunneliin. Teknisistä huoltotauoista aiheutuu tällä hetkellä suurimmat viivästyksistä lumen vastaanottoaikoilla, joten huoltojen toteuttaminen sulatusprosessin aikana mahdollistaisi joustavan ja tehokkaan lisän sulatusprosessiin. Tekninen tila sijoitetaan sulatushallin läheisyyteen siten, että lumen sulamisvesien poistopumput on mahdollista asentaa toimimaan teknisestä tilasta käsin. Pumppujen koneistot sijoitetaan tekniseen tilaan ja pumppujen imuputket sulatushalliin.



Kuva 6. Lumikuilun teknisen tilan poikkileikkaus

3.5 Sulatushalli

Sulatushallin koosta on käyty useita keskusteluja, joissa tarkoituksena on ollut löytää juuri oikeankokoinen sulatushalli. Lumen tulisi pudottamisesta jakautua tasaisesti sulatushalliin, jolloin lumen sulatus olisi tehokkainta. Sulatushallin koko määräytyy mahdollisen lumen sulatustehon arvioinnin mukaisesti. Tietyn ajanjakson kuluessa lunta tuotaisiin tietty määrä ja tietyssä ajanjaksossa tietty määrä lunta sulaisi. Sulatushallin koko löytyi edellä mainittujen määrien suhteutuksella. Sulatushallin koossa tuli ottaa myös huomioon sulatushallin pohjalle kerääntyvä hiekka ja pinnalle kerääntyvä roska. Sulatushallin tulisi siis olla tarpeeksi syvä, jotta hiekkakerros sulatushallin pohjalla ei estäisi sulatushallin tyhjentämistä ja kelluva roska ei tukkisi poistopumppujen imuaukkoja.

4 Elinkaarikustannukset

4.1 Elinkaari

Elinkaari on tuotteen tai rakenteen suunnitteluvaiheesta käytön loppuun asti määritettävä ajanjakso. Elinkaari määritetään rakenteelle sen materiaalien ja suunnitellun käyttöasteen mukaan, näin ollen rakennusmateriaalit ja rakennustavat sekä rakennuspaikalla vallitsevat olosuhteet vaikuttavat suuresti tuotteelle annetun pitoajan saavuttamiseen.¹⁴

Rakenteen elinkaari muodostuu suunnitteluvaiheesta, rakennusvaiheesta ja käyttövaiheesta. Elinkaaren määrittämiseksi rakenteesta tulee tietää sen käyttötarkoitus, rasitukset, arvioitu pitoaika sekä mahdolliset pitoajan jälkeiset tarkoitukset. Rakenteen käyttöaste on parhaimmillaan sen elinkaaren alussa, jolloin käyttö on tehokkainta ja huollon tarve ja ongelmat ovat alhaisimmillaan. Rakenteen elinkaaren aikana tuotteen käyttö vähenee, kunnes rakenteeseen tehdään korjaustoimenpiteitä tai kun lopulta käyttö lakkaa kokonaan. Käytön jälkeen elinkaari jatkuu, joko tuotteen hävityksellä tai uudelleen käytöllä mahdollisesti jopa tuotteen alkuperäisessä tarkoituksessa. Uudelleen käyttöön otossa tuotetta joudutaan yleensä korjaamaan laajasti tai rakentamaan kokonaan uudelleen. Luonnollisesti elinkaari alkaa uudelleen saneerauksen yhteydessä tai uuden käyttötarpeen löytyessä.¹⁵

4.2 Elinkaarikustannukset

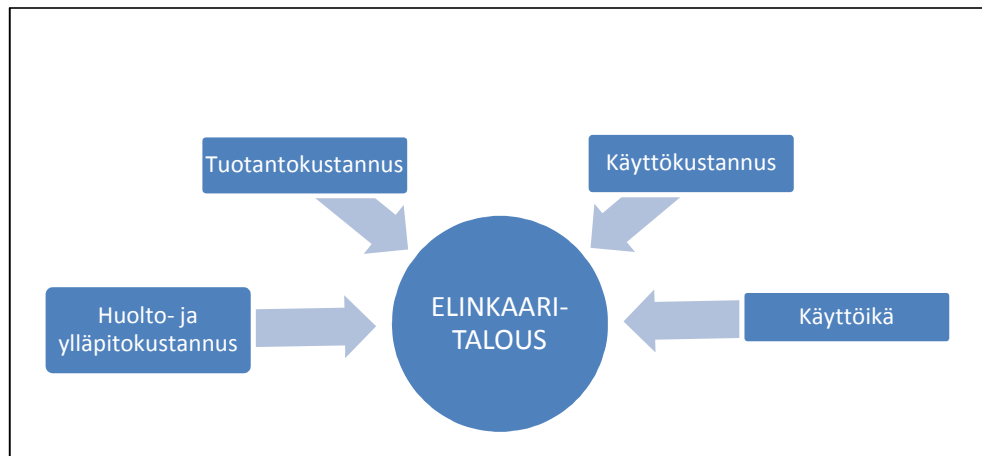
Elinkaarikustannusten laskeminen on päätöksenteon apuväline, jossa pyritään ottamaan huomioon tuotteen koko elinkaaren aikana syntyvät kustannukset. Elinkaarikustannukset koostuvat tuotteen rakentamiseen, huoltoon ja ylläpitoon liittyvistä kustannusosista. Elinkaarikustannusarvion laskenta vaiheessa tehdyt virheet voivat moninkertaistaa kohteen pitoajan aikana, joten määrien, reunaehto-

¹⁴ Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry. RIL 216–2001. Rakenteiden elinkaaritiete. s.19 - 24

¹⁵ Rakenteiden väsymys kestävyys. Matti Taipale. 2008.

jen ja aikataulujen tarkkuudet on huomioitava tarkasti. On tärkeää myös hahmottaa elinkaarikustannusten komponenttien riippuvuussuhteet.¹⁶

Määrälaskennan yhtenäistämiseksi ja tarkentamiseksi on kehitetty Talo 2000 -nimikkeistö. Nimikkeistö helpottaa projektiin osallistuvien kommunikointia ja tulosten vertailtavuutta. Talo 2000 -nimikkeistö sisältää neljä valmista osiota, jotka ovat hankenimikkeistö, tuotantonimikkeistö, rakennustuotenumikkeistö ja kalustonimikkeistö. Nimikkeistön tarkoituksena on määrittää projektiin tarvittavia kustannuksia, jakaa projektia pienempiin, helpommin valvottaviin osakohteisiin ja luoda mahdollisuus projektin kustannusohjaukselle ja kustannusten valvonnalle.¹⁷



Kuvaaja 1. Elinkaaritalouteen vaikuttavat osatekijät.¹⁸

Elinkaaritalous (kuvaaja 1) koostuu tuotannon-, käytön-, huolto- ja ylläpidonkustannuksista sekä käyttöiästä. Yhdenkin osatekijän muutokset vaikuttavat elinkaaritalouden toteutumiseen. Elinkaarikustannusten arvioiminen on erittäin hankalaa pitkällä aikavälillä monien muuttuvien tekijöiden takia. Muuttuvia tekijöitä voi olla esimerkiksi polttoaine- ja työvoimakustannukset, korkokannat sekä rakenteen ylläpitotoimenpiteisiin käytettävät materiaalit. Usein juuri pitkälle aikavälille tapahtuva elinkaarten kustannusten arviointi on vain viitteellinen ja tämän takia kohteista tehdään useita elinkaarikustannuslaskelmia tarkentamaan tuloksia ja tukemaan toisiaan.¹⁹

¹⁶ Johdon laskentatoimi. 2005. s.210

¹⁷ Talo 2000-nimikkeistö, yleisseloste. 2008. s. 7, 11 – 14 ja 29

¹⁸ Suomen Insinöörien Liitto RIL Ry. RIL 216–2001. Rakenteiden elinkaaritekniikka. s. 50

¹⁹ Suomen Insinöörien Liitto RIL Ry. RIL 216–2001. Rakenteiden elinkaaritekniikka. s. 50 - 52

Elinkaarikustannuksia voi laskea useaan eri tarkoitukseen, josta johtuu useat erilaiset laskentamenetelmät. Elinkaarikustannuksista voidaan muokata juuri toivotunlaisia, jolloin valitettavasti se tuottaa vääristyneen tuloksen, joka johtaa väärin johtopäätöksiin. Luotettavan tuloksen saa aikaan laskemalla kaikki kustannukset ja ottamalla puolueettomasti huomioon kaikki tekijät, jolloin lopputuloksena lasketut tekijät muodostavat luotettavan elinkaarikustannuslaskelman. Laskentamenetelmät ja reunaehdot on määrättävä etukäteen elinkaarikustannusten laskennassa. Reunaehdot, jotka ovat yksilökohtaisia jokaisessa elinkaarikustannuslaskelmassa, antavat kuvaa vakio- ja muuttuvien tekijöiden suuresta kirjosta. Rakenteen laskentaperusteiden tueksi on määritettävä tarkka ja yksityiskohtainen lista reunaehdoista, joita laskentaperusteet mukailevat.²⁰

Elinkaarikustannuksia käsitellään usein myös erilaisilla laskentamenetelmillä, joiden tarkoituksena on saada hahmotelmaa kustannuksista ja niiden muutoksista tulevaisuudessa koko elinkaaren ajalta. Elinkaarikustannuksille lasketaan diskonttaustekijän tai annuiteettitekijän avulla elinkaarikustannusten koostumista pitäjän aikana. Diskonttauskertoimen avulla on mahdollista selvittää elinkaaren aikana tulevien kustannusten arvo nykyhetkessä. Esimerkiksi tiedossa olevien tulevaisuuden kustannusten nykyarvo on määritettävissä käyttämällä diskonttauskerrointa. Annuiteettitekijällä on taas mahdollista saada selville nykyisen kustannuksen vaikutukset koko elinkaaren ajalle.²¹

Nimelliskorko esiintyy seuraavassa kaavassa kirjaimena x ja inflaation arvo kirjaimena y . Elinkaarikustannuksia määrittäessä on mahdollista käyttää useampaa korkokantaa, mikä takaa tarkemman elinkaarikustannusten lopputuloksen. Yhden korkokannan käyttö ei ota huomioon kauas tulevaisuuteen ulottuvia kustannusten korkovaihteluita ja tästä johtuen yhden korkokannan käyttö pitkille elinkaareille ei ole aina yhtä luotettava, kuin useamman korkokannan käyttö.²²

²⁰ Samuli Korven haastattelu. Saanio & Riekkola Oy. 18.10.2011

²¹ UEF. Investoinnit ja rahoitus. 2011. s. 23

²² Samuli Korven ja Matti Kokon haastattelu. Saanio & Riekkola Oy. 25.10.2011

Reaalikorko lasketaan nimelliskoron ja inflaation avulla seuraavanlaisella kaavalla. Reaalikorkoa ja tarkastelun kohteena olevaa käyttövuotta käyttämällä saadaan määritettyä diskonttaustekijä tietylle halutulle ajanhetkelle tulevaisuudessa.²³

$$\text{Reaalikorko}^{23} = \frac{\frac{x}{100} - \frac{y}{100}}{\left(1 + \frac{y}{100}\right)} * 100$$

$$\text{Diskonttauskerroin}^{24} = \frac{1}{(1+i)^n}$$

missä i = laskentakorkokanta ja n= aikajakso vuosissa.

Joka vuosi toistuvien kustannusten eli esimerkiksi huoltokustannusten laskemiseen käytettiin jälkepäin suoritettujen jaksollisten maksujen diskonttauserointia.²⁵

$$\text{Diskonttauserroin (toistuville kustannuksille)}^{26} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

Elinkaarikustannuksia voi tarkastella myös elinkaaren aikaisina kustannusten originaaliarvoina. Kuvaajan 2 mukaisesti elinkaarikustannusten originaaliarvot on sijoitettu elinkaarena ajalle ja kuvaajasta on mahdollista havaita kohteen suurempien ylläpitotoimenpiteiden kustannuspiikit. Elinkaaren aikana huoltokustannukset pysyvät samana, mutta ylläpitotoimenpiteet toteutetaan tietyllä ennalta sovitulla vuosisykleillä. Välttämättä halvin vaihtoehto ei ole kannattavin pitkällä aikavälillä, koska elinkaaren aikana huoltokustannukset saattavat vaihdella eri menetelmien välillä suurestikin. Kuvaajan 2 tapauksessa huoltokustannuksia kertyy tasaisesti ja rakennetta on korjattava kolmen vuoden välein. Rakenne tuottaa tuloja tasaisesti vuosittain ja tulot näkyvät kuvaajassa tulopuolella. Kuvaajan 2 esittämät kustannukset diskonttaamalla saadaan koko elinkaaren aikana syntyvien kustannusten nykyarvo. Tulot ja menot käsitellään samoilla kertoimilla, jotka vaihtuvat vuosittain.

²³ Reaalikorko. FIM sanasto.

²⁴ Johdon laskentatoimi. 2005. s. 364

²⁵ Laskentatoimi päätöksenteon apuna. 2001. s. 334. Liite 1.

²⁶ Johdon laskentatoimi. 2005. s. 365



Kuvaaja 2. Elinkaaren aikaisten kustannusten originaaliarvot

Elinkaarikustannusten herkkyystarkastelu

Elinkaarikustannusten laskeminen edellyttää tarkkaa tuntemusta vallitsevista olosuhteista rakennusympäristössä. Elinkaarilaskelmia saattaa olla samasta kohteesta useita versioita, joiden tarkoitus on löytää mahdollisimman todenmukainen arvio toteutuvista elinkaarikustannuksista. Herkkyystarkastelun tarkoituksena on löytää niin sanotut heikoimmat lenkit, joiden muuttuessa elinkaarikustannukset voivat vaihdella rajustikin. Usein herkkyystarkasteluissa otetaan huomioon kerrallaan vain pieni määrä muuttujia, joiden vaikutusta on helpompi tarkastella. Herkkyystarkastelun tarkoituksena on toimia apuvälineenä tulosten perusteella tapahtuvan tuotteen tai menetelmän valinnassa. Herkkyystarkastelun lopputuloksia on mahdollista tarkentaa käsittelemällä mahdollisimman montaa osaa elinkaarikustannuksissa. Herkkyystarkasteluja voidaan tehdä muuttamalla tuotteen ympäristövaikutuksia, käyttöaikaa, korkokantoja, materiaaleja tai esimerkiksi toimintaperiaatteita eri vaihtoehtoihin. Elinkaarikustannusten altistaminen mahdollisille vaihtoehtoisille menetelmille tuottaa varmemman ja luotettavamman lopputuloksen.²⁷

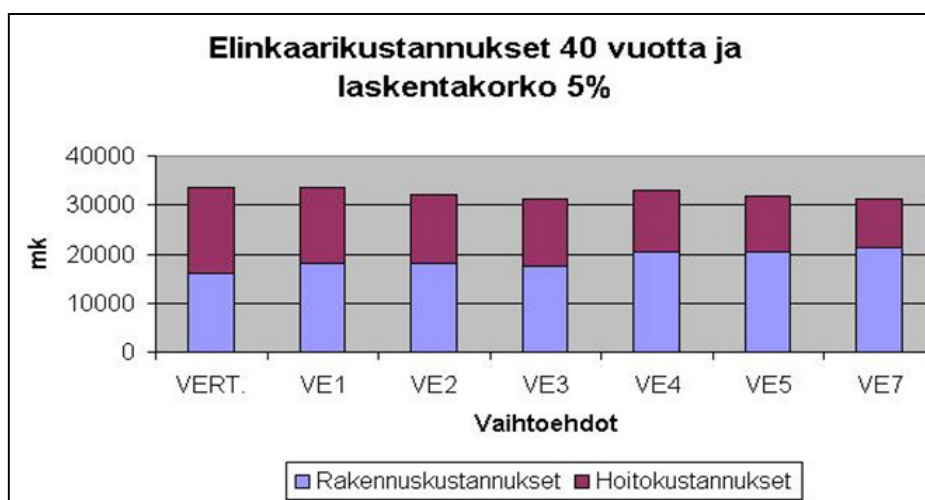
ja 28

²⁷ Tiehallinto. Epävarmuuden hallinta tienpidon vaikutusten arvioinnissa. 2005. s. 55 – 57.

²⁸ Johdon laskentatoimi. 2005. s. 224 – 225.

Esimerkki herkkyystarkastelusta

Herkkyystarkastelun tarkoituksena oli selvittää käyttökelpoisin ulkoseinävaihtoehto. Kuvaajassa 3 on esitetty Platform-ulkoseinän herkkyystarkastelun tulokset, josta käy ilmi ulkoseinävaihtoehtojen välisiä rakennus- ja huoltokustannuksia kohteen pitoajalla. Tarkastelussa huomioitiin ulkoseinien rakennusfysikaalisia ominaisuuksia, kuten lämpö- ja kosteuskäyttäytymisiä eri diffuusiovastuksilla. Työssä käytettiin esimerkkituoteena Kotkan Hirssisaareen asuntomessuilla 2002 rakennettavaa Saaristolaistaloa.²⁹



Kuvaaja 3. Elinkaarikustannusten herkkyystarkastelu²¹

Kuvaajassa 3 verrataan seitsemää erilaista vaihtoehtoa Platform-ulkoseinän runkokooksi. Esillä on jokaisen vaihtoehdon elinkaarikustannusten rakennus- ja huoltokustannukset. Vaihtoehto numero kolme on alkuinvestointien ja huoltokustannusten puolesta elinkaarikustannuksiltaan halvin ratkaisu.

²⁹ Mikko Aroniitty. Platform-ulkoseinän kustannusvertailut. 2001.

5 Lumikuilun elinkaarikustannukset – Case-tarkastelu

5.1 Esimerkkilaskelman reunaehdot ja oletukset

Teknisenä ratkaisuna tarkastelussa toimi luvun 3 mallinen lumikuilu. Lumikuiluun liittyi useita reunaehtoja, joiden tarkoituksena oli luoda lumikuilun elinkaarikustannusten laskemiselle hyvät lähtökohdat. Reunaehdoista suurimpia olivat rakennuspaikka, syvyys, sulatushallin tilavuus, ekologisuus, toimintavarmuus ja tehokkuus. Lisäksi lumikuilun elinkaarikustannusten laskemiseen otettiin käsittelyyn vain yksi lumen sulatusmenetelmä. Sulatusmenetelmäksi valittiin puhdistetun jäteveden käyttö, sen suuren määrän ja sulatuskapasiteetin takia.

Lumikuilu sijoitetaan laskelmissa Helsingin alueelle ja sen lumensulatuskapasiteettiä oletettiin 1 300 000 m³/vuosi. Sulatushallin pituudeksi valittiin 20 metriä, leveydeksi 15 metriä ja korkeudeksi 10 metriä. Tilavuudeksi lumen sulatushallille tuli edellä mainittujen mittojen mukaan noin 3000 m³. Sulatushallin vuosikapasiteetti perustuu puhdistetun jäteveden sulattaman lumen määrään, joka laskettiin Helsingin seudun veden lähettämien puhdistetun jätevesimäärien perusteella.³⁰ Tarkasteluissa lumikuilun pitoajaksi määritettiin 50 vuotta, jonka jälkeen sen jatkokäytön tarpeellisuudesta tulisi tehdä lisäpäätöksiä.

Lumikuilun elinkaaren aikana rakenteille ja varusteille on tehtävä säännöllisin väliajoin korjaustoimenpiteitä. Korjaustoimenpiteet tulee suorittaa pääosin lumikuilun vuosittaisen käyttöajan ulkopuolella eli kevään, kesän ja syksyn aikana. Lujiutus on kaikkiin rakenteisiin uusittava noin 50 vuoden välein eli kerran koko suunnitellun elinkaaren aikana. Lumikuilun sulatushallin ja huoltotunnelin välinen paineovi sekä muut ovi- ja seinärakenteet tulisi arvion mukaan uusida 25 vuoden välein. Sähköistys olisi hyvä uusida koko lumikuiluun 15 vuoden välein ja pumppujen korjaus- ja huoltotoimenpiteet olisi suoritettava joka viides vuosi.

Lumikuilun elinkaarikustannukset on laskettu nykyarvomenetelmällä, jossa kaikki elinkaaren aikaiset kustannukset muutetaan vastaamaan nykypäivän rahan arvoa. Lumikuilun elinkaarikustannukset on laskettu erottelemalla rakennus-, huol-

³⁰ Saanio & Riekkola Oy. Lumikuilu. 2011. Liite 6.

to- ja ylläpitokustannukset toisistaan. Rakennuskustannukset on koottu tarvittavista työvaiheista, jotka on jaettu työ- ja materiaalikustannuksiin ja huolto- ja ylläpitokustannukset on kerätty kokoamalla kaikki rakenteen toimivuuteen ja elinkaaren pituuteen vaikuttavista osakustannuksista.

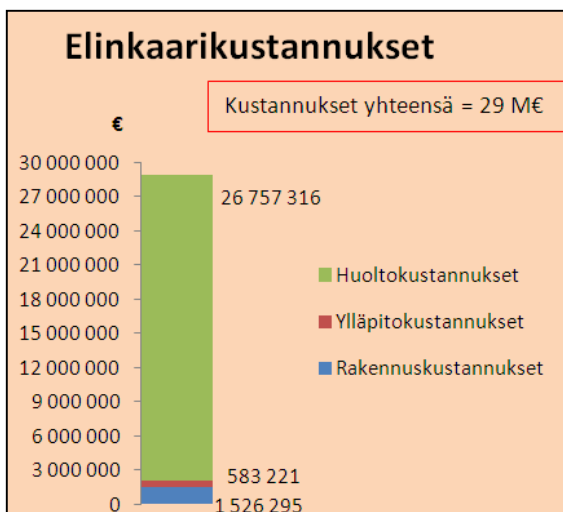
Koko lumikuilun elinkaarta tarkastellessa elinkaarikustannuksia käsitellään nykyarvomenetelmän kertoimilla. Rakennuskustannuksia ja ensimmäisen vuoden huoltokustannuksia ei diskontata, koska niiden nykyarvot ovat jo tiedossa. Ensimmäisen vuoden jälkeen tulevat kaikki huolto- ja ylläpitokustannukset käsitellään diskonttauskertoimella, josta saadaan tietää annetuilla korkokannoilla tulevien kustannusten nykyarvot. Vuosittain toistuvat kustannukset eli huoltokustannukset lumikuilun tapauksessa käsitellään jälkeinpäin suoritettujen jaksollisten maksujen diskonttauskertoimella. Ylläpitokustannukset käsiteltiin yksittäisinä kustannuksina, joten ne käsiteltiin jälkeinpäin suoritettujen yksittäisten maksujen diskonttauskertoimilla.

Lumikuilun elinkaarikustannusten reaalikorkona käytettiin lokakuussa 2011 Samuli Korven avustuksella vain yhtä korkokantaa 2,14 %. Elinkaaren ajan nimelliskorkona lumikuilussa käytettiin 5,2 % ja inflaation oletettiin olevan 3 %.³¹

5.2 Elinkaarikustannusten tulokset

Diskontattuna nykyarvoon lumikuilu tulisi laskettujen elinkaarikustannusten perusteella kustantamaan koko elinkaarensa aikana melkein 29 000 000 €, josta rakennuskustannukset olivat 1 500 000 €, ylläpitokustannukset olivat 600 000 € ja huoltokustannukset olivat melkein 27 000 000 € (liite 1). Elinkaarikustannukset jakautuvat hyvin epätasaisesti kaikkien kolmen kustannusryhmän välille (kuvaaja 4). Huoltokustannukset ovat määräävimpänä tekijänä lumikuilun elinkaarikustannuksissa, kun taas rakennuskustannukset ovat noin kolme kertaa ylläpitokustannuksia suuremmat.

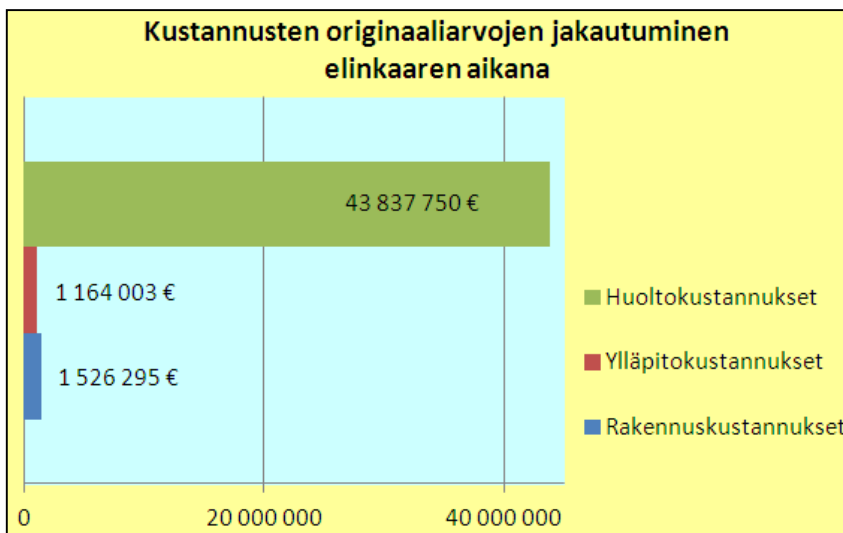
³¹ Samuli Korven haastattelu. Saanio & Riekkola Oy, Helsinki. 15.10.2011.



Kuvaaja 4. Lumikuilun kokonaiskustannukset nykyarvoon muutettuna

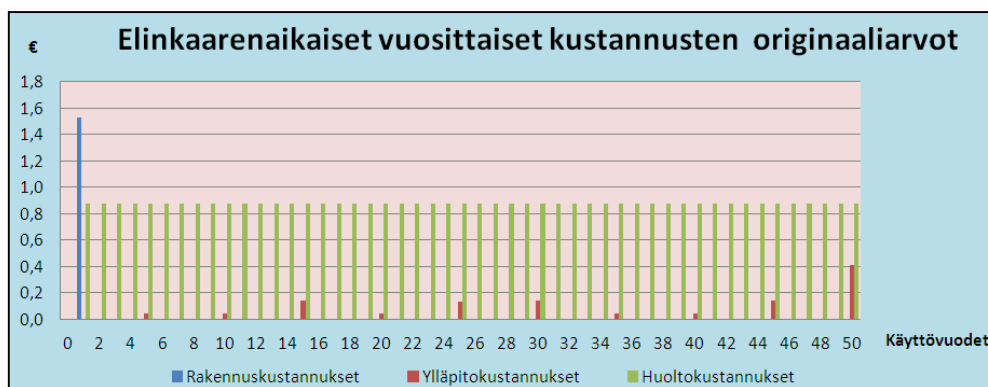
Huoltokustannuksia kertyy lumikuilulle hiekan ja roskien poistosta ja lumikuilun tyhjennuspumppauksista sekä pumppujen käyttämästä sähkömäärästä koko elinkaaren ajalta. Huoltokustannusten suurin kustannuserä on hiekan poisto, koska hiekan kuljettaminen Helsingin alueen kaatopaikalle on kallista.

Kuvaajan 5 mukaiset lumikuilun elinkaaren kustannusten originaaliarvot nousevat noin 46 530 000 € ja niistä huoltokustannukset ovat lähes 44 000 000 €. Kaikki lumikuilun elinkaarilaskelmat osoittavat huoltokustannusten täydellistä valtasemaa. Huoltokustannusten pienentäminen vaikuttaisi koko lumikuilun elinkaarikustannuksiin radikaalisti.



Kuvaaja 5. Lumikuilun elinkaarikustannusten originaaliarvot

Kuvaajasta 6 käy ilmi ylläpitokustannusten jakautumisen elinkaaren ajalle. Ylläpitokustannukset toteutuvat elinkaaren aikana tietyin väliajoin. Huoltokustannukset taas pysyvät koko elinkaaren ajan tasaisina ja rakennuskustannukset ilmenevät vain ensimmäisenä vuonna. Elinkaaren lopussa ylläpitotoimenpiteet tulevat varmasti nousemaan ja se tulee varmasti määrittämään lumikuilun elinkaaren lopullisen pituuden. Päätös lujituksen uusimisesta tehdään todennäköisesti elinkaaren loppupuolella, jolloin elinkaaren jatkaminen tai uusi käyttötarve on tullut ajankoh- taiseksi.



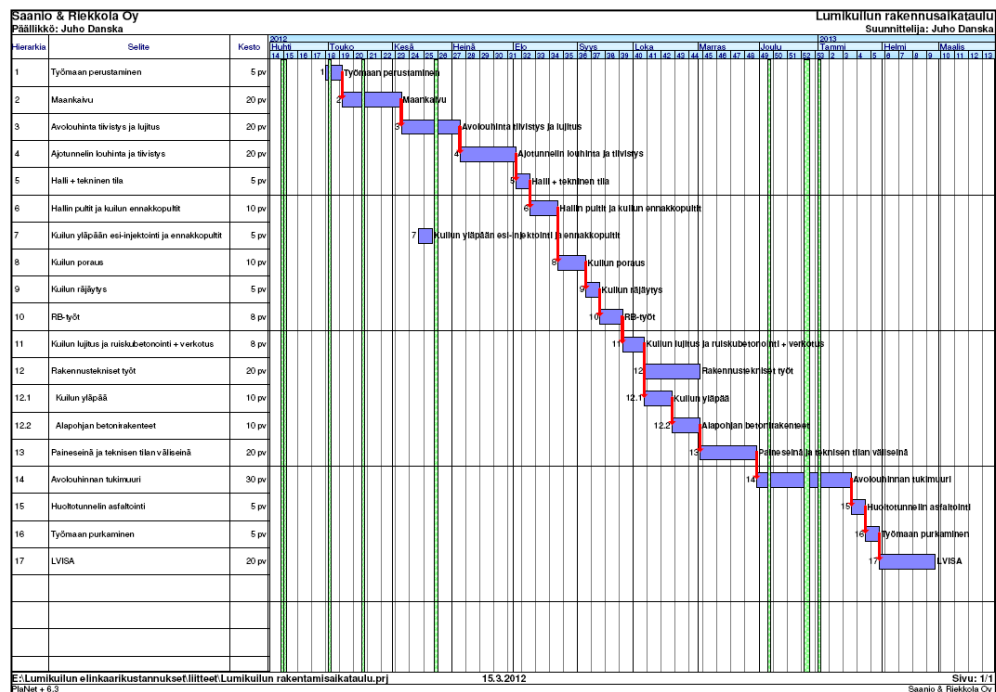
Kuvaaja 6. Elinkaarenaikaiset vuosittaiset originaalikustannukset.

Lumikuilun elinkaarikustannuksia tarkastellessa tulee muistaa se, että elinkaarikustannukset on arvioitu käyttämällä vain yhtä korkokantaa. Lumikuilun kustannukset voivat muuttua useampia korkokantoja tarkasteltaessa, mutta päälinja kustannusten määrästä on selvillä.

Lumikuilun elinkaarikustannuksista ei tehty kaiken kattavaa herkkyystarkastelua, josta selviäisi erilaisten lumen sulatusmenetelmien kannattavuus tai lumikuilun koon vaihteluiden kustannusvaikutukset elinkaarikustannuksiin. Lumikuilun rakennuspaikan, -syvyyden, korkokantojen ja pitoajan sekä niiden todennäköisyyksien vaihteluista olisi mahdollista koota kattava herkkyystarkastelu lumikuilun elinkaarikustannuksille. Lumikuilusta tutkittiin vain kalliolaadun muutosten vaikutuksia rakennuskustannuksiin ja elinkaarikustannuksiin.

5.3 Rakentamiskustannukset

Lumikuilun elinkaarikustannusten määrittämiseksi tuli ensin määrittää lumikuilun rakentamiskustannukset. Kuvassa 8 rakentamiskustannukset laskettiin käyttämällä Talo 2000 -nimikkeistöä ja sen litterointia (liite 2). Työkohtaisista kustannuksista tehtiin kustannuslaskelmat, joiden avulla määritettiin katteen määrä ja lopullinen tarjoushinta. Kaikki kustannuslaskelmat tehtiin yhteistyössä Saanio & Riekkola Oy:n asiantuntijan Matti Kokon avustuksella.



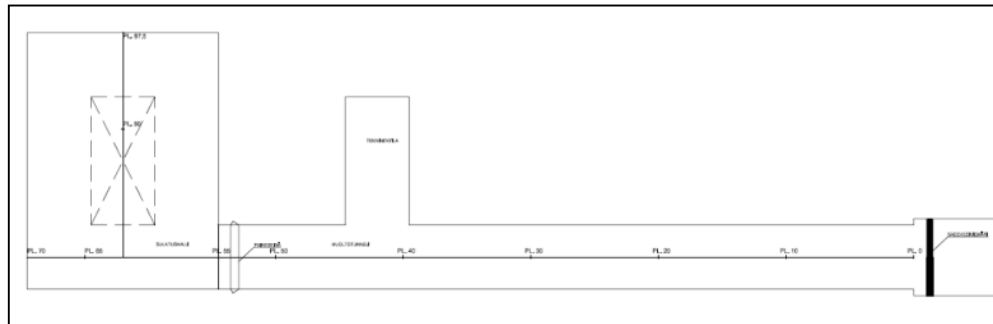
Taulukko 1. Lumikuilun rakennuskustannusten koontitaulukko

mitä		yht. €
Maankaivu ja louhinta		570690
Kallion lujitus ja tiivistys		271527
Salaojat ja putkijohdot		10000
Aidat		15984
Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet		218673
Maanvarainen laatta		49580
Erityisovet		51842
Lumikuilun LVISA-työt		338000
Rakennuskustannukset yhteensä	ALV 0%	1 526 296

5.3.1 Louhinta

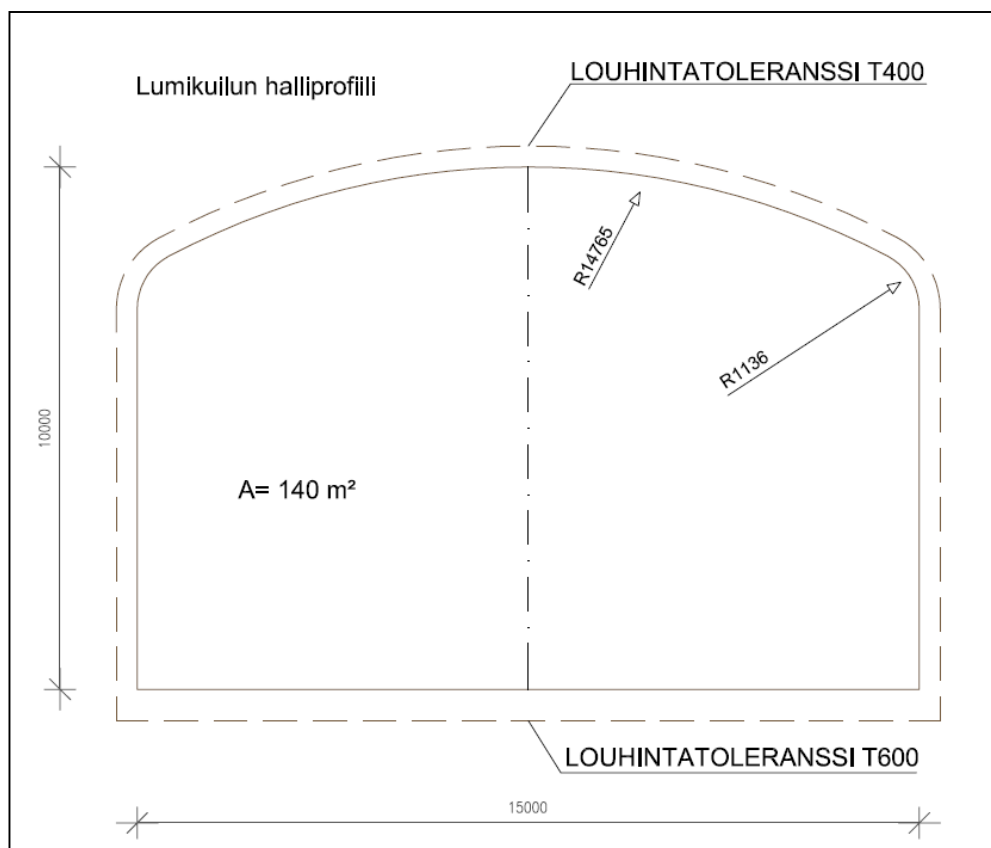
Lumikuilun elinkaarikustannuksiin vaikuttaa suuresti louhittavan kallion määrä, joten lumikuilun koko pidettiin vakiona kustannuslaskelmissa. Laskelmissa vakiona pidettiin myös kalliolaatu ja korkoasetelma. Lumikuilun kalliolaadulla on suuri merkitys kokonaiskustannuksiin ja hieman myös elinkaarikustannuksiin.

Lumikuilun pohjankorko oli arvioidusta maanpinnasta 20 metriä ja huoltotunnelin arvioitu pituus on 55 metriä (kuva 9). Huoltotunnelin kaltevuus määritettiin 1:7 ja huoltotunnelin yläosan korko arvioidaan 5 metriä syvemmälle, kuin kuilun yläpään korko. Tunnelilouhinnassa louhintaprofiiliin porataan räjähdysainereikiä, joihin räjähdysaine asennetaan. Räjähdyksen jälkeen tunneli on tuuletettava ennen louheen poistoa terveydelle haitallisten kaasujen ja kivi-pölyn takia. Suurissa halliprofiileissa, kuten lumikuilun sulatushallissa, profiili voidaan joutua jakamaan useaan eri vaiheeseen.



Kuva 9. Lumikuilun pohjapiirustus

Louhinnan kustannukset koostuvat räjäytysaineista, porattavista räjähdysainereifistä, työvoimasta, porauskalustosta, louheen kuljetusajoneuvoista, painematoista sekä sähkökeskuksista, pumpuista ja työtasoista. Lumikuilun louhinnan yksikköhinnat määriteltiin erikseen hallilouhintaan, tunnelilouhintaan ja kuilulouhintaan. Jokaisessa louhintaprofiilissa on omat hyvät ja huonot puolensa. Esimerkiksi kuilulouhinta tulisi olemaan kalleinta, mutta kuilua on louhittavana vain pieni osa kokonaislouhinnan määrästä. Toisaalta huoltotunnelin louhinta on yksinkertaisinta, mutta louhittavaa kertyy eniten. Halliprofiilia louhittaessa profiili voidaan jakaa useaan pienempään profiiliin, jolloin louhinta yksinkertaistuu.



Kuva 10. Lumikuilun sulatushallin louhintaprofiili

Lumikuilun louhintatyöt jaettiin neljään eri kustannuskategoriaan, jotka ovat hallilouhinta, tunnelilouhinta, kuilulouhinta ja avolouhinta. Jokaiselle edellä mainitulle kategorialle määritettiin m^3 hinta, jonka avulla laskettiin louhinnan tuottamat kustannukset.

Taulukossa 2 on koottu ja laskettu tunnelilouhinnasta lumikuilulle aiheutuvat kustannukset. Kustannuksissa on otettu huomioon tarvittavat materiaalit, kalusto ja työvoima. Kustannukset on laskettu yhteen ja jaettu tunnelien kokonaislouhintamäärällä. Yhden kuution hinnaksi on saatu 106,50 €. Laskelmien pohjalta voidaan näin ollen todeta, että lumikuilun tunnelilouhintaa on kokonaisuudessaan 1560 m³, jolloin kokonaishinta-arvioksi tulisi 166 112 €. Laskelmissa hinta-arviot on johdettu aikaisempien projektien yksikköhinnoina. Kaikkien louhintavaiheiden eteneminen on arvioitu etenemään ilman sen suurempia viivästyksiä tai ongelmia.

Taulukko 2. Tunnelilouhinnan yksikköhintalaskelma

Tunnelilouhintaa					
	määrä	yksikkö	yksikköhinta		yhteensä
Louhittava määrä	1560	m ³			
Porateräs ja energia	5360	kom	1,2		6 432
R-aineet	1560	m ³	5		7 800
Miehet	960	h	50		48 000
Jumbo	24	tp	2000		48 000
Kup (pyöräk. 980 CAT)	192	h	85		16 320
Keskukset, pumput ja työtasot	24	tp	400		9 600
Louheenajo	384	h	65		24 960
Hirsimatto ja tärkkäysmatot	1		5000		5 000
					166 112
Työkohtainen kustannus	106,5	€/m ³			

5.3.2 Lumikuilun kalliolaadun vaikutukset rakennus- ja elinkaarikustannuksiin

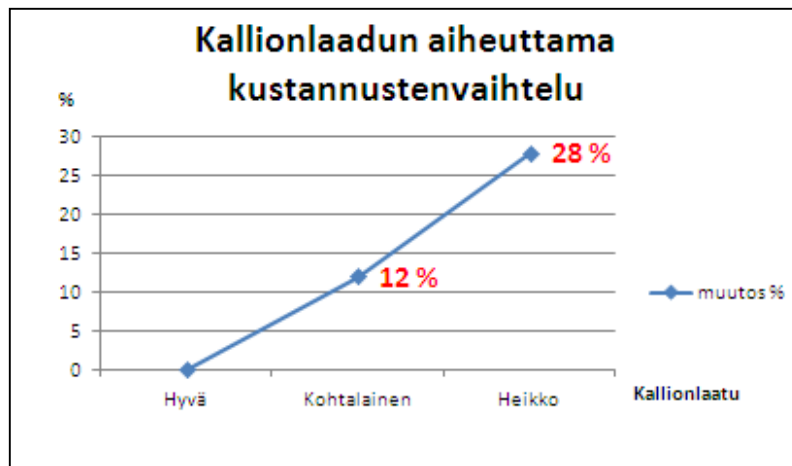
Lumikuilun kalliolaatu oli elinkaarikustannusten laskentavaiheessa vielä täysi arvoitus. Tiedossa oli se, että lumikuilu tulisi rakentamaan Helsingin alueelle, joten kalliolaatu oletettiin samankaltaiseksi kuin pääosin Helsingissä. Kalliolaadun herkkyystarkastelun tarkoituksena oli tuoda esille kalliolaadun vaihtelusta aiheutuvia lisäkustannuksia. Kalliolaadun vaihtelu aiheuttaa kustannusmuutoksia kalliion louhinnassa, lujituksessa, tiivistykseen ja rakennusurakan aikatauluviivästyksiin. Kustannusmuutokset kalliolaadun vaihteluista verrattuna koko lumikuilun elinkaaren aikana syntyviin kustannuksiin tulisi olemaan erittäin pieniä. Herkkyystarkasteluun olisi voinut lisätä myös laskentakorkokannan, pitoajan, lumikuilun tilavuuden, sulatusmenetelmän sekä muita kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä.

Työn kestoa kalliolaadun muutos aiheuttaa 22 työvuoron verran, joka vastaa noin 105 000 €:a (kuva 11) (liite 6). Materiaalien lisäkustannukset tunneleihin ja sulatushalliin kustantaa 53 400 € ja välitön ruiskubetonointi ja entistä paksumpi ruiskubetonikerros tuovat rakennusurakalle 41 000 €. Kalliolaadun heiketessä louhintaa edeltävät esi-injektoinnit lisääntyvät ja louhinnan eteneminen hidastuu. Lisäksi louhinnan yhteydessä kalliosta irtoaa louhintatoleranssien ulkopuolista kiveä eli ryöstöä. Ryöstöt aiheuttavat ruiskubetonointia varten suuremman pinta-alan ja siten myös materiaalikustannusten kertymistä.

 S A A N I O & R I C K K O L A O Y <small>INJENÖÖRITOIMISTO</small>	
Lumikuilun kalliolaadun vaikutukset rakennuskustannuksiin	
Oletus lumikuilun kalliolaaduksi on normaali rakennettavuus eli hyvä kallionlaatu.	
Ympäristötekijät vaikuttavat kallion louhintaan, tiivistykseen ja lujitukseen sekä louhinnan kesto.	
Kallion laadun heikentyessä ympäristöriskit vähenevät lyhennettyjen louhintakatkosten ansiosta.	
Hyvä kalliolaatu	Heikko kalliolaatu
Louhinta → katkopituus ~ 3 m	
Louhittava ajotuneli	55 m
Louhittava sulatushalli	20 m
Louhittava tekninen tila	10 m
Arvioitu työn kesto	40 tp
Arvioitu louhinnan kesto	35 tp
	hyvä kalliolaatu + tunnelin esi-inj. 3 krt. 2 tp = 6 tp
	hyvä kalliolaatu + sulatushallin esi-inj. 3 krt. 2 tp = 6 tp
	Välitön lujitus tunnelipultit + ennakkopultit joka toiseen katkoon = 15 tp
	Työn kesto=
	35 tp + 12 tp + 15 tp = 62 tp
	62 tp - 40 tp = 22 tp
Keskiarvo tp = 4800 €	
22 tp = 105 600 €	
Materiaalin lisäys tunneliin	Materiaalin lisäys sulatushallissa
3*6*20 = 360 m	2*10*15 = 300 m
Yhteensä: 660 *40 €/m=	26 400 €
Pulttien lisäys:	
Siirrytään heikossa kallion laadussa 2x2 metrin ruudukosta 1,6x1,6 metrin ruudukkoon.	
$4 \text{ m}^2 / 2,56 \text{ m}^2 = 1,56$ kerroin	
Hyvän kalliolaadun pulttitukset = 49 680 €	Välitön Rb:
49 680 € * 1,56 = 77 500 €	Ruiskubetonin lisäys noin 20 %
	70 380 € * 20% = 14 000€

Kuva 11. Lumikuilun kalliolaadun vaikutukset rakennuskustannuksiin

Kokonaisuudessaan heikko kalliolaatu tulee maksamaan yleiskulut ja kate mukaan laskettuna noin 297 000 €. Summa vastaa kokonaishankkeeseen verrattuna 25 % rakennuskustannusten loppusummasta. Kun huomioon otetaan vielä ryöstöistä aiheutuvat ylimääräiset louheenajot, nousee kokonaisvaikutus 28 % eli noin 331 000€ (kuvaaja 7).



Kuvaaja 7. Lumikuilun kalliolaadun herkkyystarkastelun vaikutus

Lumikuilun kalliolaadun vaikutuksia elinkaarikustannuksiin tutkimuksen tuloksena, elinkaarikustannusten muutos hyvän ja kohtalaisen kalliolaadun välillä on noin 0,5 % ja hyvän ja huonon kalliolaadun välillä 1,1 %. Kustannukset kalliolaadun vaihteluista ovat erittäin pienet verrattuna koko lumikuilun elinkaarikustannuksiin.

5.3.3 Esi-injektointi

Kalliorakennuskohteissa injektoinnilla on suuri merkitys lopputulokseen, sekä tietysti tulevaisuuden korjaustarpeisiin. Injektoinnilla pyritään estämään veden pääsyä tunneliin. Kalliosta tihkuva vesi ja pohjavesi on pumpattava pois tunnelista, joten sen tunneliin kulkeutumisen estäminen on kustannusten kannalta järkevää. Esi-injektointi suoritetaan ennen tunneli katkon louhintaa. Porareiät täytetään erilaisilla täyteaineilla, jotka tunkeutuvat pieniin kalliohalkeamiin tukkien ne tiiviisti ja siten sulkien veden tunnelin ulkopuolelle.

Lumikuilun injektoinnissa injektointityöt jaettiin louhinnan tapaan useaan eri kategoriaan. Injektoinnin kategorioiksi valittiin tunnelin ja hallin esi-injektointi, kuilun esi-injektointi ja avoleikkauksen esi-injektointi (taulukko 3). Injektointityö vaatii injektointireikien porauksen, tiivistysmateriaalia sekä tietysti laitteita ja työvoimaa. Lumikuilun tapauksessa injektointikustannuksia syntyi eniten huoltotunnelilla ja sulatushallissa. Huoltotunnelin pituus on 55 metriä, jonka pituudesta arviolta noin 2/3 joudutaan injektointimaan. Esi-injektointireikien pituudet ovat 17 m huoltotunnelissa ja sulatushallissa. Taulukon 3 mukaisten laskelmien mukaan lu-

mikuilun tunnelien ja hallin esi-injektointi kustantaisi injektointimetrille 18,0 €/m. Esi-injektoinnin kokonaiskustannus kohoaa noin 14 000 €.

Taulukko 3. Lumikuilun esi-injektoinnin kustannusten laskeminen

Tunnelien ja hallin esi-injektointi					
	määrä	yksikkö	yksikköhinta		yhteensä
Esi-injektointi (3 viuhkaa)	748	m	4		2 992
44 reikää (1-iso = 3 tv, 2-pieni = 2tv)					
Laitteet ja miehet	7	tv	1000		7 000
Sementti	7500	kg	0,5		3 750
					13 742
Työkohtainen kustannus					
	18,4 €/m				

5.3.4 Lujitus

Lumikuilun lujituksen suunnittelun ja lujituskustannusten määrittäminen vaati kalliolaadun tuntemista rakennuskohteen alueella, mutta lumikuilun tapauksessa rakennuspaikkaa ei ollut määritetty, joten kallion laatu oli arvioitava. Lumikuilun kalliolaaduksi valittiin peruskallionlaatu, joka vastaa yleisesti Helsingin alueella esiintyvää kalliota. Helsingin peruskallion laatu on hyvää, joten kallion laadun muutokset rakennuspaikasta riippuen vaikuttavat kokonaiskustannuksiin ja sitä kautta lumikuilun elinkaarikustannuksiin.

Lumikuilun lujitukseen käytettiin 3-, 4- ja 5-metrisiä ennakko- ja lujituspultteja. Louhittuun kalliopintaan ruiskutettiin K40 ja K60 ruiskubetonia lujituksen parantamiseksi. Ennakkopultit asennetaan ennen tunnelin katkon louhimista, jolloin räjäytyksen yhteydessä mahdollisen ylilouhinnan määrä laskee. Katkolla tarkoitetaan tunneliprofiilin osapituutta, esimerkiksi kahden metrin mittaista kerralla louhittavaa osaa. Tunneliprofiilin louhintakatkon pituus voi vaihdella paljonkin riippuen kallion laadusta, joten katkon pituudeksi arvioitiin kaksi metriä. Taulukon 4 mukaisten tunnelien ja hallin pulttien ja lujituspulttien laskelmien mukaan jokaisen

pulttimetrin työkohtainen kustannus olisi noin 40 €. Kaikkiaan lumikuilun tunnelien ja hallin lujituspultitus kustantaa 50 000 €.

Taulukko 4. Lumikuilun lujitus- ja ennakkopulttien laskutaulukko

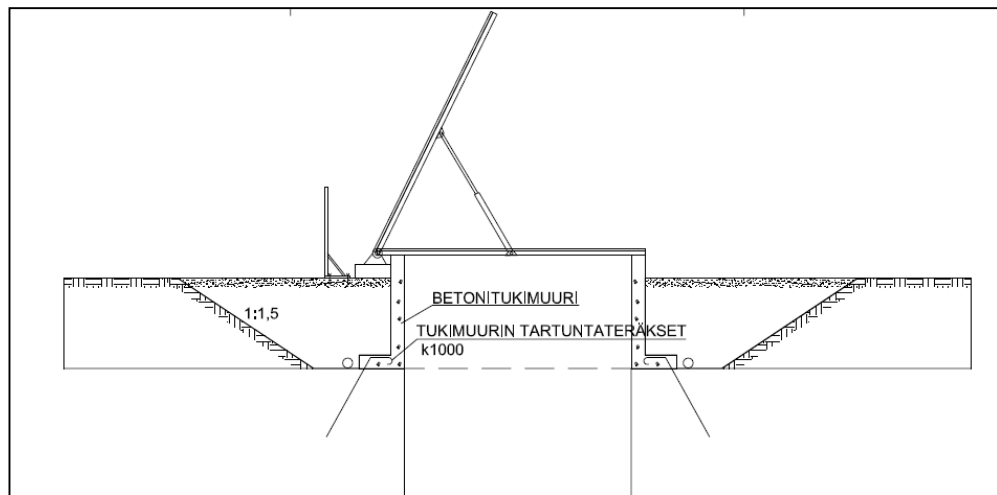
Tunnelin ja hallin pultit ja ennakkopultit					
	määrä	yksikkö	yksikköhinta		yhteensä
Pulttien yhteispituus	1312	m			
Pulttimateriaali	5248	kg	3		15 744
Juotomateriaali	1312	m ³	1		1 312
Jumbo	5	tp	2000		10 000
Porausteräs ja energia	1312	m ³	2		2 624
Työtasot	5	tp	400		2 000
Miehet	360	h	50		18 000
					0
					0
					49 680
Työkohtainen kustannus					
	37,9 €/m				

Lumikuilun lujituksen laskemiseksi käytettiin samaa ratkaisua kuin muidenkin rakennuskustannusten laskemiseksi. Kaikki kustannukset lujituksesta taulukoitiin ja kustannukset yksikköhinnoiteltiin tarkan lopputuloksen saamiseksi. Lujitukseen vaikuttavat kaikkiaan käytettävien lujituspulttien materiaali, pulttien juotomateriaali, asennuskoneisto, porausteräket, energia, tarvittavat asennus- ja työtasot sekä työntekijät. Kustannusten määrittämiseksi tuli ensin määrittää tarvittavien lujituspulttien määrät sekä tarvittavat materiaalit, joilla lumikuilun lujittaminen onnistuisi. Edellä mainittujen tietojen arvioinnin jälkeen kokonaismäärät pulteille ja juotomassalle sekä lujitustyön kestolle oli laskettavissa. Yksikköhintoja eri tuotteille ja kuluerille otettiin toteutuneiden projektien yksikköhinnoista.

5.3.5 Varustus

Lumikuilun varustetason tulisi olla korkea, jotta mahdollisia lumen sulatuksen tai lumen kuljetuksen käyttökatkoja tulisi mahdollisimman vähän. Osa lumikuilun järjestelmistä tulisi suunnitella nykyisten lumen sulatuspaikkojen kohtaamia ongelmia huomioiden. Suuret käyttökatkokset tulisi torjua ja huolto- ja korjaustoimenpiteet pitäisi saada hoidettua ilman suurempia lumen sulatusaikataulun viivästyksiä.

Kuilun suuaukko tulisi sulkea aina suurempien lumen kaatotaukojen välissä. Lisäksi työturvallisuuden parantamiseksi kaikki henkilöliikenne tulisi estää kuilun suuaukkojen läheisyydessä. Kuilun suuaukon päälle tulisi asentaa kaksi luukkuu, jotka avaamalla kuilu olisi auki joko kokonaan tai vain puoliksi (kuva 12). Tarkoituksena olisi luoda turvallinen ja tehokas sekä ennen kaikkea toimintavarma tapa kaataa lunta kuorma-autoista suoraan kuiluun.



Kuva 12. Lumikuilun kuilu- ja mahdollinen kansirakenne

Huoltotunnelin suuaukolle tulisi asentaa ovi, jonka voisi automatisoida avautumaan nykyisten lumen vastaanottoaikkojen sisäänkäyntipuomien lailla. Lumikuilun käyttökustannuksissa on otettava huomioon ajoneuvoihin asennettava puominavauslähetin.

Huoltotunnelin ja sulatushallin väliin asennetaan paineovi, jonka tarkoituksena on estää paineen ja veden siirtymistä sulatushallista huoltotunneliin. Paineoven tulee kestää sulatushallissa tapahtuvat paineenmuutokset ja mahdolliset jään törmäysrasitukset. Sulatushallin paineovi tulisi pystyä avaamaan sulatushalliin sisään, joten melkein kaikki sulamisvedet tulisi pumpata pois ensin poistopumpuilla. Jäljelle jäänyt sulamisvesi poistettaisiin tyhjennyspumpulla, jolloin huoltotoimenpiteet olisi mahdollista suorittaa.

5.4 Lumikuilun huoltokustannukset

Huoltokustannukset koostuvat lumikuilun elinkaaren alussa lähinnä hiekan ja roskien poistosta. Nykyisillä lumen sulatustarkoitukseen valjastetuilla vastaanotto-paikoilla on ollut toistuvia ongelmia turhien ja tiheään syntyvien huoltokatkojen takia. Luvuissa 5.4.1 – 5.4.5 määritetään eri toimenpiteitä, joiden täyttäminen parantaa lumikuilun toimintavarmuutta.

5.4.1 Huoltokatkot

Lumikuilun huoltokatkot tulisi sijoittaa siten, että katkon aiheuttama haitta lumikuilun toimintaan olisi mahdollisimman vähäistä. Toisin sanoen huoltokatkot tulisi ajoittaa esimerkiksi hetkiin, jolloin lumen sulatus tai lumen auraus olisi vähäistä. Runsaslumisina talvina ajankohdan määrittäminen olisi hankalaa, mutta välttämätöntä. Lumikuilun toiminta rajautuisi talviin, joten suurimuotoisten korjaustoimenpiteiden suorittaminen olisi suositeltavaa lumikuilun aktiivisen ajan ulkopuolella.

5.4.2 Hiekan poisto

Lumikuilun sulatushallin lattialle kerääntyvä hiekka tulisi poistaa aina mahdollisuuksien mukaan, mahdollisimman nopeasti ja lumen sulatusprosessia häiritsemättä. Lumensulatuksen ollessa maksimiteholla hiekkaa kertyisi sulatushallin pohjalle noin kolmen metrin kerros kuukaudessa. Hiekan kerääntyminen alkaa jossain vaiheessa haitata lumen sulatusprosessia, joten hiekan poisto tietyin väliajoin on pakollista. Hiekan kerääntymisestä tehtiin vertailuja olemassa olevan Malmin lumen vastaanottoaikan vuotuisten hiekan poistomäärien avustuksella.³² Lumimääriä vertailemalla saatiin hiekan määrää suhteutettua lumikuilun mahdollisiin hiekkamääriin. Oletuksena on, että hiekan määrä on suhteessa lumen määrään jokaisessa kuljetetussa kuormassa samanlainen.

³² Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumen vastaanottoaikojen raporttiluonnos. s. 19.

Taulukko 5. Lumikuiluun kerääntyvän hiekan määrä

Hiekan poisto				
Vertailuarvo (Malmin vastaanottoaika)				
Lumimäärä	m ³	1 300 000		
Hiekan määrä	m ³	3 607		
Kuormien määrä (vientä Ämmässuolle)	kpl	515		
Jättemaksu	tn	7 214	112	807 935

Taulukossa 5 laskelmien perusteella lumikuiluun kerääntyisi vuosittain lumen mukana noin 3600 m³ hiekkaa (liite 4). Hiekan määrä tulee jakaa toimintakuukausien mukaan, jolloin kuukaudessa lumikuiluun kerääntyy 900 m³ hiekkaa. Lumikuilun pohjan ala on 300 m², joten hiekan poisto on tarpeellista kolme kertaa kuukaudessa. Yhteensä yhden käyttövuoden aikana hiekkaa tulisi poistaa 12 kertaa neljän kuukauden aikana.

Yhden hiekkakuorman (7 m³) kuljetus kaatopaikalle kustantaa HSY:n hinnoittelu-taulukon mukaan noin 114 €, joten kokonaiskustannukseksi tulee 807 935 €.³³ Lisäksi on laskettava vielä hiekan kuljetuskustannukset. Ekologisuuden parantamiseksi hiekka tulisi käyttää täyttömaana tai uudelleen hiekoitushiekkana. Hiekan poiston kustannukset ovat erittäin suuret, mutta mahdolliset uudelleen käytöt alentavat kustannusten määrää huomattavasti.

5.4.3 Roskien poisto

Lumikuiluun kerääntyy lumen mukana kulkeutunut roska, joka usein on kevyempää kuin vesi, joten se kelluu lumikuilussa vesimassojen päällä. Kaikki pohjaan vajoava roska on poistettavissa hiekan poiston yhteydessä. Kelluvan roskan määrää on mahdotonta arvioida, mutta roskien poiston olisi tapahduttava hieman ennen hiekan poistoa. Hiekan tapaan kerätyt roskat viedään lumikuilusta kaatopaikalle, jossa HSY:n mukaan sekajätettä sisältävä kuorma kustantaa 50 €. Taulukossa 6 laskettiin roskien poistamisen lumikuilusta ja siirtämisen kaatopaikalle kustantavan kokonaisuudessaan 4 740 € vuodessa huomioiden kuljetuskustannukset kaatopaikalle.

³³ Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Jätehuoltohinnasto. 2012.

Taulukko 6. Lumikuilun roskien kaatopaikan jätekustannukset

Roskien poisto				
Vertailuarvo (Viikin vastaanottoaika)				
Lumimäärä	m ³	1 300 000		
Roskan määrä	m ³	190		
Kuormien määrä (vientä Ämmäsuolle)	kpl	27		
Jättemaksu	tn	95	50	4 740

5.4.4 Öljyn ja bensiinin poisto

Lumen mukana kulkeutuvien öljyn ja bensiinin poisto tapahtuu kuilusta käsin heti roskien poiston jälkeen. Kelluva öljyperäinen materiaali pyritään keräämään talteen mahdollisimman hyvin, jotta poistopumppauksen aikana tyhjennettävä sulatushallin vesi ei veisi puhdistetun jäteveden purkutunneliin ylimääräistä roskaa tai öljyperäisiä tuotteita. Lumikuilun elinkaarikustannuslaskelmissa ei öljyperäisten materiaalien poistolle ole määritelty hintaa. Öljyperäisten materiaalien poisto tapahtuu roskien ja hiekan poiston yhteydessä.

5.4.5 Sulatushallin tyhjentäminen vedestä

Lumikuilun sulatushallin tyhjentäminen (taulukko 7) on tarpeellista aina hiekan poiston yhteydessä eli kolme kertaa kuukaudessa. Tyhjentäminen aloitetaan roskien ja öljyperäisten materiaalien poistolla, jonka jälkeen sulatushalli tyhjenetään sulamisvesien poistopumpuilla. Pumput kykenevät poistamaan vettä sulatushallista vain tiettyyn korkeuteen asti, jonka jälkeen sulatushallin pohjalla olevat uppopumput kytketään päälle. Lumikuilun sulatushallin pohjalla oleva hiekka aiheuttaa ongelmia uppopumpun toiminnalle tukkimalla imuaukot uppopumpusta. Ratkaisu uppopumpun toimintavarmuuden parantamiselle voisi olla suojauurin rakentaminen tai korkoasetelmilla pelaaminen.

Taulukko 7. Lumikuilun tyhjennuskertojen kustannustaulukko

Lumensulatushallin tyhjennys ja huoltokatko	h	10		
työvoima				
lumikuilun valvoja (1 kpl)	€/ 10 h	500		
BobCat kuljettaja (1 kpl)	€/ 10 h	500		
BobCat vuokra (1 kpl)	€/ 10 h	600		
Siirtolavan kuljettaja (1 kpl)	€/ 10 h	500		
Siirtolavan vuokra (1 kpl)	€/ 10 h	700		
Tyhjennuskerrat / vuosi	kpl	12	2 800	33 600

5.5 Lumikuilun ylläpitokustannukset

Lumikuilun elinkaaren aikana huoltotoimenpiteitä tulisi tehdä määräaikaishuoltojen tapaan. Lumikuilun lujitus tulisi uusia noin 50 vuoden välein, ovet ja seinät noin 25 vuoden välein, jos suurempia rappeutumia tai onnettomuuksia ei ilmene. Lisäksi sähköistys lumikuiluun pitäisi uusia arvion mukaan 15 vuoden välein ja pumpput tulisi ainakin joltain osin uusia joka viides vuosi. Kaikki korjaustoimenpiteet eivät vaadi lumikuilun toiminnan keskeyttämistä, mutta kaikki korjaustoimenpiteet olisi suotavaa siirtää kevään ja syksyn väliselle ajanjaksolle.

5.5.1 Lujituksen uusiminen

Lumikuilu lujitetaan lujituspulteilla ja ruiskubetonilla jo rakennusvaiheessa. Ruiskubetoni joutuu rasitetuksi pakkaselle, vedelle, suolalle, hapelle ja liuottimille kuten bensiinille koko lumikuilun elinkaaren aikana. Lujitus tulisi uusia lumikuiluun vähintään kerran sille suunnitellun elinkaaren aikana eli 50 vuoden välein. Taulukosta 8 käy ilmi, että uudelleenlujitus kustantaisi arvion mukaan noin 272 000 € (liite 5). On myös huomioitava lujituksessa, etteivät kaikki rakenteet rasitu tasaisesti, vaan tiettyjen tilojen rakenteet joutuvat huomattavasti suurempien rasituksen kohteeksi. Esimerkiksi sulatushallin ruiskubetoni joutuu suuremman rasituksen kohteeksi kuin teknisen tilan ruiskubetoni.

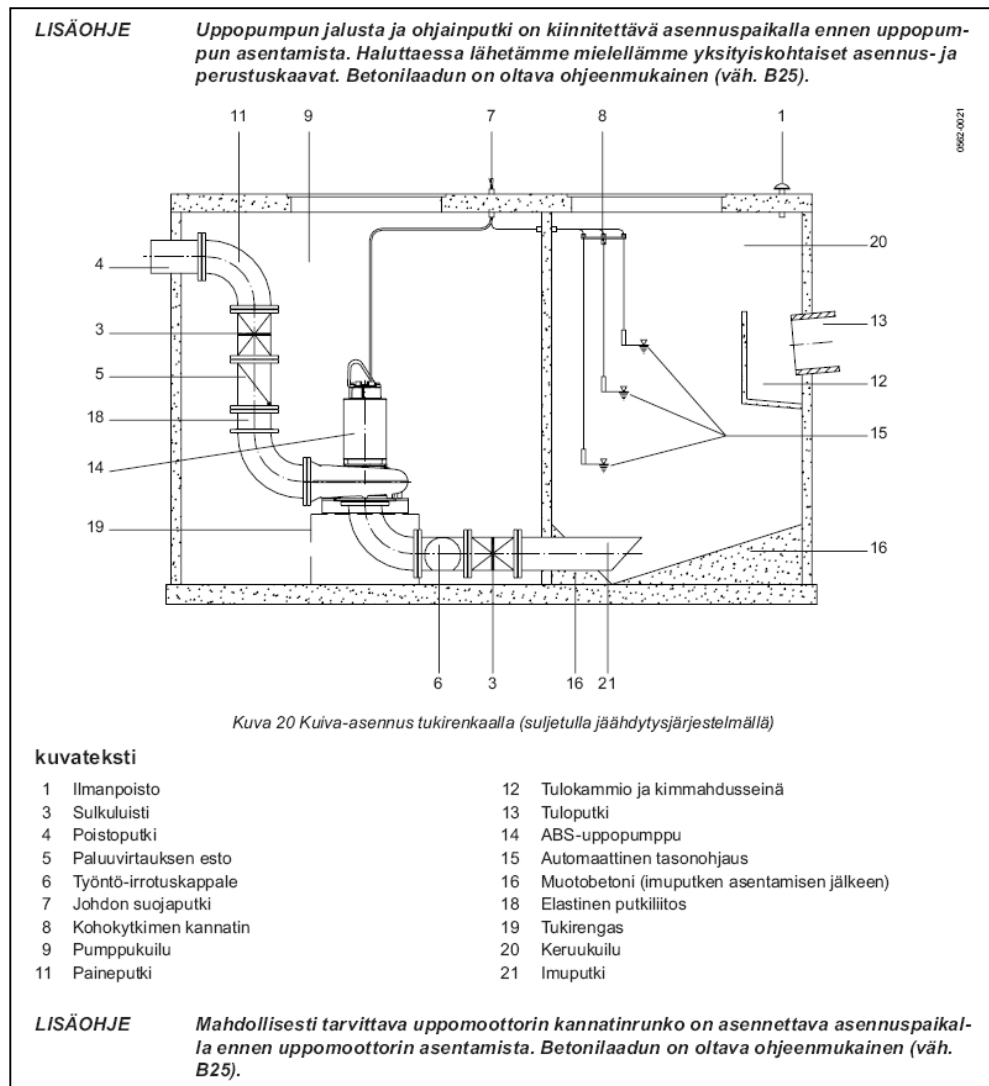
Taulukko 8. Lumikuilun määräaikaishuollot ja niiden kustannukset

Uudelleen lujitukset (50 vuoden välein)			€
Avolouhinnan lujitus			52 709
Huoltotunnelin lujitus			76 072
Teknisen tilan lujitus			17 674
Sulatushallin lujitus			71 200
Kuilun lujitus			53 872
		yhteensä	271 527

5.5.2 Ovi- ja seinärakenteiden uusiminen

Lumikuilun ovi- ja seinärakenteet tulisi uusia kokonaan noin 25 vuoden välein eli kaksi kertaa elinkaaren aikana. Varsinkin sulatushallin ja huoltotunnelin välinen

Sulamisvesien poistopumppujen valinnassa reunaehtoja oli useita. Pumppujen tulisi olla erittäin tehokkaita ja toimintavarmoja. Lisäksi pumppujen tulisi omata tarpeeksi nostokorkeutta, jotta sulamisvedet saataisiin poistettua lumikuilun sulatushallista. Nostokorkeudeksi arvioitiin noin 7 – 10 metriä. Laskennallisesti pumppujen tulisi nostaa vettä noin 1200 litraa eli 1,2 m³/s. Kolmelle pumpulle se olisi 0,4 m³/s (kuva 13).



Kuva 13. Poistopumppuvalmistajan ABS:n havaintokuva pumppujen asennuksesta³⁴

Lumikuilun rakennuskustannusten määrittämisen yhteydessä otettiin yhteyttä Suomessa toimivaan pumpputoimittajaan, jonka arvion mukaan pumput valittiin.

³⁴ ABS. Pumppujen asennuksen havainnekuva. AFP-ME, AFP-ME SX, AFL-ME ja VUP-ME, s.22. 2012.

Pumppujen toimitus- ja asennushinnaksi tuli 32 000 € kappaleelta, joten hintaa kertyi 128 000 € kaikista pumpuista. Pumppujen huolto kustantaisi hankintahinnasta noin 32 %, eli 40 000 €. Pumppujen uusimisesta kertyisi kustannuksia koko elinkaaren aikana noin 400 000 €.

5.6 Johtopäätökset esimerkkilaskelmasta

Elinkaarikustannuksia laskiessa tuli ottaa huomioon useita reunaehtoja ja menettelytapoja, joita seuraamalla oli mahdollista hahmottaa kokonaiskuva lumikuilun elinkaarikustannuksista. Elinkaarikustannusten osatekijöiden laskeminen oli haastavaa ja mielenkiintoista. Työn rajaaminen oli erittäin vaikeaa, sillä elinkaarikustannuksia laskiessa ja tapauksiin syventyessä uusia osa-alueita tuli esiin. Tutkimuksen pysyminen rajatulla alueella oli erittäin tärkeää, jotta työ ei paisuisi mahdottoman suureksi. Lumikuilun elinkaarikustannuksia rajattiin lisää vielä tutkielman edetessä ja uudet rajaukset estivät työn laajuuden liiallinen kasvun.

Lumikuilun elinkaarikustannuksia tarkkaillessa tulee muistaa niiden tarkkuus. Kustannukset on yritetty laskea kaikki tekijät huomioiden ja lisäksi on yritetty varautua mahdollisiin korjaus- ja huoltotoimenpiteisiin hieman todellisuutta suuremmalla kapasiteetilla. Elinkaarikustannuksia kerätessä tuloksia on käytetty muokkaamattomina ja niihin on muutenkin vaikutettu mahdollisimman vähän.

Lumikuilun rakennuskustannukset ovat elinkaaren 50 vuoden kokonaiskustannuksista vain pieni osa, mutta panostamalla oikeisiin osa-alueisiin joitain elinkaaren aikaisia huolto- ja ylläpitokustannuksia on mahdollista vähentää. Laskennallisesti lumikuilu tulisi maksamaan omistajalleen koko elinkaarensa aikana 29 000 000 €. Rakennuskustannukset ovat elinkaarikustannuksista noin 1 530 000 €, ylläpitokustannukset noin 600 000 €. Suurimpana kustannuksena olivat huoltokustannukset, jotka kohosivat melkein 27 000 000 €.

Elinkaarikustannukset laskettiin nykyarvomenetelmällä. Diskonttaus tehtiin vasta kun kaikki elinkaaren aikaiset kustannukset oli koottu yhteen taulukkoon. Taulukosta poimittiin myös lumikuilun elinkaaren aikaiset originaalikustannukset, jotka jaettiin eri kustannuskategorioiden. Elinkaarikustannusten laskemisen yhteydessä

tutkittiin myös kalliolaadun muutosten vaikutuksia ensin rakennuskustannuksiin ja rakennuskustannusten kautta koko elinkaarikustannuksiin.

Lumikuilun elinkaarikustannuksia on muistettava, ettei kustannuksille tehty kattavaa herkkyystarkastelua ja kustannusten laskemisessa käytettiin vain yhtä korkokantaa. Elinkaarikustannukset pitävät paikkaansa vain, jos lumikuilulle annetut reunaehdot pitävät paikkaansa. Lisäksi huolto- ja ylläpitokustannusten varmuutta on mahdoton ennustaa tarkasti etukäteen koko elinkaaren ajaksi. Laskelmien tukemiseksi on tehtävä useita tarkasteluja ja lisälaskelmia, joiden avulla määritetään lumikuilun elinkaarikustannusten todellinen paikkaansa pitävyys.

6 Lumikuilun käyttökustannukset

Lumikuilun käyttökustannukset ovat verrannollisia sulatetun lumen määrään. Käyttökustannukset koostuvat vuosittain maksettavista henkilökustannuksista, lumen kuljetuskustannuksista, puhdistetun jäteveden pinnannostosta ja sulamisveden poistopumppauksesta. Lumikuilun käyttöön tarvitaan Kyläsaaren lumen vastaanottoaikaan tapaan henkilöstöä lumikuilun sulatusaltaan vedenpinnan tarkkailuun ja lumikuormien vastaanottamiseen.

Lumikuilun rakennuspaikasta ja syvyydestä riippuen puhdistetun jäteveden pintaa tulee nostaa lumikuilun toiminnan varmistamiseksi. Kustannus pinnan nostolle syntyy Viikinmäen lumen vastaanottoaikalta Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) mukaan 30 000 €. Kustannus syntyy, kun veden pintaa nostetaan Viikinmäessä tasosta 0,66 metriä tasoon 1,35 metriä. Viikinmäkeen kuljetettavan lumen määrään nähden pinnan noston kustannukset ovat noin 0,074 €/m³ (liite 7). Taulukossa 11 käytettiin pinnannostopumppaukselle arvoa 0,074 €/m³, jotta lumikuilulle saatiin vertailuarvo veden pinnan nostokustannuksista. Kustannuksia kertyy lumikuilulle ylimääräisestä pumppauksesta lähes 95 000 € vuodessa (liite 8). Toisaalta kustannukset veden tason nostosta ovat kokonaan poistettavissa lumikuilun rakennuspaikkaa valittaessa.

Taulukko 11. Lumikuilun käyttökustannukset

Käyttökustannukset				
	yksikkö	määrä	yksikköhinta	yhteensä
Henkilökunta				
työtunnit viikossa (14 h x 6 päivää)	h	84		
työtunnit / vuosi	h	1344		
kuljetusvastaava	h	1344	50	67 200
työnjohto	h	269	50	13 440
Kuljetuskustannukset				
lumenkuljetus (5 km)	kuorma	87 000	70	6 090 000
Pumppaukset				
Puhdistetun jäteveden (HSY)				
pinnannostopumppaus (0,055 €/kWh)	m ³	1 300 000	0,073	94 900
Sulamisveden poistopumppaus	MWh	227	80,0	18 186
Yhteensä			ALV. 0 %	6 283 726

6.1 Lumen kuljetuskustannukset

Suurin yksittäinen kustannuserä lumikuilun käytöstä syntyy lumen kuljetuskustannuksista. Yhden 15 m³ kuorman kuljetus kustantaa noin 5 km matkalta 70 €. Kustannus pelkän lumen kuljettamisesta nostaa käyttökustannuksia hieman yli 6 000 000 €. Lumen kuljetuskustannuksia tarkastellessa tulee ottaa huomioon se, että lumen kuljetus on välttämätöntä lumen auraamisen yhteydessä. Kustannuksia pystyisi kontrolloimaan paremmin pienempien lumensulatusyksiköiden rakentamisella. Tiheään rakennetulla kaupunkialueella sopivien paikkojen löytäminen on toki haasteellista, mutta mahdollista. Lumikuilun kokonaiskustannukset romahtaisivat, jos kuljetusmatkojen pituudet lyhenisivät nykyisestään. Lumikuilun alue on aidattava ja läpikulku tulee estää kokonaan. Jokaiseen lumenkuljetusajoneuvoon tulee asentaa puominavauslähetin. Puominavauslähetin kustantaa noin 70 €/kpl.

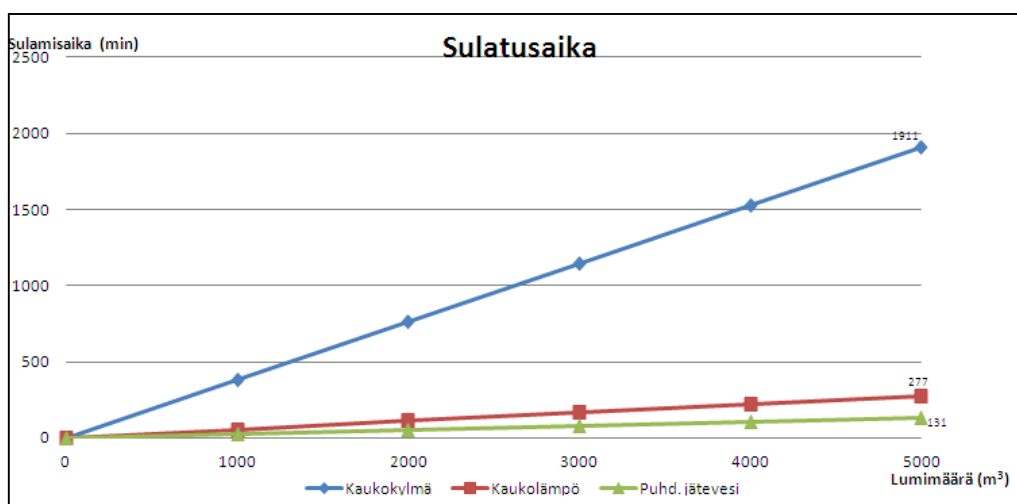
6.2 Lumensulatuksen valvonta

Lumikuilun toimintaa ja vedenpinnan tasoa on valvottava jatkuvasti. Lisäksi lumikuormien vastaanottaminen vaatii henkilön, joka vastaa kuilun alueella tapahtuvan liikenteen järjestelyistä ja toiminnasta. Lumikuilun viereen maan päälle tulisi rakentaa valvontarakennus, josta vedenpinnan tasoa voisi tarkkailla ja huolehtia samalla lumikuilun seudun henkilö- ja ajoneuvoliikenteestä. Lisäkustannuksia tulisi arvion mukaan lumen sulatustyön johtajasta, jonka palkkauksen kustannukset olisivat noin viidesosa kokoaikaisen henkilön palkkakustannuksista. Kokoaikaisen henkilön kustannukset nousevat hieman yli 67 000 €. Työnjohtajan laskennallinen palkka olisi tällöin noin 13 400 € vuodessa. Työnjohtajalla olisi mahdollista huolehtia jopa viiden lumensulatuslaitoksen toiminnasta.

6.3 Lumen sulatusmäärä

Vastaanotetun lumen määrä, jonka lumikuilu pystyy täydellä teholla sulattamaan, kohoaa noin 1 300 000 m³. Sulatetun lumen määrä riippuu täysin seuraavista seikoista: sataneen ja auratun lumen määrästä, puhdistetun jäteveden lämpötilasta (liite 9) ja sulatusprosessin katkaisevista ajanjaksoista, kuten huolto- ja häi-

riökatkoksista. Sulatettavan lumen määrää on mahdotonta arvioida ja lumikuilunkin tapauksessa lumimäärä saattaa vaihdella suuresti sulatusjaksojen välillä. Lumikuilun elinkaaren alussa lumimäärät pysyivät melko alhaisina, mutta tietotaidon kasvaessa ja prosessiin tutustumisen jälkeen sulatusmäärät nousevat mahdollisesti huomattavasti. Laskennallisesti puhdistetulla jätevedellä olisi mahdollista sulattaa noin 5000 m³ lunta kahdessa tunnissa (kuvaaja 8) (liite 10). Sulatus-teho riippuu täysin puhdistetun jäteveden lämpötilasta sekä lumen pudottamisnopeudesta. Muilla sulatusmenetelmillä lumen sulatusteho ei ole yhtä korkealla vielä, mutta esimerkiksi kaukojäähdytyksen määrä on huomattavassa kasvussa.



Kuvaaja 8. Lumikuilun sulatusmenetelmien sulatustehokkuudet (liite 10).³⁵

6.4 Johtopäätökset käyttökustannuksista

Lumikuilun käyttökustannuksia ei otettu mukaan nykyarvomenetelmän laskentaa niiden arvaamattomuuden takia. Käyttökustannukset nousevat erittäin korkealle juuri lumen kuljetuksesta johtuen. Kuljetuskustannukset ovat lumikuilun kokoiselle rakenteelle yli 6 000 000 € vuodessa. Kuljetuskustannukset riippuvat täysin lumen kuljetustarpeesta ja vähä lumisena talvena kuljetettavan lumen määrä vastaanottopaikoille romahtaa.

Kuljetuskustannuksia punnitessa tulee muistaa fakta, joka on se että lunta joudutaan poistamaan kaduilta aina lumen sataessa. Lumi on saatava pois katukuvasta

³⁵ Saanio & Riekkola Oy. Lumikuilu. 2011. s. 22 – 23.

mahdollisimman nopeasti ja vaivattomasti. Myös liian pitkät kuljetusmatkat rasittavat lumen poistoa. Lumikuilun tyyppinen ratkaisu toisi helpotusta lumenkuljetusmatkoihin, jos lumikuilu sijoitettaisiin keskustan alueelle.

7 Yhteenveto

Lumikuilun elinkaarikustannuksista tehtiin opinnäytetyö, jossa käsiteltiin rakennus-, huolto- ja ylläpitokustannusten laskemista sekä arvioimista. Työn tuloksena oli kokonaiskuvan antava tutkielma lumikuilun elinkaarikustannuksista. Työn tarkoituksena oli tuottaa laskentamateriaalia työn tilaajalle Helsingin kaupungin rakennusvirastolle.

Opinnäytetyö tutki elinkaarikustannusten lisäksi myös lumikuilun käyttöön liittyviä kustannuksia ja lumikuilun kalliolaadun muutosten vaikutuksia. Vaikutukset kalliolaadun muutoksilla olivat vähäisiä, mutta hyvän rakennuspaikan valinta on tärkeää rakennuskustannuksia ajatellen. Lumikuilun rakennuspaikkaa valittaessa tulisi muutenkin huomioida myös eri sulatusvaihtoehtoja ja niiden toimintaan vaadittavia tarpeita. Lumikuilu tulisi rakentaa sellaiseen paikkaan, jossa se olisi hyvien kulkuyhteyksien varrella raskaille ajoneuvoille sekä aurasalueiden ympäröimänä.

Lumikuilun rakentaminen olisi tutkimuksen mukaan kannattavaa kustannusten kannalta ja etenkin ekologisesta näkökulmasta tarkasteltaessa. Lumikuilun sulattamat lumet pumpattaisiin takaisin puhdistetun jäteveden purkutunneliin. Kaikki sulamisprosessin aikana irtoama roska ja hiekka tulisi pyrkiä erottamaan pumpattavasta vedestä. Lumikuilun käytön aikana olisi mahdollista tutkia lumen sulamisprosessien toimivuutta ja varmuutta, sekä erityisesti lumen sulattamisnopeutta.

Lumikuilun toiminta on teoreettisesti mahdollista, mutta sen toteuttamiseen tarvitaan lisäselvityksiä. Suurin kysymys herääkin lumikuilun rakentamispaikasta ja sulattamismenetelmästä. Lisäselvityksiä tarvitaan myös pumppujen sijoituspaikasta lumikuiluun, kattavaa herkkyystarkastelua lumikuilun elinkaarikustannuksista ja erityisesti lumikuilun ympäristövaikutuksia. Huoltokustannusten ollessa suurin kustannuserä lumikuilulle, olisi suotavaa tarkastella myös esimerkiksi hiekan uudelleen käyttöä hiekoitus tarkoituksessa tai hyötykäyttöä kaupunkirakentamisessa. Loppujen lopuksi huoltokustannusten vähentäminen ja hallitseminen lumikuilun tehokkuutta laskematta olisi edullisin tapa hallita lumikuilun elinkaarikustannuksia.

Lähteet

- 1 Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumenvastaanottoaikojen raporttiluonnos. s.78. Verkkodokumentti. Luettu 24.10.2011.
http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/8f6cba0043e6dc3ca838adae76d29171/lumenvastaanottoaikat_raporttiluonnos.pdf?MOD=AJPERES.
- 2 Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumenvastaanottoaikojen raporttiluonnos. s.87. Verkkodokumentti. Luettu 24.10.2011.
http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/8f6cba0043e6dc3ca838adae76d29171/lumenvastaanottoaikat_raporttiluonnos.pdf?MOD=AJPERES.
- 3 Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumenvastaanottoaikojen raporttiluonnos. s.79 – 81. Verkkodokumentti. Luettu 24.10.2011.
http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/8f6cba0043e6dc3ca838adae76d29171/lumenvastaanottoaikat_raporttiluonnos.pdf?MOD=AJPERES.
- 4 Snowdragonmelters. 2012. Verkkodokumentti. Luettu 28.3.2012.
(<http://snowdragonmelters.com/wide.asp?id=manCat&catID=5>).
- 5 Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumenvastaanottoaikojen raporttiluonnos. s.79. Verkkodokumentti. Luettu 24.10.2011.
http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/8f6cba0043e6dc3ca838adae76d29171/lumenvastaanottoaikat_raporttiluonnos.pdf?MOD=AJPERES.
- 6 Rakennuslehti. Lumi kylmentää ruotsalaissairaala kesällä. Verkkodokumentti. Luettu 28.3.2012. (<http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/24336.html>)
- 7 Rakennuslehti. Oslo ei tarvitse lumenkaatopaikkoja. Verkkodokumentti. Luettu 28.3.2012. (<http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/26447.html>)
- 8 YLE. Norjaan suunniteltu lumensulatusproomu. Verkkodokumentti. Luettu 28.3.2012.
(http://yle.fi/alueet/helsinki/2012/02/sulatuslautta_avuksi_helsingin_lumikaaokseen_3293764.html)

- 9 Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumenvastaanottoaikojen raporttiluonnos. s.10. Verkkodokumentti.
http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/8f6cba0043e6dc3ca838adae76d29171/lumenvastaanottoaikat_raporttiluonnos.pdf?MOD=AJPERES. Luettu 24.10.2011.
- 10 Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumenvastaanottoaikojen raporttiluonnos. s.17 ja 24 – 25. Verkkodokumentti. Luettu 24.10.2011.
http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/8f6cba0043e6dc3ca838adae76d29171/lumenvastaanottoaikat_raporttiluonnos.pdf?MOD=AJPERES.
- 11 Saanio & Riekkola Oy. Lumikuilu. 2011. s.4
- 12 Lumikuilun suunnittelupalaveri. Timo Saanio, Samuli Korpi ja Juho Danska. 12.9.2010. Saanio & Riekkola Oy, Helsinki.
- 13 Saanio & Riekkola Oy. Lumikuilu. 2011. s.24
- 14 Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL r.y. RIL 216 – 2001, Rakenteiden elinkaaritekniikka 2001. s.19 – 24.
- 15 Rakenteiden väsymys kestävyys. Matti Taipale. 2008. Verkkodokumentti. Luettu 25.4.2012
http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=rakenteen%20elinkaaren%20m%C3%A4ritt%C3%A4minen&source=web&cd=2&ved=0CCkQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.promaint.net%2Fdownloader.asp%3Fid%3D3102%26type%3D1&ei=N0qaT7_DA8za4QSN0KT-Dg&usq=AFQjCNFnWlQOtO-y6BaGer-4a-PdBO2hTcw
- 16 Johdon laskentatoimi. Kari Neilimo ja Erkki Uusi-Rauva. 2005. s.210
- 17 Talon 2000-nimikkeistö, yleisseloste. 2008. s. 7, 11 – 14, 29
- 18 Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL r.y. RIL 216 – 2001, Rakenteiden elinkaaritekniikka 2001. s.50.


- 19 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. RIL 216 – 2001, Rakenteiden elinkaartekniikka 2001. s. 50 – 52
- 20 Samuli Korven haastattelu. Saanio & Riekkola Oy. 18.10.2011
- 21 UEF. Investoinnit ja rahoitus. 2011. s.23. Verkkodokumentti. Luettu 15.4.2012.
http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=investoinnit%20ja%20rahoitus&source=web&cd=4&ved=0CHAQFjAD&url=https%3A%2F%2Fwww.uef.fi%2Ffc%2Fdocument_library%2Fget_file%3Fuuid%3Dff0e59fa-c074-43ed-ac40-0a003d780102%26groupId%3D25359%26p_l_id%3D274385&ei=4QKVT_OkG6eL4gS4oL3QDw&usg=AFQjCNH2u5VDHysvEEjuyfMn_VN2JCoQLg.
- 22 Samuli Korven ja Matti Kokon haastattelut. Saanio & Riekkola Oy. 25.10.2011
- 23 Reaalikorko. FIM sanasto. Verkkodokumentti. Luettu 25.4.2012
<https://www.fim.com/suomi/mutualfunds/fundacademy/terminology>
- 24 Johdon laskentatoimi. 2005. s. 364
- 25 Laskentatoimi päätöksenteon apuna. 2001. s. 334, liite 1
- 26 Johdon laskentatoimi. 2005. s. 365
- 27 Tieliikennehallinto. Epävarmuuden hallinta tienpidon vaikutusten arvioinnissa. Esko Rossi, Jukka Ristikartano, Kimmo Tikka. s.55 – 57. Verkkodokumentti. Luettu 28.3.2012
<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200930-vepavarmuustarkastelu.pdf>.
- 28 Johdon laskentatoimi. Kari Neilimo ja Erkki Uusi-Rauva. 2005. s. 224 – 225.
- 29 Mikko Aroniitty. Platform-ulkoseinän kustannusvertailut. 2001. Verkkodokumentti. Luettu 23.4.2012.
http://raklab.kyamk.fi/seminaari/2001/mikko_aroniitty/aroniitty.html

- 30 Saanio & Riekkola Oy. Lumikuilu. 2011. Liite 6.
- 31 Samuli Korven haastattelu. Saanio & Riekkola Oy, Helsinki. 15.10.2011
- 32 Helsingin rakennusvirasto katu- ja puisto-osasto. 2010. Lumenvastaanottoaikojen raporttiluonnos. s.19. Verkkodokumentti. Luettu 24.10.2011.
http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/8f6cba0043e6dc3ca838adae76d29171/lumenvastaanottoaikat_raporttiluonnos.pdf?MOD=AJPERES.
- 33 Helsingin seudun ympäristöpalvelut. 2012. Verkkodokumentti. Luettu 29.3.2012. (<http://www.hsy.fi/jatehuolto/asiointi/hinnoittelu/Sivut/default.aspx>)
- 34 ABS. Pumppujen asennuksen havainnekuva. AFP-ME, AFP-ME SX, AFL-ME ja VUP-ME. s.22. Verkkodokumentti. Luettu 20.3.2012. 29.3.2012.
<http://www.absgroup.fi/productDetails.asp?iProductId=79&iAreaID=3658>
- 35 Saanio & Riekkola Oy. Lumikuilu. 2011. s. 22 – 23.

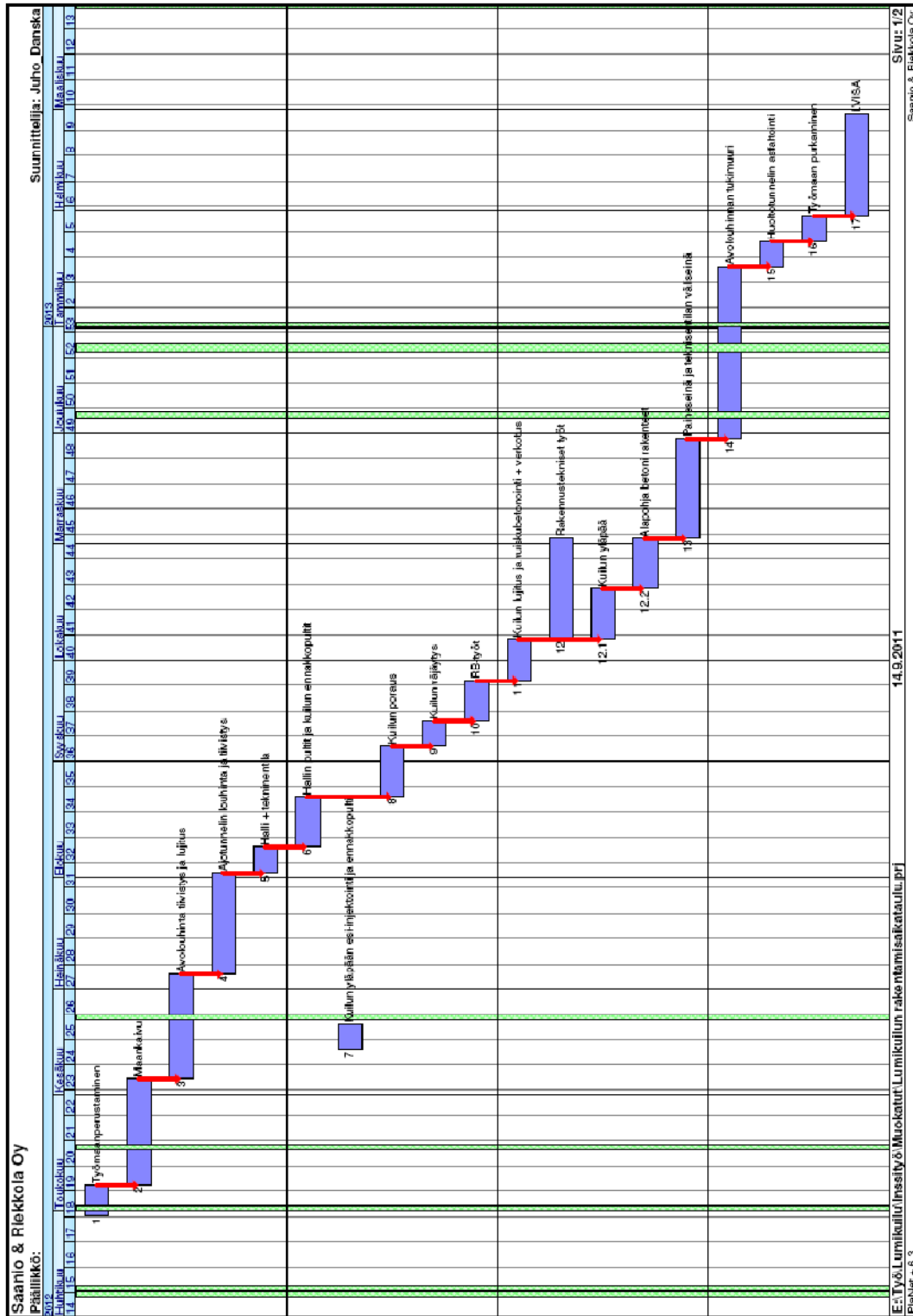
Liitteet

- Liite 1. Lumikuilun elinkaarikustannusten diskonttaus
- Liite 2. Lumikuilun rakentamisaikataulu
- Liite 3. Lumikuilun rakentamiskustannusten koontitaulukko
- Liite 4. Lumikuilun huoltokustannusten koontitaulukko
- Liite 5. Lumikuilun ylläpitokustannusten koontitaulukko
- Liite 6. Lumikuilun kalliolaadun muutosten vaikutukset
- Liite 7. Lumensulatus ja Viikin vastaanottoaikan veden pinnan nostopumppaus
- Liite 8. Lumikuilun käyttökustannusten koontitaulukko
- Liite 9. Puhdistetun jäteveden määrät ja lämpötilat
- Liite 10. Lumikuilun lumensulatusmäärät ja nopeudet eri menetelmillä

Lumikuilun elinkaarikustannusten diskonttaus

 S A A N I O & R I E K K O L A O Y <small>INSINÖÖRITOIMISTO</small>			
LUMIKUILU ELINKAARIKUSTANNUKSET		Laatija J. Danska	Päivämäärä 20.4.2012
Lähtötiedot	yksikkö	Lumikuilu	
laitteiden arvioitu elinkaari		50	
vuotuinen sähköntarve *		171	
(* poistopumput)			
Yleistiedot	yksikkö	Lumikuilu	
nimelliskorko (elinkaaren aikana)	%	5,2	
inflaatio (elinkaaren aikana)	%	3,0	
sähköenergian hinta	€/MWh	80,0	
Investointikustannukset	yksikkö	Lumikuilu	
rakennustyöt	€	1 526 295	
yhteensä	€	1 526 295	
Huoltokustannukset			
hiekan poisto	€/a	807 935	
roskan poisto	€/a	4 740	
huoltokatkot	€/a	50 400	
yhteensä	€/a	863 075	
Ylläpitokustannukset			
uudelleen lujitus	€/a	5 431	
seinien ja ovien uusiminen	€/a	3850	
sähköistyksen uusiminen	€/a	6667	
pumppujen huolto	€/a	8000	
yhteensä	€/a	23 948	
Laskennan apusuureet	yksikkö	Lumikuilu	
reaalikorko	%	2,14	
Diskonttauskerroin (elinkaaren lopussa)	-	0,35	
Annuiteettitekijä (elinkaaren lopussa)	-	0,033	
Elinkaaren kustannukset (F)	yksikkö	Lumikuilu	
rakennuskustannukset	€	1 526 295	
hiekan poisto	€	24 657 028	
roskan poisto	€	144 658	
		1 538 136	
huoltokatkot	€	417 494	
uudelleen lujitus	€	94 382	
seinien ja ovien uusiminen	€	90 191	
sähköistyksen uusiminen	€	164 511	
pumppujenhuolto	€	234 137	
Kustannukset yhteensä	€	28 866 832	
(F=kustannukset elinkaaren lopussa)			

Lumikuilun rakentamisaikataulu



Lumikuilun rakentamiskustannusten koontitaulukko

Rakennuskustannukset (Talo 2000 nimikkeistö)		
mitä		yht. €
Maankaivu		16017
Louhinta		91255
Tunnelien ja kalliotilojen louhinta		463418
Kallion lujitus ja tiivistys		
Huoltotunnelin		
Injektointi		17428
Lujituspultit		50672
Ruiskubetoni		60681
Teknisen tilan		
Injektointi		5677
Lujituspultit		6074
Ruiskubetoni		5923
Sulatushallin		
Injektointi		8984
Lujituspultit		35262
Ruiskubetoni		26954
Kuilun		
Injektointi		6512
Ennakkopultit		5032
Lujituspultit		13912
Ruiskubetoni		28416
Salaojat ja putkijohdot		
Kaivot		10000
Huoltotunnelin ritiläkaivo (5000x500x350)		
Aidat		15984
Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet		
Anturat		
Huoltotunnelin avoleikkauksen tukimuurin antura ja seinä		136071
Kuilun tukimuurin antura, muuri ja luukut		82602
Maanvarainen laatta		49580
Erityisovet (huoltotunnelin paineseinä ja teknisen tilan seinä)		51842
Lumikuilun sähköistys		100000
Lumikuilun LVI-työt		100000
Hulevesipumput		128000
Tyhjennyspumput		10000
Rakennuskustannukset yhteensä	ALV 0%	1 510 279

Lumikuilun huoltokustannusten koontitaulukko

Huoltokustannukset				
	yksikkö	määrä	yksikköhinta	yhteensä
Ajopuomi (HKR arvio)	kpl	1	5 000	5 000
Hiekanpoisto				
Vertailuarvo (Malmin vastaanottoaikka)				
Lumimäärä	m ³	1 300 000		
Hiekanmäärä	m ³	3 607		
Kuormienmäärä (vientä Ämmäsuolle)	kpl	515		
Jättemaksu	tn	7 214	112	807 935
Lumensulatushallin tyhjennys ja huoltokatko	h	10		
työvoima				
lumikuilun valvoja (1 kpl)	€ / 10 h	500		
BobCat kuljettaja (1 kpl)	€ / 10 h	500		
BobCat vuokra (1 kpl)	€ / 10 h	600		
Siirtolavan kuljettaja (1 kpl)	€ / 10 h	500		
Siirtolavan vuokra (1 kpl)	€ / 10 h	700		
Tyhjennyskerrat / vuosi	kpl	12	2 800	33 600
Roskien poisto				
Vertailuarvo (Viikin vastaanottoaikka)				
Lumimäärä	m ³	1 300 000		
Roskanmäärä	m ³	190		
Kuormienmäärä (vientä Ämmäsuolle)	kpl	27		
Jättemaksu	tn	95	50	4 740
Huoltokatkot				
Lumensulatushallin tyhjennys ja huoltokatko	h	5		
työvoima				
lumikuilun valvoja (1 kpl)	€ / 5 h	250		
Bobcat kuljettaja (1 kpl)	€ / 5 h	250		
Bobcat vuokra (1 kpl)	€ / 5 h	300		
Siirtolavan kuljettaja (1 kpl)	€ / 5 h	250		
Siirtolavan vuokra (1 kpl)	€ / 5 h	350		
Tyhjennyskerrat / vuosi	kpl	12	1 400	16 800
Huoltokustannukset / vuosi		ALV. 0%		868 075

Lumikuilun ylläpitokustannusten koontitaulukko

Ylläpitokustannukset			
Uudelleen lujitukset (50 vuoden välein)			€
Avolouhinnan lujitus			52 709
Huoltotunnelin lujitus			76 072
Teknisentilan lujitus			17 674
Sulatushallin lujitus			71 200
Kuilun lujitus			53 872
		yhteensä	271 527
		käyttövuoden aikana	5431
Ovien ja seinien uusiminen (25 vuoden välein)			€
Hallin paineseinä ja -ovi			44 742
Teknisentilan seinä ja ovi			7 100
Säänsuoja seinä ja ovi			37 296
Kuilun suojuuikut			7 100
		yhteensä	96 238
		käyttövuoden aikana	3 850
Sähköistyksen uusiminen (15 vuoden välein)			€
			100 000
		käyttövuoden aikana	6 667
Pumppujen huolto (5 vuoden välein)			€
Pumput 4 kpl (huolto 32% ostohinnasta)			40 000
		käyttövuoden aikana	8 000
		Käyttövuoden ylläpitokustannukset	23 947

Lumikuilun kalliolaadun muutosten vaikutukset osa 1



Lumikuilun elinkaarikustannusten herkkyystarkastelu

Oletus lumikuilun kalliolaaduksi on normaali rakennettavuus eli hyvä kalliolaatu. Ympäristötekijät vaikuttavat kallion louhintaan, tiivistykseen ja lujitukseen sekä louhinnan keston. Kallion laadun heikentyessä ympäristöriskit vähenevät lyhennettyjen louhintakatkosten ansiosta.

Hyvä kalliolaatu	Heikko kalliolaatu
Louhinta → katkopituus ~ 3 m	
Louhittava ejotuneli 55 m	hyvä kalliolaatu + tunnelin esi-inj. 3 krt. 2 tp = 6 tp
Louhittava sulatushalli 20 m	hyvä kalliolaatu + sulatushallin esi-inj. 3 krt. 2 tp = 6 tp
Louhittava tekninen tila 10 m	Välitön lujitus tunnelipulitit + ennakopulitit joka toiseen katkoon = 15 tp
Arvioitu työn kesto 40 tp	Työn kesto=
Arvioitu louhinnan kesto 35 tp	35 tp + 12 tp + 15 tp = 62 tp
	62 tp - 40 tp = 22 tp
Keskiarvo tp = 4800 €	
22 tp = 105 600 €	

Materiaalin lisäys tunneliin	Materiaalin lisäys sulatushallissa
3*6*20 = 360 m	2*10*15 = 300 m
Yhteensä: 660 * 40 €/m =	26 400 €

Pulttien lisäys:

Siirrytään heikkosa kallion laadussa 2x2 metrin ruudukosta 1,6x1,6 metrin ruudukkoon.

$$4 \text{ m}^2 / 2,56 \text{ m}^2 = 1,56 \text{ kerroin}$$

Hyvän kalliolaadun pulttitukset = 49 680 €

$$49 680 \text{ €} * 1,56 = 77 500 \text{ €}$$

Lumensulatus ja Viikin lumenvastaanottoaikaan veden pinnan nostopumppaus osa 1



Lumensulatuksen kustannukset

1 (2)

Päiväys

4.3.2010

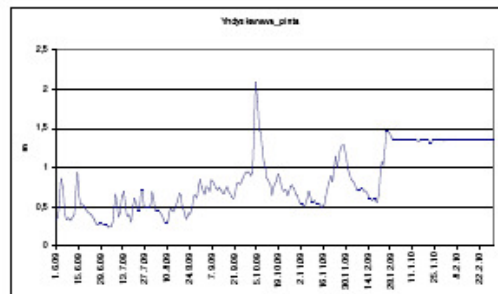
Lumensulatuksen kustannukset HSY Vedelle

Rakennusvirasto käyttää HSY Veden Viikinmäen jätevedenpuhdistamon puhdistettua jätevettä apuna lumensulatuksessa. Lumensulatus tapahtuu lumensulatusaltaassa entisellä Viikin jätevedenpuhdistamolla, jossa lumi kaadetaan puhdistettua jätevettä sisältävään altaaseen, josta vedet pumpataan tunnelissa Katajaluodon edustalle. Kuvassa 1 on esitetty kaaviokuva prosessista.




Kuva 1. Lumensulatusallas

Rakennusvirasto huolehtii veden pumppaamisesta lumensulatusaltaasta Katajaluotoon vievään poistotunneliin, mutta HSY Vesi maksaa lähtevän jäteveden padottamisen yhdyskanavassa, jotta vesi ohjautuisi Viikin vanhalle jätevedenpuhdistamolle. Käytännössä padottaminen tarkoittaa, että poistopumpuilta vaaditaan normaalitilannetta suurempaa nostokorkeutta. Kuvassa 2 on esitetty veden pinnankorkeus yhdyskanavassa 1.6.2009 - 2.3.2010.



Kuva 2. Yhdyskanavan pinnankorkeus

Lumensulatus ja Viikin lumenvastaanottoaikan veden pinnan nostopumppaus osa 2

	Lumensulatuksen kustannukset	2 (2)
	Päiväys	4.3.2010
<p>Lumensulatus aloitettiin tänä talvena 24.12.2009. Ennen lumensulatusta veden pinnankorkeus vaihteli ja oli keskimäärin 0,66 m, lumensulatuksen alettua pinta nostettiin arvoon 1,35 m. Pinnan pitäminen tässä arvossa tarkoittaa pumppaustehossa lähes 4 %:n eli 177 kW:n kasvua. Täten lumensulatuksesta koituu HSY Vedelle lisäkustannuksia 233 €/päivä, kun sähköenergian hintana käytetään 0,055 €/kWh. Esimerkiksi neljä kuukautta kestävä lumensulatusjakso maksaa pumppauskustannuksina HSY Vedelle lähes 30 000 €.</p>		
<p>Lumensulatuksen ns. sivuvirtausluukun toiminta ei ole ollut kunnossa, jonka johdosta olemme joutuneet nostamaan padotuspinnan korkeutta vuonna 2009. Tämä on lisännyt puhdistetun jäteveden poistopumppauksen energiankulutusta.</p>		
<p>Tilanne on muuttunut vuonna 2004, kun Viikinmäen puhdistamolla otettiin käyttöön tertiärisenä käsittelyvaiheena biologinen suodatinlaitos, jonka vuoksi lähtevä jätevesi joudutaan pumppaamaan puhdistamolta mereen. Ennen vuotta 2004 poistuvan veden pumppausta ei ollut.</p>		
<p>Ehdotus</p>		
<p>Lumensulatuksen veden johtaminen lumensulatusaltaalle tulisi toteuttaa siten, että poistuvien puhdistettujen jätevesien tunneliin asennetaan erillinen pumppu, jonka avulla voidaan pumpata tarvittava vesimäärä lumensulatusaltaalle. Pumpun hoito ja käyttökustannukset siirtyisivät siten suoraan lumensulatuksesta vastaavan organisaation vastuulle. Nykyiset vesien johtamisjärjestelyt lumensulatusaltaalle jäisivät toimintaa, koska kyseinen järjestelmä on osa puhdistettujen jätevesien varapurkujärjestelmää.</p>		
<p>HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä PL 100, 00056 HSY, Oksanenilta 5 A, 00520 Helsinki Puh. 09 156 11, Fax 09 1561 2011, Y-2274241-9, www.hsy.fi</p> <p>HRM Samkommunen Helsingforsregionens miljöförvaltare PB 100, 00056 HSY, Samarbetsen 5 A, 00520 Helsingfors Tfn. 09 156 11, Fax 09 1561 2011, FC-2274241-9, www.hsy.fi</p>		

Lumikuilun käyttökustannusten koontitaulukko

Käyttökustannukset				
	yksikkö	määrä	yksikköhinta	yhteensä
Henkilökunta				
työtunnit viikossa (14 h x 6 päivää)	h	84		
työtunnit / vuosi	h	1344		
kuljetusvastaava	h	1344	50	67 200
työnjohto	h	269	50	13 440
Kuljetuskustannukset				
lumenkuljetus (5 km)	kuorma	87 000	70	6 090 000
Pumppaukset				
Puhdistetun jäteveden (HSY)				
pinnannostopumppaus (0,055 €/kWh)	m ³	1 300 000	0,073	94 900
Sulamisveden poistopumppaus	MWh	227	80,0	18 186
Yhteensä			ALV. 0 %	6 283 726

Puhdistetun jäteveden määrät ja lämpötilat osa 1

Viikinmäen jätevedenpuhdistamo					
Puhdistetun jätevedenmäärä ja lämpötila			3.2.2011		
	Lähtevä jätevesi m ³ /d	Lämpötila °C	Lähtevä jätevesi m ³ /d		
3.1.2010	198913	13,0	3.1.2009	239294	12,7
4.1.2010	211727	13,3	4.1.2009	227244	12,7
5.1.2010	220208	13,5	5.1.2009	241268	12,8
6.1.2010	211743	13,5	6.1.2009	249050	12,5
7.1.2010	215117	13,5	7.1.2009	243816	13,0
8.1.2010	218360	13,7	8.1.2009	245668	12,9
9.1.2010	207166	13,5	9.1.2009	255533	13,0
10.1.2010	205677	13,3	10.1.2009	243725	13,0
11.1.2010	213761	13,7	11.1.2009	262176	12,4
12.1.2010	215004	13,6	12.1.2009	285865	12,1
13.1.2010	217111	13,7	13.1.2009	270311	12,5
14.1.2010	213498	13,8	14.1.2009	243988	13,0
15.1.2010	212183	13,9	15.1.2009	268824	13,2
16.1.2010	201728	13,7	16.1.2009	242624	13,0
17.1.2010	202181	13,5	17.1.2009	237474	12,9
18.1.2010	209101	13,7	18.1.2009	226410	12,8
19.1.2010	211144	13,8	19.1.2009	224478	13,0
20.1.2010	212384	13,8	20.1.2009	238131	12,8
21.1.2010	215937	13,8	21.1.2009	261604	13,2
22.1.2010	203577	13,0	22.1.2009	236448	13,3
23.1.2010	203350	13,5	23.1.2009	235264	13,2
24.1.2010	196519	13,3	24.1.2009	226714	13,1
25.1.2010	212064	13,6	25.1.2009	222275	12,9
26.1.2010	213805	13,6	26.1.2009	267427	12,9
27.1.2010	213128	13,7	27.1.2009	198460	12,6
28.1.2010	213887	13,6	28.1.2009	275024	13,4
29.1.2010	210292	13,6	29.1.2009	232307	13,3
30.1.2010	202661	13,3	30.1.2009	236275	13,1
31.1.2010	200432	13,3	31.1.2009	213159	12,9
1.2.2010	205932	13,6	1.2.2009	219910	12,8
2.2.2010	206948	13,6	2.2.2009	222833	13,1
3.2.2010	209445	13,7	3.2.2009	237024	12,7
4.2.2010	211043	13,6	4.2.2009	243251	13,0
5.2.2010	204953	13,7	5.2.2009	229637	13,2
6.2.2010	203203	13,3	6.2.2009	228701	13,1
7.2.2010	188781	13,3	7.2.2009	211039	13,1
8.2.2010	217852	13,6	8.2.2009	282518	11,9
9.2.2010	206543	13,5	9.2.2009	296383	11,5
10.2.2010	210913	13,6	10.2.2009	241582	12,2
11.2.2010	209810	13,6	11.2.2009	240048	12,8
12.2.2010	208479	13,7	12.2.2009	231714	13,1
13.2.2010	201070	13,5	13.2.2009	229373	13,1
14.2.2010	197056	13,4	14.2.2009	211932	12,8
15.2.2010	205568	13,5	15.2.2009	210885	12,9
16.2.2010	209307	13,4	16.2.2009	209206	12,9
17.2.2010	207836	13,7	17.2.2009	218373	12,4
18.2.2010	207107	13,7	18.2.2009	218208	12,8
19.2.2010	206542	13,5	19.2.2009	216501	12,7
20.2.2010	199089	13,2	20.2.2009	212004	12,7
21.2.2010	191293	13,1	21.2.2009	204447	12,7
22.2.2010	196405	13,2	22.2.2009	201735	12,6
23.2.2010	195984	13,2	23.2.2009	219021	12,8

Puhdistetun jäteveden määrät ja lämpötilat osa 2

	Lähtevä jätevesi m3/d	Lämpötila °C		Lähtevä jätevesi m3/d	Lämpötila °C
24.2.2010	198217	13,3	24.2.2009	223064	12,8
25.2.2010	196608	13,2	25.2.2009	236338	13,0
26.2.2010	198143	13,2	26.2.2009	228508	12,9
27.2.2010	193625	13,1	27.2.2009	215206	12,8
28.2.2010	218910	12,8	28.2.2009	232034	12,9
1.3.2010	235993	12,7	1.3.2009	205874	13
2.3.2010	252414	12,7	2.3.2009	223071	12,9
3.3.2010	223799	13,1	3.3.2009	221806	12,3
4.3.2010	214228	13,4	4.3.2009	226618	12,9
5.3.2010	216022	13,4	5.3.2009	228558	12,8
6.3.2010	211376	13,3	6.3.2009	234546	12,8
7.3.2010	200603	13,2	7.3.2009	214815	12,8
8.3.2010	197655	13,3	8.3.2009	207034	12,7
9.3.2010	236890	13,4	9.3.2009	214199	12,8
10.3.2010	223925	13,2	10.3.2009	256754	12,6
11.3.2010	262441	13,0	11.3.2009	226363	12,7
12.3.2010	218779	13,0	12.3.2009	238685	12,9
13.3.2010	227794	13,2	13.3.2009	222449	12,9
14.3.2010	189632	12,9	14.3.2009	218374	12,8
15.3.2010	243288	13,4	15.3.2009	223078	12,6
16.3.2010	222929	13,3	16.3.2009	222673	12,8
17.3.2010	227131	13,3	17.3.2009	242871	12,6
18.3.2010	204368	13,4	18.3.2009	245425	12,8
19.3.2010	272593	12,8	19.3.2009	260510	12,8
20.3.2010	308830	11,0	20.3.2009	236125	12,7
21.3.2010	238994	12,0	21.3.2009	252168	12,3
22.3.2010	246234	12,3	22.3.2009	226099	12,2
23.3.2010	257083	12,3	23.3.2009	233514	12,3
24.3.2010	249746	12,5	24.3.2009	240259	12,5
25.3.2010	249938	12,5	25.3.2009	228193	12,8
26.3.2010	258477	12,6	26.3.2009	231293	12,9
27.3.2010	290687	11,6	27.3.2009	230755	12,9
28.3.2010	352682	8,2	28.3.2009	208256	12,8
29.3.2010	462298	9,6	29.3.2009	244495	12,5
30.3.2010	507704	9,7	30.3.2009	279546	12,2
31.3.2010	475637	9,5	31.3.2009	330823	10,8
1.11.2010	214689	16,5	1.11.2009	223451	15,6
2.11.2010	219219	16,8	2.11.2009	235495	15,8
3.11.2010	310057	15,5	3.11.2009	248615	15,7
4.11.2010	263793	15,7	4.11.2009	218157	16,0
5.11.2010	247026	16,3	5.11.2009	240654	16,0
6.11.2010	228447	16,1	6.11.2009	336734	13,9
7.11.2010	218501	15,9	7.11.2009	322385	13,7
8.11.2010	224688	15,9	8.11.2009	277651	14,5
9.11.2010	240520	16,0	9.11.2009	263559	14,9
10.11.2010	432187	12,1	10.11.2009	286735	14,5
11.11.2010	276362	15,3	11.11.2009	272207	15,1
12.11.2010	300674	14,8	12.11.2009	246475	15,2
13.11.2010	379837	13,4	13.11.2009	272804	15,3
14.11.2010	283661	14,6	14.11.2009	228254	15,2
15.11.2010	314942	14,4	15.11.2009	235276	14,9
16.11.2010	307695	14,7	16.11.2009	237420	15,2
17.11.2010	257009	15,2	17.11.2009	252930	15,2
18.11.2010	303710	14,2	18.11.2009	309306	14,2

Puhdistetun jäteveden määrät ja lämpötilat osa 3

Lähtevä jätevesi		Lämpötila	Lähtevä jätevesi		Lämpötila
m ³ /d		°C	m ³ /d		°C
19.11.2010	299794	14,6	19.11.2009	312614	14,2
20.11.2010	256000	14,8	20.11.2009	339985	14,1
21.11.2010	234433	14,8	21.11.2009	326681	13,9
22.11.2010	254309	14,9	22.11.2009	280754	14,0
23.11.2010	235532	15,2	23.11.2009	460160	12,3
24.11.2010	243088	15,2	24.11.2009	399179	13,3
25.11.2010	238682	15,3	25.11.2009	337714	13,8
26.11.2010	235604	15,1	26.11.2009	408840	13,2
27.11.2010	218693	15,0	27.11.2009	384009	13,4
28.11.2010	211650	14,9	28.11.2009	436750	12,6
29.11.2010	223925	14,5	29.11.2009	405636	12,3
30.11.2010	228491	14,9	30.11.2009	387598	13,3
1.12.2010	223394	15,0	1.12.2009	335775	13,6
2.12.2010	232085	15,0	2.12.2009	321684	13,6
3.12.2010	210786	14,9	3.12.2009	302265	14,0
4.12.2010	216924	15,0	4.12.2009	284648	14,1
5.12.2010	195365	14,5	5.12.2009	316235	13,2
6.12.2010	197239	14,4	6.12.2009	270315	13,6
7.12.2010	218580	14,6	7.12.2009	278846	14,9
8.12.2010	224161	14,7	8.12.2009	269954	14,0
9.12.2010	220291	14,8	9.12.2009	265740	14,2
10.12.2010	223752	14,7	10.12.2009	280265	14,3
11.12.2010	217551	14,5	11.12.2009	267836	14,3
12.12.2010	201231	14,3	12.12.2009	242048	14,1
13.12.2010	216537	14,5	13.12.2009	257465	13,8
14.12.2010	211454	14,4	14.12.2009	238031	14,0
15.12.2010	218407	14,7	15.12.2009	245097	14,0
16.12.2010	218721	14,4	16.12.2009	245798	14,2
17.12.2010	220742	14,6	17.12.2009	239369	14,1
18.12.2010	211121	14,5	18.12.2009	248650	14,1
19.12.2010	197632	14,1	19.12.2009	232904	13,9
20.12.2010	213721	14,3	20.12.2009	224258	13,6
21.12.2010	209445	14,1	21.12.2009	235859	13,9
22.12.2010	224936	14,4	22.12.2009	236094	13,8
23.12.2010	189663	14,1	23.12.2009	230917	13,7
24.12.2010	194125	13,8	24.12.2009	213029	13,5
25.12.2010	173270	12,9	25.12.2009	177249	12,8
26.12.2010	176237	13,0	26.12.2009	183194	12,8
27.12.2010	179569	13,2	27.12.2009	190341	12,8
28.12.2010	186089	13,5	28.12.2009	199102	13,2
29.12.2010	203594	13,8	29.12.2009	206987	13,4
30.12.2010	212136	13,9	30.12.2009	218852	13,6
31.12.2010	212383	14,0	31.12.2009	217369	13,7

Lumen sulatus ja veden lämmitys									
	1	(yksi kuorma)	1.000	10.000	100.000	(lumikuilu)	(hämeseart)	(pääkaupunkiseutu)	Yks.
Lumen määrä		15	1.000	10.000	100.000	250.000	750.000	3.000.000	m ³
Lumen massa	500	7.500	500.000	5.000.000	50.000.000	125.000.000	375.000.000	1.500.000.000	kg
Lumen lämmitykseen vaadittava energia	1,46	21,88	1.458	14.583	145.833	364.583	1.093.750	4.375.000	kWh
	0,0015	0,022	1,5	14,6	146	365	1.094	4.375	MWh
Lumen sulamiseen vaadittava energia	46,53	697,92	46.528	465.278	4.652.778	11.631.944	34.895.833	139.583.333	kWh
	0,05	0,70	46,5	465	4.653	11.632	34.896	139.583	MWh
Veden lämmittämiseen tarvittava energia	2,91	43,65	2.910	29.097	290.972	727.431	2.182.292	8.729.157	kWh
	0,003	0,04	2,9	29	291	727	2.182	8.729	MWh
Kaikkiaan tarvittava energian määrä	0,0509	0,7634	50,9	509	5.090	12.724	38.172	152.688	MWh

Lähtötiedot:	
Lumen tiheys	500 kg/m ³
Veden tiheys	1.000 kg/m ³
Lumen ominaislämpökapasiteetti	2,1 kJ/(K*kg)
Veden ominaislämpökapasiteetti	4,19 kJ/(K*kg)
Lumen sulamislämpö	335 kJ/kg
Lumen lämpötilan muutos	5 K
Veden lämpötilan muutos	5 K
Lämpötilan muutos (kaukolämpö)	110 °C
Lämpötila muutos (kaukokylmä)	11 °C
Lämpötila muutos (puhdistettu jätevesi)	9,4 °C

HUOM! Hyötysuhde lämmönsiirrossa	
Sulatus puhdistetulla jätevedellä	415.936.801 kJ
Jäteveden luovuttama energia	415.937 MJ
	116.649 kWh
	116,6 MWh
Jätevedellä sulatettu lumimäärä tunnissa	2292 m ³
Sulatus kaukokylmällä	
Kaukokylmän luovuttama energia	23.806.250 kJ
	28.806 MJ
	800,2 kWh
	8,0 MWh
Tuotetulla kaukokylmällä sulatettu lumimäärä tunnissa	157 m ³
Sulatus kaukolämmöllä	
Kaukolämmönluovuttama energia	460.900.000 kJ
	460.900 MJ
	128.028 kWh
	128,0 MWh
Yhdellä kaukolämpö m ³ sulatettu lumimäärä	2,5 m ³

HUOM! Hyötysuhde lämmönsiirrossa	
Sulatetun lumen ja puhdistetun jäteveden pumppaus	
Jätevedellä sulatettu lumimäärä	m ³ (lunta) / h
Lumen tiheys on puolel- veden tiheydestä	2292 m ³ (vettä) / h
Pumpattava vesimäärä	318 l / s
Sulatukseen käytetty puhdistetun jäteveden mää-	255890 m ³ (vettä) / h
Pumpattava vesimäärä	2962 l / s
Yhteensä lumikulusta pumpattava vesimäärä	3280 l / s

Lasukaavat:	
Q = m * c * ΔT	Yksikkö [kJ] = [K]
Muunnos MJ = MWh	MJ / (3,6 * 1000) = MWh

Lumikuilun lumensulatus määrät ja nopeus eri menetelmillä osa 1

Lumikuilun lumensulatus määrät ja nopeus eri menetelmillä osa 2

