



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

IIKKA HYVÖNEN
KUITUTUHKAN PITKÄAIKAISTOIMIVUUS TEIDEN JA URHEILU-
KENTTIEN PÄÄLLYSRAKENTEISSA
Diplomityö

Tarkastaja: professori Pauli Kolisoja
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Talouden ja rakentamisen
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
9. Huhtikuuta 2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

HYVÖNEN, IIKKA: Kuitutuhkan pitkäaikaistoimivuus teiden ja urheilukenttien päällysrakenteissa

Diplomityö, 73 sivua

Elokuu 2014

Pääaine: Yhdyskuntarakentaminen

Tarkastaja: professori Pauli Kolisoja

Avainsanat: Uusiomateriaalien hyötykäyttö, seosmateriaalit, kuitusavi, tuhka

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää kuitusaven ja lentotuhkan seoksen eli kuitutuhkan pitkäaikaistoimivuutta ja -kestävyyttä tie- ja urheilukenttärakenteissa. Työssä tutkittiin vanhoja LIFE- ja UUMA-hankkeiden koekohteita ja hyödynnettiin koekohteista aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia vertailemalla niitä uusiin seurantatutkimuksiin. Lisäksi kolmesta koekohteesta määritettiin kuitutuhkarakenteesta otettujen näytteiden lämmönjohtavuus, joiden avulla pystyttiin arvioimaan onko kuitutuhkan lämmönjohtavuudessa tapahtunut muutoksia koekohteen elinkaaren aikana. Mitattujen lämmönjohtavuusarvojen perusteella koekohteiden rakenteiden laskennallisia routanousuja vertailtiin perinteisiin luonnon kiviainesrakenteisiin.

Työssä tehtyjen havaintojen ja tutkimusten perusteella kuitutuhkaa on pystytty onnistuneesti hyödyntämään niin tierakenteissa kuin erilaisissa urheilukenttärakenteissa. Tiekohteet, joissa on käytetty kuitutuhkaa tien jakavassa kerroksessa, ovat pysyneet toiminnaltaan vastaavassa kunnossa kuin perinteisin menetelmin tehdyt vertailurakenteet. Koe- ja vertailurakenteiden kulutuskerroksissa näkyi yhtäläisesti liikenteen ja sääolosuhteiden aiheuttamat rasitukset pituus ja poikkisuuntaisena epätasaisuutena. Urheilukenttäkohteissa kuitutuhkan potentiaalinen hyötykäyttö korostuu, koska urheilukentät eivät ole alttiita samanlaiselle liikennekuormituksista aiheutuvalla rasituksella. Routaa eristävä kuitutuhkakerros yhdessä toimivan kuivatuksen kanssa mahdollistavat hyvin toimivan ja kestäväen urheilukenttärakenteen.

Mitattujen lämmönjohtavuusarvojen perusteella kuitutuhkan lämmönjohtavuudessa ei ole tapahtunut suuria muutoksia rakenteiden elinkaarien aikana ja kuitutuhka on säilyttänyt pienemmän lämmönjohtavuusarvonsa luonnon kiviainekseen verrattuna. Mikäli routanousu on rakenteen mitoittava tekijä, voidaan kuitutuhkarakenteella pienemmän lämmönjohtavuutensa ansiosta rakentaa kokonaispaksuudeltaan ohuempia rakenneratkaisuja perinteisiin rakenteisiin verrattuna. Ohuemmillä rakennekerroksilla voidaan saavuttaa kustannustehokkaampi rakenne ja sillä on myös luonnonvaroja säästävä vaikutus.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

HYVÖNEN, IIKKA: Long-term functionality of fiber ash in road and sports field structures

Master of Science Thesis, 73 pages

August 2014

Major: Municipal Engineering

Examiner: Professor Pauli Kolisoja

Keywords: Recycling, fiber clay, fly ash, fiber ash

Aim of this study was to investigate long-term functionality of fiber ash in road and sports field structures. Fiber ash is a mixture of fiber clay and fly ash. The thesis studies the old test sites of LIFE and UUMA projects and uses earlier investigations by comparing them to the new follow-up investigations. In addition the thermal conductivity of the fiber ash layer were surveyed in three test sites, which made it possible to assess whether the thermal conductivity of the fiber ash changes during the life cycle of the structure. Frost heave of the test sites was calculated on the basis of the measured thermal conductivity values and compared to the frost heave of conventional natural aggregate structures.

Fiber ash has been successfully utilized in road and sports field structures according to the observations and investigations of this study. The road test sites, which have fiber ash sub-base layer, have remained functionally in similar condition than the conventionally constructed reference structures. Stress caused by the traffic and weather conditions had been equally eroded the reference and test sections. Fiber ash is potential construction material in sports field structures, because sports fields are not susceptible to traffic load. Frost insulating layer of fiber ash with functional drainage enables a well-functioning and sustainable sports field structure.

The measured thermal conductivity values indicate that there have been no major changes in the thermal conductivity of the fiber ash during the life cycle of the test sites. Fiber ash has maintained lower thermal conductivity compared to the natural aggregates. If the frost heave is a design factor of the structure, use of the fiber ash is a solution to decrease the total thickness of the structure. Cost-effective design can be achieved with thinner structures and it also has a resource-saving effect.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty opinnäytetyönä Ramboll Finland Oy:ssa. Diplomityö on osa valtakunnallista UUMA2-ohjelmaa, jonka tavoitteena on uusiomaamateriaalien hyötykäytön edistäminen. Työn valvojana on toiminut Tampereen teknillisen yliopiston maa- rakenteiden professori Pauli Kolisoja ja ohjaajana DI Marjo Ronkainen Ramboll Finland Oy:stä.

Haluan kiittää työn rahoittajia Opetus- ja kulttuuriministeriötä (Erja Metsäranta), SCA Tissue Finland Oy:tä, Ramboll Finland Oy:tä sekä UUMA2-ohjelmaa, jotka mahdollis- tivat osallistumisen mielenkiintoiseen tutkimustyöhön ja työn tekemiseen.

Isot kiitokset kuuluvat työn valvojalle professori Pauli Kolisojalle työn tarkastamisesta ja ohjaavista kommenteista työn aikana. Erityisesti haluan kiittää Marjo Ronkaista työni ohjauksesta sekä korvaamattomista neuvoista. Haluan myös lämpimästi kiittää Ramboll Finland Oy:n Luopioisten toimiston työntekijöitä Harri Jyrävää ja Pentti Lahtista työn aikana saamista neuvoista sekä Ari Mäkistä ja Tero Jokista työhön liittyvien laborato- riokokeiden tekemisestä.

Lopuksi haluan osoittaa kiitollisuuteni avopuolisolleni Sannille sekä perheelleni tuesta ja kannustuksesta, jota olen saanut tämän työn ja opiskelujeni aikana.

Tampereella 1.8.2014

Iikka Hyvönen

SISÄLLYS

Abstract	iii
Termit ja niiden määritelmät	vii
1 Johdanto.....	1
2 Kuitutuhka	3
2.1 Kuitutuhkan seosmateriaalit ja niiden synty	3
2.1.1 Kuitusavi	3
2.1.2 Tuhka	5
2.2 Materiaalien ominaisuustiedot	6
2.2.1 Tekniset ominaisuudet	6
2.2.2 Kemiallinen koostumus	8
2.2.3 Ympäristökelpoisuus	9
2.3 Määrätiedot	11
2.3.1 Kuitusavi	11
2.3.2 Tuhka	13
3 Kuitutuhkan sovellutukset rakentamisessa	14
3.1 Massiiviset kuitutuhkarakenteet	14
3.2 Pengerrykset ja meluvallit	16
3.3 Liikuntapaikkarakenteet	17
4 Käsittely ja rakentaminen	20
4.1 Ympäristölupa	20
4.2 Hankinta, välivarastointi ja kuljetukset	20
4.3 Sivutuoteseosten valmistus (sekoitus)	21
4.4 Olosuhterajoitukset	22
4.5 Rakentamisjärjestys	23
4.6 Levitys ja tasaus	23
4.7 Tiivistys	24
5 Rakennetut koekohteet ja kohdetutkimukset	25
5.1 Pihtisalmentie, Pt 13981	25
5.1.1 Koekohteen kuvaus.....	25
5.1.2 Koerakenteet.....	26
5.1.3 Aikaisemmat tutkimukset	26
5.2 Luopioisten kevyen liikenteen väylä	27
5.2.1 Koekohteen kuvaus.....	27
5.2.2 Koerakenteet.....	28
5.2.3 Aikaisemmat tutkimukset	29
5.3 Pinsiöntie, Mt 13791	30
5.3.1 Koekohteen kuvaus.....	30
5.3.2 Koerakenteet.....	30
5.4 Kuhmoisten urheilukenttä.....	32
5.4.1 Koekohteen kuvaus.....	32

5.4.2	Koerakenteet.....	33
5.4.3	Aikaisemmat tutkimukset	33
5.5	Luopioisten urheilukenttä	34
5.5.1	Koekohteen kuvaus.....	34
5.5.2	Koerakenteet.....	34
5.5.3	Aikaisemmat tutkimukset	35
5.6	Viialan urheilukenttä	36
5.6.1	Koekohteen kuvaus.....	36
5.6.2	Koerakenteet.....	36
5.6.3	Aikaisemmat tutkimukset	37
5.7	Mäntän tekonurmikenttä.....	38
5.7.1	Koekohteen kuvaus.....	38
5.7.2	Koerakenteet.....	39
6	Seurantatutkimusmenetelmät.....	40
6.1	Kuntokartoitus.....	40
6.2	Rakennetutkimus	41
6.3	Lämmönjohtavuuden mittaaminen.....	44
7	Koekohteiden seurantatutkimustulokset.....	46
7.1	Pihtisalmentie	46
7.1.1	Kuntokartoitus ja rakennetutkimus.....	46
7.1.2	Lämmönjohtavuus	48
7.2	Luopioisten kevyen liikenteen väylät.....	50
7.2.1	Kuntokartoitus ja rakennetutkimus.....	50
7.3	Pinsiöntie	52
7.3.1	Kuntokartoitus ja rakennetutkimus.....	52
7.4	Kuhmoisten urheilukenttä.....	54
7.4.1	Kuntokartoitus ja rakennetutkimus.....	54
7.4.2	Lämmönjohtavuus	56
7.5	Luopioisten urheilukenttä	57
7.5.1	Kuntokartoitus ja rakennetutkimus.....	57
7.5.2	Lämmönjohtavuus	59
7.6	Viialan urheilukenttä	61
7.6.1	Kuntokartoitus ja rakennetutkimus.....	61
8	Lämmönjohtavuus ja routamitoitus	63
8.1	Kuitutuhkan lämmönjohtavuus	63
8.2	Kuitutuhkarakenteen routamitoitus	65
8.3	Routamitoituksen laskentaesimerkki.....	68
9	Loppupäätelmät.....	71
	Lähteet.....	73

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Teollisuuden sivutuote	Teollisuuden tuotantotoiminnan prosessin sivuvirtana muodostuva materiaali, jonka ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia on tutkittu ja selvitetty maarakentamisen kannalta.
Kuitusavi	Yhteisnimitys massa- ja paperiteollisuuden jäteveden puhdistuksessa muodostuville erityyppisille kuitu- ja täyteainepitoisille lietteille
Kuitutuhka	Kuitusaven ja lentotuhkan seoksesta käytettävä nimi
Sellu	Paperinvalmistuksessa käytettävä massa, joka valmistetaan puuhakkeista kemiallisella massanvalmistusmenetelmällä
Kaoliini	Kaoliini on alumiinisilikaattien heikosti kovettunut seos, joka on muodostunut kaoliiniryhmän mineraaleista ja sisältää etenkin kaoliiniitti-nimistä savimineraalia. Kaoliinia käytetään täyteaineena ja päällystyspigmenttinä paperiteollisuudessa.
AVI	Eli aluehallintovirasto. Hoitaa Suomen lainsäädännön toimeenpano-, ohjaus- ja valvontatehtäviä. Vastuualueina ovat myös ympäristölupa-asiat.
RPT	Rikinpoistotuote, jota syntyy energiantuotannon polttoprosessien sivutuotteina savukaasujen rikinpoistossa. Käytetään aktivaattorina tuhkan lujittumisen nopeuttamisessa.
Meesa	Meesa on kiinteässä olomuodossa olevaa kalsiumkarbonaattia (CaCO_3), joka syntyy valkolipeän valmistuksessa sellunvalmistusprosessissa. Meesa erotetaan valkolipeästä suodattamalla.
Uusiomassa	Uusiomassa on keräyspaperista valmistettu massa.
Suotokakkumurske	Suotokakkumurske on tiekoekohteissa käytetty päällyste, jossa murskeeseen on sekoitettu suotokakkua. Kalsiumkloridin valmistuksen yhteydessä syntyvää suolapitoista savi- maista ainesta kutsutaan suotokakuksi.

1 JOHDANTO

Aina 2000-luvulle asti teollisuudessa syntyviä sivutuotteita on pidetty vain jätteenä, josta on päästävä eroon. Näkökulma on kuitenkin muuttumassa; sivutuotteet ymmärretään nykyisin yhä enemmän materiaaleina korvaamassa luonnon kiviaineita maarakentamisessa. Tietyiltä ominaisuuksiltaan teollisuuden sivutuotteet ovat vastaavanlaisia tai jopa parempia kuin luonnon kiviainekset. Lisäksi lähellä syntyvää sivutuotetta ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja ja sivutuotteen hinta voi olla luonnonkiviainekseen verrattuna edullisempi. Suomessa käytetään vuosittain noin 70–90 miljoonaa tonnia luonnon kiviaineita maarakentamiseen. Osa tästä määrästä voitaisiin korvata käyttämällä tehokkaammin teollisuuden sivutuotteita.

Maarakentamisessa hyödynnettäviä sivutuotteita syntyy Suomessa usealla merkittävällä teollisuuden alalla. Yleisimpiä ovat energiateollisuuden sivutuotteet, joita ovat kivihiilen, turpeen ja puuperäisten polttoaineiden poltossa syntyvät pohja- ja lentotuhkat sekä rikinpoistossa syntyvä kipsi. Muita merkittäviä määriä syntyviä sivutuotteita ovat paperi- ja kartonkiteollisuuden eri prosesseissa syntyvät kuitu- ja siistauslietteet eli kuitusavi sekä kaivosteollisuuden sivukivet ja rikastusprosesseissa syntyvät rikastushiekat. Sivutuotteiden hyötykäyttö on runsaasta kehitystoiminnasta ja koerakentamisesta huolimatta edistynyt hitaasti. Kysyntä teollisuuden sivutuotteille on edelleen vähäistä, mikä johtuu tuotteistettujen materiaalien tarjonnan niukkuudesta sekä tilaajien tiedon puutteesta. Urakoitsijat olisivat valmiita käyttämään uusiomateriaaleja, jos niiden käyttö olisi yhtä helppoa ja riskitöntä kuin perinteisten maamateriaalien käyttö. (UUMA 2 demonstraatio-ohjelma 2012-2017)

Teollisuuden sivutuotteiden hyötykäytön tuotteistamista ja käyttöä rajoittaa myös Suomen lainsäädäntö, siitä huolimatta että lainsäädäntöä jätteiden, ylijäämämaiden ja teollisuuden sivutuotteiden käytön suhteen on uudistettu viime vuosina. Yksi tärkeimmistä uudistuksista on energiantuotannon tuhkien käyttöä helpottava Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (ns. Mara-asetus 591/2006 ja sen päivitetty liite 403/2009). Mara-asetus mahdollistaa energiantuotannon tuhkien hyödyntämisen maarakentamisessa ilmoitusperiaatteella, kun haitta-aineiden kokonaispitoisuuden ja liukoisuudet alittavat liitteessä 403/2009 annetut raja-arvot. Viimeisin tärkeä lainsäädäntöuudistus on teollisuuden kaatopaikoille laajennettu jätevero, jonka piiriin kuuluvat kaikki julkiset ja yksityiset kaatopaikat ja läjitysalueet. Veroa on maksettu 50 euroa tonnilta 1.1.2013 alkaen. Veroa ei kuitenkaan tarvitse maksaa hyödynnettävästä jätteestä tai alle kolmen vuoden ajan läjitettävästä jätteestä. Jäteveron laajentaminen luo

edellytyksiä tuotekehitykselle ja kannattavien kaupallisten liiketoimintojen kehittämiseksi.

Tämän diplomityön tarkoituksena on paperi- ja kartonkiteollisuuden sivutuotteen eli kuitusaven ja lentotuhkan seoksen hyötykäyttöön liittyvän teorian lisäksi selvittää kirjallisuuslähteiden ja rakennetutkimuksien perusteella kuitusavirakenteiden pitkäaikaistoi- mivuutta ja -kestävyyttä tie- ja urheilukenttärakenteissa. Tutkimuksessa hyödynnetään LIFE- ja UUMA-hankkeiden 2000-luvulla rakennettuja koekohteita ja niiden elinkaari- en eri vaiheilta tehtyjä tutkimuksia. Lisäksi muutamista koekohteista tutkitaan kuitutuh- kakerroksen lämmönjohtavuutta, jonka avulla kuitutuhkarakenteen routamitoitusta ver- rataan perinteisin menetelmin rakennettuihin tie- ja urheilukenttärakenteisiin.

Tässä työssä keskitytään teollisuuden sivutuotteista pelkästään kuitusaveen ja sen seok- siin tie- ja urheilukenttärakenteissa. Kuitusavea on käytetty materiaalina hyvien raken- neominaisuuksiensa – alhainen vedenläpäisevyys, helppo käsiteltävyys – ansiosta paljon kaatopaikkojen tiivistys- ja pohjarakenteissa, mutta ne rajataan tämän työn ulkopuolelle.

Työn kirjallisuusselvitysosuuden luvussa 2 esitellään kuitutuhkan seosmateriaalit kui- tusavi ja tuhka sekä käydään läpi tiedot materiaaliominaisuuksista, -koostumuksista ja syntymääristä. Luvussa 3 ja 4 käsitellään kuitutuhkan sovellutuksia ja tyyppirakenteita tie-, kenttä- ja urheilukenttärakentamisessa. Erityisesti tarkastelussa huomioidaan kuitu- tuhkarakentamisen rakennustekniset näkökohdat ja miten ne eroavat perinteisestä raken- tamistavasta.

Kokeellisen osuuden luvuissa 5 ja 6 esitellään valitut koekohteet sekä niille tehtävät seurantatutkimusmenetelmät. Lukuun 7 on koottu koekohteiden seurantatutkimustulok- set ja vertailtu niitä aikaisemmin tehtyihin tutkimuksiin ja niiden tuloksiin. Luku 8 kä- sittelee kuitutuhkan lämmönjohtavuutta sekä kuitutuhkarakenteen routamitoitusta.

2 KUITUTUHKA

Kuitutuhka -nimitystä käytetään kahden teollisuudessa syntyvän sivutuotteen, kuitusaven ja lentotuhkan, seoksesta. Kuitutuhka on potentiaalinen luonnon kiviaineksia korvaava uusiomateriaali, joka yhdistää molempien seosaineiden hyvät ominaisuudet: keveyden, roudaneristyskyvyn, helpon käsittelyn ja muodonmuutoskestävyyden. Tässä luvussa on esitelty erikseen molemmat kuitutuhkan seosmateriaalit, niiden synty tapa ja ominaisuudet sekä syntymäärät.

2.1 Kuitutuhkan seosmateriaalit ja niiden synty

2.1.1 Kuitusavi

Kuitusavi on yhteisnimitys massa- ja paperiteollisuuden jäteveden puhdistuksessa muodostuville erityyppisille kuitu- ja täyteainepitoisille lietteille (Saari, 1998). Kuituja ja paperin täyteaineita kerääntyy jäteveden joukkoon paperin ja massan valmistuksen eri vaiheissa, kuten puun kuorinnassa ja haketuksessa, kuitumassan lajittelussa ja käsittelyssä, täyteaineiden valmistuksessa, paperin pinnoituksessa sekä joskus häiriötilanteissa.

Ennen vedenpoistoa kuitusaven eli kuitu- ja täyteainepitoisen lietteen vesipitoisuus on korkea. Useimmiten kuiva-ainepitoisuus on alle 5 % lietteen tilavuudesta. Tilavuuden vähentämiseksi ja käsittelyn helpottamiseksi lietteiden kuiva-ainepitoisuutta pyritään nostamaan erilaisilla vedenpoistolaitteilla ja -tekniikoilla. Lietteen/kuitusaven myöhemmän käyttötarkoituksen mukaan voidaan kuiva-ainepitoisuus ottaa huomioon jo kuivausvaiheessa. Osa massa- ja paperitehtaista hyödyntää kuitusaven energiana polttamalla tehtaansa omassa energialaitoksessa, jolloin lietteen mahdollisimman korkea kuiva-ainepitoisuus on eduksi, kun taas maarakennuskäytössä maksimikuiva-ainepitoisuus ei ole paras mahdollinen. Veden poiston jälkeen kuitusavi on kosteaa massaa tai irtosta isohkoa murua käytetystä vedenerotuslaitteistosta riippuen.

Kuitusavet voidaan luokitella kahteen eri luokkaan niiden syntymistavan mukaan:

- 1. Kuituliete, jota muodostuu mekaanista massaa tai sellua raaka-aineena käyttävillä paperitehtailla.**

Kuitulietettä muodostuu paperitehtaissa, joissa käytetään mekaanista massaa tai sellua raaka-aineena. Kuituliete otetaan talteen jäteveden puhdistuksen mekaanisessa esiselkeytyksessä ja sitä käsitellään vedenerotuslaitteella (suotonauha, ruuvipuristin tai linko).

Vedenerotuksella saavutetaan kuiva-ainepitoisuudeksi 25-55 % riippuen vedenerotusmenetelmästä. Kuituliete sisältää puun kuitujen lisäksi täyteaineita, kuten kaoliinia, talkkia ja kalsiumkarbonaattia. Päälystettyjä papereita valmistavilla tehtailla edellä mainittujen aineiden lisäksi kuituliete sisältää myös pieniä määriä pastaa ja päälystypigmenttejä. Sellua käyttävillä paperitehtailla jäteveden käsittelyssä muodostuva kuituliete sisältää kuitujen lisäksi hieman meesaa eli kaustisointiprosessin karbonaattilietettä, joka on pääosin kalsiumkarbonaattia, mutta sisältää myös mm. alkalijäännöksiä, orgaanista hiiltä, alumiinisilikaattia, rautaa ja kalsiumhydroksidia. (Finncao, 2001)

2. Siistausliete, jota muodostuu prosessoitaessa keräyspaperia uusiomassaksi

Siistauslietettä syntyy uusiomassan valmistuksen yhteydessä, kun kierrätyspaperi siistään vaahdotuskennossa eli siitä poistetaan vanha painomuste. Vaahdotuskennossa muodostuva jäte eli siistausliete ohjataan eteenpäin vedenerotukseen ja siistausmassa pesun kautta varastointiin odottamaan käyttöä paperikoneessa. Siistauksessa syntyvä liete sisältää 50–70 % lyhyitä puukuituja sekä paperista poistettua painomustetta, täyte- ja päälysteaineita. (Saari, 1998)



Kuva 2.1 SCA Tissue Finland Oy:n siistauksessa syntyvää kuitusavea

2.1.2 Tuhka

Tuhka on energiantuotannon polttoprosessissa muodostuvaa palamatonta ainetta, jonka koostumus muuttuu polttoprosessista, polttoaineesta ja tuhkanerotustekniikasta riippuen. Tuhkien laadut luokitellaan Suomessa niiden keräyspaikan ja polttoprosessin polttoainekoostumuksen mukaan, kivihiilen polton-, seospolton- ja rinnakkaispolton tuhkiin (Taulukko 2.1). (Ramboll, 2012)

Taulukko 2.1 Suomessa tuhkien luokitteluun käytetyt määritelmät (Ramboll, 2012)

	Nimike	Määritelmä
Keräyspaikka	Pohjatuhka	Kattilan pohjalle kerääntyvä tai poistettavan leijupetimateriaalin mukana poistuva tuhka
	Lentotuhka	Savukaasuista erotettava tuhka
Polttoainekoostumus	Kivihiilen poltto	Kivihiilen polton lentotuhka
	Seospoltto	Tavanomaisten polttoaineiden seospoltto
	Rinnakkaispoltto	Jätteiden ja tavanomaisten polttoaineiden rinnakkaispoltto

1.7.2013 voimaan tullut Eurooppalainen toissijaisten kiviainesten standardi (CEN/TC 154/WG12) luokittelee tuhkat hieman tarkemmin polttoainekoostumuksen mukaan. (Taulukko 2.2). Eurooppalaista luokitustapaa käytetään myös Suomessa taulukon 2.1 mukaisen luokittelun lisäksi.

Taulukko 2.2 Eurooppalaisen toissijaisten kiviainesten mukaiset määritelmät tuhkan luokitteluun. (CEN/TC 154/WG12)

Lähde	Tunnus	Määritelmä
B Yhdyskuntajätteenpoltto	B1	Yhdyskuntajätteenpolton pohjatuhka
	B2	Yhdyskuntajätteenpolton lentotuhka
C Kivihiilen poltto	C1	Kivihiilen pölypolton lentotuhka
	C2	Kivihiilen leijupetipolton lentotuhka (750-900 °C)
	C3	Kivihiilen kattilakuona (1500-1700 °C)
	C4	Kivihiilen arinapolton pohjatuhka
	C5	Kivihiilen leijupetipolton lentotuhka (800-900 °C)
I Muut	I1	Paperilietteenpolton tuhka
	I2	Vedenkäsittelyjätteenpolton tuhka
	I3	Biomassatuhka

Polttoprosessissa syntyvät pohja- ja lentotuhkan määrät riippuvat polttotekniikasta. Yleisimmät polttotekniikat ovat arina- ja leijupoltto. Leijupolton pohjatuhka eroaa taasen arinapolton pohjatuhkasta, koska leijupolton tukiaineena käytettävää hiekkaa on myös pohjatuhkan mukana. Arinapolton tuhkan partikkelijakauma on suurempi ja pohjatuhka sisältää myös hienompia jakeita. (Ramboll, 2012)

2.2 Materiaalien ominaisuustiedot

2.2.1 Tekniset ominaisuudet

Kuitusavi

Kuitusaven ominaisuudet vaihtelevat riippuen mm. tehtaiden prosesseista ja käytetyistä raaka-aineista. Materiaalina kuitusavi on harmaata, pehmeää ja kimmoisaa. Suomen metsäteollisuuden tehtaiden kuitulietettä vertailtaessa on havaittu, että kuiva-aineiden tuhkapitoisuudet ovat vaihdelleet sellutehtaiden 5-20 %:sta hienopaperitehtaiden 50-60 %:iin. Vedenpoiston jälkeen kuitulietteen vesipitoisuus kuivapainosta laskettuna on ollut välillä 80-400 % kuiva-ainespitoisuuden ollessa tällöin välillä 30-40 %. Kuitusaven geoteknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 2.3, jonka tietoja on suositeltavaa käyttää lähinnä viitteellisenä informaationa. Ennen kuitusaven hyödyntämistä on suositeltavaa selvittää käyttökohteen kannalta olennaiset ominaisuudet. (Saari, 1998)

Taulukko 2.3 Kuitusaven geoteknisiä ominaisuuksia (Mäkelä, 2005)

Ominaisuus	Arvo
Kuivavirtotiheys	360-600 kg/m ³
Vesipitoisuus	120-220 %
Optimivesipitoisuus	40-100 %
Vedenläpäisevyys ¹⁾	5 x 10 ⁻⁸ ... 5 x 10 ⁻⁹ m/s
Plastisuusraja	94-147 %
Juoksuraja	218-285 %
Lämmönjohtavuus	0,6-0,7 W/mK
Kokoonpuristuvuusindeksi C _c	1,2-1,8
Konsolidaatiokerroin C _v	4-16 m ² /a
Suljettu leikkauslujuus ²⁾	10-35 kPa
Koheesio c'	13-16 kPa
Kitkakulma φ'	23-31°

1) tuoreena laboratoriossa pehmeäseinäisellä laitteistolla

2) 1-4 vuotta vanhasta rakenteesta

Kuitusaven lämmönjohtavuuteen vaikuttavat kuitusaven ominaisuuksien ohella sen vesipitoisuus ja lämpötila. Kuitusaven lämmönjohtavuudet ovat suuremman huokostilan vuoksi rakeisuudeltaan vastaavia kiviaineksia alhaisempia. Vedellä kylläisessä tilassa kuitusaven lämmönjohtavuudet nousevat hieman korkeammalle tasolle kuin kuivana.

Tuhka

Tuhkien tekniset ominaisuudet vaihtelevat suuresti eri keräyspaikoista (pohja- ja lentotuhka) saatujen tuhkalaatujen mukaan.

Lentotuhkat ovat hienorakeista, erikokoisista pallomaisista hiukkasista ja pienistä neulasmaisista kiteistä koostuvaa materiaalia. Tyypillinen lentotuhkan väri on graffitin harmaa, mutta mitä suurempi hiilipitoisuus sitä tummempaa lentotuhka on. Lentotuhkan rakeisuus vastaa lähinnä siltin rakeisuutta eli raekoko vaihtelee välillä 0,002...0,1 mm. Ajan myötä lentotuhkassa tapahtuu lujittumista, jota voidaan nopeuttaa aktivaattoreilla (sementti, kalkki, RPT).

Pohjatuhkien rakeet ovat särmikkäitä ja niillä on huokoinen pinta. Jotkin rakeista ovat lasittuneita. Hienoaineksessa on lentotuhkarakeiden kaltaisia hiukkasia. Pohjatuhka ei kuitenkaan ole potsolaaninen materiaali, joka lujittuu ajan myötä. Rakeisuudeltaan pohjatuhka vastaa karkeaa tai soraista hiekkaa ja rakeisuus vaihtelee välillä 0,002-16 mm. (Mäkelä, 2000)

Lento- ja pohjatuhkan geoteknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 2.4. Taulukon aineisto on kerätty Ramboll Finland Oy:n tietokannoista sekä Rudus 2008 ja Finergy 2000 ohjekirjoista. Taulukon tietoja on suositeltavaa käyttää viitteellisenä informaationa.

Taulukko 2.4 Tuhkien geoteknisiä ominaisuuksia (Ramboll, 2012)

Ominaisuus	Olosuhde	Lentotuhka	Pohjatuhka
Rakeisuus		0,002-0,1 (siltti)	0,002-16 (hiekk)
Kuivairtoteiheys		1100-1400 kg/m ³	1000-1500 kg/m ³
Märkäirtoteiheys tiivistettynä		1300-1500 kg/m ³	1250-1800 kg/m ³
Optimivesipitoisuus		20-50 %	16-24%
Vedenläpäisevyys	lujittumaton lujittunut	10 ⁻⁷ ...10 ⁻⁶ m/s 10 ⁻⁸ ...10 ⁻⁶ m/s	10 ⁻⁶ ...10 ⁻⁵ m/s
Segregaatiopotentiaali		0,05-5 mm ² /Kh	<0,2 mm ² /Kh
Lämmönjohtavuus	sula jäätynyt	0,4-0,6 W/mK 0,8 W/mK	0,9 W/mK
Hehkutushäviö		1-15 %	-
Koheesio c'	lujittumaton lujittunut	23-47 kPa 64-490 kPa	10-30 kPa
Kitkakulma φ'	lujittumaton lujittunut	28-36° 49-77°	39-53°

Lämmönjohtavuuteen vaikuttavat tuhkan ominaisuuksien ohella sen vesipitoisuus ja lämpötila. Tuhkien lämmönjohtavuudet ovat suuremman huokostilan vuoksi rakeisuudeltaan vastaavia kiviaineksia alhaisempia. Vedellä kylläisessä tilassa tuhkan lämmönjohtavuudet nousevat hieman korkeammalle tasolle kuin kuivana.

2.2.2 Kemiallinen koostumus

Kuitusavi

Kuitusaven koostumus ja kemiallinen luonne riippuu siitä, minkä tyyppisen paperin tuotantoprosessista se on peräisin ja prosessin tuotantotekniikasta. Ominaisuudet vaihtelevat tehtaittain ja voivat vaihdella myös tehtaan sisällä. Pääasiassa kuitusavi koostuu eripituisista kuiduista ja kaoliinista sekä tuotantoprosessissa käytetyistä kemikaaleista.

Kuitusaven sisältämät haitalliset alkuaineet ovat peräisin prosessivedestä, puuraaka-aineesta, kemikaaleista ja putkistoista. Kemikaaleista pääasiassa pigmentit sisältävät haitallisia alkuaineita. Siistauksen jätevesien puhdistuksessa poistetaan kuitupartikkelien lisäksi myös jätevesien sisältämät painovärit. Tästä syystä siistausjäte sisältää muita lietteitä enemmän haitallisia alkuaineita ja yhdisteitä. Nykyisin kromia, lyijyä tai kadmiumia sisältävät väriaineet ovat kiellettyjä. Kuitusaven alkuaineiden ja yhdisteiden koostumuspitoisuuksia on lueteltu taulukossa 2.7.

Tuhka

Tuhkien kemiallinen koostumus riippuu paljolti käytettävästä polttoaineesta ja poltto-tekniikasta. Kivihiilen polton lento- ja pohjatuhkan pääainesosat ovat pii-, alumiini- ja rautayhdistelmät (kvartsi, mulliitti, hematiitti ja magnetiitti). Näiden lisäksi tuhka sisältää alkalimetallien yhdisteitä ja pieniä määriä muita metalleja. Lentotuhka on potsolaaninen materiaali eli se lujittuu ajan myötä tuhkassa tapahtuvan sitoutumisreaktion takia. Pohjatuhkalla tätä ominaisuutta ei ole. Lujittumista voidaan nopeuttaa erilaisilla aktivaattoreilla joita ovat mm. sementti, kalkki ja rikinpoistotuote (RPT). (Mäkelä, 2000)

Taulukko 2.5 Kivihiilenpolton lento- ja pohjatuhkan kemiallinen koostumus (Mäkelä, 2000)

	Lentotuhka	Pohjatuhka
Kemiallinen yhdiste	paino-%	paino-%
Piioksidi, SiO ₂	45-55	34,2
Alumiinioksidi, Al ₂ O ₃	20-33	11,6
Rautaoksidi, Fe ₂ O ₃	8-11	7,6
Kalsiumoksidi, CaO	4-7	4,4
Magnesiumoksidi, MgO	3-5	2,6
Kaliumoksidi, K ₂ O	1-2	1,2
Natriumoksidi, Na ₂ O	0-2	0,5
Titaanidioksidi, TiO ₂		0,7
Sulfitti, SO ₃		0,2
Fosforioksidi, P ₂ O ₅		0,1

2.2.3 Ympäristökelpoisuus

Kuitusavi

Kuitusavi luokitellaan jätteeksi, minkä takia sen ympäristökelpoisuus tulee osoittaa maarakentamisen hyötykäytön yhteydessä. Valtioneuvoston asetus jätteistä (179/2012) on luetteloinut yleisimmät jätteet ja vaaralliset jätteet erilliseen jäteluetteloon (179/2012, liite 4). Jäteluettelon mukaisesti kuitusaven jätenimike on 03 03 10. Kuusinumeroisen jätenimikkeen kaksi ensimmäistä numeroa kertovat yleisemmin jätteen synnystä ja alkuperästä ja jälkimmäiset numerot ovat tarkentavia.

Taulukko 2.6 Kuitusaven VNa 179/2012 mukainen jätenimike

03	Puun käsittelyssä sekä levyjen ja huonekalujen, massan, paperin ja kartongin valmistuksessa syntyvät jätteet.
03 03	Massojen, paperin ja kartongin valmistuksessa ja jalostuksessa syntyvät jätteet.
03 03 10	Mekaanisessa erotuksessa syntyvät kuitujätteet sekä kuitu, täyteaine- ja päällystyslietteet.

Hyötykäyttö edellyttää ympäristönsuojelulain (86/2000) 28 §:n mukaista ympäristölupaa. Ympäristölupa haetaan kunnan ympäristöviranomaiselta, jos vuosittainen hyödynnettävä määrä on alle 10 000 t ja aluehallintoviranomaiselta (AVI), jos määrä on 10 000 t tai sen yli. Kuitusavien ympäristökelpoisuutta arvioidaan tutkimalla haitta-aineiden kokonaispitoisuuksia ja liukoisuuksia. Taulukossa 2.7 on esitetty kuitusaven oletettuja alkuaine ja yhdistepitoisuuksia ja vertailtu niitä Ympäristöhallinnon ohjeen 2/2007 maaperän haitallisten aineiden pitoisuuksien kynnyks- ja ohjearvoihin.

Taulukko 2.7 Kuitusavien alkuaineiden ja yhdisteiden koostumuspitoisuuksia (Finncao, 2005)

Alkuaine	Kuituliete [mg/kg]	Siistausliete [mg/kg]	Alempi ohjearvo [mg/kg]	Ylempi ohjearvo [mg/kg]
As	< 20	< 4	50	100
Ba	< 200	< 100		
Cd	< 1	< 0,15	10	20
Co	< 10	< 10	100	250
Cr	< 200	< 30	200	300
Cu	< 40	< 200	150	200
F	4*			
Hg	< 0,1	< 0,1	2	5
Mo	< 5	< 2		
Ni	< 50	< 10	100	150
Pb	< 30	< 15	200	750
Sb	< 5		10	50
Se	< 10	< 4		
V	< 20	< 20	150	250
Zn	< 100	< 200	250	400
CN (kok)	48*		10	50

CN (vapaa)	0,1*			
PCB (kok)	< 0,5	< 0,5	0,5	5
PAH (kok)	< 20	< 20	30	100

*määrittystulos ilmoitettu yksittäisen kuitulietenäytteen perusteella

Yleisesti voidaan todeta, että kuitusaven ympäristökelpoisuus on hyvä. Verrattaessa kuitusavien raskasmetallipitoisuuksia Geologian Tutkimuskeskuksen (GTK) tekemiin tutkimuksiin suomalaisten savien ja moreenin hienoaineksen raskasmetallipitoisuuksiin ovat kuitusavien raskasmetallipitoisuudet pieniä keskimääräisiin luonnollisiin taustaarvoihin nähden. (Saari, 1998)

Tuhka

Tuhkat luokitellaan myös jätteeksi ja hyötykäytön yhteydessä niiden ympäristökelpoisuus tulee osoittaa. Valtioneuvoston asetuksen jäteluettelosta tuhkat löytyvät nimikeryhmäotsikosta ”10 Termisissä prosesseissa syntyvät jätteet”. Jäteluettelosta löytyvät tuhkalaatujen jättenimikkeet on esitetty taulukossa 2.8.

Taulukko 2.8 Tuhkien VNa 179/2012 mukaiset jättenimikkeet

10	Termisissä prosesseissa syntyvät jätteet
10 01	Voimalaitoksissa ja muissa polttolaitoksissa syntyvät jätteet
10 01 01	Pohjatuhka, kuona ja kattilatuhka
10 01 02	Hiilen poltossa syntyvä lentotuhka
10 01 03	Turpeen ja käsittelemättömän puun poltossa syntyvä lentotuhka
10 01 04	Öljyn poltossa syntyvä lentotuhka ja kattilatuhka
10 01 13*	Polttoaineena käytetyistä emulsifioiduista hiilivedyistä syntyvä lentotuhka
10 01 14*	Rinnakkaispoltossa syntyvä pohjatuhka, kuona ja kattilatuhka, jotka sisältävät vaarallisia aineita
10 01 15	Muu kuin nimikkeessä 10 01 14 mainittu rinnakkaispoltossa syntyvä pohjatuhka, kuona ja kattilatuhka
10 01 16*	Rinnakkaispoltossa syntyvä lentotuhka, joka sisältää vaarallisia aineita
10 01 17	Muu kuin nimikkeessä 10 01 16 mainittu rinnakkaispoltossa syntyvä lentotuhka

Tähdellä (*) merkittyihin nimikkeisiin kuuluvat jätteet ovat vaarallisia jätteitä, jollei jätelain 7 §:n tai 112 §:n nojalla yksittäistapauksessa toisin päätetä.

Tuhkan hyötykäyttöön liittyvä lupamenettely kuitenkin eroaa hieman kuitusavesta. Ympäristölupamenettelyn lisäksi tuhkalla on myös toinen ”helpotettu” menettelytapa. Ns. MARA-asetus mahdollistaa tuhkan hyötykäytön ilmoitusmenettelyllä. Vuonna 2006 voimaan tullut valtioneuvoston asetus (MARA-asetus, VNa 591/2006 ja VNa 403/2009, Liite 1) sallii tuhkan hyötykäytön ilmoitusmenettelyllä silloin, kun tuhkat kuuluvat asetuksen piiriin. Näitä tuhkia ovat kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton tuhkat silloin, kun ne täyttävät asetuksessa annetut kokonaispitoisuus- ja liukoisuusrajat. Rakennettavan kohteen tulee olla asetuksen mukainen ja peitetty tai päällystetty ja tuhkarakenteen paksuuden enintään 150 cm. Asetus koskee mm. yleisiä teitä, katuja, kevyen liikenteen väyliä, urheilukenttiä ja -reittejä, pysäköintialueita sekä erikseen

mainittuja teollisuuden ja liikenteen alueita. Asetusta ei sovelleta pohjavesialueilla eikä se koske esimerkiksi meluvällejä ja yksityisteitä. (Ramboll, 2012)

Mikäli tuhka ei täytä MARA-asetuksen vaatimuksia tai mikäli tuhkalaatu tai sen käyttösovellus ei kuulu asetuksen piiriin, tuhkan käytölle on haettava ympäristösuojelulain (86/200) 28 §:n mukainen ympäristölupa. Jos hyödynnettävän tuhkan määrä on alle 10 000 t, ympäristölupaa haetaan kunnan ympäristöviranomaiselta. Vuosittaisen hyödynnettävän määrän ylittäessä 10 000 t, haetaan lupa aluehallintoviranomaiselta.

2.3 Määrätiedot

2.3.1 Kuitusavi

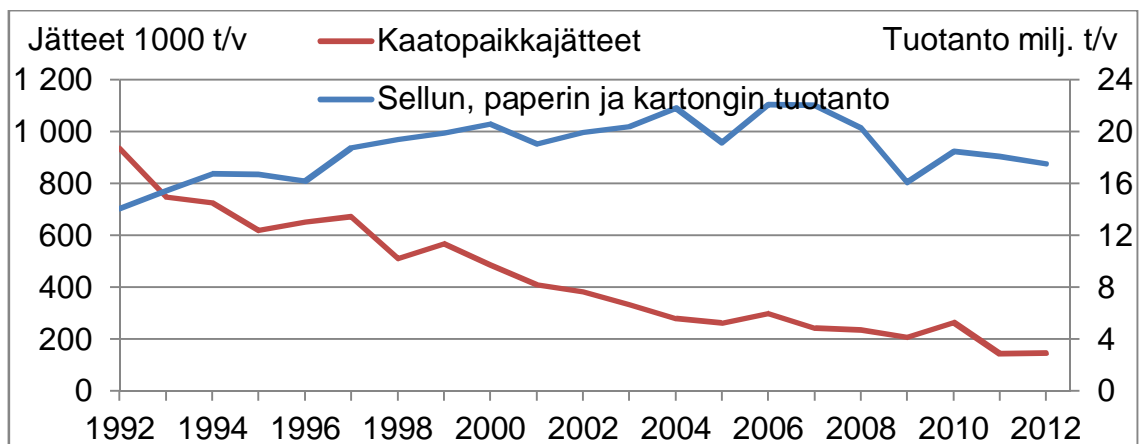
Suomessa oli vuonna 2013 yhteensä 37 toiminnassa olevaa massa-, kartonki- ja paperitehdasta. Vuonna 2013 kuitusavea syntyi karkeasti arvioituna n. 334 000 tonnia. Paperin ja massan valmistuksessa syntyvän kuitusaven osuus on noin 80 % ja siistauksessa syntyvän kuitusaven osuus 20 %. Syntymäärät tehtaittain ovat esitetty taulukossa 2.9.

Taulukko 2.9 Suomessa vuonna 2013 toimivat massa- ja paperiteollisuuden tehtaot

Yhtiö	Tehdas	Paikkakunta	Kuitusaven syntymäärä
Delfortgroup			
Tervakoski Oy	Tervakoski	Janakkala	7 000 t/a (2007)
SCA			
SCA Tissue Finland Oy		Nokia	55 000 – 60 000 t/a
Jujo Thermal Oy			
	Kauttua	Eura	ei tiedossa
Kotkamills Oy			
	Kotkan tehtaot	Kotka	22 000 t/a (sekaliete)
Metsä Group			
Metsä Board	Joutseno	Joutseno	8 000 t/a
	Kaskinen	Kaskinen	-
	Kemi	Kemi	-
	Kyro	Kyröskoski	-
	Simpele	Simpele	20 000 t/a
	Tako	Tampere	-
	Äänekoski Board	Äänekoski	-
Metsä-Tissue Oyj	Mänttä	Mänttä	50 000 t/a
Metsä Fibre	Joutseno	Joutseno	-
	Kemi	Kemi	-
	Rauma	Rauma	-
	Äänekoski	Äänekoski	-
Mondi Group			
Mondi Lohja Oy		Lohja	6 400 t/a
Pankaboard Oy			
	Pankakoski	Lieksa	-
Powerflute Oy			
Powerflute Oy	Savon Sellu	Kuopio	-
Sappi Fine Paper Europe			

Sappi Finland I Oy	Kirkniemi	Lohja	23 000 t/a
Sonoco-Alcore S.a.r.l.			
Sonoco-Alcore Oy	Karhula	Kotka	-
Stora Enso Oyj			
Stora Enso Oyj	Anjalankoski	Anjalankoski	13 000 t/a
	Corenso United Oy Ltd	Pori	-
	Enocell Oy	Uimaharju	ei synny kuitusavea
	Heinola Fluting	Heinola	11 000 t/a
	Imatra	Imatra	12 000 t/a
	Oulu	Oulu	35 000 t/a
	Varkaus	Varkaus	13 000 t/a
	Veitsiluoto	Kemi	43 000 t/a
	Sunilan tehdas	Sunila	5 000 t/a (kuivatonna)
UPM-Kymmene Oyj			
UPM-Kymmene Oyj	Jämsänkoski	Jämsänkoski	kaikki poltetaan
	Kaipola	Kaipola	kaikki poltetaan
	Kaukas	Lappeenranta	500 t/a
	Kymi	Kuusankoski	-
	Pietarsaari	Pietarsaari	ei synny kuitusavea
	Rauma	Rauma	-
	Tervasaari	Valkeakoski	alle 10 000 t/a
Yhteensä:			334 000 t/a

Suomessa syntyvien massa- ja paperiteollisuuden jätemäärät ilmenevät Metsäteollisuus ry:n julkaisusta ”Metsäteollisuuden ympäristötilastot vuodelta 2012”. Kaatopaikalle sijoitettavien jätteiden määrä, johon kuitusavi myös luokitellaan, on vähentynyt huomattavasti 20 vuoden aikana. Massa- ja paperiteollisuus on pystynyt parantamaan materiaalitehokkuuttaan erityisesti kehittämällä jätteiden hyötykäyttöä esimerkiksi lannoitteena ja maarakentamisessa. Kuvassa 2.4 on esitetty kaatopaikkajätteiden määrä (t/v) vuosilta 1992-2012 sekä paperin ja kartongin tuotanto vuodesta 1992 lähtien. Kaatopaikkajätteiden määrä on vähentynyt vuodesta 1992 vuoteen 2012 mennessä 88 % tuotettua tonnia kohden. Ympäristötilastoissa jätemäärät ovat ilmoitettu kuivamassoina, joten todelliset massat ovat tätä suurempia. (*Metsäteollisuuden ympäristötilastot vuodelta 2012*)



Kuva 2.4 Kaatopaikkajätteiden määrän suhde metsäteollisuuden tuotantoon verrattuna (*Metsäteollisuuden ympäristötilastot vuodelta 2012*)

Kaatopaikalle joutuvia kuitusaviksi luokiteltuja jätteitä ovat siistausliete ja –jäte, kuitu- ja pastalietteet sekä jätevedenpuhdistamojen lietteet. Kuitusaven osuus paperi- ja massa-tehtaiden kaikista kaatopaikalle joutuvista jätteistä vuonna 2012 oli n. 30 % eli 43 300 tonnia. (*Metsäteollisuuden ympäristötilastot vuodelta 2012*)

Taulukko 2.10 Massa- ja paperiteollisuuden jätteet Suomessa 2012

Massa- ja paperiteollisuuden jätteet Suomessa 2012		
	2012	Muutos 2012/2011
Jätteet		
Kaatopaikkajätteet (kuiva-aineena)	146 600 t	3 %
tuhkat	24 200 t	
soodasakka ja meesa	64 200 t	
siistausliete ja -jäte	2 100 t	
kuitu- ja pastalietteet	1 700 t	
jätevedenpuhdistamojen lietteet	39 500 t	
puujäte	1 200 t	
muut jätteet *)	13 600 t	

*) lukuun sisältyy käsittelylaitokseen toimitettu ongelmajäte

2.3.2 Tuhka

Syntyvän tuhkan määrään ja laatuun vaikuttaa merkittävästi polttotekniikka. Pöly- ja leijukerros-poltossa syntyvä tuhka on pääasiassa (80-100 %) lentotuhkaa, kun taas arinapoltossa lentotuhkaa muodostuu 5-40 %, lopun ollessa pohjatuhkaa. (Mäkelä, 2000). Pöly- ja leijukerros-poltossa raskaimmat partikkelit putoavat kattilan pohjalle pohjatuhkaksi ja pohjatuhka sisältää myös leijukerros-materiaalia eli luonnonhiekkaa. Arinapoltossa syntyvän pohjatuhkan partikkelijakauma on laajempi, joten pohjatuhka sisältää myös hienorakeisempia partikkeleita.

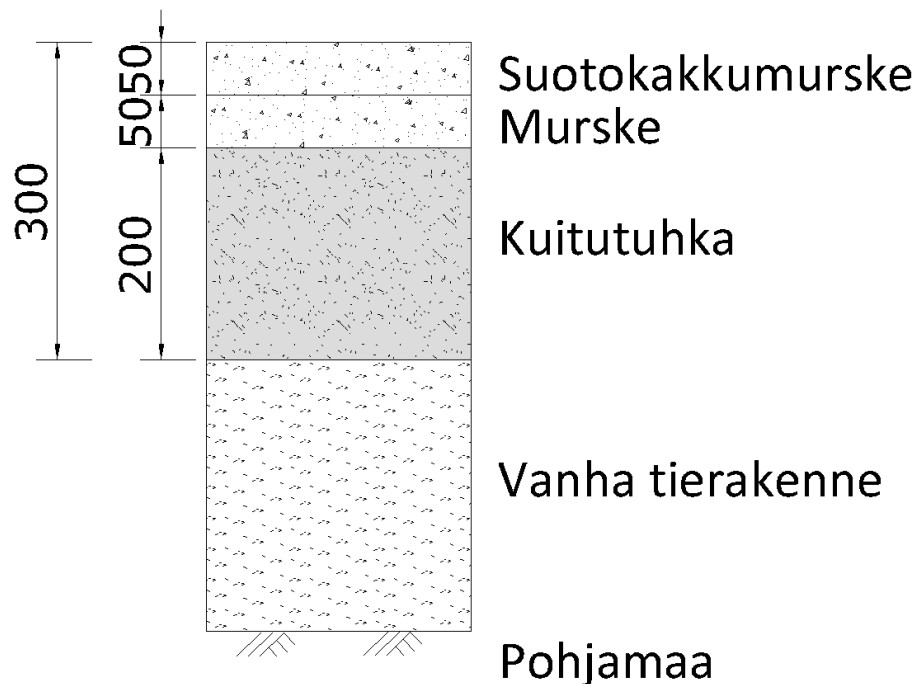
Vuositasolla Suomessa syntyy tukia noin 1,5 miljoonaa tonnia vuodessa (Ramboll, 2012). Kivihiilen poltosta muodostuvien tuhkan osuus on noin 500 000 – 1 000 000 t/a. Puun ja turpeen polton tuchia syntyy vuosittain noin 500 000 t, joista suurin osa on seospolton tuchia. Puhdasta turvetuhkaa on arvioitu syntyvän noin 50 000 t/a ja puhdasta puutuhkaa noin 50 000 – 100 000 t/a (Finncas, 2005; Korpijärvi, 2009).

3 KUITUTUHKAN SOVELLUTUKSET RAKENTAMISESSA

Kuitusavia voidaan hyödyntää maarakentamisen eri sovellutuksissa sellaisenaan tai seostettuna toisen sivutuotteen kanssa. Lähtökohtana on pyrkimys hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti kuitusaven sekä muiden osakomponenttimateriaalien hyviä ominaisuuksia ja yhdistää niitä hallitusti. Tässä luvussa on esitelty kuitutuhkan käyttösovelluksia maarakentamisessa yleisellä tasolla. Kaatopaikkarakenteet ovat tarkoituksellisesti rajattu tämän työn ulkopuolelle.

3.1 Massiiviset kuitutuhkarakenteet

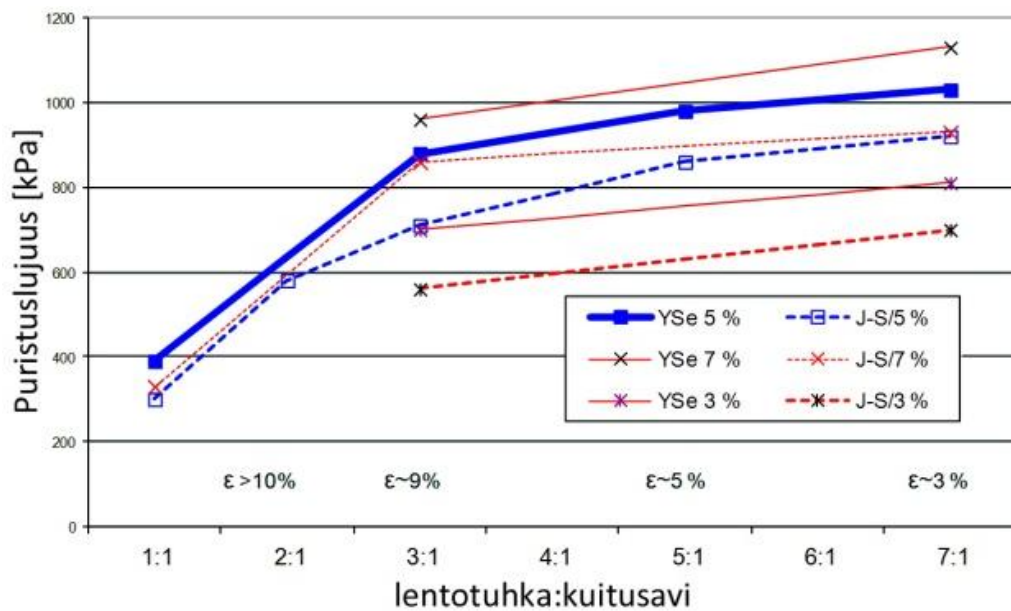
Massiivisilla kuitutuhkarakenteilla tarkoitetaan kerrosrakenteita, joissa kuitutuhkaa on käytetty tien kantavassa tai jakavassa kerroksessa (Kuva 3.1).



Kuva 3.1 Pihtisalmentien kuitutuhkarakenteen periaatekuva

Massiivisten kuitutuhkarakenteiden käyttö on teknisesti mahdollista uusien tai peruskorjattavien päällystämättömien teiden kerroksissa. Rakenteessa hyödynnetään tuhkan lu-

juutta ja kuormituskestävyyttä, mutta samalla myös kuitusaven muodonmuutoskestävyyttä ja joustavuutta, mikä ei pelkkää tuhkaa käyttäen ole mahdollista. Mainittujen komponenttien keskinäistä seossudetta tai stabiloinnissa käytettävän sideaineen määrää varioimalla voidaan vaikuttaa huomattavasti saavutettaviin ominaisuuksiin ja räätälöidä kunkin kohteen asettamien vaatimusten mukainen seosratkaisu. Kuvassa 3.2 on esitetty eri lentotuhka-kuitusavi-sementti –seossuhteilla saavutettuja puristuslujuuksia. Kuvaajat on piirretty 3 %, 5 % ja 7 % yleissementti (YSe) sideainemäärille. Lisäksi puristuslujuudet on mitattu uudestaan samoille näytekappaleille jäädytys-sulatuskokeen jälkeen (katkonainen viiva).



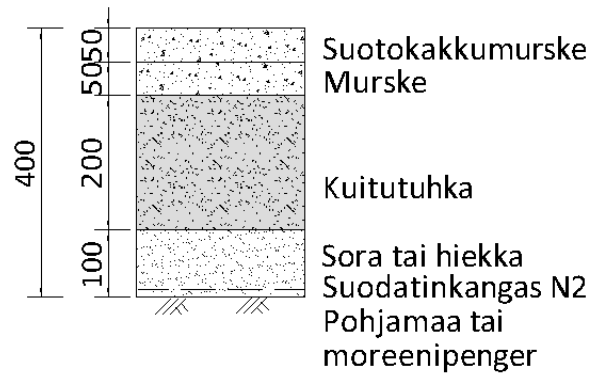
Kuva 3.2 Eri lentotuhka-kuitusavi-sementti –seossuhteilla saavutettuja puristuslujuuksia (Ramboll, 2012)

Massiivisten kuitutuhkarakenteiden selkeimmät edut tavanomaisiin rakenteisiin verrattuna ovat:

- muodonmuutoskestävyys
- hyvä lämmöneristävyys
- alhainen vedenläpäisevyys
- materiaalin keveys
- hyvä kuormituskestävyys

Kuitutuhkalla on mahdollista rakentaa kestäviä rakenteita tavanomaisia rakenneratkaisuja ohuemmalla kokonaisrakennepaksuudella hyvän lämmöneristävyysominaisuuden ansiosta. Tämä korostuu erityisesti routivan pohjamaan päälle rakennettaessa. Ohuemman kokonaispaksuuden myötä tarvittavan maaleikkauksen tarve vähenee ja neitseellistä kiviainesta tarvitaan selvästi vähemmän.

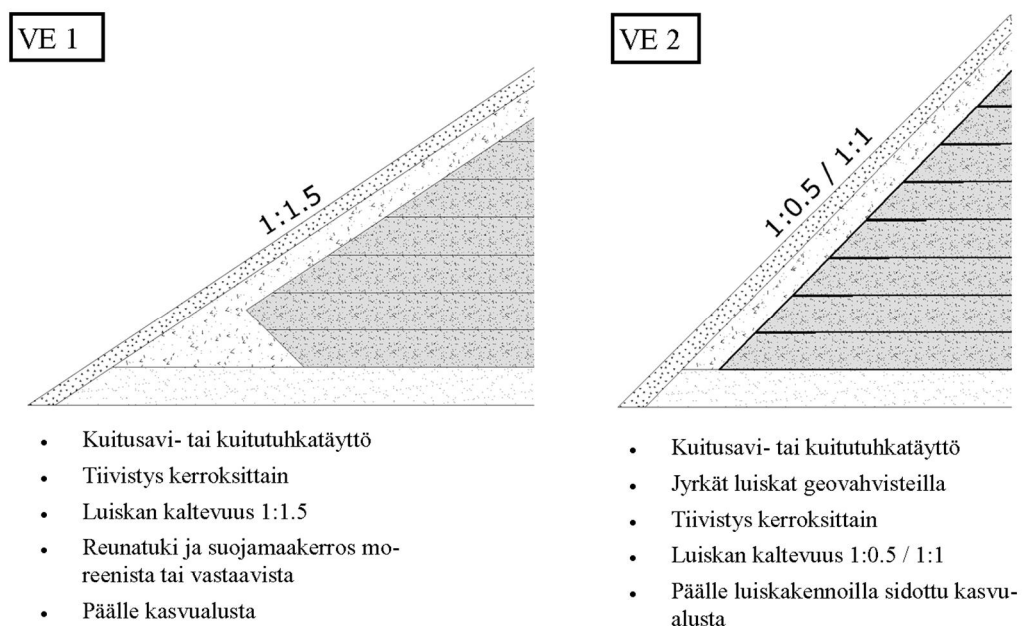
Massiivisilla kuitutuhkarakenteilla voidaan toteuttaa myös vastaavalla tavalla kevyen liikenteen väyliä. Kuitutuhkaa voidaan käyttää kevyen liikenteen väylän kantavassa tai jakavassa kerroksessa. Kuvassa 3.3 on esitelty esimerkkirakenne kuitutuhkalla rakennetusta kevyen liikenteen väylästä.



Kuva 3.3 Esimerkki kevyen liikenteen väylän kuitutuhkarakenteesta

3.2 Pengerrykset ja meluvallit

Hyvien muokattavuus- ja tiiveysominaisuuksien vuoksi kuitusavi ja -tuhka sopivat pengerryksiin ja meluvallirakenteisiin. Kuitusavilla ja -tuhkilla voidaan korvata pengeri- ja täyttömateriaaliksi kelpaavia luonnon maa-aineksia kuten, moreeneja, hiekkaa, soraa tai louhetta kohteen olosuhteet ja vaatimukset huomioiden. Kuitusavet voidaan hyödyntää myös toissijaisissa täytöissä hienoainespitoisten moreenien, silttien tai savimaiden korvaajina, jolloin kuitusavia heikkolaatuisemmat maa-ainekset voidaan käyttää esimerkiksi pengeri- ja ojaluiskien sekä täyttömäiden verhoilumateriaaleina.



- Kuitusavi- tai kuitutuhkatäyttö
- Tiivistys kerroksittain
- Luiskan kaltevuus 1:1.5
- Reunatuki ja suojamaakerros moreenista tai vastaavista
- Päälle kasvualusta

- Kuitusavi- tai kuitutuhkatäyttö
- Jyrkät luiskat geovahvisteilla
- Tiivistys kerroksittain
- Luiskan kaltevuus 1:0.5 / 1:1
- Päälle luiskakennoilla sidottu kasvualusta

Kuva 3.4 Esimerkkirakenteita kuitusavea sisältävistä meluvallirakenteista

Käytettäessä kuitusavea ja –tuhkaa pengerryksissä ja meluvalleissa etuina luonnonmateriaaleihin verrattuna ovat:

- muokattavuus
- tiiveysominaisuudet
- suurempi leikkauslujuus
- pienempi ominaispaino

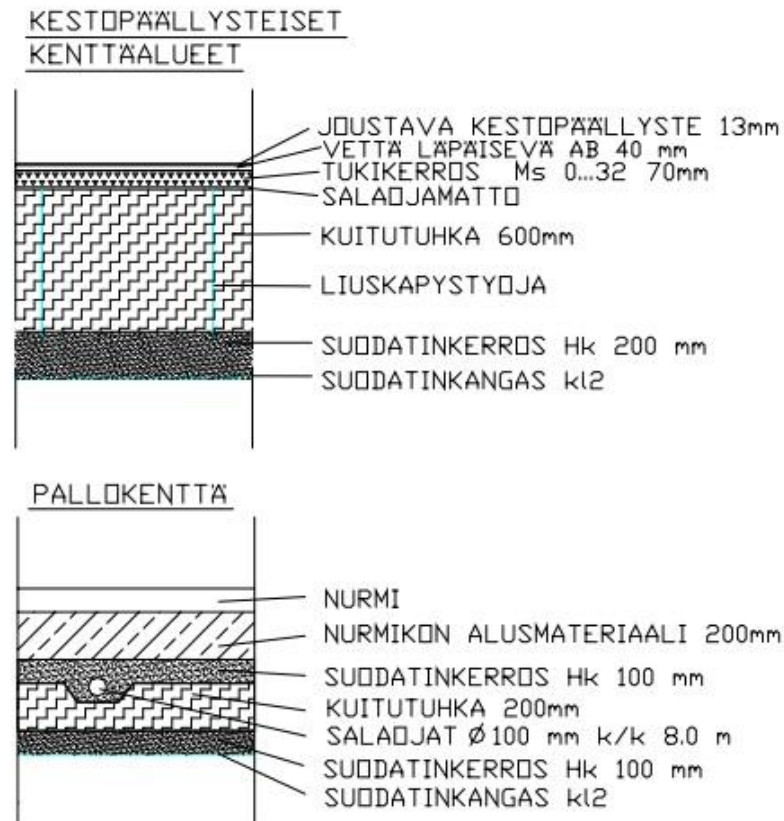
Meluvalleissa voidaan kuitusaven keveyden hyödyntämisellä säästää perustamiskustannuksissa. Kuitusavi mahdollistaa myös jyrkempien luiskien teon ja meluvalli saadaan sijoitettua kapeampaan tilaan pienemmillä massoilla. Luiskaa voidaan myös erikseen vahvistaa geolujitteilla.

Hyödynnettäessä kuitusavia ja –tuhkia pengerryksissä ja meluvalleissa on otettava huomioon, että tiivistämättöminä ko. materiaaleilla on ominaista vesipitoisuuden kasvu rakenteessa. Mikäli rakenteeseen on mahdollista vapaasti kulkeutua kostetutta, saattaa kuitusaven tai kuitutuhkan irtotiheys nousta lähelle luonnon materiaalien tiheyttä. (Ramboll, 2012)

3.3 Liikuntapaikkarakenteet

Urheilukentät

Urheilukenttärakentamisessa kuitutuhkaa voidaan hyödyntää kentän eri rakenteissa niin nurmikentällä kuin kestopäällysteisillä suorituspaikoilla. Kuitutuhkan pienen lämmönjohtavuusarvon ansiosta rakennekerrosten paksuus voidaan suunnitella tavanomaista luonnon kiviaineksilla suunniteltua rakennetta ohuemmaksi. Hyvä lämmöneristävyys pienentää myös roudan syvyyttä verrattuna normaaliin rakenteeseen. Suurin hyöty kuitutuhkan lämmöneristävyydestä saadaan routivalle maaperälle rakentaessa, koska tällöin pintakerroksen hyvä routaeristävyys estää pohjamaan routimisen ja siitä aiheutuvien vaurioiden synnyn. Lämmöneristävyysominaisuutta voidaan hyödyntää myös lämmitettävillä kentillä, jolloin eristävä kerros vähentää lämmitysenergian tarvetta. Lisäksi kuitutuhka on luonnon kiviaineksiin verrattuna kevyempää, mikä vähentää painumia savi-pohjaisilla alueilla. Kuvassa 3.5 on esitetty Luopioisten urheilukentällä toteutettuja rakenteita. (Urheilukentän perusparantaminen uusiomaarakennustekniikalla, 2002)



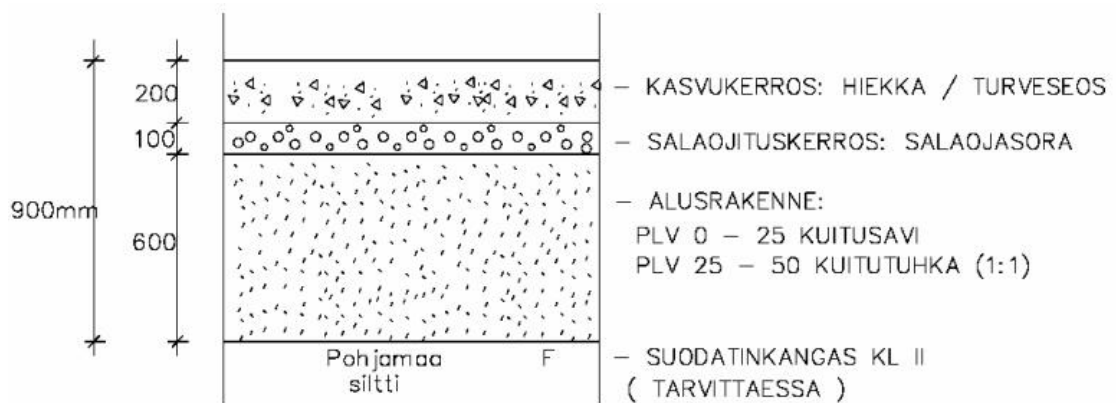
Kuva 3.5 Luopioisten urheilukentän kestopäällysteisen kenttäalueen ja pallokentän rakennetyyppien poikkileikkauskuvat (Urheilukentän perusparantaminen uusiomaarakennustekniikalla, 2002)

Perinteiseen rakennusmenetelmään verrattuna routivuus ja kuivatus ovat tärkeimmät huomioonotettavat tekijät urheilukenttärakenteiden suunnittelussa ja mitoituksessa. Kuitutuhkaseoksen resepti ja seoksen mitoitusparametrit tulee määrittää aina tapauskohtaisesti. Routamitoitus tehdään kuten perinteisille rakenteille käyttäen materiaalin λ -arvoa. Kuitutuhkan λ -arvot vaihtelevat välillä 0,4 – 1,0 W/mK riippuen materiaalin koostumuksesta. Urheilukenttien eri osilla rakenteiden paksuudet voivat vaihdella niille asetettujen vaatimusten mukaan. Vaatimukset sallittujen routanousujen ja pinnan epätasaisuuden suhteen ovat erilaiset juoksuradan, hyppypaikkojen ja nurmikentän rakenteilla. Suurimmat routanousut ja epätasaisuudet sallitaan nurmikentällä ja tiukimmat vaatimukset ovat kestopäällysteisillä suorituspaikoilla. (Urheilukentän perusparantaminen uusiomaarakennustekniikalla, 2002)

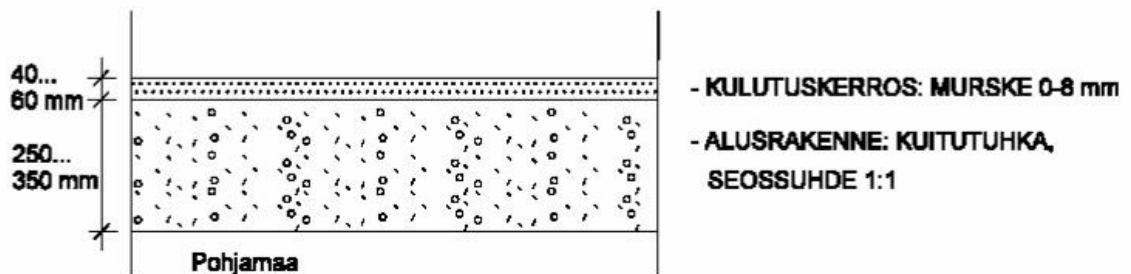
Muut liikuntapaikkarakenteet

Kuitusavi soveltuu teknisten ominaisuuksien perusteella monipuolisesti myös muuhun liikuntapaikkarakentamiseen. Esimerkkeinä soveltuvista rakenteista ovat erityyppiset kenttärakenteet kuten golf- ja palloilukentät, ulkoilureitit sekä laskettelurinteiden eroosiosuojaukset ja muotoilu.

Kuitusavi ja kuitutuhka soveltuvat kenttärakenteiden aluskerrokseen keveyden ja lämmöneristyskyvyn vuoksi. Erityisesti laajoja alueita muokattaessa kuitusavi ja –tuhka mahdollistavat keveinä materiaaleina taloudelliset rakenneratkaisut. Golfkenttien pinnanmuotoja muokattaessa kuitusavet tarjoavat hyvän vaihtoehdon luonnonmateriaaleille helpon muokattavuuden ja tasalaatuisuuden vuoksi. Liikuntapaikkarakentamisessa kuitusaven ja –tuhkan saatavuus rajoittaa käyttömahdollisuuksia enemmän kuin toteutettavan rakenteen koko. Kuvissa 3.6 ja 3.7 on esitelty kuitutuhkan hyötykäyttöön soveltuvia esimerkkirakenteita erilaisilta liikuntapaikoilta.



Kuva 3.6 Golfin harjoituslyöntipaikan kuitutuhkarakenne (Heikkilä, 2006)



Kuva 3.7 Ulkoilureitin kuitutuhkarakenne (Heikkilä, 2006)

Suomessa on huomattava määrä 70- ja 80-luvulla rakennettuja liikuntapaikkoja, jotka ovat nykyään kunnostuksen tarpeessa. Liikuntapaikkojen kunnostus- ja uudelleenrakentamistarve tarjoaa erinomaisen mahdollisuuden käyttää hyväksi teollisuudessa muodostuvia sivutuotteita, kuten kuitusavea. (Heikkilä, 2006)

4 KÄSITTELY JA RAKENTAMINEN

Kuitutuhkalla rakentamisen ja kuitutuhkan käsittelyn erottaa tavanomaisesta kiviainesrakentamisesta käytettävien materiaalien tekniset ja ympäristölliset ominaisuudet ja niiden mahdolliset muutokset käyttöketjun aikana. Tässä luvussa käsitellään kuitutuhkan käytön mukanaan tuomia eroavaisuuksia ennen rakentamista ja rakentamisen aikana.

Lentotuhkalla rakentaminen ei eroa oleellisesti kuitutuhkalla rakentamisesta. Eroavaisuudet ovat sivutuoteseosten sekoitustavassa sekä valmistettavan seoksen vesipitoisuudessa. Lentotuhkarakenteita sekä niiden rakentamista on käsitelty tarkemmin Ramboll Finland Oy:n vuonna 2012 julkaistussa Tuhkarakentamisen käsikirjassa.

4.1 Ympäristölupa

Kuitutuhkan käyttö vaatii kohdekohtaisen ympäristöluvan, koska käytettävät materiaalit ovat teollisuuden jätteitä. Ympäristöluvan hakemisesta kohteen toteuttamiselle vastaa kohteen rakennuttaja. Materiaalien sekoitus- ja välivarastointialueelle tarvitaan myös ympäristölupa. Luvan hankkii urakoitsija tai materiaalitoimittaja riippuen siitä tehdäänkö sekoitus ja välivarastointi materiaalitoimittajan varastoalueella vai urakoitsijan erikseen osoittamalla alueella.

Vuoden 2013 alusta voimaan astuneen jäteverolain vuoksi hyötykäytettävistä jätteistä on pidettävä kirjanpitoa. Kirjanpidolla osoitetaan, että jättemateriaalit on kuljetettu ja käytetty hyötykäyttökohteella, jolloin jätteestä ei tarvitse maksaa jäteveroa. Sekoitus- ja välivarastointialueelle ajettujen kuormien punnitaan esimerkiksi tehtailla niiden lähtiessä. Sekoituksen jälkeen kohteelle kuljetettavat massamäärät punnitaan lastausvaiheessa pyöräkuormaajalla, jossa on vaakatakuormat ajetaan vaakatakuorman kautta. Kirjanpidon on perustuttava massojen punnitukseen, ei tilavuusmittoihin. Kirjanpitoa on myös suositeltavaa pitää muista lisäyistä komponenteista (sementti, vesi), jotta niiden vaikutus massamääriin voidaan laskea myös jälkikäteen.

4.2 Hankinta, välivarastointi ja kuljetukset

Rakentamishankkeiden aloituspäätökset on tärkeää tehdä hyvissä ajoin ennen rakentamisen aloittamista. Ajoissa tehty aloituspäätös antaa edellytykset materiaalivarauksien ja varastoinnin hallitulle ja kustannustehokkaalle järjestämiselle. Myös suunnittelu ja tarvittavat materiaalitutkimukset on käynnistettävä riittävän ajoissa, jopa vuosi ennen suunniteltua rakentamista.

Kuitutuhkalla rakentaminen ajoittuu sulan maan ajanjaksolle, kun taas kuitusavea ja tuhkaa muodostuu paperi- ja massateollisuudessa vastaavasti suhteellisen tasaisesti ympäri vuoden. Maarakentamisen sujuvuuden kannalta on tärkeää saada oikeanlaatuiset materiaalit riittävällä toimituskapasiteetilla (Taulukko 4.1), minkä vuoksi kuitusavien ja tuhkien varastointi on usein pakollinen välivaihe sivutuotteiden logistisessa ketjussa.

Taulukko 4.1 Työmaan asettamat tyypilliset sivutuotteiden toimituskapasiteettivaatimukset eri menetelmillä (Lähde: tuhkarakentamisen käsikirja)

Kohde	Toimituskapasiteetti
Massiiviset tierakenteet	50-100 t/h
Pengertäyttö	>100 t/h

4.3 Sivutuoteseosten valmistus (sekoitus)

Kuitutuhkan sekoitustyöhön kokemusten perusteella parhaiten soveltuva menetelmä on aumasekoitus. Aumasekoitus kykenee rikkomaan kuitusaven murumaisen koostumuksen, jolloin tuhka sekoittuu paremmin kuitusaven kanssa ja seoksen koostumuksesta tulee homogeenisempi. Aumasekoituksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota materiaalien määräsuhteiden säätöön ja hallittuun vedenlisäystekniikkaan. Rakennettavan kohteen urakoitsija voi halutessaan käyttää myös muita menetelmiä, mikäli niillä saavutetaan vaadittu lopputulos. Muille menetelmille on hankittava tilaajan hyväksyntä ja tiilaajalla on oikeus hylätä ehdotettu toimintatapa. Kuitutuhkan sekoituksessa ei saa käyttää kaivinkoneen kauhalla tapahtuvaa sekoitusta, seulamurskainta, ”maamyyrä” – tyyppistä sekoituskärkeä tai vastaavaa. (Ronkainen, 2011)

Esimerkki toimintatavasta: Kuitutuhkan aumasekoitus

Sekoitettavien runkomateriaalien määrämittaus tapahtuu vaa’alla varustetulla pyöräkuormaajalla. Kaupallinen sideaine annostellaan joko suursäkeistä tai edellä mainituilla pyöräkuormaajalla punniten. Mikäli sideaine annostellaan pyöräkuormaajalla, vaatii sideaine erillisen kuivavarastotilan.

Sekoitus tapahtuu aumasekoittimella. Materiaalit kasataan pituussuuntaisiksi aumoiksi siten, että alimmaksi tulee runkomateriaalin pääkomponentti, sen päälle lisätään ensin sementti ja sitten toinen sivutuotekomponentti. Seoskomponentit mitataan paino-osina käyttäen kuormaajaa, jonka kauhassa on vaaka. Kaupallinen sideaine voidaan annostella myös suursäkeistä. molemmissa tapauksissa lasketaan aumometriä kohti tarvittavat komponenttimäärät, minkä perusteella annostelu tapahtuu.

Aumaan lisätään ennen sekoittamista myös tarvittava lisävesi. Lisävesi lisätään tekemällä auman päälle ura ja lisäämällä vettä aumassa olevien materiaalien lähtökosteuden ja määrän perusteella laskettava määrä tai vaihtoehtoisesti pumppaamalla haluttu määrä

vettä paineella auman sisään. Molempia veden lisäystapoja käytettäessä on huolehdittava veden jakautumisesta tasaisesti koko auman pituudelle. Lisävesi ei saa päästä valumaan aumasta pois vieden seoskomponentteja mukanaan. (Ronkainen, 2011)



Kuva 4.1 Kuitutuhkan aumasekoitusta Korpilahdella vuonna 2008 (Kuva: Tero Jokinen)

4.4 Olosuhderajoitukset

Kuitutuhkarakentamisen on tapahduttava kesällä tai alkusyksyllä. Kuitutuhkakerroksen rakentamista ei saa aloittaa ennen kuin routa on sulanut. Koska kuitutuhkamateriaali on lujittuva, on sen varmistamiseksi rakentamistyöt saatava päätökseen 1 kk ennen mahdollisen aikaisen talven alkamista. Rakennuspohjan on oltava kuiva ja kiinteä sekä tarvittaessa tiivistetty.

Rakentamisen aikana on varauduttava kuitutuhkakerroksen nopeaan peittämiseen murskekerroksella sateen yllättäessä. Mursketta on oltava työmaan lähellä saatavilla nopeasti. Suojaavan murskekerroksen levittämisen jälkeen rakenteet kestävät voimakkaankin sateen ilman ongelmia. Vähäinen sade ei estä työskentelyä ja suojaamaton tiivistetty kuitutuhkarakenne kestää sateen, mikäli liikennemäärä on vähäinen. Lisäksi on huomioitava, että kuitutuhkakerroksen pinta saattaa muuttua sateella liukkaaksi ja materiaalit liettyä. Sääolosuhteet on otettava myös huomioon sekoitustyössä varautumalla säätämään sekoitettavan massan vesipitoisuutta pienemmäksi tai suuremmaksi vallitsevan sään mukaan. (Ronkainen, 2011)

4.5 Rakentamisjärjestys

Kuitutuhkakohteet on toteutettava siten, että rakentaminen aloitetaan kohteelle tuotavien kuljetusten tulosuuntaan nähden loppuosasta. Tällöin vältetään raskas liikenne kuitusavirakenteen päällä välittömästi levitys- ja tiivistysvaiheen jälkeen, jolloin rakenne ei ole vielä lainkaan lujittunut. Tiekohteissa rakentaminen tulee toteuttaa myös siten, että myöhempiä sivutuoteosuuksia rakennettaessa tapahtuvat kuljetukset eivät kulje ensin rakennetun osuuden yli. Raskasta liikennettä ei tule päästää kuitutuhkan päälle ennen kuin 150 mm murskekerros on levitetty. Lisäksi tiekohteissa tulee huolehtia, että rinnakkaiset kaistat tulevat rakennetuksi saman päivän aikana. Näin ollen työsauma yön yli sijaitsee vain tien poikkileikkauksessa. (Ronkainen, 2011)

4.6 Levitys ja tasaus

Valmis sivutuotemassa suositellaan levitettäväksi asfaltinlevittimellä tai vastaavalla levittimellä tasaiseksi kerrokseksi. Kuitutuhkarakentamisessa kerralla tiivistettävä kerrospaksuus on tie- ja kenttärakentamisessa maksimissaan 200 mm (löyhänä 300 mm). Levitys voidaan tehdä myös tiehöylällä, mutta tällöin pitää kiinnittää erityisesti huomiota kerroksen tasaiseen tiivistymiseen, koska kuitutuhkaa levittäessä ja kerroksen päällä liikuttaessa renkaat helposti tiivistävät materiaalia epätasaisesti aiheuttaen poikkisuuntaista vaihtelua tiivistymisessä. Käytettäessä asfaltinlevitintä on varauduttava levittämään useampina osakerroksina, ellei levitys yhtenä kerroksena ole riittävä. Levitettävien kerrosten määrä ja paksuus on määriteltävä koelevityksen ja -tiivistyksen avulla. Kun rakennettava kerros on kokonaisuudessaan tiivistetty, on sen päälle levitettävä saman työvuoron aikana 150 mm paksuinen murskekerros. Vasta murskekerroksen levityksen jälkeen rakennetta saa kuormittaa liikenteellä.

Sivutuotemassoja ei saa levitysvaiheessa joutua rakennettavan kohteen ojiin ja ympäristöön. Mikäli materiaalia päätyy rakenteen ulkopuolelle, on se siivottava pois. Kohteen valmistuttua on sivutuotekerroksen oltava kaikilta osin peitettynä.

Työvuorojen päättyessä tehtävät työsaumat tulee tehdä mahdollisimman jyrkiksi ja sivutuotekerros peitetään murskeella yön ajaksi. Sivutuotekerrosta ei saa jättää peittämättä työvuoron loppuessa. Murske poistetaan saumakohdasta ennen rakentamisen jatkamista.

Tiekohteissa osuuskien alkuun ja loppuun tulevat siirtymäkiilat tehdään noin 4 metrin pituisina siten, että kuitutuhkakerros jää kokonaisuudessaan suunnitellun rakennepituisuuden sisäpuolelle. Kaltevuutena käytetään 1:20 ja lopullinen muotoilu tehdään murskeella. (Ronkainen, 2011)

4.7 Tiivistys

Onnistuneen tiivistystyön kannalta massan oikealla vesipitoisuudella on ratkaiseva merkitys ja vesipitoisuutta on seurattava koko rakentamistyön ajan. Lisäksi on huomioitava, että kuitutuhkarakenteen tiivistäminen vaatii suuremman tiivistystyömäärän perinteiseen kiviainesten tiivistämiseen verrattuna.

Kuitutuhkarakenteita tehtäessä on tärkeää, että lopullinen tiivistys tehdään pian massan levittämisen jälkeen. Tiivistystyö on saatava kaikissa olosuhteissa valmiiksi 4 tunnin kuluessa kuitutuhkamassan sekoituksesta, jotta rakenteen lujittuminen ja laatu eivät heikkene. Rakenteen tiivistämistä ei saa missään tapauksessa jatkaa enää seuraavana päivänä.

Tiivistystyö voidaan tehdä esimerkiksi vedettävällä valssijyrällä tai itse kulkevalla 1-valssijyrällä. Tiivistämisessä on suositeltavaa käyttää jyrää, jonka iskun pituutta voidaan säätää. Kuitutuhkakerroksen pintaosat saadaan tiivistettyä tehokkaammin lyhentämällä jyrän iskupituutta viimeisillä yliajokerroilla.

Tiivistys aloitetaan heti kuitutuhkaseoksen levittämisen jälkeen. Jyräyksen ensimmäinen ylityskerta levityksen jälkeen tehdään aina ilman täryä ja loput ylityksen täryä käyttäen. Kunkin levitettävän kerroksen tiivistämiseen tarvittava työmäärä päätetään työn alkuvaiheessa tehtävän koetiivistyksen perusteella. Tiivistystyömäärää on kuitenkin varauduttava säätämään työn edetessä tehtävän tiivistystyön tarkkailun perusteella. Kuitutuhkarakenteiden tiiviysvaatimus on yleensä vähintään 85-95% parannetulla Proctor-kokeella määritetystä optimivesipitoisuutta vastaavasta maksimitiiviydestä. (Ronkainen, 2011)

5 RAKENNETUT KOEKOHTEET JA KOHDE- TUTKIMUKSET

Tutkimuksessa on tarkasteltu seitsemää eri koekohtetta, joista 3 on tiekohteita ja 4 urheilukenttiä. Pihtisalmentie, Luopioisten kevyen liikenteen väylä, Luopioisten urheilukenttä ja Viialan urheilukenttä ovat rakennettu vuosina 2000 - 2003. Pinsiöntie, Kuumoisten urheilukenttä ja Mäntän tekonurmi ovat uudempia koekohteita ja niiden rakennusajankohdat sijoittuvat vuosien 2006 – 2013 välille.

5.1 Pihtisalmentie, Pt 13981

5.1.1 Koekohteen kuvaus

Pihtisalmentie sijaitsee Pälkäneen kunnassa, entisen Luopioisten kunnan puolella. Pihtisalmentie, Pt 13981, on 4 km pituinen sorapintainen alempiluokkainen paikallistie/yhdystie, joka palvelee Rantakulman kylän asukkaita. Koekohteen sijainti on esitetty kuvassa 5.1.

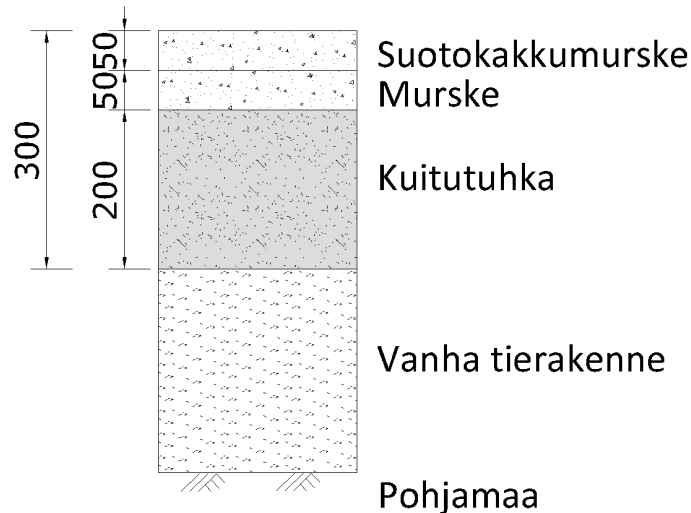


Kuva 5.1 Pihtisalmentien koekohteen sijainti (<http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi>)

Pihtisalmentie on tyypillinen soratie, joka mutkittelee kumpuilevan maastonmuodon mukaisesti kahden järvenselän välissä. Pääasiallisina ongelmina tiellä on ollut heikko kevätkantavuus ja tien lähes käyttökelttomaksi tehneet routavauriot. Routavauriot ovat johtuneet erittäin routivasta pohjamaasta ja liian ohuesta tierakenteesta.

5.1.2 Koerakenteet

Pihtisalmentien pahiten vaurioituneet osuudet korjattiin kesällä 2003 massiivisella kuitutuhkarakenteella, jonka periaate on esitetty kuvassa 5.2. Osuuksien korjaukset toteutettiin kahdelle eri tiejaksolle, joista ensimmäinen on 400 metrin ja toinen 500 metrin pituinen. Osuuksien tierekisteriosoitteet ovat 13981/1/340/760 ja 13981/1/2000/2500.



Kuva 5.2 Pihtisalmentien koekohteen kuitutuhkarakenne

Kuitutuhkarakenne toteutettiin siten, että vanhan tierakenteen pinnasta höylättiin muutama senttimetri pintamursketta kuitutuhkarakenteen tukipenkereiksi tien reunoihin. Kuitutuhka levitettiin ja tiivistettiin tähän ”kaukaloon” n. 200 mm paksuiseksi kerrokseksi. Kuitutuhkaseoksessa oli kuitusavea noin 55 % (märkämässana), lentotuhkaa noin 39 % (märkämässana) ja yleissementtiä noin 6 % (kuitutuhkaseoksen kuivamässana). Kulutuskerrokseksi levitettiin ensin 50 mm kerros pintamursketta ja sen päälle 50 mm kerros suotojäte-murskeseosta. Suotojäte oli rakeistamatonta ja sen määrä oli 7,5 % murskeen kuivamässana.

Kuitutuhkan sivutuotekomponentit olivat SCA Tissue Finland Oy:n kuitusavi sekä UPM Kymmene Oyj:n Jämsänkosken paperitehtaan voimalaitoksen lentotuhka, joka muodostuu puun kuoriaineksen ja turpeen poltosta.

5.1.3 Aikaisemmat tutkimukset

Pihtisalmentielle on tehty silmämääräisiä kuntokartoituksia vuosina 2003,2004 ja 2008. Rakennetutkimuksia on tehty kuntokartoitusten yhteydessä vuosina 2003 ja 2004 sekä lisäksi 2008. Lämpötilaseuranta on toteutettu vain yhden talven ajan (2003-2004). Alkutilanne on kartoitettu kantavuusmittauksella vuonna 2002. Rakentamisen jälkeen kantavuusmittauksia on tehty vuosina 2003 ja 2004. Tutkimusten tuloksia on käsitelty kohdassa ”7. Koekohteden seurantatutkimustulokset”.

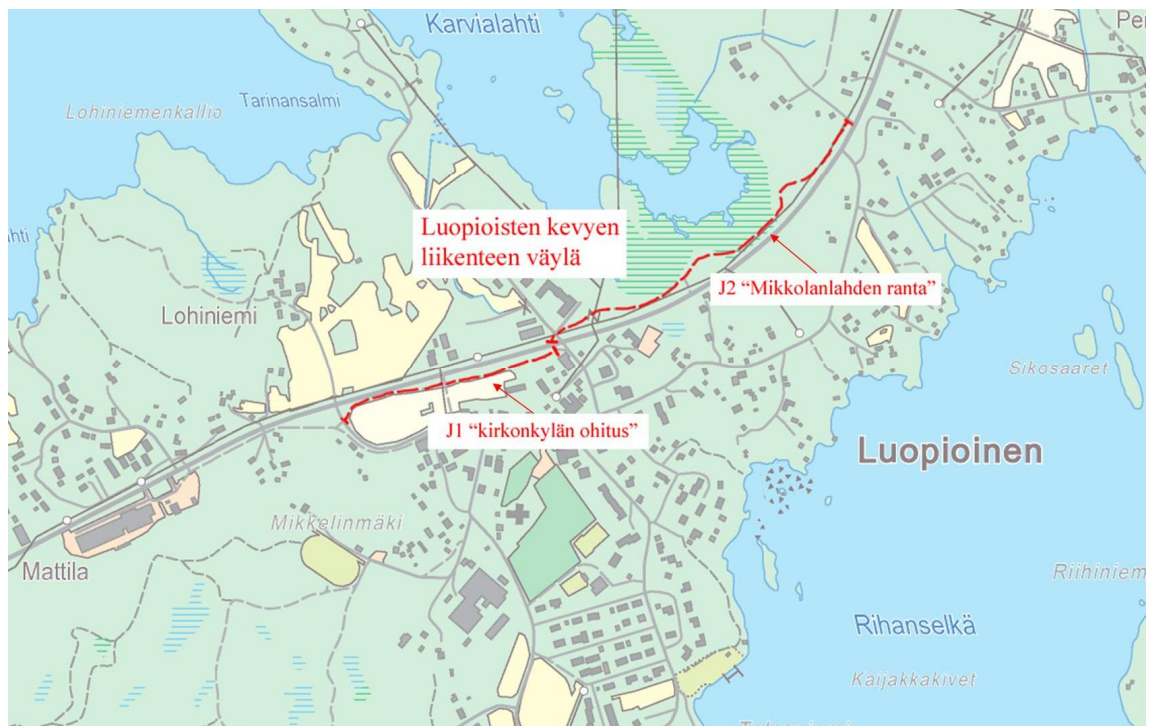
Taulukko 5.1 Pihntisalmentielle tehdyt seurantatutkimukset

Kuntokartoitus	Rakennetutkimus	Lämpötilaseuranta	Kantavuusmittaus
			keväät 2002
syksy 2003	syksy 2003	talvi 2003-2004	syksy 2003
syksy 2004	syksy 2004		kesä 2004
	syksy 2006		
syksy 2008			

5.2 Luopioisten kevyen liikenteen väylä

5.2.1 Koekohteen kuvaus

Kevyen liikenteen väylä sijaitsee Pälkäneen kunnassa Luopioisten kirkonkylän kohdalla kantatien 322 varrella. Koekohte on noin 1,2 km pituinen suotojäte-murske –seoksella päällystetty 3 m levyinen kevyen liikenteen väylä. Koekohteen sijainti on esitetty kuvassa 5.3.



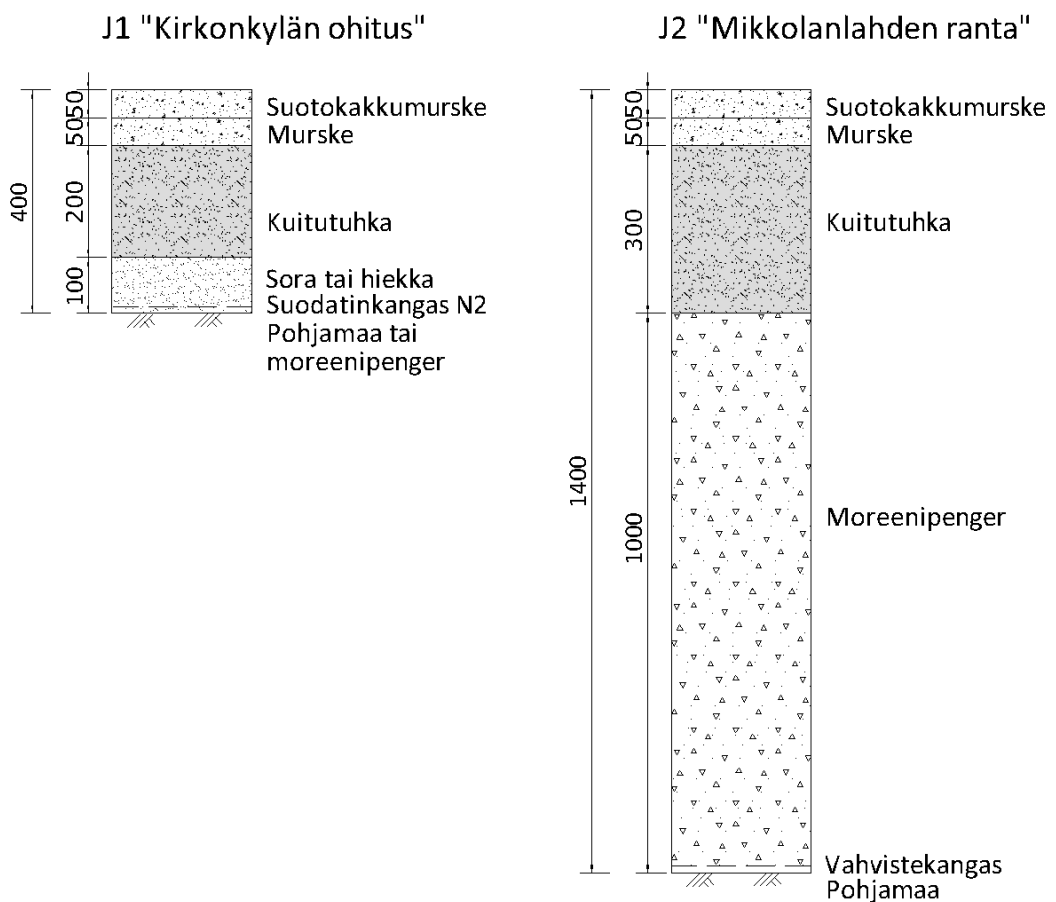
Kuva 5.3 Luopioisten kevyen liikenteen väylä (<http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi>)

Kyseisellä tieosuudella ei ole ollut aikaisemmin erillistä kevyen liikenteen väylää. Jalankulkijat ja pyöräilijät ovat joutuneet käyttämään kapeaa piennarta, joka on aiheuttanut vaaratilanteita. Kevyen liikenteen väylien lisääminen haja-asutusalueille ja maaseututajamiin edellyttää mahdollisimman alhaisia rakentamiskustannuksia. Luopioisten kevyen liikenteen väylän koekohteessa tavoitteena oli testata rakentamisprosessin kustannustehokkuutta käyttämällä rakennusmateriaalina kuitutuhkaa luonnon kiviaineksien sijasta.

5.2.2 Koerakenteet

Kantatien 322 varrelle rakennettiin kesällä 2003 noin 1,2 km pituinen uusi kevyenliikenteen väylä, joka on jaettu kahteen osuuteen. Ensimmäisestä 500 metrin pituisesta osuudesta välillä Pt 13977 – Pereentien risteys on rakentamisen aikana käytetty nimeä J1 ”kirkonkylän ohitus” ja toisesta 700 metrin pituisesta osuudesta on käytetty nimeä J2 ”Mikkolanlahden ranta”. Käytetyn kuitutuhkaseoksen resepti sisälsi kuitusavea noin 55 % (märkämassa), lentotuhkaa noin 39 % (märkämassa) ja yleissementtiä noin 6 %. Periaatekuvat osuuksien J1 ja J2 koerakenteista on esitetty kuvassa 5.4.

LUOPIOISTEN KEVYEN LIIKENTEN VÄYLÄ



Kuva 5.4 Periaatekuvat kevyen liikenteen väylän koerakenteista J1 ja J2

Järven läheisyydessä kulkeva kevyenliikenteenväylä J2 rakennettiin osittain pehmeikölle. Talvella 2002-2003 rakennettiin kahdelle pehmeikköosuudelle moreenipenkere luji-tekankaasta ja moreenista antamaan rakennettavalle kuitutuhkakerrokselle tukevampi alusta. Muulta osin kevyenliikenteenväylän pohja tehtiin levittämällä tasatun pohjamaan (moreenin) päälle suodatinkangas, ja suodatinkankaan päälle noin 100 mm paksuinen murskekerros työkoneiden liikkumisen helpottamiseksi. Reunapalteen avulla muodostettuun ”kaukaloon” levitettiin ja tiivistettiin noin 300/200 mm kerros kuitutuhkaa (pehmeikön kohta / muut kohdat). Kuitutuhkakerroksen päälle levitettiin suojamurskettä noin 50 mm ja kulutuskerrokseksi 50-70 mm suotojäte-murske –seosta. Käytetty suotojäte oli rakeistamatonta ja sen määrä oli 7,5 % murskeen kuivamassasta.

5.2.3 Aikaisemmat tutkimukset

Silmämääräisiä kuntokartoituksia kevyenliikenteenväylälle on tehty peräkkäisinä vuosina syyskuussa 2003 ja 2004. Lisäksi kuntokartoitus on tehty kantavuusmittausten yhteydessä toukokuussa 2004. Rakennetutkimuksia on tehty kuntokartoitusten yhteydessä 2003 ja 2004. Kantavuusmittaukset on tehty marraskuussa 2003 ja toukokuussa 2004. Tutkimusten tuloksia on käsitelty kappaleessa ”7. Koekohteiden seurantatutkimustulokset”.

Taulukko 5.2 Luopioisten kevyenliikenteenväylällä tehdyt seurantatutkimukset

Kuntokartoitus	Rakennetutkimus	Kantavuusmittaus
syys-lokakuu 2003	syyskuu 2003	marraskuu 2003
toukokuu 2004		toukokuu 2004
syyskuu 2004	syyskuu 2004	

5.3 Pinsiöntie, Mt 13791

5.3.1 Koekohteen kuvaus

Koekohte sijaitsee Pinsiöntiellä Ala-Pinsiön ja Vt 11:n välisellä osuudella Nokian kaupungin ja Hämeenkyrön kunnan alueilla. Pinsiöntie kokonaisuudessaan on 13,9 km pituinen ja 6,5 m levyinen sorapintainen yhdystie Pinsiön ja Nokian välillä. Nokian taa- jamassa sijaitseva 2,6 kilometrin osuus on päällystetty. Pinsiöntien sijainti on esitetty kuvassa 5.6.



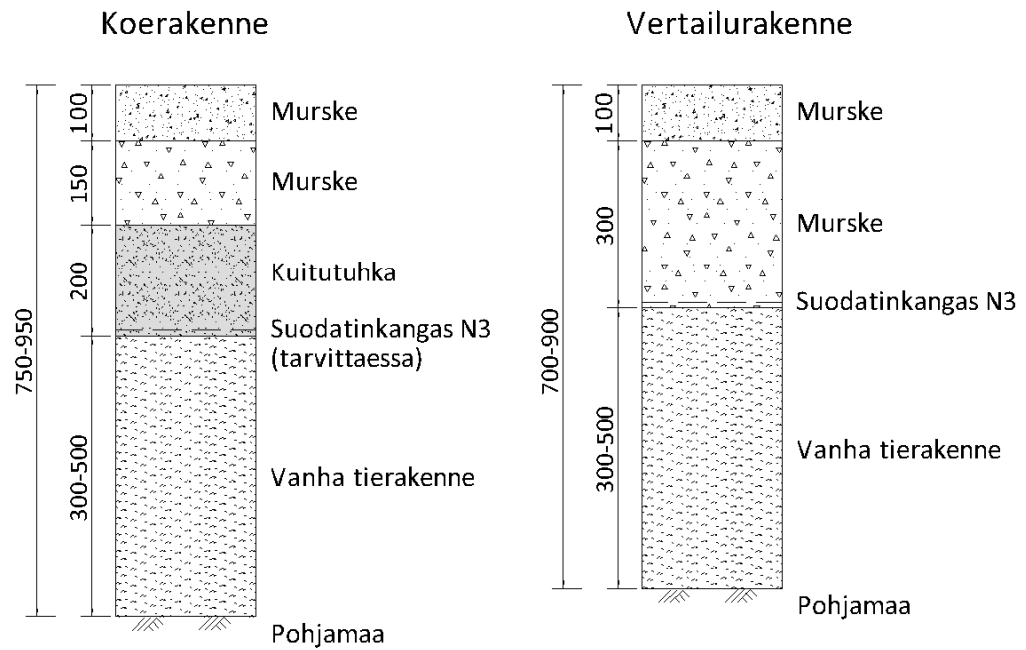
Kuva 5.6 Pinsiöntien sijainti (<http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi>)

Pinsiöntie on ollut vaaka- ja pystygeometrialtaan pienipiirteistä. Lisäksi tieosuudella on ollut vaarallisia liittymiä ja jyrkkiä mutkia näkemäpuutteineen. Keväisin tiellä on esiintynyt monin paikoin runkokelirikkoa ja erityisesti reunakantavuus on ollut paikoin huono. Vaurioituminen on johtunut pääasiassa puutteellisista sivuojista sekä puutteellisista ja sekoittuneista tierakenteista. Vuonna 2012 tielle tehtiin perusparannus tien päivittäisen liikennöitävyyden ja käyttökelpoisuuden ylläpitämiseksi.

5.3.2 Koerakenteet

Tien perusparantamisen yhteydessä toteutettiin kesällä 2012 metsäiselle tieosuudelle (plv 400-3500) 3100 metrin pituinen massiivikuitutuhkarakenne, jonka periaate on esitetty kuvassa 5.7. Vertailurakenne on paaluvälillä 3500-4000, joka on Ala-Pinsiön kylän tuntumassa pelto-osuudella. Käytetyn kuitusaven ja tuhkan seoksen suhde oli 40:60 (kuitusavi:tuhka) ja seokseen lisättiin 5 paino-% kokonaismassasta sementtiä.

PINSIÖNTIE



Kuva 5.7 Periaatekuvat Pinsiöntien rakenteista

Kuitutuhkan sivutuotekomponentit olivat SCA Tissue Oy:n kuitusavi sekä UPM Kymmene Oyj:n Valkeakosken Tervasaaren paperitehtaan voimalaitoksen lentotuhka, joka muodostuu puun kuoriaineksen ja turpeen poltosta.

5.4 Kuhmoisten urheilukenttä

5.4.1 Koekohteen kuvaus

Urheilukenttä sijaitsee Kuhmoisten kirkonkylän taajamassa Ala-Karkjärven rannalla 1,5 kilometrin päässä keskustasta koilliseen (Kuva 5.8). Nurmipintaisen jalkapallokentän koko on 95 x 60 metriä ja sen ympärillä on 350 m pituinen joustokestopäällysteinen juoksurata. Urheilukentällä on myös keihäänheiton, moukarin, kuulantyönnön, seiväshypyn sekä pituus- ja kolmiloikan suorituspaikat. Urheilukenttää käyttävät pääasias-
sa paikallisen urheilu- ja voimisteluseuran Kumu ry:n jäsenet sekä paikallisten koulujen oppilaat. Kentän käyttöaste kesäisin on alle 10 tuntia viikossa.

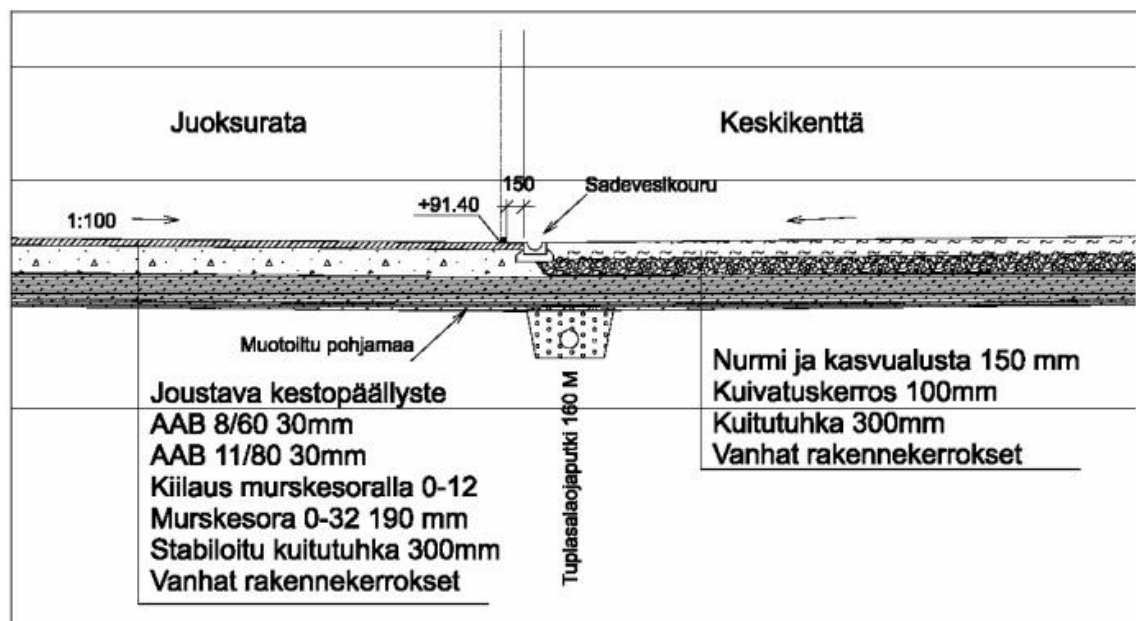


Kuva 5.8 Kuhmoisten urheilukentän sijainti

Edellisen kerran vuonna 1980 peruskorjatun kentän olemus ei enää houkuttanut ihmisiä liikkumaan ja kentän hiekka oli liian karkeaa pallopeleihin. Painanteessa olevan kentän pintakuivatus oli myös muodostunut ongelmaksi. Ongelmien takia vuonna 2006 urheilukentälle tehtiin perusparannus, jossa jalkapallokenttä muutettiin nurmipintaiseksi, muut suorituspaikat päällystettiin joustavalla kestopäällysteellä sekä kuivatusongelmat korjattiin korottamalla kentän korkeustasoa ja huuhtelemalla nykyiset salaojaputkistot.

5.4.2 Koerakenteet

Vuoden 2006 perusparannus toteutettiin massiivikuitutuhkarakenteella, joka tehtiin kentän vanhojen rakennekerrosten päälle. Koko kentän korkeusasemaa korotettiin 300 mm kuitutuhkakerroksella. Kuitutuhkan päälle tulevat kerrokset vaihtelevat kentän eri osissa riippuen kentällä harjoitettavista toiminnoista. Nurmikentän rakenne koostuu 100 mm kuivatuskerroksesta sekä 150 mm kasvualustasta ja nurmesta. Juoksuradan rakenteessa kuitutuhkakerroksen päällä on 190 mm kerros mursketta, kiilauskerros ja päällyste. Tyypik kuva kentän eri rakenteista on esitetty kuvassa 5.9.



Kuva 5.9 Kuhmoisten urheilukentän rakennekerrokset (Lite 2 –loppuraportti)

Kuitutuhkan sivutuotekomponentit Kuhmoisten urheilukentällä olivat UPM Kymmene Oyj:n paperitehtaan kuitusavi sekä saman paperitehtaan voimalaitoksen lentotuhka, joka muodostuu puun kuoriaineksen, turpeen ja kuitusaven poltosta.

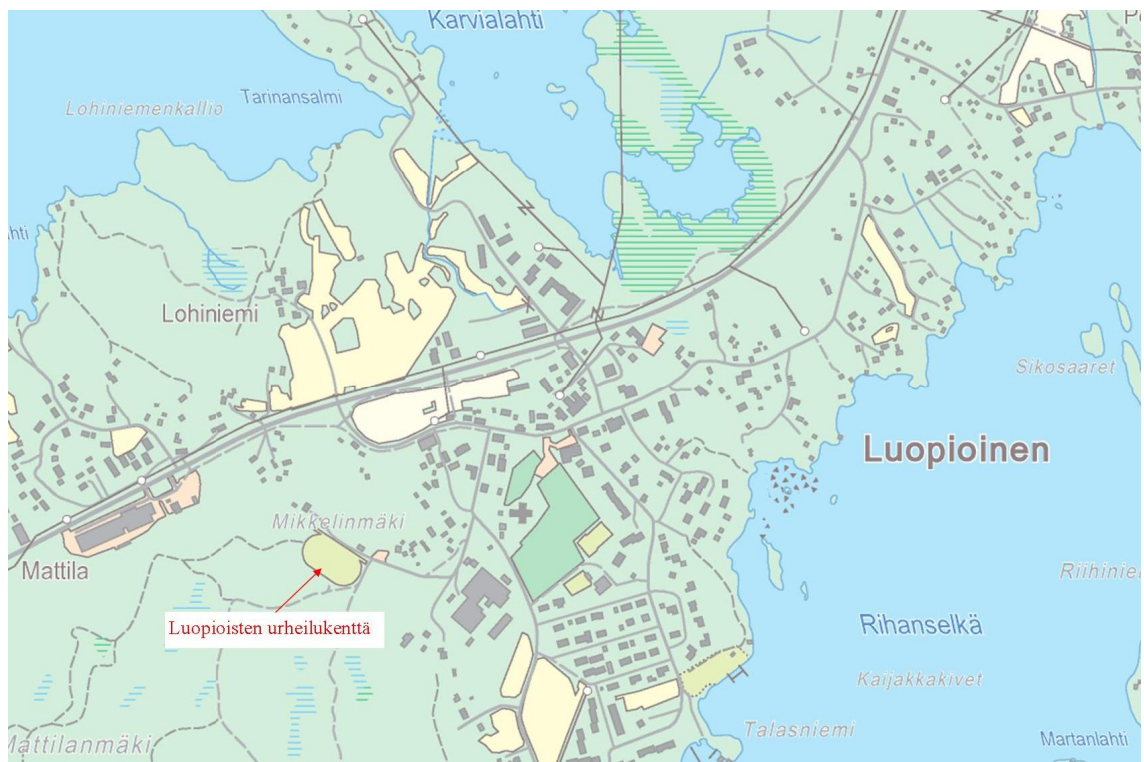
5.4.3 Aikaisemmat tutkimukset

Kuhmoisten urheilukentän kuitutuhkarakennetta ei ole tutkittu aikaisemmin.

5.5 Luopioisten urheilukenttä

5.5.1 Koekohteen kuvaus

Urheilukenttä sijaitsee Luopioisten kirkonkylän keskustan läheisyydessä (Kuva 5.10). Nurmipintaisen urheilukentän koko on 90x60 metriä ja sen ympärillä on 300 m pituinen tiilimurskepintainen juoksurata. Kentältä löytyvät myös kuulantönnön, moukarinheiton, pituus- ja korkeushypyn suorituspaikat. Urheilukenttää käyttävät pääasiassa kirkonkylän alakoulun oppilaat sekä paikallisen urheiluseuran Pälkäneen Luja-Lukon jäsenet. Kentän käyttöaste kesäisin on 15 tuntia viikossa.



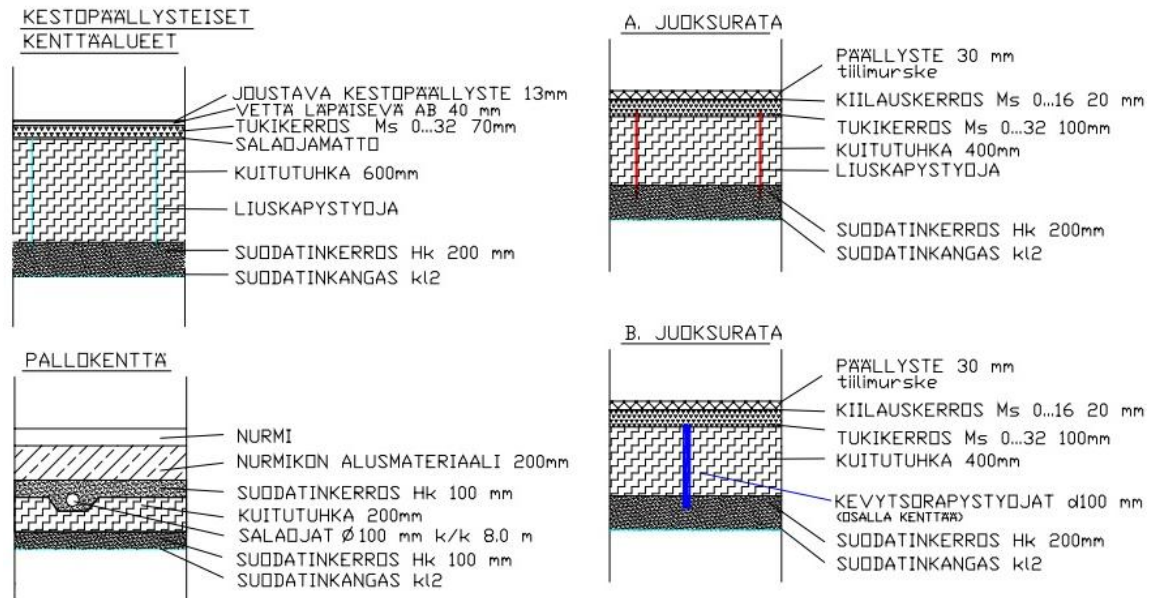
Kuva 5.10 Luopioisten urheilukentän sijainti

Ajan saatossa huonoon kuntoon päässeellä kentällä oli mm. kuivatus- ja routaongelmia mikä vaikeutti kentän käyttöä. Vesisateen jälkeen urheilukenttä oli täysin käyttökelvoton veden seisoessa kentän eri osissa pitkiä aikoja. Ongelmien korjaamiseksi kenttä päätettiin peruskorjata kesällä 2000, jolloin kentän nurmipintausta ja juoksuradat uusittiin. Myös kuivatusjärjestelmä uudistettiin peruskorjauksen yhteydessä kokonaan.

5.5.2 Koerakenteet

Urheilukentän perusparannus toteutettiin massiivikuitutuhkarakenteella vanhan kentän rakennekerrosten päälle. Kuitutuhkasta rakennettu kerros on paksuudeltaan 200 mm pallokentän alueella, 400 mm juoksuradan alueella ja 600 mm kestopäällysteisellä kenttäalueella. Nurmialueen aluskerrokseen lisättiin myös pieni määrä kuitusavea pidättämään kosteutta nurmen juurikasvustolle. Kuivatusratkaisuja kentällä on käytetty kahta

erilaista. Kuivatus on hoidettu joko viemällä sadevedet kuitutuhkakerroksen lävitse salaokerrokseen liuskapystysalaojalla ja rakentamalla sorasalaoja nurmikentän ympärille. Eri osien rakennekerrosten periaatteet ovat esitetty kuvassa 5.11. Rakennusleikkauksissa esiteltyä juoksuradan rakennevaihtoehto B ei käytetty. Kuitutuhkan seossuhteet olivat 72,6 % : 21,8 % : 5,6 % (kuitusavi : lentotuhka : yleissementti).



Kuva 5.11 Luopioisten urheilukentän eri osien rakenneleikkaukset (Urheilukentän perusrantaminen uusiomaarakennustekniikalla, 2002)

Käytetyt kuitutuhkan sivutuotekomponentit Luopioisten urheilukentällä olivat SCA Tissue Finland Oy:n kuitusavi sekä UPM Kymmene Oy:n Valkeakosken Tervasaaren paperitehtaan voimalaitoksen lentotuhka, joka muodostuu puun kuoriaineksen ja turpeen poltosta.

5.5.3 Aikaisemmat tutkimukset

Kuitutuhkakerrokselle on tehty rakennetutkimus vuonna 2009. Näytteet puristuslujuuskokeita varten on otettu nurmikentän ja juoksuradan kuitutuhkakerroksesta. Tutkimusten tuloksia on käsitelty kappaleessa ”7. Koekohteiden seurantatutkimustulokset”.

5.6 Viialan urheilukenttä

5.6.1 Koekohteen kuvaus

Viialan urheilukenttä sijaitsee Akaan kaupungin pohjoisosassa, Viialan taajamassa (Kuva 5.12). Urheilukentällä on 100x64 m kokoinen nurmikenttä ja 400 m kestopäällysteinen juoksurata. Kentältä löytyvät myös suorituspaikat pituushypylle, kuulantyönnölle ja moukarinheitolle. Urheilukenttää käyttävät pääasiassa paikallinen jalkapallojoukkue Viialan Peli-Veikot sekä yleisurheiluseurat Viialan Valtti ja Toijalan Vauhti Ry. Viialan Pallo-Veikkojen miesten edustusjoukkue pelaa Tampereen piirin 5. divisioonassa. Kesäisin kentän viikoittainen käyttöaste on n. 20 h viikossa.



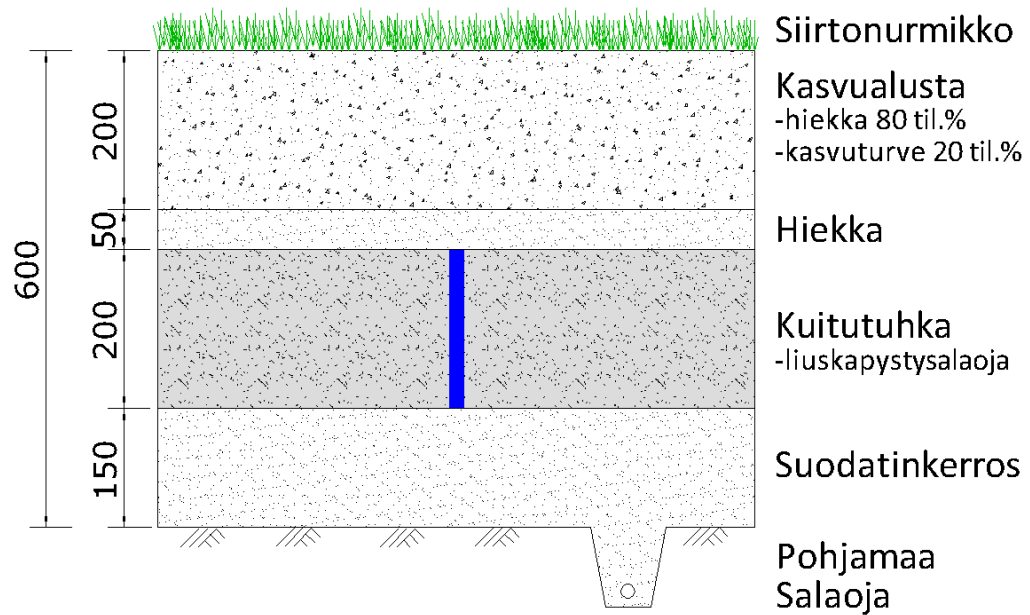
Kuva 5.12 Viialan urheilukentän sijainti

Edellisestä peruskorjauksesta aikaa oli jo kulunut vuosikymmeniä ja kenttä oli päässyt huonoon kuntoon. Kentän peruskorjauksen yhteydessä vanhoista pintamateriaaleista rakennettiin pengerkatsomo kentän viereen.

5.6.2 Koerakenteet

Urheilukentän perusparannus toteutettiin nurmikentän alueella massiivikuitutuhkarakenteella ja muilla urheilukentän alueilla luonnon kiviaineksilla. Kuitutuhkarakenteen paksaus nurmialueella on 200 mm. Kuivatus on toteutettu liuskapystysalaojilla. Sadevedet johdetaan kuitutuhkakerroksen läpi suodatinkerroksessa oleviin salaojaputkiin. Käytetyn kuitutuhkan seossuhteen olivat 59,5 % : 35,7 % : 4,8 % (kuitusavi : lentotuhka : yleissementti). Nurmialueen tyyppirakenne on esitetty kuvassa 5.13.

VIIALAN URHEILUKENTTÄ



Kuva 5.13 Viialan urheilukentän tyypirakenne nurmialueella

Kuitutuhkan sivutuotekomponentit olivat SCA Tissue Finland Oy:n siistauksessa syntyvä kuitusavi sekä UPM Kymmene Oyj:n Valkeakosken Tervasaaren paperitehtaan voimalaitoksen lentotuhka.

5.6.3 Aikaisemmat tutkimukset

Viialan urheilukentän kuitutuhkarakennetta ei ole tutkittu aikaisemmin.

5.7 Mäntän tekonurmikenttä

5.7.1 Koekohteen kuvaus

Mäntän tekonurmikenttä sijaitsee n. 3 km päässä Mäntän keskustasta Mäntänvuoren ulkoilualueella. Tekonurmialueen koko on 106x68 metriä ja lisäksi tekonurmen vieressä on pukeutumistilat sekä betonirakenteinen katsomo. Tekonurmikenttää käyttää paikallinen jalkapalloseura Mäntän Valo, jolla on juniorijoukkueita sekä miesten edustusjoukkue, joka pelaa Tampereen piirin 5. divisioonassa.



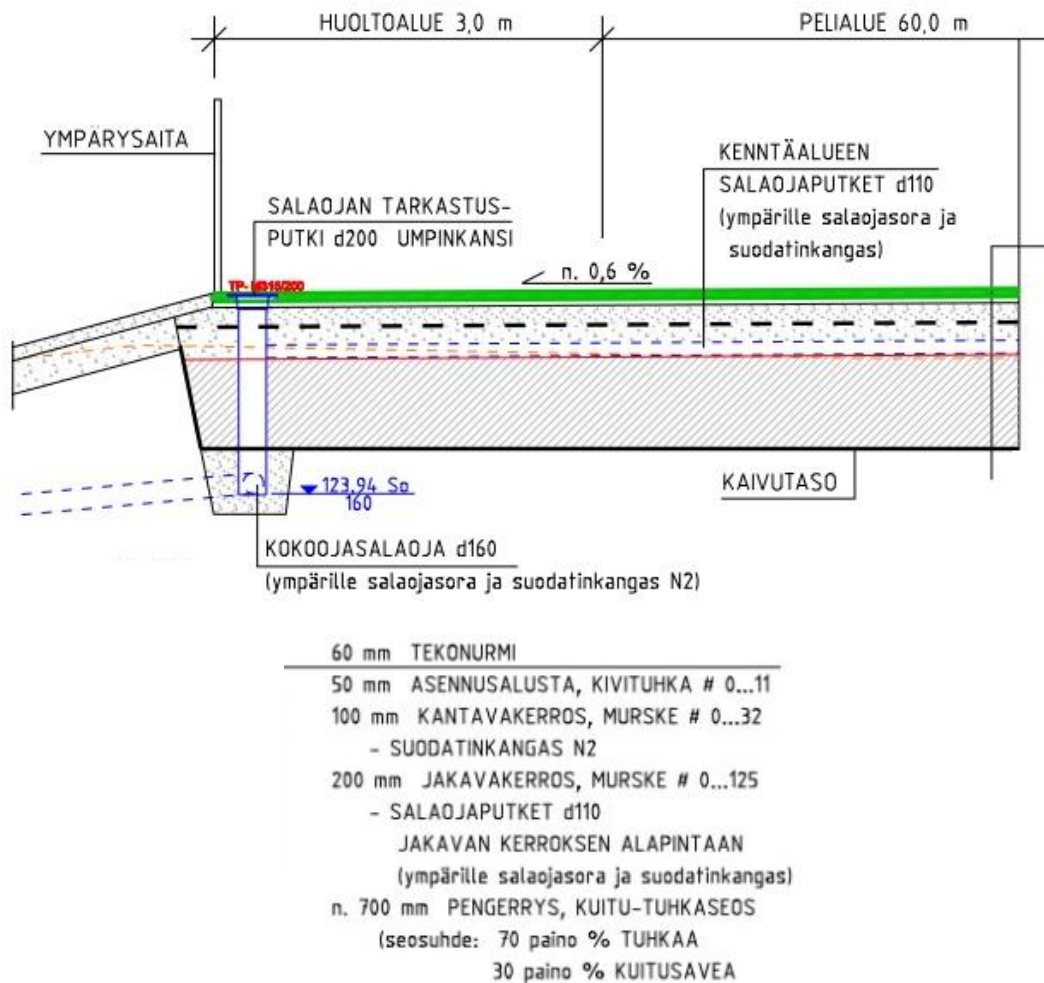
Kuva 5.14 Mäntän tekonurmikentän sijainti

Mäntänvuoren jalkapallokenttä oli huonokuntoinen nurmipäällysteinen kenttä, joka oli kuntonsa takia vähäisellä käytöllä. Harjoitteluolosuhteita parantaakseen jalkapalloseura Mäntän Valo halusi muuntaa vanhan ja huonokuntoisen nurmikentän nykyaikaiseksi tekonurmikentäksi. Tekonurmi mahdollistaa jalkapalloilukauden pidentämisen keväästä pitkälle syksyyn lumien tuloon saakka. Muita hyviä puolia tekonurmessa luonnon nurmeen nähden ovat lähes rajoittamaton käyttöaste ja huomattavasti pienemmät ylläpito-kustannukset.

Tekonurmien yleistyminen on myös Suomen palloliiton suunta. Tulevaisuudessa entistä useammalla suomalaisella jalkapallokentällä viheriöi ympäri vuoden, sillä uusia luonnonnurmikenttiä ei ole enää rakennettu. Toistaiseksi viimeisin täysin uusi luonnonnurmikenttä Suomessa on kaksi vuotta sitten Eerikkilän urheiluopistolle valmistunut Areena-jalkapallostadion, joka palvelee lähinnä maajoukkueita. (Airola, 2014)

5.7.2 Koerakenteet

Mäntänvuoren kenttä muutettiin tekonurmikentäksi kesän ja syksyn 2013 aikana. Uudistus toteutettiin massiivikuitutuhkarakenteella, jonka rakenne on esitetty kuvassa 5.15. Huonosta kuivatuksesta johtuen kentän korkeustasoa korotettiin 700 mm paksuisella kuitutuhkakerroksella. Kuitutuhkakerros on kevyempi vaihtoehto pengerrakenteeksi luonnon kiviaineksiin verrattuna. Kevyempi pengermateriaali vähentää kentän painumia ja toimii samalla routaa eristävänä kerroksena routivan pohjamaan päällä.



Kuva 5.15 Mäntän tekonurmikentän tyypirakenne

Rakenteessa käytetyn kuitutuhkan sivutuotekomponentit olivat Metsä-Tissue Oyj:n Mäntän paperitehtaassa syntyvä kuitusavi sekä saman tehtaan voimalaitoksen lentotuhka.

Mäntän tekonurmikentälle ei tehty tämän diplomityön yhteydessä erillisiä seuranta-tutkimuksia, koska kenttä ei ollut valmistunut ja kuitutuhkarakenteen tutkiminen ei olisi ollut mahdollista ilman tekonurmimaton rikkomista.

6 SEURANTATUTKIMUSMENETELMÄT

Koekohteille tehtiin kevään ja syksyn 2013 aikana seurantatutkimuksia, joilla kohteiden nykytilaa voitiin tarkastella ja vertailla aikaisempiin tutkimuksiin. Kohteilla käytettiin kolmea erilaista tutkimustapaa, jotka on esitelty tässä kappaleessa. Tutkimusmenetelmiksi ovat valikoituneet ne menetelmät, joita useimmilla koekohteilla on myös aikaisemmin käytetty.

6.1 Kuntokartoitus

Kuntokartoituksessa kohteen yleiskunto ja mahdolliset vauriot kartoitetaan silmämääräisesti. Tiekohteissa vauriot havainnoidaan visuaalisesti tien pintaa ja luiskia tarkastellen. Urheilukenttäkohteissa kentän vaurioita on myös tiedusteltu kentän kuntoa ylläpitävältä kentänhoitajalta.

Tiekohteen kuntotarkastuksessa tarkkailtavia asioita:

- Sivukaltevuudet
- Kulutuskerroksen paksuus ja maakivet
- Ojien kunto
- Reunapalteet
- Tien painumat ja rungon leviäminen
- Pengerluiskien jyrkkyys
- Rumpujen kunto



Kuva 6.1 Pihthisalmentien Kuntokartoituksessa havaittu routavaurio (Kuva: Tero Jokinen)

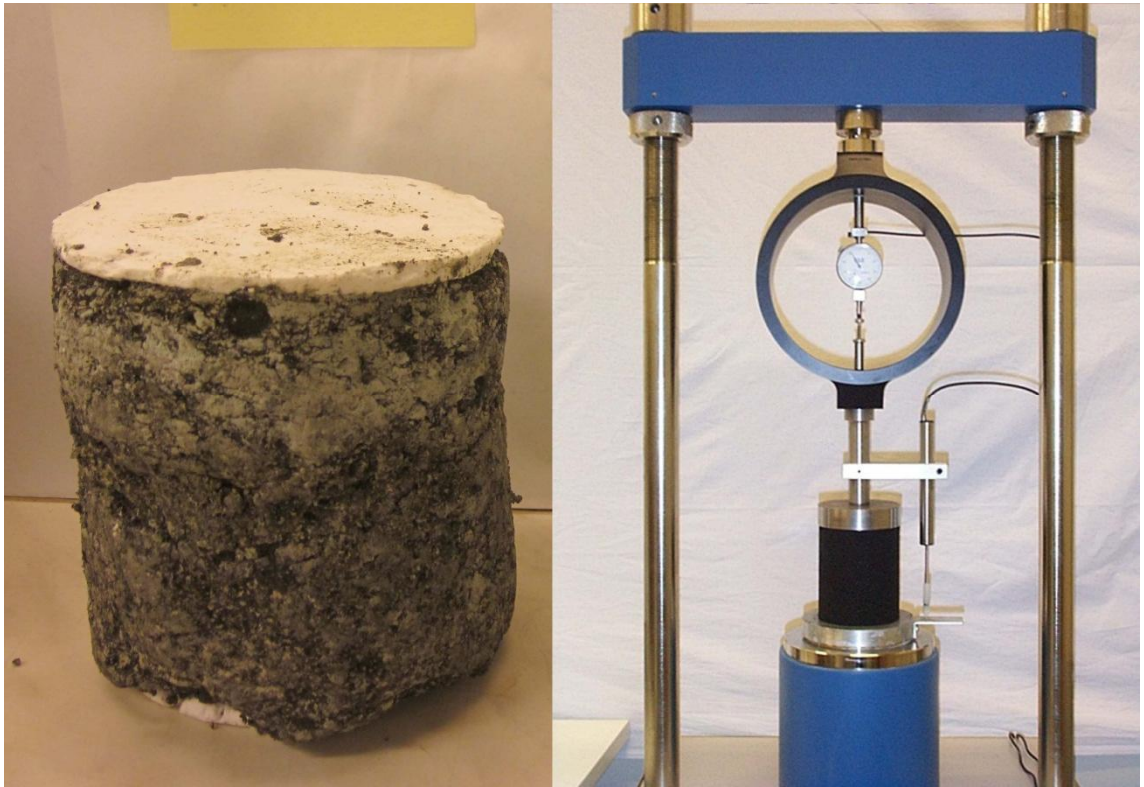
6.2 Rakennetutkimus

Rakennetutkimuksissa kuitutuhkarakenteen pinta kaivettiin esiin tiekohteilla kaivinkoneella ja urheilukentillä käsin lapioimalla. Tutkimukset tehtiin siten, että tutkittavan kohteen pintarakennetta vaurioitettiin mahdollisimman vähän. Kuitutuhkakerroksesta otettiin lieriön muotoiset näytekappaleet joko timanttikruunulla poraamalla tai lyömällä näyte näyteputkeen. Jokaisesta tutkimuskohteesta tutkittiin kuitutuhkarakenteet ja näytteitä otettiin 2 kpl tutkimuspistettä kohden. Jos kohteella oli aikaisempia tutkimuksia, näytteet otettiin mahdollisimman läheltä edellisten tutkimusten sijaintia. Tiekohteilla tutkimuspaalulla näytteenotto sijoitettiin siten, että kaistan keskiosalta (keskilinja + 0,5 m) otettiin kaksi näytettä ja reunasta (keskilinja + 2,5 m) otettiin yksi näyte. Rakennetutkimusten yhteydessä kuitutuhkarakenteen kuntoa arvioitiin silmämääräisesti. Kuvassa 6.2 on esitetty rakennetutkimusten kaksi erilaista näytteenottotapaa.



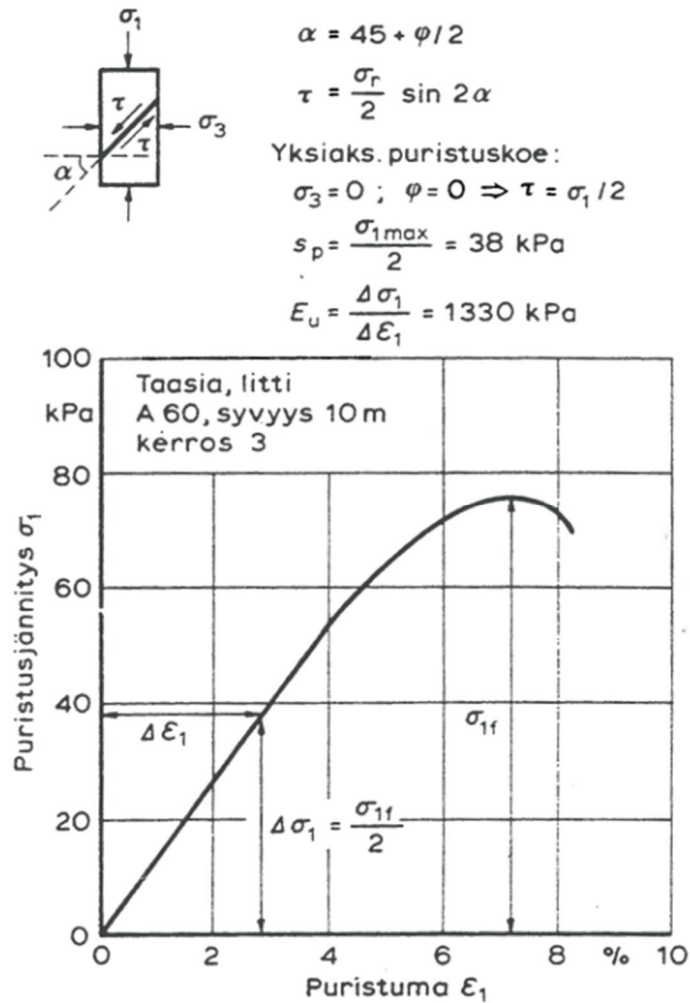
Kuva 6.2 Rakennetutkimusten näytteenottotapoja

Rakennetutkimuksissa otettujen näytteiden puristuslujuudet tutkittiin laboratoriossa käyttämällä yksiaksiaalista puristuskoetta. Näytekappaleet valmisteltiin puristuskoetta varten siten, että kappaleiden päät tasoitettiin, jotta puristus kohdistuisi sylinterin muotoiseen näytteeseen tasaisesti. Mikäli koerakenteesta otettu näyte ei kestänyt ehjänä, muotoiltiin laboratoriossa jäljelle jääneestä palasesta säännöllisen muotoisia puristus-kappaleita. Puristuskokeet tehtiin Ramboll Finland Oy:n Luopioisten toimipisteessä käyttäen ELE Internationalin valmistamaa digitaalisesti ohjattua koekuormituslaitteistoa. Kuvassa 6.3 ovat puristuskoetta varten valmistettu näyte ja puristuskokeessa käytetty kalusto.



Kuva 6.3 Rakennetutkimuksen näytekappale ja puristuskoelaitteisto

Yksiakselinen puristuskoe tehdään standardin SFS 1792 – CEN ISO/TS 17892-7 (Geotekninen tutkimus ja koestus. Maan laboratoriokokeet. Osa 7: Hienorakeisen maan yksiakselinen puristuskoe 2004) mukaisesti. Koemenetelmä on yksinkertaistettu erikoistapaus kolmiakselikokeesta, jossa sylinterin muotoista koekappaletta kuormitetaan pystysuunnassa tasaisella nopeudella (1-2 mm/min). Puristuskokeesta puuttuvat vaakasuorat pääjännitykset, jolloin $\delta_2 = \delta_3 = 0$. Koekappaletta puristaessa, pystysuora voima ja sen aiheuttama pystysuora pääjännitys δ_1 kasvavat. Kun pystysuora kuormitus saavuttaa materiaalille ominaisen murtotilan, koekappale murtuu. Koekappaleen murtumishetkellä puristava voima ja sen aiheuttama pystysuora pääjännitys saavuttavat maksimiarvonsa. Mikäli materiaali ei saavuta selvästi havaittavaa jännityksen huippuarvoa eikä murtumista näin ollen tapahdu, tulkitaan murtotilanteeksi koevaihe, jossa suhteellinen kokoonpuristuma on 10 %. Kuitutuhka voidaan olettaa koheesimateriaaliksi, jolloin sen kitkakulma (φ) on nolla. Tällöin koekappaleen tulisi leikkautua pitkin tasoa, jonka kaltevuuskulma (α) on 45° . Yksiakselisella puristuskokeella määritetään koekappaleen puristuslujuus ja materiaalin jännitys-muodonmuutosominaisuudet. Esimerkiksi yksiakselisen puristuskokeen kuvaajasta on esitetty kuvassa 6.4. (Rantamäki, 1994)



Kuva 6.4 Yksiakselialinen puristuskokeen kuvaaja (Geomekaniikka I, 1985)

Yksiakselialisen puristuskokeen kuvaajasta (kuva 6.4) nähdään materiaalin jännitysmuodonmuutosominaisuudet kuormitustilanteessa. Kimmomoduuli on jännityksen ja sitä vastaavan muodonmuutoksen suhde eli jännitys-muodonmuutoskuvaajan suoran osan kulmakerroin. Mitä suurempi kimmomoduuli on, sitä vähemmän materiaali myötää kuormittaessa. (Outinen, 1988)

6.3 Lämmönjohtavuuden mittaaminen

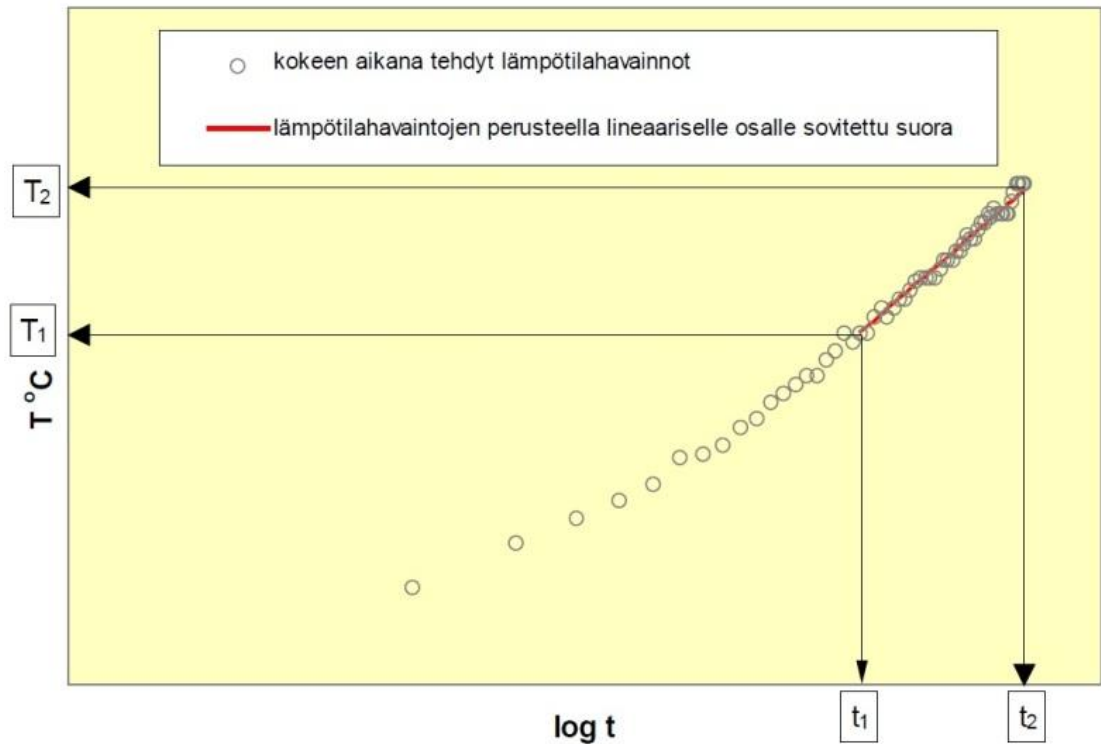
Rakennetutkimuksissa otetuista näytteistä määritettiin myös rakenteessa olleen kuitutuhkan lämmönjohtavuus laboratorio-olosuhteissa. Määritykset tehtiin Pihtisalmentien, Luopioisten ja Kuhmoisten urheilukentän näytteille. Lämmönjohtavuus määritettiin ASTM standardin D5334-92 mukaisella menetelmällä lämmönjohtosondin avulla. Tässä koemenetelmässä kuitutuhkan lämmönjohtavuus määritetään asettamalla näytteen sisään sauvamainen lämmönjohtosondi, jonka pituus verrattuna halkaisijaan on suuri (pituus $> 25 \times$ halkaisija). Sondissa on lämmitysvastus ja lämpötilan mittaukseen tarkoitettu anturi. Mittauksen aikana lämmönjohtosondi on lineaarinen lämpölähde tutkittavassa materiaalissa. Kokeessa vakiovirta syötetään sondin lämmitysvastukseen ja sondissa olevalla lämpötila-anturilla seurataan lämmityksen seurauksena syntyvää lämpötilan nousua ajan suhteen. (Kivikoski, 2001)

Kokeen aikana mitataan lämpötiloja 5...30 s välein 10...30 minuutin ajan. Lämpötila-anturilla mitattu lämpötilan nousu kokeen aikana saa olla enintään 2,5 °C. Mittausjärjestely on esitetty kuvassa 6.5.



Kuva 6.5 Lämmönjohtavuuslaitteen mittausjärjestelmä

Mittaustulokset piirretään koordinaatistoon, jossa x-akselina on ajan logaritmi $\log(t)$ ja y-akselina T (lämpötila). Pistejoukosta valitaan osuus (aikaväli $t_1 \dots t_2$), jossa lämpötilan nousu on lineaarinen ajan logaritmin suhteen. Aikavälille $t_1 \dots t_2$ sovitetaan pienimmän neliösumman menetelmällä pistejoukkoon suora. Suoralta lasketaan ajanhetkiä t_1 ja t_2 vastaavat lämpötilat T_1 ja T_2 (Kuva 6.6). (Kivikoski, 2001)



Kuva 6.6 Mittaustulokset $\log t$ - T -koordinaatistossa (Kivikoski, 2001)

Lämmönjohtavuus lasketaan yhtälön (1) avulla (McGaw, 1984):

$$\lambda = \frac{2,3q}{4\pi(T_2 - T_1)} (\log t_2 - \log t_1) \quad (1)$$

$$= \frac{q}{4\pi(T_2 - T_1)} (\ln t_2 - \ln t_1)$$

missä $q = \frac{I^2 R}{l} = \frac{UI}{l}$

λ	=	Lämmönjohtavuus [W/mK]
U	=	Jännite [V]
I	=	Sondin lämpövastuksen kautta kulkeva virta [A]
l	=	Sondin pituus [m]
q	=	Lämmitysteho sondin pituusyksikköä kohti [W/m]
R	=	Sondin lämpövastuksen resistanssi [Ω]
T_1	=	Alkulämpötila [K]
T_2	=	Loppulämpötila [K]
t_1	=	Alkuaika [s]
t_2	=	Loppuaika [s]

7 KOEKOHTEIDEN SEURANTATUTKIMUSTU- LOKSET

Koekohteiden seurantatutkimukset tehtiin Pinsiöntien kohteeseen keväällä 2013 ja muihin koekohteisiin syksyllä 2013. Tulokset on esitetty koekohteittain ja niitä on vertailtu aikaisemmin tehtyihin tutkimuksiin

7.1 Pihtisalmentie

7.1.1 Kuntokartoitus ja rakennetutkimus

Pihtisalmentien kunto kartoitettiin 12.11.2013 ja samana päivänä kohteessa tehtiin myös rakennetutkimukset. Tien kunto oli yleisesti ottaen kohtalainen. Paikoittain tien pinta oli hyvin pehmeä ja urautumista oli havaittavissa. Paaluvälillä 460-500 pintamurskekerroksen paksuus oli niin ohut, että kuitutuhkakerros oli näkyvissä (Kuva 7.1). Paalulla 2430 oli noin 50 metrin matkalla murskeella korjattua kelirikkovaurioita. Suuria eroavaisuuksia tien kunnossa ei huomattu vertailtaessa kuitutuhkaosuuksia perinteisesti korjattuihin vertailuosuuksiin. Molemmissa osuuksissa oli vanhalle soratielle liikenteen kulutuksesta, huonontuneesta kuivatuksesta ja routivasta pohjamaasta aiheutuneita lieviä painumia ja kelirikkovaurioita.



Kuva 7.1 Kuitutuhkakerros näkyvissä pintamurskeen alla (vaalean harmaa) sekä lievää tienpinnan urautumista (12.11.2013)

Rakennetutkimuksia tehtiin neljällä eri tutkimuspaalulla. Tutkimuspaaluilta määritettiin puristuslujuudet erikseen keski- ja reunalinjalta otetuille näytteille. Keskilinjalta otetut näytteet (2 kpl/tutkimuspaalu) porattiin timanttikruunulla ja reunalinjan näytteet (1 kpl/tutkimuspaalu) otettiin näyteputkiin lyömällä. Keskilinjan kohdalta kuitutuhkakerros oli niin lujaa/tiivistä, että näytteenotto ei onnistunut putkiin lyömällä. Reunalinjalta taas kuitutuhkakerros oli niin pehmeää, että näyte hajosi porauksessa timanttikruunun sisään.

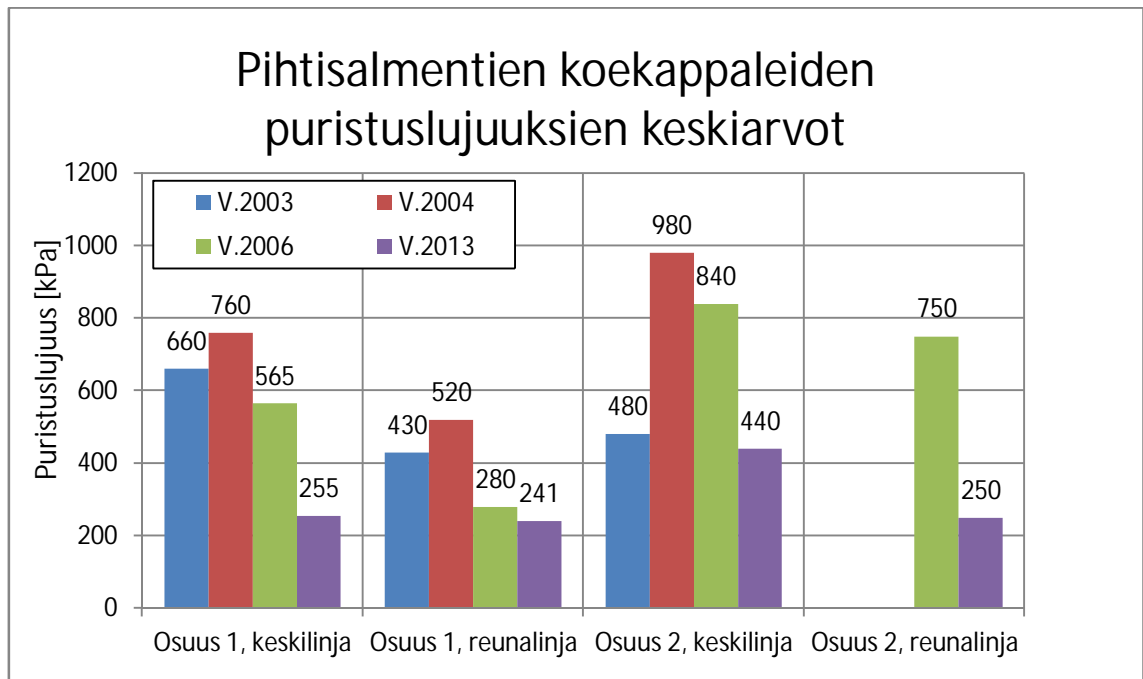
Ongelmana rakennetutkimuksissa oli ehjän näytteen saaminen. Osa keskilinjalta poratuista näytteistä hajosi jo porausvaiheessa, mutta porauksia tehtiin siten, että kaksi ehjää näytettä saatiin otettua. Osa näytteistä hajosi poikittaissuunnassa ja osa pystysuunnassa. Poikittaiset halkeamat näytteissä ovat mahdollisesti syntyneet kuitutuhkakerroksen rakennusaikaisiin tiivistyskerrosrajoihin. Kuvassa 7.2. on esitetty eri tavalla hajonneita näytteitä.



Kuva 7.2 Näytteenoton yhteydessä hajonneita näytteitä

Reunakappaleiden lujuudet olivat keskimäärin pienemmät kuin keskilinjalta otettujen kappaleiden. Uudet vuonna 2013 otettujen seurantanäytteiden lujuudet ovat pienentyneet verrattuna vuoden 2003, 2004 ja 2006 seurantanäytteiden lujuuksiin. Osuuden 1 keskilinjan lujuuksien keskiarvo vuonna 2013 otetuista näytteistä oli 255 kPa ja 2 osuuden 440 kPa. Vastaavat lujuuksien keskiarvot reunalinjalta olivat 1 osuudella 241 kPa ja

2 osuudella 250 kPa. Rakennetutkimusten yhteydessä tarkastettiin myös tutkimuspaalu-
jen pintamurskekerroksen paksuus, joka vaihteli 100 - 250 mm välillä. Pintamurskeker-
roksen tavoitepaksuus rakentamisolosuhteissa on ollut 100 mm.



Kuva 7.3 Pihtisalmentien kuitutuhka-massiivirakenteen puristuslujuuksia tien keski- ja reunalinjalta vuosilta 2003,2004,2006 ja 2013

Pihtisalmentien pinnassa olevan kulutuskerroksen paksuus rakenteessa on suhteellisen ohut. Liikenteen kuormitus on näin ollen kohdistunut myös kuitutuhkakerrokseen, mikä takia näytteiden puristuslujuusarvot ovat mahdollisesti pienentyneet kymmenen vuoden aikana. Mikäli kuitutuhkan päälle rakennetaan ohuita kerroksia, tulisi tuhkan osuutta kasvattaa, jotta rakenteelle saataisiin parempi jäykkyys ja kuormituskestävyys.

7.1.2 Lämmönjohtavuus

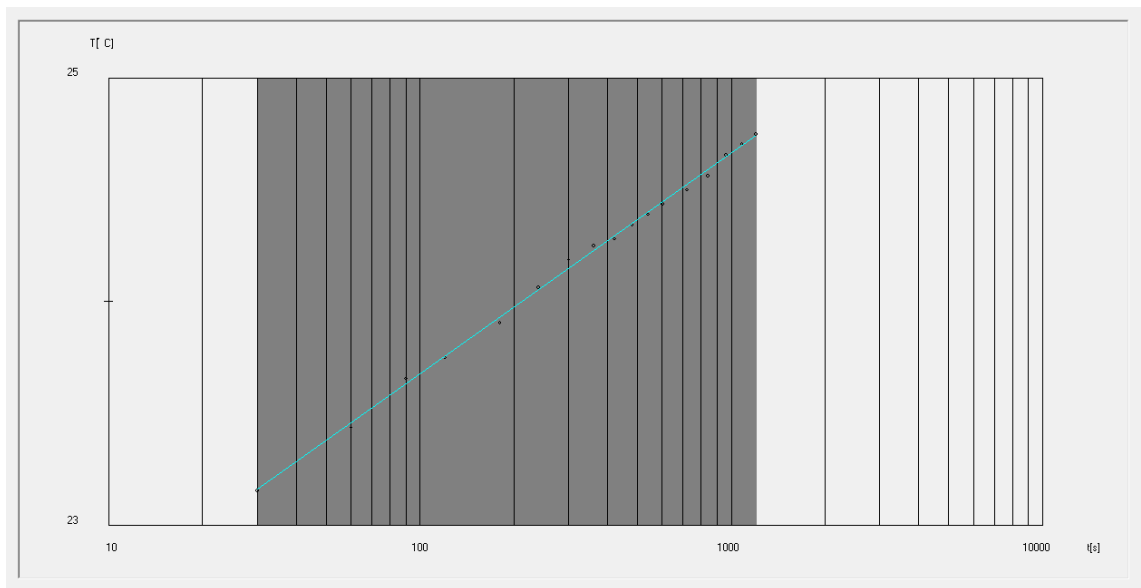
Lämmönjohtavuus määritettiin tienrakenteen kuitutuhkakerroksesta otetulle häiriintyneelle näytteelle ASTM-D5334-92 standardin mukaisesti, kuten kappaleessa ”6.3 Lämmönjohtavuuden mittaaminen” on esitetty. Pihtisalmentieltä otettu häiriintynyt näyte sisälsi kappaleita useammalta eri tutkimuspaalulta ja se valmistettiin Proctor-muottiin tiiviydeltään ja vesipitoisuudeltaan käyttöolosuhteita vastaavaan tilaan.

Näytteen tiedot:

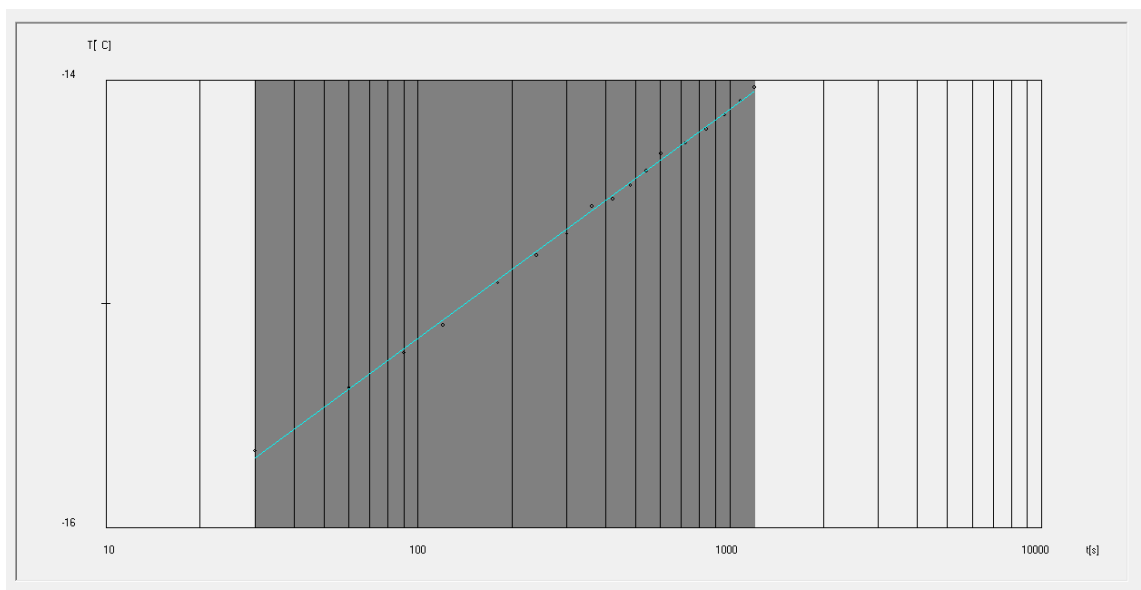
- Paino: 1317 g
- Halkaisija: 102 mm
- Korkeus: 116 mm
- Vesipitoisuus 70 %

Lämmönjohtavuus mitattiin ensin sulasta näytteestä ja tämän jälkeen näyte jäädettiin ja koe toistettiin. Kuvissa 7.4 ja 7.5 on esitetty sulan ja jäätyneen kappaleen lämmönjohtavuusmäärityksen mittaustulokset osuudelta, jossa lämpötilan nousu on lineaarinen ajan logaritmin suhteen.

Sulan näytteen lämmönjohtavuus (λ) yhden mittauksen tulosten perusteella oli 0,67 W/mK ja vastaavasti jäätyneen näytteen lämmönjohtavuus 0,80 W/mK. Tuloksista voidaan päätellä, että rakenteessa olevan kuitutuhkan lämmönjohtavuudessa ei ole tapahtunut suuria muutoksia tierakenteen elinkaaren aikana. Tunnetut lämmönjohtavuusarvot kuitusavelle ja lentotuhkalle ovat välillä 0,4-0,8 W/mK.



Kuva 7.4 Sulan näytteen lämmönjohtavuusmäärityksen mittaustulokset



Kuva 7.5 Jäätyneen näytteen lämmönjohtavuusmäärityksen mittaustulokset

7.2 Luopioisten kevyen liikenteen väylät

7.2.1 Kuntokartoitus ja rakennetutkimus

Silmämääräinen kuntokartoitus ja rakennetutkimus tehtiin Luopioisten kevyen liikenteen väylälle 25.10.2013. Kevyen liikenteen väylällä ei ollut havaittavissa näkyviä vaurioita tien rungossa. Pintamurske oli hyvin kostea sekä pehmeä kauttaaltaan ja rantaosuudella vesi seiso i pehmeiköillä tien ojissa, kuten kuvasta 7.6 on nähtävissä.



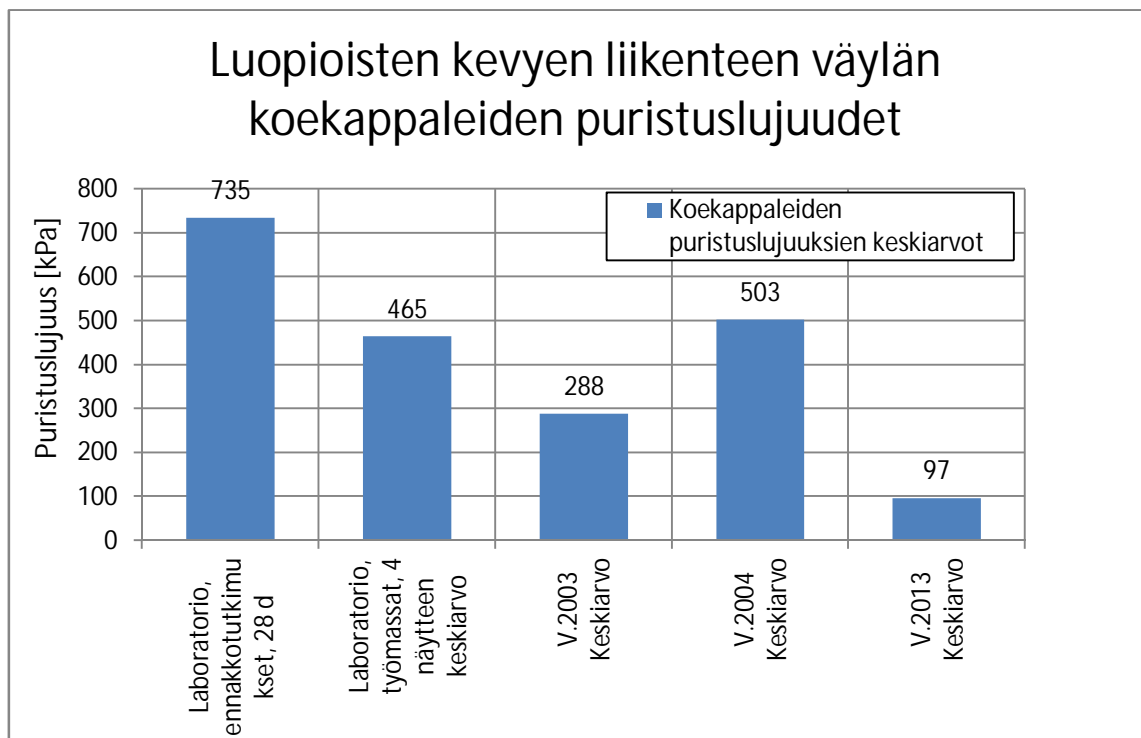
Kuva 7.6 Näkymä rantaosuudelta. Tien rakenne on kunnossa, mutta kulutuskerros pehmeä ja ojat täynnä vettä (25.10.2013)

Rakennetutkimuksia tehtiin neljällä eri tutkimuspaalulla. Molemmilta osuuksilta tutkittiin kaksi paalua. Rakennetutkimuksissa havaittiin kuitutuhkakerroksen hieman sekoittuneen muihin rakennekerroksiin. Kuitutuhkakerroksen paksuus ei myöskään kyläosuuden paalulla 175 ollut suunnitellun mukainen. Kyseisellä paalulla näytteenotto ei onnistunut, koska kuitutuhkakerros oli paksuudeltaan alle 50 mm sekä sekoittunut osittain pintamurskekerroksen kanssa.

Keväällä 2004 kuntotarkistuksen yhteydessä kirkonkylän ohittavalla osuudella oli havaittu useita pitkittäisiä halkeamia, joista osa oli yli 30 mm levyisiä. Rakentamisvaiheessa liian ohueksi paksuudeltaan jäänyt kuitutuhkakerros voi aiheuttaa halkeamien syntyä varsinkin keväällä roudan sulaessa. Vuosittaiset routanousut ovat mahdollisesti myös syy kuitutuhkakerroksen sekoittumiseen pintamurskeen kanssa.

Kuvassa 7.7 on esitetty seurantatutkimuksia varten otettujen näytekappaleiden puristuslujuustulokset. Lisäksi kuvassa on ennen rakentamista ja rakentamisen aikana laboratorioissa valmistettujen näytekappaleiden puristuslujuudet. Valmiista rakenteesta otettujen näytekappaleiden puristuslujuustuloksia on rakentamisen jälkeiseltä syksyltä 2003 sekä 2004. Uusimmat puristuslujuustulokset ovat syksyllä 2013 otetuista näytteistä.

Tuloksista voidaan havaita, että kuitutuhkarakenteessa on tapahtunut lujuuden kehittymistä ensimmäisen vuoden aikana rakentamisesta. Vuonna 2004 otettujen poranäytteiden lujuudet ovat ylittäneet laboratorioissa työmaamassoista tehtyjen koekappaleiden puristuslujuudet. Uusimpien vuonna 2013 otettujen seurantanäytteiden lujuudet ovat jääneet selvästi pienemmiksi kolmen tutkimuspaalun puristuslujuuksien keskiarvon ollessa 97 kPa. Tähän on syynä mahdollisesti kuitutuhkaa lujittavan sementin sidosten heikkeneminen ympäristörasituksesta johtuen. Myös muissa vanhemmissa kuitutuhkalla rakennetuissa koekohteissa on havaittu samankaltaista puristuslujuuden kasvua kohteen rakentamisen jälkeen ja laskua pidemmällä aikavälillä.



Kuva 7.7 Laboratorioissa valmistettujen ja rakenteesta porattujen näytekappaleiden yksiaksiaaliset puristuslujuudet

Luopioisten kevyen liikenteen väylän tarkoituksena oli kokeilla kustannustehokasta rakentamistapaa haastavissa olosuhteissa, minkä takia erityisesti osuuden J1 rakennepaksuus on ohut. Tie on kokonaisuudessaan elinkaarensa aikana pysynyt olosuhteisiin nähden hyvässä kunnossa ja kuitutuhkan avulla saavutettiin tavoitteeksi asetetut kustannustehokkaat ratkaisut.

7.3 Pinsiöntie

7.3.1 Kuntokartoitus ja rakennetutkimus

Noin vuosi rakentamisen jälkeen 16.5.2013 kohteella toteutettiin kuntokartoitus. Silmä määräisessä kartoituksessa havaittiin ainoastaan tien pinta- eli kulutuskerroksessa liikenteen ja renkaiden kuluttavasta vaikutuksesta aiheutunutta matalaa, tyypillisesti 3-4 senttimetrin syvyistä, rengasuraa. Varsinaista tierakenteen vauriota ei havaittu lainkaan.



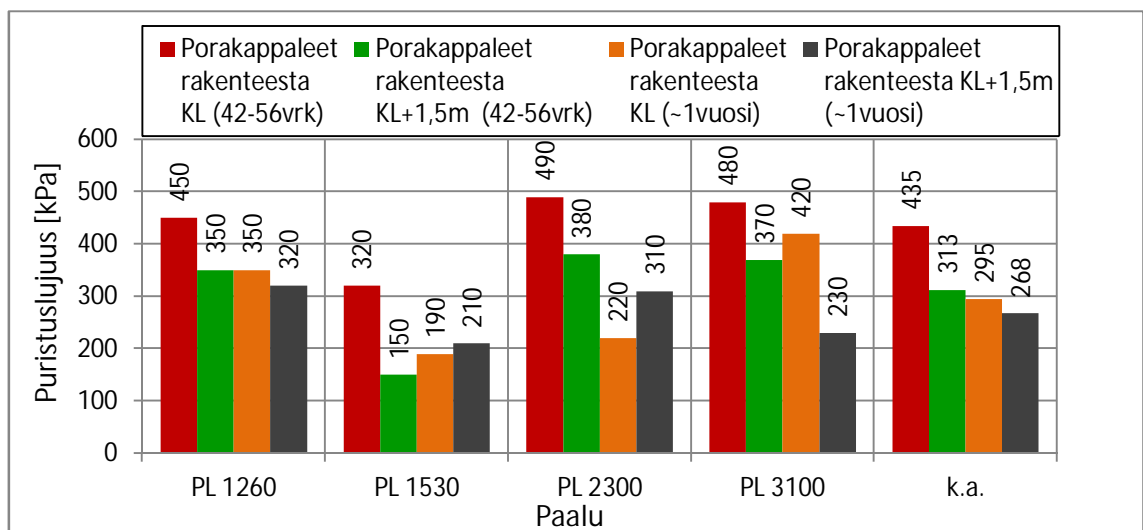
Kuva 7.8 Näkymä paalulta 2950, tien rakenne on erinomaisessa kunnossa vuosi rakentamisen jälkeen (16.5.2013) (Mäkinen, 2013)

Tien urakoitsijan haastattelussa (16.5.2013) kävi ilmi samat yllämainitut asiat. Tien rakenne ja kunto on pysynyt muutoin erinomaisena ensimmäisen vuoden ajan, mutta touko-kesäkuun vaihteessa 2013 tehtyjen tien pölynsidontamuokkausten (höylä, muotoilu) jälkeen pintakerroksen urautuminen liikenteen vaikutuksesta on korostunut entisestään (urien syvyys >5 cm). Tämä ongelma esiintyy voimakkaasti tieosuuden mutkissa etenkin sisäkaarteiden puolella. Kulutuskerroksen rakenne ei enää sitoudu yhtä hyvin kuin rakentamivuonna. Tämän lisäksi Pirkanmaan ELY-keskuksen tienpitäjä (haastattelu 16.5.2013) toi esiin huhtikuussa havaitut routaheitot vertailurakenteen osuudella. Vastaavia routaheittoja ei ollut havaittavissa kuitutuhkaosuudella, vaikka ennen parantamista havaitut pahimmat osuudet olivat juuri kuitutuhkaosuuksilla. (Mäkinen, 2013)



Kuva 7.9 Tieosuudella tyypillisesti mutkien sisäkaarteissa havaittua urautumista, joka syntyy liikenteen ja renkaiden kuluttavasta vaikutuksesta tien kulutuskerrokseen (Mäkinen, 2013)

Kuvassa 7.10 on esitetty Pinsiöntieltä otettujen näytekappaleiden puristuslujuustulokset. Ensimmäiset näytekappaleet ovat porattu rakenteesta ollessa 42-56 vuorokauden iässä ja uusimmat puristuslujuuskokeet on tehty keväällä 2013 otetuille näytteille tierakenteen ollessa noin yhden vuoden ikäinen. Noin vuoden ikäisestä rakenteesta porattujen koe-kappaleiden lujuudet ovat samassa suuruusluokassa edellisikesään verrattuna, vaihdellen keskilinjalla 190 – 420 kPa välillä ja keskiarvon ollessa 295 kPa. Keskilinjasta 1,5 m päästä tien reunaan päin porattujen kappaleiden lujuudet vaihtelivat välillä 210 – 320 kPa keskiarvon ollessa 268 kPa.



Kuva 7.10 Massiivikuitutuhkarakenteesta porattujen näytekappaleiden yksiaksiaaliset puristuslujuudet 42-56 vrk sekä noin yhden vuoden iässä

7.4 Kuhmoisten urheilukenttä

7.4.1 Kuntokartoitus ja rakennetutkimus

Kuntokartoitus ja rakennetutkimus tehtiin Kuhmoisten urheilukentälle 4.10.2013, seitsemän vuotta kentän perusparannuksen jälkeen. Yleiskunnoltaan kenttä oli erinomaisessa kunnossa.



Kuva 7.11 Kuhmoisten urheilukenttä (4.10.2013)

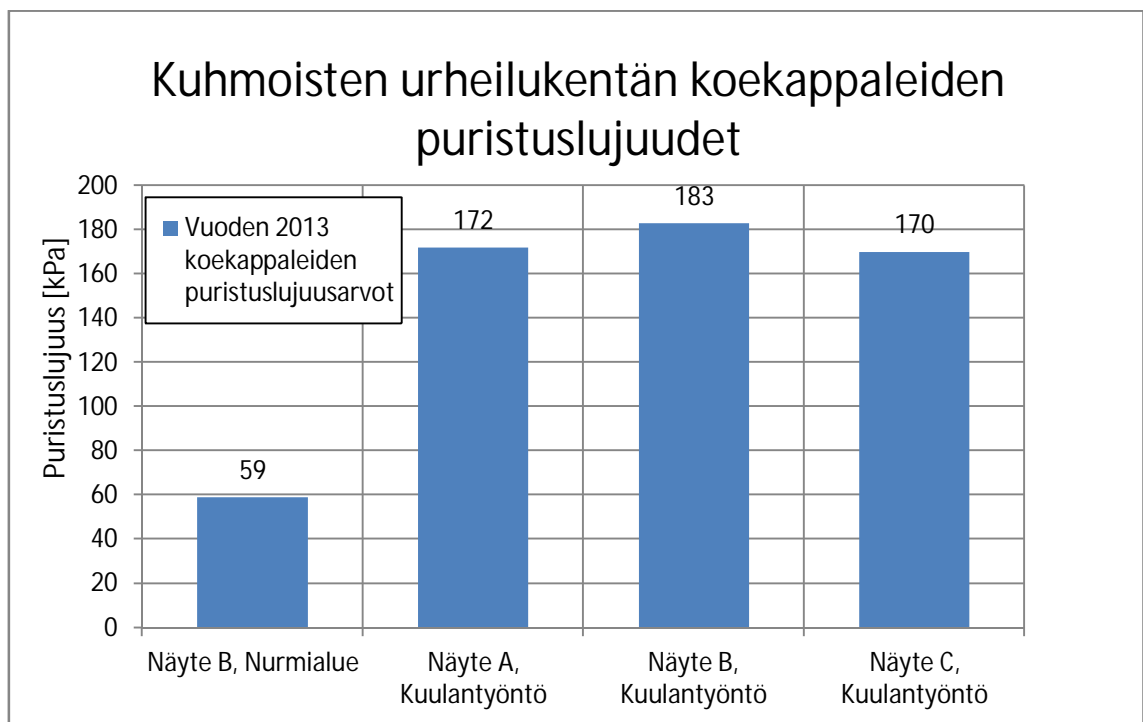
Kuhmoisten kunnan liikuntapaikkojen hoitaja (haastattelu 4.10.2013) on ollut tyytyväinen kenttään perusparannuksen jälkeen. Perusparannuksen yhteydessä korotettu ja kunnostettu kuivatusjärjestelmä on toiminut hyvin eikä vesi ole kertynyt kentälle kuten aikaisemmin. Ainoana huomiona kentänhoitaja kertoi kentän tuoksuneen muutaman vuoden kentän rakentamisen jälkeen erityisesti sateella. Juoksuradan tartan-pinnoite on myös pysynyt hyvässä kunnossa eikä halkeamia tai routavaurioita ole syntynyt.

Rakennetutkimusta varten kenttärakenteeseen tehtiin koekuopat nurmialueelle ja kuulantyöntöpaikalle. Juoksuradan alta kuitutuhkarakennetta ei tutkittu kestopäällysteen takia. Kentän rakennekerrokset olivat selkeät ja kuivahkot. Rakenteen ollessa auki kuitutuhka haisi hieman. Kuulantyöntöpaikalla kuitutuhkakerros tuntui näytteenotossa huomattavasti lujemmalta, mikä näkyi myös näytteiden puristuslujuustuloksissa.



Kuva 7.12 Kuhmoisten urheilukentälle tehtyt koekuopat rakennetutkimusta varten

Kuvassa 7.13 on esitetty Kuhmoisten urheilukentän kuitutuhkarakenteesta otettujen koekappaleiden puristuslujuustulokset. Aikaisempia rakennetutkimuksia urheilukentälle ei ole tehty. Nurmialueen lujuudet olivat huomattavasti pienemmät, kuten näytteenotossa oli havaittavissa. Nurmialueen näyte A hajosi osittain laboratorioissa, minkä takia nurmialueelta on vain yhden näytteen puristuslujuustulos. Kuulantyöntöpaikan kolmen näytteen keskiarvo oli 175 kPa.



Kuva 7.13 Kuitutuhkarakenteesta otettujen näytteiden puristuslujuudet vuodelta 2013

7.4.2 Lämmönjohtavuus

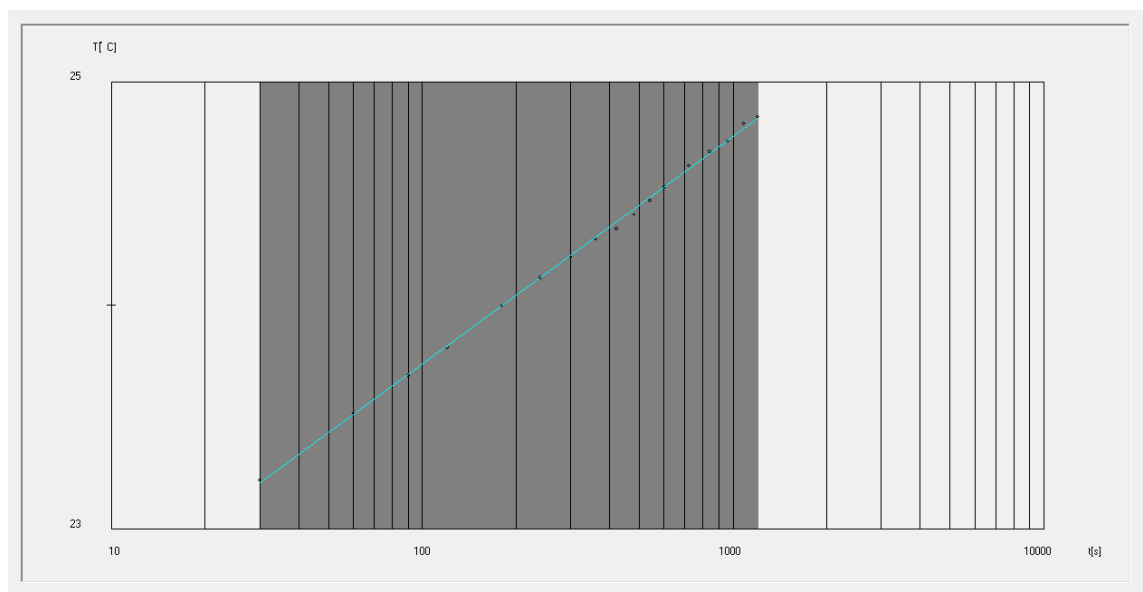
Lämmönjohtavuus määritettiin Kuhmoisten nurmikentän kuitutuhkakerroksesta otetulle häiriintyneelle näytteelle ASTM-D5334-92 standardin mukaisesti, kuten kappaleessa ”6.3 Lämmönjohtavuuden mittaaminen” on esitetty. Nurmikentältä otettu häiriintynyt näyte sisälsi kappaleita kahdesta eri näytteestä ja se valmistettiin Proctor-muottiin tiivistettään ja vesipitoisuudeltaan käyttöolosuhteita vastaavaan tilaan.

Näytteen tiedot:

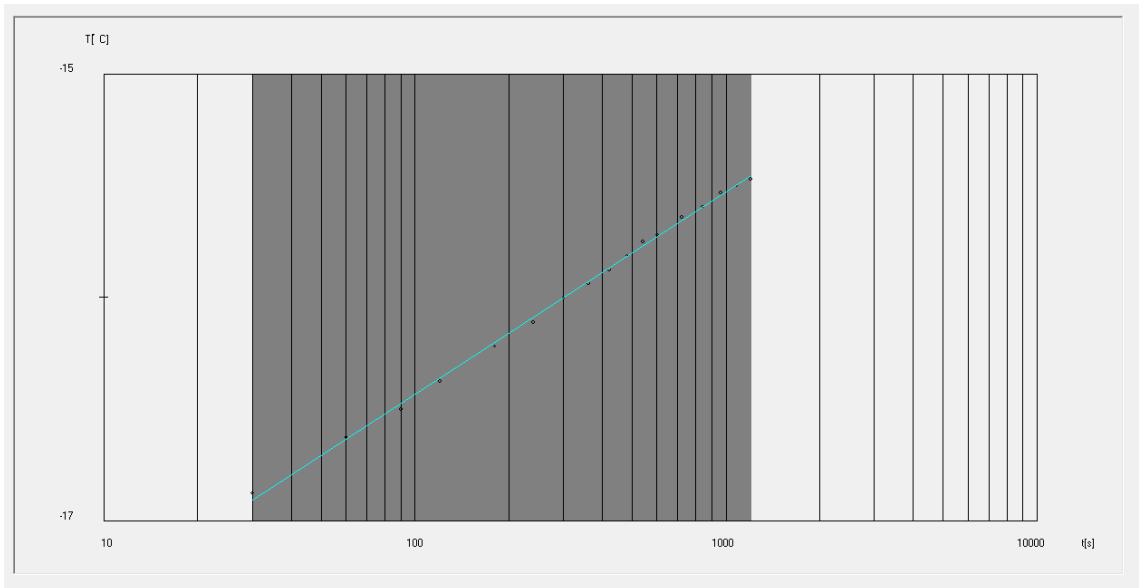
- Paino: 1330 g
- Halkaisija: 102 mm
- Korkeus: 131 mm
- Vesipitoisuus 85 %

Lämmönjohtavuuden mitattiin ensin sulasta näytteestä ja tämän jälkeen näyte jäädytettiin ja koe toistettiin. Kuvissa 7.14 ja 7.15 on esitetty sulan ja jäätyneen kappaleen lämmönjohtavuusmäärittämisen mittaustulokset osuudelta, jossa lämpötilan nousu on lineaarinen ajan logaritmin suhteen.

Sulan näytteen lämmönjohtavuus (λ) yhden mittauksen tulosten perusteella oli 0,66 W/mK ja vastaavasti jäätyneen näytteen lämmönjohtavuus 0,91 W/mK. Mitatuista lämmönjohtavuusarvoista voidaan päätellä, että kenttärakenteen kuitutuhkakerroksen lämmönjohtavuusominaisuuksissa ei ole tapahtunut suuria muutoksia rakenteen elinkaaren aikana. Tunnetut lämmönjohtavuusarvot kuitusavelle ja lentotuhkalle ovat välillä 0,4-0,8 W/mK.



Kuva 7.14 Sulan näytteen lämmönjohtavuusmäärittämisen mittaustulokset



Kuva 7.15 Jäätynen näytteen lämmönjohtavuusmäärityksen mittaustulokset

7.5 Luopioisten urheilukenttä

7.5.1 Kuntokartoitus ja rakennetutkimus

Kuntokartoitus ja rakennetutkimus tehtiin Luopioisten urheilukentälle kuivana ja aurinkoisena päivänä 25.9.2013. Kentän yleiskunto oli erinomainen. Pallokentän nurmi oli vehreä eikä kentän pinnassa ollut havaittavissa epätasaisuuksia. Juoksuradan kunto oli myös hyvä ja pinta tasainen.



Kuva 7.16 Luopioisten urheilukentän hyväkuntoinen nurmialue ja juoksurata (25.9.13)

Pälkäneen kunnan liikunta- ja vapaa-aikasihteeri (haastattelu 7.5.2014) on ollut tyytyväinen kentän toimintaan ja varsinaisia ongelmakohtia ei ole ilmennyt kesän 2002 perusparannuksen jälkeen. Ainoastaan tartan-pinnoitteiset suorituspaikat ovat kärsineet pieniä routavaurioita, mutta ovat kuitenkin vielä käytettävässä kunnossa. Hoitotoimenpiteinä kentälle on tehty nurmikon leikkausta kerran viikossa ja juoksuradan lanausta tarpeen mukaan. Nurmea ei erikseen lannoiteta tai kastella kesän aikana. Nurmen aluskerrokseen lisätty kuitusavi pidättää vettä, jonka avulla nurmen juuristo saa vettä myös kuivina ajanjaksoina. Viimeisimpänä korjaustoimenpiteenä on tehty kaksi vuotta sitten uusi juoksuradan ja nurmialueen erottava puinen reunus. Ennen kentän perusparannusta esiintynyttä kuivatusongelmaa ei ole enää ollut. Juoksuradan luiskapystyöjat läpäisevät veden nopeasti kuitutuhkan alla olevaan kuivatuskerrokseen.

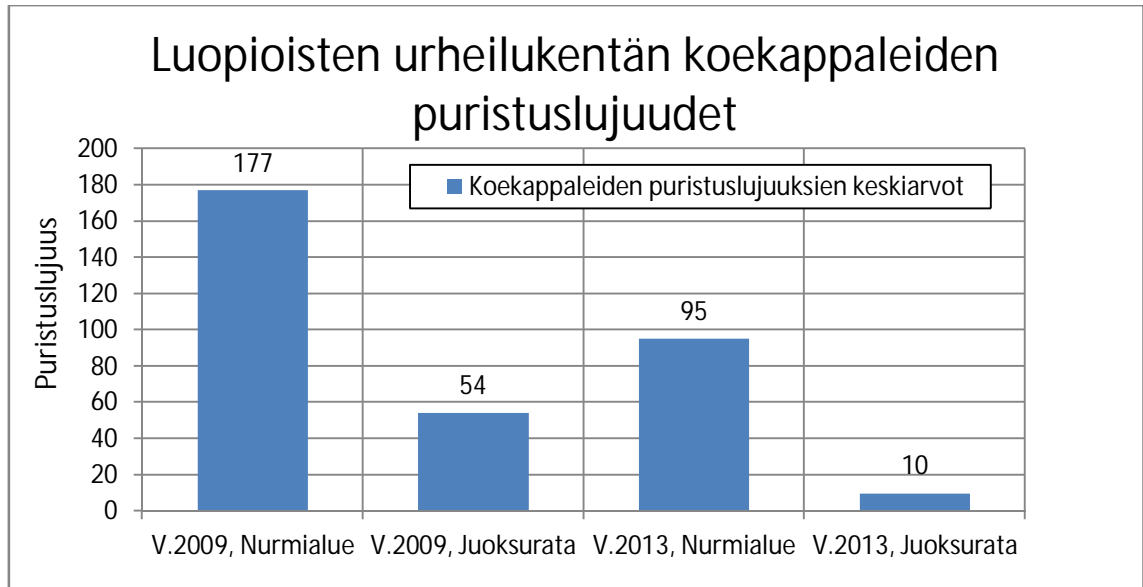
Rakennetutkimus tehtiin samana päivänä kuin kuntokartoitus. Kuitutuhkakerroksen tutkimista varten kenttärakenne aukaistiin nurmialueelta ja juoksuradalta. Molemmissa tutkimuspisteissä rakennekerrokset olivat selkeät ja kuitutuhkakerroksen pinta kova. Nurmialueen kasvukerros ja suodatinhiekkä olivat hieman kosteita, kun taas juoksuradan kerrokset kuivat.



Kuva 7.17 Kuitutuhkan päällä olevat rakennekerrokset

Kuvassa 7.18 on esitetty Luopioisten urheilukentältä otettujen näytekappaleiden puristuslujuuksien keskiarvot. Ensimmäiset rakennetutkimukset on tehty heinäkuussa 2009 rakenteen ollessa 7 vuoden ikäinen. Kahden näytteen keskiarvo nurmialueella on tällöin ollut 177 kPa ja juoksuradalla 54 kPa. Syksyn 2013 näytteiden puristuslujuuksien keskiarvot ovat laskeneet huomattavasti ollen nurmialueella 95 kPa ja juoksuradalla vain 10 kPa.

Juoksuradalla on talvisin hiihtolatu, jonka takia routa pääsee tunkeutumaan syvemmälle rakenteeseen kuin nurmialueella. Rakenteen jäätyminen ja sulamisen aiheuttama rasitus voi olla mahdollinen syy juoksuradan kuitutuhkakerroksen alhaisempaan puristuslujuuteen verrattuna nurmialueen kuitutuhkan puristuslujuustuloksiin. Kuitutuhkaseos nurmialueella ja juoksuradalla on sama. Kuitutuhkan alhaisella puristuslujuudella ei kuitenkaan ole ollut toiminnallista vaikutusta juoksuradan käyttöön.



Kuva 7.18 Kuitutuhkarakenteesta otettujen näytteiden puristuslujuuksien keskiarvot vuosilta 2009 ja 2013

7.5.2 Lämmönjohtavuus

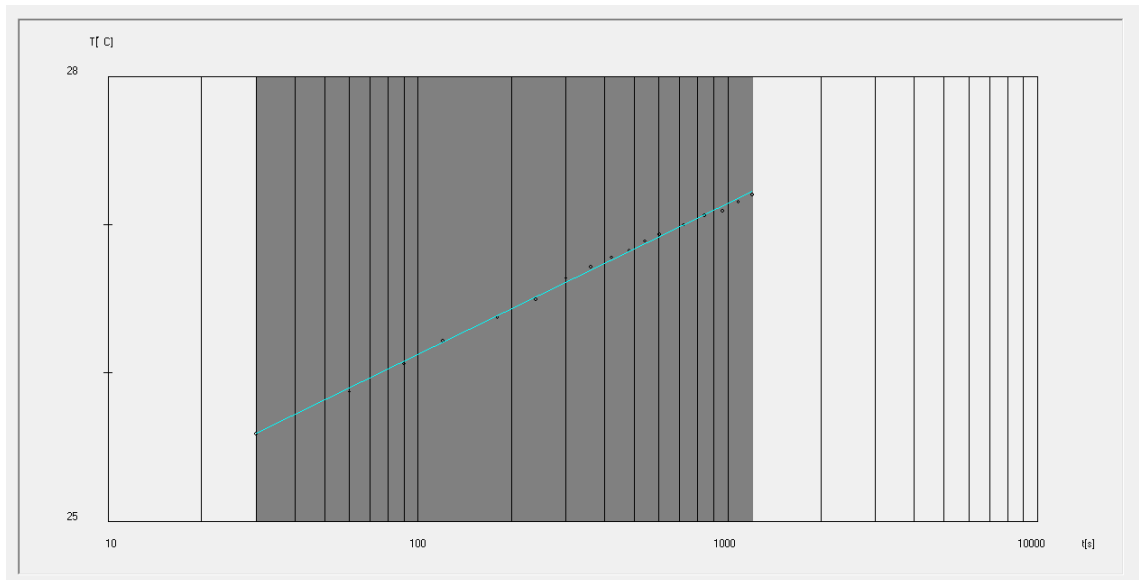
Lämmönjohtavuus määritettiin Luopioisten nurmikentän kuitutuhkakerroksesta otetulle häiriintyneelle näytteelle ASTM-D5334-92 standardin mukaisesti, kuten kappaleessa ”6.3 Lämmönjohtavuuden mittaaminen” on esitetty. Nurmikentältä otettu häiriintynyt näyte sisälsi kappaleita kahdesta eri näytteestä ja se valmistettiin Proctor-muottiin tiivistettään ja vesipitoisuudeltaan käyttöolosuhteita vastaavaan tilaan.

Näytteen tiedot:

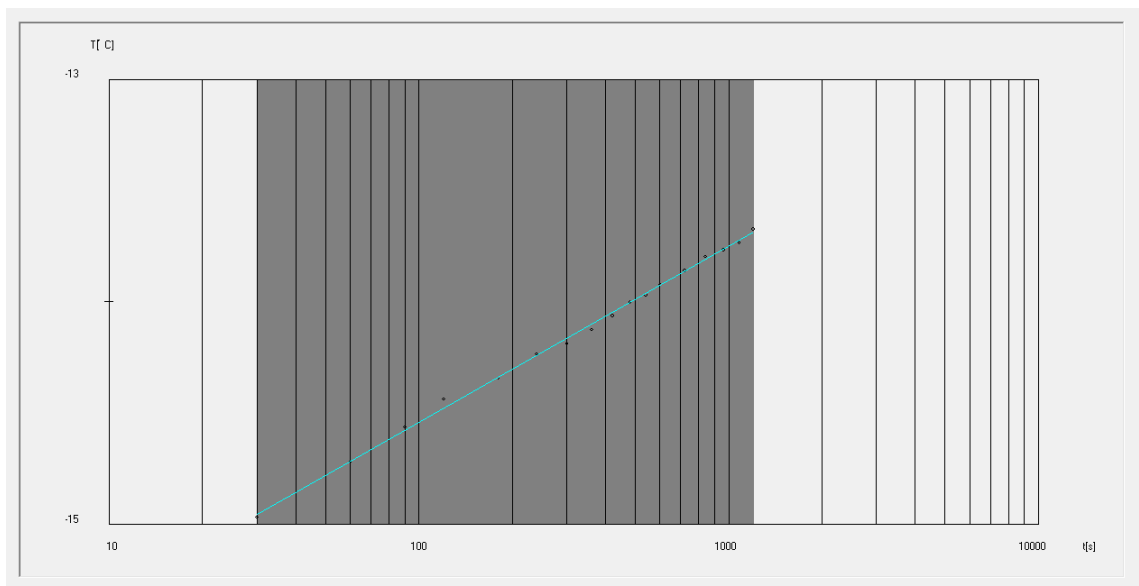
- Paino: 1280 g
- Halkaisija: 102 mm
- Korkeus: 116 mm
- Vesipitoisuus 75 %

Lämmönjohtavuus mitattiin ensin sulasta näytteestä ja tämän jälkeen näyte jäädytettiin ja koe toistettiin. Kuvissa 7.19 ja 7.20 on esitetty sulan ja jäätyneen kappaleen lämmönjohtavuusmäärittysten mittaustulokset osuudelta, jossa lämpötilan nousu on lineaarinen ajan logaritmin suhteen.

Sulan näytteen lämmönjohtavuus (λ) yhden mittauksen tulosten perusteella oli 0,65 W/mK ja vastaavasti jäätyneen näytteen lämmönjohtavuus 1,03 W/mK. Mitatuista lämmönjohtavuusarvoista voidaan päätellä, että kenttärakenteen kuitutuhkakerroksen lämmönjohtavuusominaisuuksissa ei ole tapahtunut suuria muutoksia rakenteen elinkaaren aikana. Tunnetut lämmönjohtavuusarvot kuitusavelle ja lentotuhkalle ovat välillä 0,4-0,8 W/mK.



Kuva 7.19 Sulan näytteen lämmönjohtavuusmäärittämisen mittaustulokset



Kuva 7.20 Jäätyneen näytteen lämmönjohtavuusmäärittämisen mittaustulokset

7.6 Viialan urheilukenttä

7.6.1 Kuntokartoitus ja rakennetutkimus

Viialan urheilukentän kuntokartoitus ja rakennetutkimus tehtiin 8.10.2013. Tutkimusajankohta ajoittui juuri kesäkauden loppuun ja kenttää valmisteltiin talvea varten. Ajankohtaan nähden nurmi oli hyvässä kunnossa eikä kentän palvelutasossa ollut puutteita.



Kuva 7.21 Viialan urheilukentän nurmikenttä ja juoksurata 8.10.2013

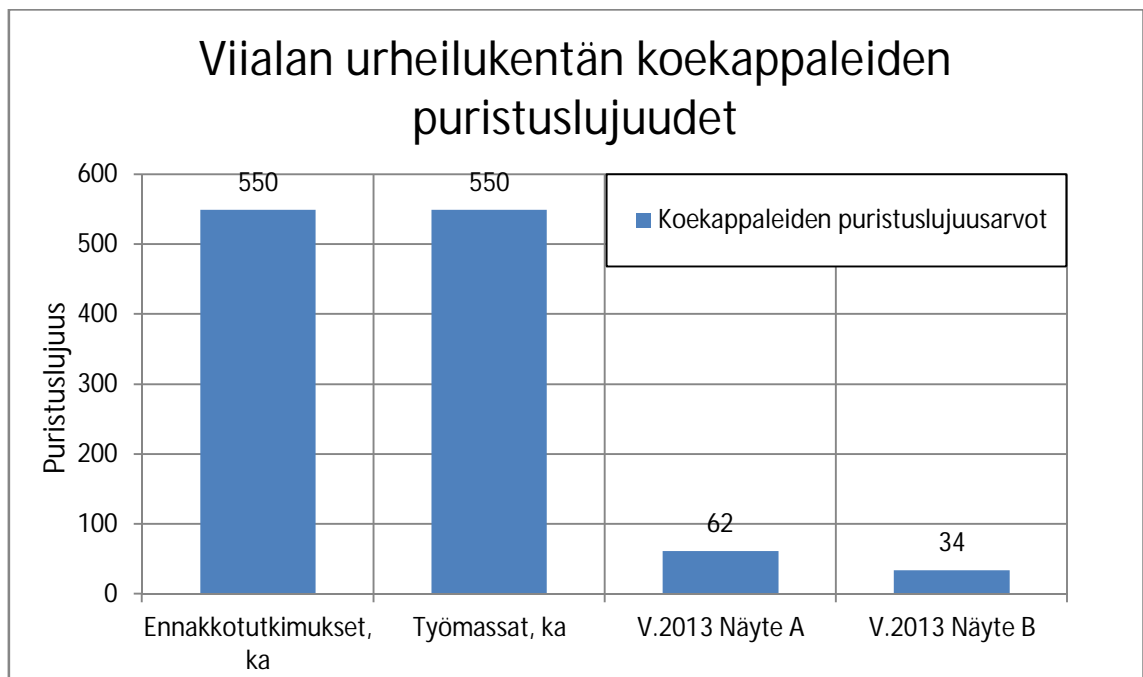
Kentänhoitaja totesi haastattelussa (8.10.2013) kentän pysyneen hyvänä vuonna 2001 toteutetun peruskorjauksen jälkeen. Kentän nurmi on kestänyt hyvässä kunnossa jatkuvasta käytöstä huolimatta. Ylläpito ja hoitotoimenpiteitä ovat nurmen leikkaus (2-3 kertaa viikossa), kastelu (noin 10 kertaa kesän aikana) ja nurmen ilmastus (2 kertaa kesässä). Nurmikentän lannoituksessa on noudatettu Schetelig Oy:n tekemää lannoitusohjelmaa. Ainoana ongelmana on ollut keskikohdan tuntumassa oleva alue, jossa kuivatus ei toimi toivotulla tavalla ja vesi lammikoituu kovemman sateen jälkeen. Mahdollinen syy kuivatusongelmaan on kyseiseen kohtaan syntynyt painauma tai salaojien tukkeutuminen.

Viialan urheilukentällä kuitutuhkakerros on vain nurmialueen rakenteessa, joten rakennetutkimus tehtiin pelkästään nurmikentän osalta. Nurmen kasvukerros oli paksuudeltaan 150 mm, suodatinhiekkakerros 100 mm ja kuitutuhkakerros 200 mm. Rakennekerrokset olivat selkeät ja kuivat, kuten kuvasta 7.22 on nähtävissä.



Kuva 7.22 Viialan urheilukentän rakennetutkimus

Kuvassa 7.23 on esitetty Viialan urheilukentältä vuonna 2013 otettujen koekappaleiden puristuslujuustulokset sekä laboratoriossa tehtyjen ennakkotutkimusten ja työmassojen puristuslujuuksien keskiarvot. Kahden näytteen puristuslujuuksien keskiarvo oli 48 kPa, joka on huomattavasti pienempi ennen rakentamista laboratoriossa valmistettujen kappaleiden puristuslujuuksien keskiarvoihin verrattaessa.



Kuva 7.23 Laboratoriossa valmistettujen ja rakenteesta porattujen koekappaleiden yksiaksiaaliset puristuslujuudet

8 LÄMMÖNJOHTAVUUS JA ROUTAMITOITUS

Routiville pohjamaille rakennettujen kohteiden, kuten teiden ja urheilukenttien, vaurioriski on routimisen takia suuri. Routavaurioituneen rakenteen parantamisen yhteydessä esimerkiksi päällysteen korjaus pelkästään uudelleen päällystämällä ei ole tarkoituksenmukaista, vaan myös rakenteen routakestävyyttä on tarpeen parantaa. Routavauriot johtuvat yleensä ylisuuresta ja epätasaisesta routanoususta, joita voidaan pienentää esimerkiksi routasuojauksella tai käyttämällä routaeristävyydeltään parempia materiaaleja. (Saarelainen, 2001)

Roudan syvyyteen vaikuttavat useat eri ominaisuudet ja tekijät. Rakennekerrosten materiaalien ominaisuuksista erityisesti lämmönjohtavuudella, tilavuuslämpökapasiteetilla, vesipitoisuudella ja routivuudella on selvä korrelaatio roudan syvyyteen. Ilmaston ominaisuuksista roudan syvyyteen vaikuttavat pakkasmäärä ja vuoden keskilämpötila. Lisäksi maanpintakasvillisuudella, topografialla, lumikerroksen paksuudella ja pohjaveden pinnan syvyydellä on havaittu olevan vaikutusta roudan esiintymissyvyyteen.

Määrävinä ominaisuuksina roudan tunkeutumissyvyyttä arvioitaessa pidetään maalajin vesipitoisuutta ja lämmönjohtavuutta jäätyneessä tilassa. Routiminen pienentää roudan syvyyden kasvua, koska jäätyneen maan läpäisevä lämpöhäviövirtaus korvautuu routarajalla jäätyislämmöllä. (VTT 2007)

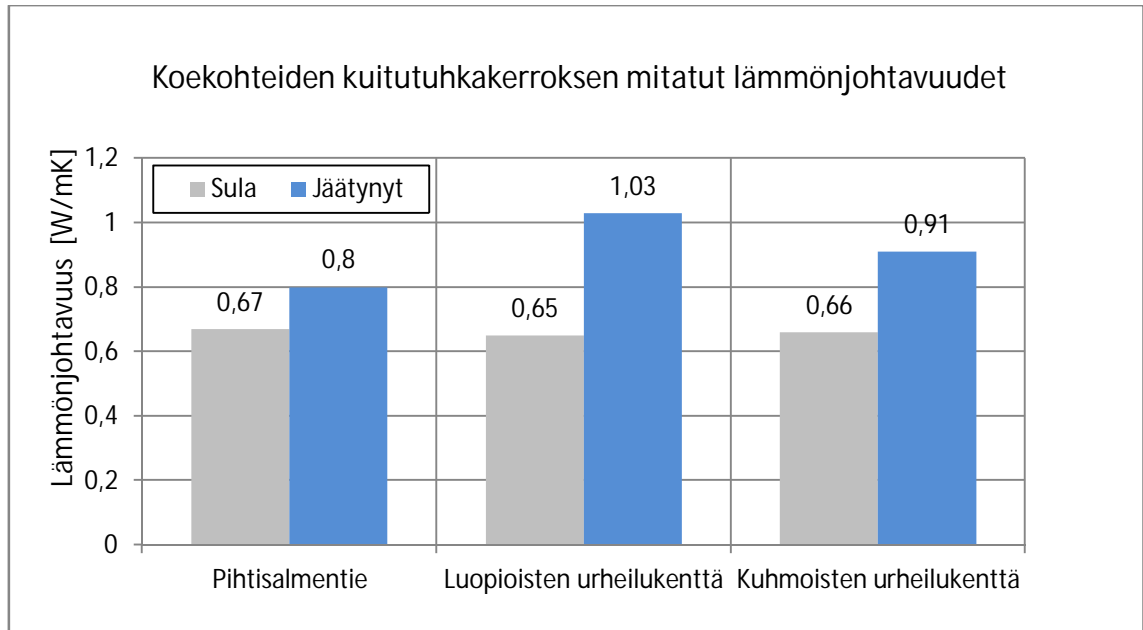
8.1 Kuitutuhkan lämmönjohtavuus

Koekohteista tutkittiin kolmen eri kuitutuhkakerroksen lämmönjohtavuus laboratorioolosuhteissa. Tutkitut näytteet olivat häiriintyneitä näytteitä, jotka valmistettiin lämmönjohtavuuden määrittystä varten vastaamaan näytteenottohetkellä vallitsevia käyttöolosuhteita (tiiveysaste, vesipitoisuus). Näytteenottokohteet oli valittu siten, että kuitutuhkanäytteiden sivutuotekomponentit eivät olleet samoista tehtaista. Taulukossa 8.1 on listattu näytteiden sivutuotekomponenttien syntypaikka.

Taulukko 8.1 Kuitutuhkanäytteiden sivutuotekomponenttien syntypaikat

	Kuitutuhkan sivutuotekomponentit	
Näyte	Kuitusavi	Tuhka
Pihtisalmentie	SCA Tissue Finland Nokia	UPM Jämsänkosken voimalaitos
Luopioisten uk.	SCA Tissue Finland Nokia	UPM Tervasaaren voimalaitos
Kuhmoisten uk.	UPM Kaipola	UPM Kaipolan voimalaitos

Kuvaan 8.1 on koottu koeobjektien kuitutuhkakerroksesta mitatut lämmönjohtavuusarvot. Kolmen sulana mitattun näytteen lämmönjohtavuusarvot ovat lähes samalla tasolla vaihdellen 0,65-0,67 W/mK välillä. Jäätynneiden näytteiden lämmönjohtavuusarvoissa oli pientä vaihtelua arvojen ollessa 0,8 – 1,03 W/mK välillä. Kuitutuhkalla on kuitenkin luonnonmaamateriaaleja pienempi lämmönjohtavuus, mikä johtuu suurelta osin kuitutuhkan suuremmasta huokostilasta ja poikkeavasta huokosrakenteesta.



Kuva 8.1 Koeobjektien kuitutuhkakerroksen laboratorio-olosuhteissa määritetyt lämmönjohtavuudet

Taulukkoon 8.2 on kerätty eri tietolähteistä lämmönjohtavuusarvoja eri materiaaleille sulana ja jäätynneenä. Taulukkoon on myös lisätty Tiehallinnon oppaasta ”Tierakenteen suunnittelu” löytyvät arvot materiaalien vastaavuudelle eristävyden kannalta (a_i), jota käytetään routanousun laskemisessa. Taulukon arvojen avulla on näin ollen pystytty arvioimaan myös kuitusaven ja kuitutuhkan vastaavuus eristävyden kannalta mitoituslaskelmia varten.

Taulukko 8.2 Eri materiaalien lämmönjohtavuusarvoja ja vastaavuus eristävyden kannalta (Tiehallinto, 2004; Ramboll, 2012)

Materiaali	Lämmönjohtavuus [W/mK]		Materiaalin vastaavuus eristävyden kannalta, a_i
	Sula	Jäätynyt	
Siltti	1,0-1,7	1,7-2,8	-
Hiekka	0,8-1,8	1,1-2,2	1
Sora			0,9
Lentotuhka	0,4-0,6	0,9	1,7
Pohjatuhka	0,9	-	1,2
Kuitusavi	0,6	0,7	1,5*
Kuitutuhka	0,7	0,8-1	1,4*

*arvioitu lämmönjohtavuusmittausten perusteella

8.2 Kuitutuhkarakenteen routamitoitus

Kokonaan routimattoman rakenteen laskennallinen routanousu (RN_{lask}) saadaan lasket-
tua kaavalla 8 (Tiehallinto, 2004). Jos rakenteessa käytetään lievästi routivia materiaale-
ja, routanousu lasketaan kaavalla 9. Lievästi routivia rakenteita ovat esimerkiksi ne tie-
rakenteen, joissa on käytetty lievästi routivaa suodatinhiekkää tai jakavassa kerroksessa
kuitutuhkaa. Kaavassa 9 routiva kerros (alaindeksi rva) esiintyy kahdessa kohdassa,
rakennekerroksena ja kerroksen routanousutermissä kaavan lopussa.

$$RN_{lask} = (S - a_1 \cdot R_1 - a_2 \cdot R_2 \text{ jne.}) \cdot t/100 \quad (8)$$

$$RN_{lask} = (S - a_1 \cdot R_1 - a_2 \cdot R_2 - a_{rva} \cdot R_{rva} \text{ jne.}) \cdot t/100 + R_{rva} \cdot t_{rva}/100 \quad (9)$$

jossa,

RN_{lask}	laskennallinen routanousu (mm)
S	mitoitusroutansyvyys (mm) kuvasta 8.3
R_i	routimattoman kerroksen paksuus (mm), i on kerroksen nro
a_i	materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta taulukosta 8.4
t	alusrakenteen routaturpoama (%) taulukosta 8.3
R_{rva}	routivan kerroksen paksuus (mm)
a_{rva}	routivan kerrosmateriaalin vastaavuus eristävyiden kannalta (taulukkoa 8.2 soveltaen, yleensä voidaan otaksua $a_{rva} = 1$)
t_{rva}	routivan kerrosmateriaalin routaturpoama (%) taulukosta 8.3

Kuvan 8.1 mitoitusroutansyvyyden (S) ja sitä vastaavan pakkasmäärän (F_{mit}) määri-
tyksessä on otettu huomioon, että pohjoisessa tiet ovat osan talvea lumipeitteisiä ja että
vuotuinen keskilämpötila on pohjoisessa alhaisempi kuin etelässä.

Keskimääräistä kylmempänä, kerran 10 vuodessa toistuvana talvena (pakkasmäärä F_{10})
routra tunkeutuu karkeasti noin 0,5...0,9 m kuvan 8.2 mitoitusroutansyvyyttä ja kuvan
mitoituspakkasmäärällä laskettua roudan syvyyttä syvemmälle. Todellinen routanousu
voi olla suurempi kuin laskennallinen routanousu. Jäätymiseltä suojattavien vesijohtojen
yms. asennussyvyys on kuvan arvoja suurempi. (Tiehallinto, 2004)

Taulukko 8.3 Tien pohjamaan ja/tai alusrakenteen kelpoisuusluokat ja mitoitusominaisuudet (t ja E) kelpoisuusluokittain ”kuivissa” ja ”märissä” olosuhteissa (Tiehallinto 2004)

Kelpoisuusluokka	Läpäisy-% pesuseulon- nassa		Routaturpoama t (%)		E -moduuli (MPa)		Informatiivisia tietoja		
	0,063 mm seula	2 mm seula	Kuiva	Märkä	Kuiva	Märkä	Geo- maalaji- luokka	Routi- vuus	Mahdolli- nen käyttö- kohde
S1	alle 7	alle 70	0	0	100	100	Sr, srHk (SrMr, srHkMr)	routimaton	jakava kerros
S2 ¹⁾	7 – 15	alle 70	0	3	70	50	SrMr, srHkMr	lievästi routiva	penger, stabilointi
S3	16 - 30	alle 70	3	6	50	35	SrMr, srHkMr	routiva	penger kuivana
S4	31 - 50	alle 70	6	12	35	20	siSrMr sisrHkMr	routiva	penger kuivana
H1	alle 7	yli 70	0	0	70	70	Hk, (HkMr)	routimaton	suodatin
H2 ²⁾	7 - 15	yli 70	3	3	50	50	Hk, HkMr	lievästi routiva	suodatin
H3	16 - 30	yli 70	6	12	35	20	Hk, HkMr	routiva	penger kuivana
H4	31 - 50	yli 70	6	12	35	20	siHk, siHkMr	routiva	penger kuivana
U1	yli 50		12	16	20	20	Si, SiMr, kerrall. Sa/Si ³⁾	erittäin routiva	maaston muotoilut, läjitys
U2	yli 50			6 ⁴⁾		35	jäykkä Sa ⁵⁾	routiva	
U3	yli 50			6 ⁴⁾		10	pehmeä Sa ⁵⁾	routiva	
U4				6		10	Lj	routiva	

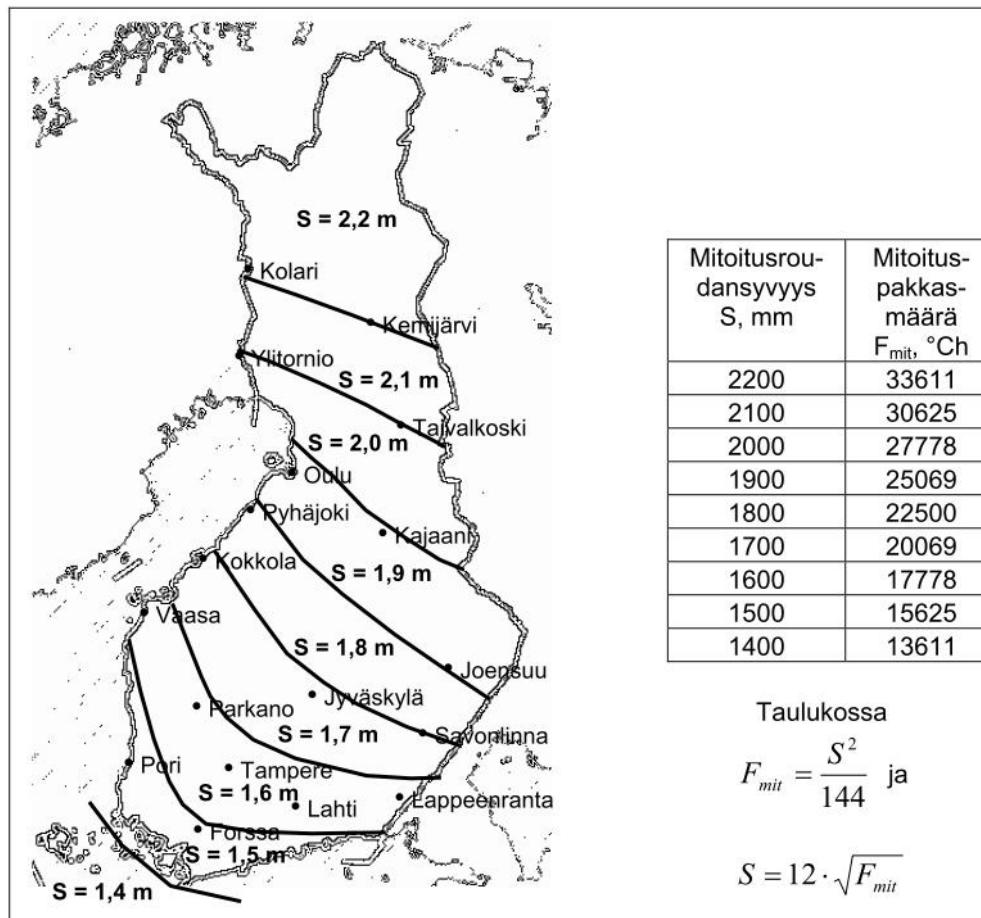
1) Kuuluu luokkaan S1, jos läpäisyprosentti 0,02 mm kohdalla on alle 3.

2) Kelpoisuusluokan H2 hiekka, joka täyttää suodatinkerroksen laatuvaatimukset ja näytteet tutkitaan ohjeen TYLT Kerros- ja pengerrakenteet mukaisesti: E = 70 MPa, t = 0 % (vaikka muuten E olisi pienempi ja t olisi suurempi).

3) Kerrallinen savi/siltti (Sa/Si) on maata, jossa saven joukossa on ainakin paikoin silttikerroksia tai sitäkin karkeampia (vettä johtavia) kerroksia.

4) Saven paikallinen routaturpoama voidaan määrittää myös takaisinlaskennalla lähistön olemassa olevan tien routanousuhavainnoista.

5) Savi (Sa) on jäykkä, kun siipikairalla määritetty leikkauslujuus on vähintään 40 kPa ja pehmeä, kun leikkauslujuus on alle 40 kPa.



Kuva 8.2 Mitoitusroudansyvyys (S) ja mitoituspakkasmäärä (F_{mit}) (Tiehallinto, 2004)

Taulukko 8.4 Materiaalin vastaavuus eristävyden kannalta (a_i) (Tiehallinto, 2004)

Kerrosmateriaali	Materiaalin vastaavuus eristävyden kannalta, a _i
Hiekka	1,0
Bitumilla sidotut	1,0
Sora, murske	0,9
Louhe	0,8
Kuonamurske, kappalekuona	1,6
Kuonahiekka, masuunihiekka	1,7
Kevytora (KS) 0,7 m syvyydessä m kuivatiheys enintään 400 kg/m ³ , KS:n alla 0,15 m kuivatuskerros	4
Suulakepuristettu polystyreeni (XPS) *	20
Paisutettu polystyreeni (EPS) *	15
Lentotuhka**	1,7
Pohjatuhka**	1,2
Kuitusavi***	1,5
Kuitutuhka***	1,4

*0,7 metrin syvyydessä, EPS:n alla 0,15 m kuivatuskerros

** (Ramboll, 2012)

*** arvioitu lämmönjohtavuusmittausten perusteella

8.3 Routamitoituksen laskentaesimerkki

Routamitoituksen laskentaesimerkeiksi on valikoitu koekohteista kaksi eri rakennetta ja vertailtu niitä luonnon kiviaineksilla rakennettuihin ”perinteisiin” rakenteisiin.

Laskentaesimerkki 1, Pinsiöntie

Pinsiöntien rakennetun koekohteen rakenne on kokonaispaksuudeltaan 750 mm ja vertailurakenne 700 mm. Vertailurakenne on yleinen sorateiden perusparantamiseen käytetty menetelmä, jossa huonokuntoisen soratien tasausta korotetaan uudella kantavalla kerroksella ja kulutuskerroksella.

Routamitoituslaskennassa käytetyt arvot kuvastavat ns. huonointa mahdollista tilannetta, jossa vanhan tierakenteen paksuus on 300 mm ja pohjamaa on erittäin routivaa U1 kelpoisuusluokaltaan olevaa koheesiomaata. Kuitutuhkakerroksen on oletettu olevan lievästi routivaa, joten laskelmissa kuitutuhkan routaturpoaman kertoimen (t_{rva}) arvona on käytetty 3 %. Vanhan tierakenteen mitatut paksuudet vaihtelivat Pinsiöntiellä 0,3 – 0,5 metrin välillä.

Laskennallinen routanousu mitoituspakkasmäärällä $F_{mit} = 17\,778\text{ °C}$ koerakenteelle on 135 mm märissä olosuhteissa ja kuivissa olosuhteissa 103 mm. Vertailurakenteen laskennallinen routanousu samalla mitoituspakkasmäärällä märissä olosuhteissa 154 mm ja kuivissa olosuhteissa 115 mm.

Routamitoitus

Sallittu routanousu 150 mm
Mitoitusroudansyvyys $S=$ 1,6 m

$$RN_{lask} = (S - a_1 * R_1 - a_2 * R_2 \text{ jne}) * t$$

$$RN_{lask} = (S - a_1 * R_1 - a_2 * R_2 - a_{rva} * R_{rva} \text{ jne}) * t + R_{rva} * t_{rva}$$

U1: saSi, siMr, kerr.

Sa/Si

Pohjamaa

	Koerakenne		Vertailurakenne		Materiaali-kerroin
	Märät olosuhteet	Kuivat olosuhteet	Märät olosuhteet	Kuivat olosuhteet	
Päällysrakenne					
kulutus	0,1	0,1	0,1	0,1	1
kantava	0,15	0,15	0,3	0,3	0,9
jakava (kuitutuhka)	0,2	0,2			1,4
vanha tierakenne	0,3	0,3	0,3	0,3	0,9
kokonaispaksuus	0,75	0,75	0,70	0,70	
kerroin, t	0,16	0,12	0,16	0,12	
kerroin, t_{rva}	0,03	0,03			
Routanousu	135,3	102,7	153,6	115,2	

Mikäli luonnon kiviaineksilla haluttaisiin päästä samaan laskennalliseen routanousuun kuin massiivikuitutuhkarakenteella, tarvittaisiin kantavan kerroksen lisäksi 150 mm paksuinen jakava murskekerros. Tällöin rakenteen kokonaispaksuudeksi tulisi 850 mm. Alla vertaileva routamitoituslaskelma, jossa on tavoiteltu laskennalliseksi routanousuksi samaa kuin koerakenteella.

Routamitoitus

Sallittu routanousu 150 mm
Mitoitusroutansyvyys S= 1,6 m

$$RN_{\text{lask}} = (S - a_1 * R_1 - a_2 * R_2 \text{ jne}) * t$$

Pohjamaa U1: saSi, siMr, kerr.
Sa/Si

	Vertailurakenne 2		Materiaalikerroin
	Märät olo- suhteet	Kuivat olosuhteet	
Päällysrakenne			
kulutus	0,1	0,1	1
kantava	0,3	0,3	0,9
jakava	0,15	0,15	0,9
vanha tierakenne	0,3	0,3	0,9
kokonaispaksuus	0,85	0,85	
kerroin, t	0,16	0,12	
Routanousu	132,0	99,0	

Laskentaesimerkki 2, Kuhmoisten urheilukentän juoksurata

Kuhmoisten urheilukentän juoksuradan rakenne koostuu vanhasta kenttärakenteesta ja sen päälle tehdyistä uusista rakennekerroksista. Uusia rakennekerroksia ovat massiivikuitutuhka (300 mm), kantava murskekerros (190 mm) ja kestopäällyste (60 mm). Kokonaispaksuudeltaan juoksuradan rakenne on 1150 mm, kun mukaan on laskettu myös vanha kenttärakenne.

Useille liikuntapaikoille on ominaista, että ne rakennetaan tierakenteiden periaatteiden tapaan, mutta kuitenkin niiden teknisten ominaisuuksien on oltava monin osin laadukkaampia. Esimerkiksi tasaisuusvaatimukset ovat yleensä niin laadukkaat, että rakenteille ei voi sallia yhtä suuria routanousuja kuin tavallisille kevyen liikenteen väylille. (Rakennustieto Oy, 2006) Juoksuradan kestopäällysteen pinnan epätasaisuus ei saa ylittää 6 mm neljän metrin mittalaudalla mitattuna, eikä metrin linjalaudalla mitattuna 3 mm missään suunnassa tai kohdassa (Jaakko Pöyry Infra, 2002).

Laskennallinen routanousu mitoituspakkasmäärällä $F_{mit} = 17\,778\text{ °C}$ juoksuradan kuitutuhkarakenteelle on 53 mm märissä olosuhteissa ja kuivissa olosuhteissa 28 mm. Mitoituslaskelmassa ei kuitenkaan ole otettu huomioon juoksuradan päällä talvisin olevaa lumipeitettä, joka pienentää roudan tunkeutumissyvyyttä ja routanousua.

Vastaava laskennallinen routanousu luonnon kiviaineksilla rakennetulle juoksuratarakenteelle saadaan, kun 300 mm paksuinen kuitutuhkakerros korvataan 400 mm paksuisella jakavalla murskekerroksella. Tällöin kentän kokonaispaksuus olisi 1250 mm. Alla vertaileva routamitoituslaskelma, jossa perinteiselle rakenteelle on tavoiteltu laskennalliseksi routanousuksi samaa kuin koerakenteelle.

Routamitoitus

$$RN_{lask} = (S - a_1 * R_1 - a_2 * R_2 \text{ jne}) * t$$

$$RN_{lask} = (S - a_1 * R_1 - a_2 * R_2 - a_{rva} * R_{rva} \text{ jne}) * t + R_{rva} * t_{rva}$$

Mitoitusroutansyvyys $S = 1,6\text{ m}$

Pohjamaa

H3: Hk, HkMr

	Koerakenne		Vertailurakenne		Materiaali-kerroin
	Märät olosuhteet	Kuivat olosuhteet	Märät olosuhteet	Kuivat olosuhteet	
Päällysrakenne					
päällyste	0,06	0,06	0,06	0,06	1
kantava	0,19	0,19	0,19	0,19	0,9
jakava (kuitutuhka)	0,3	0,3			1,4
jakava (murske)			0,4	0,4	0,9
vanhat rakenneker.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,9
kokonaispaksuus	1,15	1,15	1,25	1,25	
kerroin, t	0,12	0,06	0,12	0,06	
kerroin, t_{rva}	0,03	0,03			
Routanousu	52,8	28,2	56,3	28,1	

9 LOPPUPÄÄTELMÄT

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää kuitusaven ja lentotuhkan seoksen eli kuitutuhkan pitkäaikaistoimivuutta ja –kestävyyttä tie- ja urheilukenttärakenteissa. Työssä tutkittiin vanhoja LIFE- ja UUMA-hankkeiden koekohteita ja hyödynnettiin koekohteista aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia vertailemalla niitä uusiin seurantatutkimuksiin. Lisäksi kolmesta koekohteesta määritettiin kuitutuhkarakenteesta otettujen näytteiden lämmönjohtavuus, joiden avulla pystyttiin arvioimaan onko kuitutuhkan lämmönjohtavuudessa tapahtunut muutoksia koekohteen elinkaaren aikana. Mitattujen lämmönjohtavuusarvojen perusteella koekohteiden rakenteiden laskennallisia routanousuja vertailtiin perinteisiin luonnon kiviainesrakenteisiin.

Tiekohteet, joissa on käytetty kuitutuhkaa tien jakavassa kerroksessa, ovat koekohteiden seurantatutkimusten perusteella pysyneet toiminnaltaan vastaavassa kunnossa kuin perinteisin menetelmin tehdyt vertailurakenteet. Liikenteen ja sääolosuhteiden aiheuttamat rasitukset näkyvät tien koe- ja vertailurakenteissa yhtäläisesti pituus ja poikkisuuntaisena epätasaisuutena. Näihin johtaviin syihin, joita ovat mm. pysyvät muodonmuutokset, kuivatuksen puutteet sekä renkaiden aiheuttama tien pinnan kuluminen, ei päästä pelkästään kuitutuhkakerroksella vaikuttamaan. Kuitutuhkarakenne perustuu eristävään, erottavaan ja joustavaan kerrokseen, joka pienentää roudan tunkeutumissyvyyttä, estää kulutuskerroksen ja pohjamaan sekoittumisen sekä tasaa routaliikettä. Vanhimmissa koekohteista otettujen seurantanäytteiden puristuslujuudet olivat pienentyneet verrattuna tämän työn yhteydessä tehtyihin puristuslujuustuloksiin. Tämä ei kuitenkaan ole näkynyt olennaisesti teiden toiminnallisessa kunnossa. Syy alhaisempiin puristuslujuustuloksiin on mahdollisesti kuitutuhkaa lujittavan sementin sidosten heikkeneminen ympäristörasituksesta johtuen. Myös muissa vanhemmissa kuitutuhkalla rakennetuissa koekohteissa on havaittu samankaltaista puristuslujuuden kasvua kohteen rakentamisen jälkeen ja laskua pidemmällä aikavälillä.

Tässä diplomityössä tutkitut koekohteet osoittavat, että urheilukentillä kuitutuhkan hyviä ominaisuuksia on pystytty onnistuneesti hyödyntämään erilaisissa kenttärakenteissa. Kuitutuhkan potentiaalinen hyötykäyttö korostuu urheilukenttärakenteissa, koska urheilukentät eivät ole alttiita samanlaiselle liikennekuormituksesta aiheutuvalla rasituksella kuin tiekohteissa. Yleisimpiä syitä urheilukenttärakenteiden vaurioitumiseen ovat epätasaiset routanousut ja huonosti toimiva kuivatus. Routaa eristävä kuitutuhkakerros yhdessä toimivan kuivatuksen kanssa mahdollistavat hyvin toimivan ja kestäväen urheilukenttärakenteen.

Kolmen eri koekohteen kuitutuhkakerroksista otetuiden näytteiden lämmönjohtavuudet olivat toisiinsa verrattuna lähes samansuuruisia. Ainoastaan jäätyneiden näytteiden lämmönjohtavuuksissa oli pieniä eroja. Mitattujen lämmönjohtavuusarvojen perusteella kuitutuhkan lämmönjohtavuudessa ei ole tapahtunut suuria muutoksia rakenteiden elinkaarien aikana ja kuitutuhka on säilyttänyt pienemmän lämmönjohtavuusarvonsa luonnon kiviaineksiin verrattuna. Mikäli routanousu on rakenteen mitoittava tekijä, voidaan massiivikuitutuhkarakenteella pienemmän lämmönjohtavuuden ansiosta rakentaa kokonaispaksuudeltaan ohuempia rakenneratkaisuja perinteisiin rakenteisiin verrattuna. Ohuemmillä rakennekerroksilla voidaan saavuttaa kustannustehokkaampi rakenne ja jolla on myös luonnonvaroja säästävä vaikutus.

Jatkotoimenpidesuosituks

Vanhojen koekohteiden seuranta tulee jatkaa, koska kuitutuhkalla tehtyjä tie- ja urheilukenttäkohteita ei tässä työssä esiteltujen kohteiden lisäksi ole Suomessa kuin muutama. Seurantatutkimukset antavat arvokasta tietoa kuitutuhkan toimivuudesta ja pitkäaikaiskäyttötymisestä tie- ja urheilukenttärakentamisessa.

Koekohteiden rakennetutkimuksissa oli havaittavissa, että kuitutuhkan puristuslujuus kasvaa rakentamisen jälkeisinä vuosina, mutta laskee pidemmällä aikavälillä ympäristö- ja liikennesäätöjen johdosta. Jatkotoimenpiteenä voisi tutkia onko kuitutuhkan puristuslujuuden heikkenemisellä vaikutusta koekohteiden kantavuuteen. Rakentamisen jälkeisiä kantavuusmittauksia on tehty Pihtisalmentielle ja Luopioisten kevyen liikenteen väylälle.

Uusia kuitutuhkakohteita rakentaessa tulisi kiinnittää huomiota kuitutuhkan seosaineiden suhteeseen. Koekohteista saatujen kokemusten perusteella lentotuhkan osuus tiekohteissa tulisi olla yli 50 % kuitutuhkaseoksesta, jotta rakenteelle saadaan riittävä jäykkyys ja kestävyys. Kuitutuhkakerroksen päällä tulee myös olla riittävän jäykkä kerros, koska kuitutuhkan muodonmuutoskestävyys edellyttää sen päällä olevien rakenteiden olevan myös muodonmuutoksia kestäviä; liian ohuet päällysteet eivät kestä kuitutuhkarakenteissa.

Kuitusavea on hyötykäytetty maarakentamisessa lähinnä vanhojen kaatopaikkojen sulkemisessa. Jatkossa kuitusaven hyötykäyttö kaatopaikkarakenteissa tulee vähenemään, koska vanhojen kaatopaikkojen sulkeminen on pääsääntöisesti tehty ja näin ollen kuitusaven käyttökohteet kaatopaikkarakenteissa loppuvat. Jätekustannusten jatkuvasti noustessa on uusien hyötykäyttökohteiden löytyminen tärkeää Suomen paperi- ja massateollisuudelle.

LÄHTEET

- Airola, I. 2014. Muovi jyrää nurmen tuoksun. Jalkapallolehden artikkeli. [WWW].[Viitattu 12.06.2014]. Saatavissa: <http://jalkapallolehti.fi/muovi-jyraa-nurmentuoksun/>
- Finncao. 2001. Finncao-kuitusavet pintarakenteiden tiivistekerroksissa, Suunnittelu- ja mitoitusohje. Finncao Oy
- Finncao. 2005. Metsäteollisuuden lentotuhkien käyttö tie-, katu- ja kenttärakenteissa, Suunnittelu- ja mitoitusohje. Finncao Oy.
- Heikkilä, A-P. Huttunen, J. Soikkeli, J. 2006. LITE 2, Liikuntapaikkarakentaminen teollisuuden sivutuotteilla Jämsässä. Loppuraportti. Jyväskylän teknologiakeskus Oy.
- Jaakko Pöyry Infra. 2002. Urheilukenttien suunnittelu ja rakentamisopas. Opetusministeriö, Liikuntapaikkajulkaisu 82. 152 s.
- Kivikoski, H. Saarelainen, S. 2001. Lämmönjohtavuuden määrittäminen, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka..
- Korpijärvi, K. Mroueh, U-M. Merta, E. Laine-Ylijoki, J. Kivikoski, H. Järvelä, E. Wahlström, M. & Mäkelä, E. 2009. Energiantuotannon tuhkien jalostaminen maarakennuskäyttöön, VTT tiedotteita 2499 Helsinki, Edita Prima Oy.
- L 86. 2000. Ympäristösuojelulaki. 4.2.2000/86 [WWW].[Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000086>
- Maijala, A. 2008. UUMA-materiaalien ja -rakenteiden invetaari, Ramboll Finland Oy
- McGaw, R., Full-cycle heating and cooling probe method for measuring thermal conductivity. Journal of heat transfer, No. 84-WA/HT-109. 1984
- Metsäteollisuuden ympäristötilastot vuodelta 2012. . [WWW]. [Viitattu 4.2.2014]. Saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi/mediabank/606.pdf>
- Mäkelä, H. Höynälä, H. 2000. Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakentamisessa, materiaalit ja käyttökohteet. Teknoliakatsaus 91/2000. Helsinki, Tekes
- Mäkinen, A. 2013. Uusiomateriaalirakenne. Koerakentamisen seuranta- ja laadunvalvontaraportti. Ramboll Finland Oy, 11 s.

Outinen, H., Vulli, P. 1988. Lujusopin perusteet. Kustannusyhtymä Tampere.

Ramboll Finland Oy. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja, Energia tuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakentamisessa. . [WWW]. [Viitattu 15.1.2014]. Saatavissa: http://www.infrary.fi/files/3985_Tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf

Rakennustieto Oy. 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 4 Liikunta- ja virikustapaikkojen rakenteet.

Rantamäki, M. Jääskeläinen, R. Tammirinne, M. 1994. Geotekniikka. Otatieto. 464 s.

Ronkainen, M. 2011. 13791 Nokia-Pinsiöntie pilottirakentaminen, Kuitutuhkarakenne. Työtapaselostus ja laadunvalvonta, Ramboll Finland Oy

Saarelainen, S. 2001. Tierakenteen routamitoitus. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. [WWW]. [Viitattu 27.5.2014]. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/18-routamitoitus.pdf>

Saari, O. Nenonen, M. Oasmaa, K. Lönnqvist, S. 1998. Kuitusaven tuotteistamisen raportti. Finncao L8

Tiehallinto 2004a. Tierakenteen suunnittelu. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki 2004. 69 s.

Urheilukentän perusparantaminen uusiomaarakennustekniikalla. 2002. Opetusministeriö Liikuntapaikkajulkaisu, SCC Viatek Oy

VnA 179. 2012. Valtioneuvoston asetus jätteistä. 19.4.2012/179. [WWW][Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2012/20120179>

Vna 403. 2009. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa annetun valtioneuvoston asetuksen liitteiden muuttamisesta. 15.6.2009. [WWW][Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090403>

VnA 591. 2006. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. [WWW][Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591>

VTT Yhdyskuntatekniikka. 2007. Talonrakennuksen routasuojaohjeet. Toinen, uudistettu painos. Helsinki. Rakennustieto Oy. 96s. ISBN 978-951-682-851-3

Haastattelut:

Järvinen, P. (2013) Pirkanmaan ELY-keskus. Pinsiöntien tienpitäjän haastattelu A. Mäkisen ja P. Järvisen välillä. 15.06.2013

Ketola, P. (2014) Pälkäneen kunnan liikunta- ja vapaa-aikasihteeri. Puhelinhaastattelu I. Hyvösen ja P. Ketolan välillä 7.5.2014

Pihkala, H. (2013) Kuhmoisten kunnan liikuntapaikkojen hoitaja. Haastattelu I. Hyvösen ja H. Pihkalan välillä 4.10.2013

Ranta-Eskola, R. (2013) Työmaapäällikkö YIT. Pinsiöntien urakoitsijan haastattelu A. Mäkisen ja R. Ranta-Eskolan välillä. 16.5.2013

Sanström, H. (2013) Akaan kaupungin liikuntapaikkahoitaja. Haastattelu I. Hyvösen ja H. Sanströmin välillä. 8.10.2013