

## Vettä läpäisevät päällysteet

Käsikirja suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon

Terhi Kling | Erika Holt | Harri Kivikoski |  
Juhani Korkealaakso | Hannele Kuosa |  
Kalle Loimula | Emma Niemeläinen |  
Jouko Törnqvist |

# Vettä läpäisevät päällysteet

Käsikirja suunnitteluun, rakentamiseen ja  
ylläpitoon

---

Terhi Kling, Erika Holt, Harri Kivikoski, Juhani  
Korkealaakso, Hannele Kuosa, Kalle Loimula, Emma  
Niemeläinen & Jouko Törnqvist



ISBN 978-951-38-8198-6 (nid.)  
ISBN 978-951-38-8199-3 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

VTT Technology 201

ISSN-L 2242-1211  
ISSN 2242-1211 (Painettu)  
ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)

Copyright © VTT 2015

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT  
PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)  
02044 VTT  
Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT  
PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)  
FI-02044 VTT  
Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland  
P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)  
FI-02044 VTT, Finland  
Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Kansikuva: Rudus, Lemminkäinen, Weber, Pipelife, Kaitos, VTT

Grano Oy, Kuopio 2015

## Alkusanat

CLASS-projektissa (Climate Adaptive Surfaces) tutkittiin vettä läpäiseviä pintamateriaaleja ja -rakenteita, joiden avulla pyritään huleveden parempaan hallintaan kaupunkiympäristöissä. Vettä läpäisevät pintamateriaalit on Euroopan ja kansallisen tason direktiiveissä osoitettu yhdeksi keinoksi lieventää tiiviiden pintojen lisääntymisen aiheuttamia haittoja. Niitä voidaan käyttää aukioilla, kuten toreilla ja leikkikentillä, sekä vähäliikenteisillä kaduilla, kevyen liikenteen väylillä sekä parkkipaikoilla. Pääasiallinen hyöty on veden imeytyminen alapuoliseen maaperään ja pintavalunnan sekä jään ja lumen kerääntymisen väheneminen. Ratkaisut voivat parantaa turvallisuutta, edistää viheralueiden hyvinvointia ja ympäristön viihtyisyyttä sekä vähentää ympäristöhaittoja.

Projektia (2012–14) rahoittivat 15 yhteistyökumppania, Tekes ja VTT. Yhteistyökumppanit olivat keskeisessä asemassa tutkimustyön ohjaamisessa suunniteltaessa turvallisia ja taloudellisesti käyttökelpoisia ratkaisuja pohjoismaiseen ilmastoon. Tutkimuksen painopiste on ollut materiaalien kehittäminen, niiden toimivuuden osoittaminen, ilmastomuutoksen vaikutusten lieventäminen ja asiantuntemuksen ja osaamisen lisääminen huleveden käsittelyyn ja mallintamiseen sekä vettä läpäisevien pintarakenteiden suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon liittyen. Yhtenä tavoitteena on ollut myös pilottiprojektien käynnistäminen kehitettyjen ratkaisujen testaamiseksi käytännössä. Tutkimusta ovat tukeneet myös samanaikaiset rinnakkaistutkimukset Ruotsin Green-Gray-projektissa, jota ovat rahoittaneet Vinnova ja 24 yhteistyökumppania. Tätä kautta on saatu lisätietoa erityisesti läpäisevien pintarakenteiden vaikutuksista kaupunkien viheralueiden hoitamiseen.

Kahden vuoden tutkimus- ja kehitystyön jälkeen olemme vakuuttuneita siitä, että vettä läpäisevien pintamateriaalien käyttöä voidaan lisätä uusilla ja uusittavilla kaupunkialueilla. Tässä käsikirjassa pyritään antamaan perustiedot siitä, miten vettä läpäiseviä pintaratkaisuja suunnitellaan ja toteutetaan käytännössä ottaen huomioon Suomen ilmaston ja talviolosuhteet. Käsikirja luo myös perustan seuraavalle vaiheelle (2015–), jossa tutkittuja materiaaleja ja rakenteita testataan käytännössä neljän yhteistyökumppanina olleen kaupungin pilottiprojekteissa. Toivomme, että kun Suomessa luottamus vettä läpäiseviin pintaratkaisuihin lisääntyy, niistä tulee normaali osa fiksua, kestäväää ja viihtyisää kaupunkiympäristöä.

*Erika Holt, CLASS-projektin projektipäällikkö, Espoo, 15.12.2014*

Tavoitteet huleveden kestäväälle käsittelylle, tulvariskien minimoinnille ja kaupunkien virtavesien laadun parantamiselle on asetettu Euroopan ja kansallisen tason direktiiveissä sekä kaupunkien hulevesistrategioissa. CLASS-projektin alussa tutkittiin kaupunkien tarpeita ja toiveita vettä läpäisevien pintamateriaalien ja -rakenteiden tutkimuksen ja kehityksen suhteen. Ohjausryhmän puolesta voin yleensä todeta, että tämä tutkimus on ensimmäinen suomalainen vettä läpäisevien pintamateriaalien laajempi tutkimus, joka sisältää myös mittavan määrän korkeellista tutkimusta ja testausta. Olen myös hyvin tyytyväinen tutkimuksen seurauksena kaupungeissa käynnistettyihin pilottiprojekteihin, joissa monitoroidaan vettä läpäisevien pintamateriaalien toimivuutta todellisissa olosuhteissa ja raportoidaan käyttökokemuksia, tavoitteena käyttökelpoiset menetelmät suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon.

*Pirjo Siren, CLASS-projektin ohjausryhmän puheenjohtaja, Espoo, 15.12.2014*

Johtoryhmään kuuluivat:

Pirjo Sirén (johtoryhmän puheenjohtaja; Espoon kaupunki, tekninen keskus), Eeva-Riikka Bossmann, Pekka Raukola ja Perttu Hyöty (FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy), Kimmo Kuisma ja Osmo Torvinen (Helsingin kaupunki, Rakennusvirasto), Tommi Fred (Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä, HSY), Olli Böök (Kaitos Oy), Pekka Jauhiainen (Kiviteollisuusliitto ry), Lars Forstén (Lemminkäinen Infra Oy), Tapio Siikaluoma (Oulun kaupunki), Mika Ervasti (Pipelife Finland Oy), Tomi Tahvonen (Puutarha Tahvoset Oy), Juha Forsman, Ulla Loukkaanhuhta ja Mervi Kokkila (Ramboll Finland Oy), Tiina Suonio ja Seppo Petrow (RTT Betoniteollisuus), Kimmo Puolakka ja Pia Rämö (Rudus Oy Ab), Kati Alakoski (Saint Gobain Weber Oy Ab), Angelica Roschier (Tekes), Antti Auvinen (Vantaan kaupunki), Eila Lehmus (VTT).

Hanketta rahoittivat:

Espoon kaupunki, FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy, Helsingin kaupunki, Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä (HSY), Kaitos Oy, Kiviteollisuusliitto ry, Lemminkäinen Infra Oy, Oulun kaupunki, Pipelife Finland Oy, Puutarha Tahvoset Oy, Ramboll Finland Oy, RTT Betoniteollisuus, Rudus Oy Ab, Saint Gobain Weber Oy Ab, Tekes, Vantaan kaupunki, VTT.

Käsikirjan kirjoitustyöhön osallistui:

Juha Forsman (Ramboll Finland Oy)

Lisätietoja hankkeen nettisivuilta: <http://www.vtt.fi/sites/class/>

# Sisällysluettelo

<b>Alkusanat</b> .....	<b>3</b>
<b>Termit ja määritelmät</b> .....	<b>8</b>
<b>1. Johdanto</b> .....	<b>12</b>
<b>2. Yleiset suunnitteluperiaatteet</b> .....	<b>16</b>
2.1 Käyttökohteet .....	17
2.2 Rakenteet.....	19
2.3 Suunnittelun lähtökohdat.....	21
2.4 Mitoituksen yleisperiaatteet ja kriteerit .....	22
2.5 Materiaalien ja rakenteiden valinta .....	23
2.6 Suunnittelun vaiheet .....	24
<b>3. Materiaalit</b> .....	<b>25</b>
3.1 Pintamateriaalit.....	25
3.2 Rakennekerrosten kantavat materiaalit.....	28
3.3 Täydentävät tuotteet .....	29
3.3.1 Geotekstiilit.....	30
3.3.2 Georisteet.....	30
3.3.3 Salaojaputket, putket, imeytys- ja viivytyssäiliöt, kasetti-, tunneli- ym. järjestelmät, varastoaltaat .....	31
<b>4. Mitoitus</b> .....	<b>33</b>
4.1 Mitoituksen perusteet ja laatuksiteerit.....	33
4.2 Lämpäisevän tie-/katurakenteen pintakerroksen mitoitus.....	35
4.3 Rakenteellinen mitoitus .....	36
4.4 Routamitoitus .....	37
4.5 Hydrologinen mitoitus .....	40
4.6 Vesilaatumitoitus .....	43
<b>5. Rakentaminen</b> .....	<b>44</b>
<b>6. Kunnossapito</b> .....	<b>46</b>
6.1 Vedenläpäisevyyden seuranta ja puhdistus .....	46

6.2	Talvikunnossapito.....	47
6.2.1	Puhdistus lumesta ja auraus.....	48
6.2.2	Hiekoitus .....	48
6.2.3	Pintajään muodostuminen, liukkaus.....	48
6.2.4	Suolaus .....	49
6.2.5	Lumen varastointi läpäisevän päällysteen päälle tai läheisyyteen...	49
<b>7.</b>	<b>Kustannukset ja elinkaari.....</b>	<b>50</b>
<b>8.</b>	<b>Työkalut.....</b>	<b>52</b>
<b>9.</b>	<b>Tutkimustarpeet .....</b>	<b>54</b>
	<b>Viitteet.....</b>	<b>56</b>

## **Liitteet**

Liite A: Pintamateriaalit

Liite B: Rakennekerrosten kantavat ja vettä viivyttävät materiaalit

Liite C: Geotekstiilit ja -eristeet

## **Tiivistelmä**

## **Abstract**



## Termit ja määritelmät

### **Asemakaava;** *EN: Detailed plan*

Asemakaavassa ohjataan rakentamista ja muuta maankäyttöä sekä osoitetaan alueet eri tarkoituksia varten paikallisten olosuhteiden, kaupunki- ja maisemakuvan, hyvän rakentamistavan, olemassa olevan rakennuskannan käytön edistämisen ja kaavan muun ohjaustavoitteen edellyttämällä tavalla.

### **Avoin asfaltti (AA);** *EN: Porous asphalt (PA)*

Asfalttityyppi, jonka makroskooppiset huokokset muodostavat siihen vettä hyvin läpäisevän verkoston.

### **Eroosio;** *EN: Erosion*

Kallioperän, maaperän ja maa-aineksen kuluminen veden, tuulen tai jonkin muun mekaanisen tekijän vaikutuksesta.

### **Hulevesi;** *EN: Stormwater*

Rakennetuilta alueilta pois johdettava sade- ja sulamisvesi.

### **Imeytys;** *EN: Soakage*

(Huleveden) tarkoituksellinen imeyttäminen maaperään.

### **Kaavoitus;** *EN: Urban planning, town planning, zoning*

Kaavoituksella osoitetaan tietyn rajatun alueen käyttötarkoitukset ja annetaan alueiden käyttöä koskevia määräyksiä, esim. varataan viivytys- tai imeytysrakenteen vaatima tila.

### **Käyttöikä, vettä läpäisevän päällysteen;** *EN: Service life of pervious pavement*

Aikajakso, jona vettä läpäisevä päällyste täyttää normaalin huollon ja kunnossapidon alaisena sille asetetut toiminnalliset vaatimukset.

### **Lämpösaarekeilmiö;** *EN: Urban Heat Island*

Kaupungeissa esiintyvä ilmastoilmiö, joka kesällä johtuu auringon säteilystä ja talvella rakennusten lämmityksestä ja liikenteestä. Kesällä varastoituvan energian määrä riippuu materiaalien lämpöominaisuuksista; Rakennukset ja maanpinta luovuttavat yöllä päivällä varastoimaansa energiaa takaisin ilmakehään.

**Läpäisemätön pinta; EN: Impermeable surface**

Tiivis pinta, joka ehkäisee huleveden imeytymisen maaperään ja lisää pintavaluntaa.

**Läpäisevä betoni (LB); EN: Pervious concrete (PC)**

Betonityyppi, jonka makroskooppiset huokokset muodostavat siihen vettä hyvin läpäisevän verkoston.

**Mitoitussade; EN: Design rainfall**

Mitoitussateen avulla määritellään suurin vesimäärä, joka järjestelmän on pystyttävä hallitsemaan. Mitoitussateella on neljä määräävää ominaisuutta: sateen kesto, sateen rankkuus eli intensiteetti, sademäärä ja toistuvuus eli todennäköisyys kyseisen sadetapahtuman esiintymiselle.

**Paras hallintakäytäntö; EN: Best management practice (BMP)**

Menetelmät ja tekniikat, joilla on todettu kaikkein tehokkaimmiksi ja käyttökelpoisimmiksi tietyn asian hallintaan (esimeriksi hulevesien ja niiden aiheuttaman vesien säästämisen hallinta) siten, että myös resurssien käyttö on optimaalista.

**Pintavalunta; EN: Surface runoff**

Maan pintaa pitkin valuva osa sadannasta.

**Pohjavesi; EN: Groundwater**

Maanalainen vesikerros, jossa kaikki maa- ja kallioperän huokokset ovat veden kyllästämiä.

**Rankkasade; EN: Rainstorm**

Kyseiselle alueelle poikkeuksellinen sade. Ilmatieteen laitoksen mukaan esim. Etelä- ja Keski-Suomessa rankkasateita ovat: 2,5 mm/5 min; 5,5 mm/30 min; 7 mm/60 min; 10 mm/4 h; 15 mm/12 h; 20 mm/24 h.

**Sademäärä, sadanta; EN: Precipitation, total rainfall**

Alueelle tietyssä ajassa (tyypillisesti 1, 6, 12 tai 24 tunnin aikana) sateena pudonnut vesimäärä.

**Toiminnalliset vaatimukset; EN: Functional/performance requirements**

Hyväksyttävän toiminnan kannalta oleelliset vaatimukset, joiden täytyminen voidaan todeta asetetun arvostelukriteerin täyttymisen kautta.

**Tulvareitti; EN: Flood route**

Esisijaisesti maanpinnalla oleva huleveden virtausreitti, johon hulevedet johdetaan hallitusti silloin, kun hulevesiviemäröinnin kapasiteetti ylittyy.

**Tukkeutuminen; EN: Clogging**

Vettä läpäisevän huokoisuuden pieneneminen, joka johtuu riittävän hienojakoisen materiaalin tunkeutumisesta ja kertymisestä huokosiin

**Valunta; EN: Runoff**

Alueelta aikayksikössä virtauksen mukana poistuva vesimäärä.

**Valuma; EN: Run-off, catchment**

Valunta pinta-alayksikköä kohden.

**Vettä läpäisevä kivi- tai laattapäällyste (betoni-/luonnonkivi, betoni-/luonnonkivilaatta); EN: e.g. Permeable interlocking concrete pavement (PICP)**

Päällysterakenne, jonka pintakerros koostuu päällystekivistä tai -laatoista, joiden aukkokohdat kuten saumat sekä niiden täyttömateriaali kuten myös tasauskerroksen materiaali mahdollistavat veden pääsyn alapuolisiin rakennekerroksiin, jotka on mitoitettu huleveden viivyttämiseen.

**Vettä läpäisevä päällyste; EN: Pervious pavement (e.g. pervious concrete pavement, permeable interlocking concrete pavement, porous asphalt pavement)**

Päällysterakenne, jonka pintakerros koostuu monoliittisesta läpäisevästä materiaalista (esim. avoin asfaltti (AA) tai läpäisevä betoni (LB)) tai päällystekivistä tai -laatoista (betoni/luonnonkivi), jotka itse tai joiden saumat ja/tai aukkokohdat sekä niiden täyttömateriaali kuten myös tasauskerroksen materiaali mahdollistavat veden pääsyn alapuolisiin rakennekerroksiin, jotka on mitoitettu huleveden viivyttämiseen.

**Vettä viivyttävä kerros; EN: storage layer, reservoir layer**

Se laskennallinen osa kiviaineskerroksista, jonka huokostilan mitoitussadetta vastaava vesimäärä hetkellisesti täyttää, ennen kuin vesi imeytyy alapuoliseen maaperään ja/tai poistuu rakenteesta putkia pitkin.

**Veden (pinta)imeytymisnopeus; EN: (Surface) infiltration rate [m/s]**

Nopeus, jolla vesi imeytyy (esimerkiksi vettä läpäisevän) päällysteen pinnalta alaspäin.

**Vedenläpäisevyys(kerroin), hydraulinen johtavuus, vedenjohtavuus; EN: Hydraulic conductivity, [m/s]**

Veden virtausnopeus materiaalissa (esim. maa-aineksessa) hydraulisen putouksen ollessa yksi.

**Viivytyks; EN: detention**

Huleveden viivyttäminen erilaisten pintarakenteiden tai maanalaisten rakenteiden tai säiliöiden avulla ennen maahan imeytymistä tai pois johtamista.

**Viivytyskerros; EN: storage layer, reservoir layer**  
Ks. vettä viivyttävä kerros.

**Yleiskaava; EN: Master plan**

Yleiskaavassa esitetään kunnan tai sen osan tavoitellun kehityksen periaatteet ja osoitetaan tarpeelliset alueet yksityiskohtaisen kaavoituksen ja muun suunnittelun sekä rakentamisen ja muun maankäytön perustaksi.

# 1. Johdanto

Kaupungistuminen kasvattaa vettä läpäisemättömien pintojen määrää, mikä vähentää imeytymistä maaperään ja aiheuttaa kasvavan tarpeen viemäroinnille. Pääasialliset vaikutukset veden luonnolliseen kiertokulkuun ovat pintavalunnan lisääntyminen, lyhyet ja voimakkaat virtaamapiikit ja vähäisempi veden virtaus maaperässä. Seurauksena on myös tulvia, eroosio-ongelmia, muutoksia veden pitoisuuksissa ja lämpötilassa sekä elinympäristön monimuotoisuuden vähenemistä (Sillanpää 2013).

Edellä mainittuja ongelmia pahentaa se, että ilmastomuutoksen seurauksena myös vuotuisen sademäärän odotetaan nousevan vuosisadan loppuun mennessä 12–24 % skenaariosta riippuen (HSY 2010). Sademäärän muutoksiin vaikuttavat sadepäivien lisääntyminen ja rankkasateiden yleistyminen (Yrjölä & Viinanen 2012). Tulevaisuudessa globaali ilmastomuutos aiheuttaa muutoksia myös ääri-ilmiöiden esiintyvyyteen (Makkonen & Tikanmäki 2008). Kerran 50 vuodessa esiintyvä kuuden tunnin maksimisademäärä kasvaa Suomessa keskimäärin 30 % kuluvan vuosisadan loppuun mennessä. Alueelliset vaihtelut muutoksissa voivat olla suuret (Wahlgren ym. 2008).

Kaupungistumisen aiheuttamia hydrologisia muutoksia ja niiden synnyttämiä vesistö- ja ympäristövaikutuksia voidaan vähentää hydrologiset tekijät huomioon ottavan kaupunkisuunnittelun avulla. Hulevesien syntymistä voidaan vähentää minimoimalla vettä läpäisemättömän pinnan määrää ja imeyttämällä hulevettä maaperään erilaisilla luonnonmukaisilla johtamis-, viivyttämisen- ja laskeutumismenetelmillä. Näin voidaan vähentää huleveden määrää, tasata virtaamanvaihteluita ja parantaa veden laatua. Lisäksi voidaan ylläpitää pohja- ja pintavesivarastoja ja maan kosteustasapainoa sekä parantaa asuinympäristön viihtyisyyttä. Tällaisia luonnonmukaisia käsittelymenetelmiä ovat mm. läpäisevät pinnoitteet, avo-ojat, kasvillisuuspainanteet, viivytyksen- ja imeytysaltaat sekä kosteikot (Vakkilainen ym. 2005).

Kaikkialla maailmassa on tunnistettu tarve lainsäädännön ja hallinnon kehittämiseen siten, että tuettaisiin uusia luonnonmukaisempia huleveden käsittelymenetelmiä. Suurin osa olemassa olevista säädöksistä ja käytännöistä on kehitetty perinteisille ratkaisuille, eivätkä ne sen vuoksi aina sovellu vaihtoehtoisille ja innovatiivisille luonnonmukaiseen veden kiertoon tähtääville menetelmille, joiden käyttö kuitenkin jatkuvasti lisääntyy. Siirtyminen kestävämpään hulevesien hallintaan on hidaskas prosessi, ja jokaisen maan tulee löytää tässä kehityksessä oma ratkai-

sunsa, hyödyntäen muualla opittuja asioita. Tyypillisesti asiat etenevät siten, että kukin maa vuorollaan päätyy ohjaamaan rakentamisen ja huleveden hallinnan menetelmiä kohti luonnonmukaisempia ja kestävämpiä ratkaisuja. Useat maat ovat jo luoneet näille asioille omat säädöksensä.

Hulevesien hallinnasta on säädetty EU:n vesipuitedirektiivissä (2000/60/EY) ja tulvariskidirektiivissä (2007/60/EY). Suomessa hulevesien hallinnasta säädetään useissa laeissa: maankäyttö- ja rakennuslaki, vesihuoltolaki, vesilaki, tulvariskilaki, vesienhoitolaki, ympäristönsuojelulaki, luonnonsuojelulaki, laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa ja puhtaanapidosta, maantielaki ja ratalaki. Suomessa on laadittu kansallinen ilmastomuutoksen sopeutumisstrategia vuonna 2005. Strategian uusiminen on meneillään. Useat kunnat ja kuntien yhteenliittymät ovat laatineet ilmastomuutoksen sopeutumisstrategioita sekä hulevesistrategioita ja -ohjelmia.

Yleiskaavaa laadittaessa on otettava huomioon mahdollisuudet vesihuollon tarkoituksenmukaiseen järjestämiseen, ja siihen merkitään tarvittaessa hulevesien hallintaan liittyvät aluevaraukset. Näitä aluevarauksia tarkennetaan asemakaavassa. Myös katusuunnitelmat sekä puistojen ja yleisten alueiden suunnitelmat sisältävät tarpeen mukaan hulevesien hallintaan liittyviä asioita. Maankäyttö- ja rakennuslain nojalla on annettu hulevesien hallintaa koskevia määräyksiä. Myös yleis- ja asemakaavamääräyksiä on käytetty hulevesien hallintaa edistämään. Asemakaavoissa on esimerkiksi voitu määrätä taajaan asutun alueen hulevesien viivyt- tämistä, jos se on ollut kaavallisista lähtökohdista perusteltua. Myös kuntien rakennusjärjestyksissä ja rakennustapaohjeissa on määräyksiä hulevesien hallin- nasta (Wahlgren & Kling 2013).

Hulevesien hallinta koostuu kiinteistöjen hulevesijärjestelmistä, joista vastaavat kiinteistön omistajat ja haltijat, sekä kunnan ja vesihuoltolaitosten hulevesijärjes- telmistä. Kunta vastaa hulevesien hallinnan järjestämisestä asemakaava-alueella. Maankäyttö- ja rakennuslain uudessa luvussa säädetään hulevesisuunnitelmasta. Se on uusi teknisiin suunnitelmiin rinnastuva suunnitelma, joka voi olla myös osa katusuunnitelmaa tai yleisten alueiden suunnitelmaa. Suunnitelmassa esitetään kunnan hulevesijärjestelmään kuuluvat hulevesien hallinnan ratkaisut ja rakenteet. Hulevesisuunnitelma on laadittava siten, että suunnitelmassa otetaan huomioon sademäärän lisääntyminen, asemakaava, katusuunnitelma ja yleisten alueiden suunnitelma ja että se täyttää toimivuuden, turvallisuuden sekä viihtyisyyden vaa- timukset.

Suomalaisessa CLASS projektissa (Climate Adaptive Surfaces, 2012–14) tutkit- tiin ja kehitettiin uusia vettä läpäiseviä ympäristörakenteiden pinnoitteita sekä niihin oleellisesti liittyviä alusrakenteita, jotka ovat myös vettä läpäiseviä, mutta toimivat ennen kaikkea vettä viivyttävinä rakenteina. Rakenteiden toiminnan kan- nalta on oleellista, että ne pystyvät käsittelemään riittävän määrän vettä, mutta samalla kantavuus ja muut ominaisuudet ovat käyttökohteen asettamien vaatimus- ten mukaisia. Suomen ilmasto-olosuhteissa on myös otettava huomioon sekä routa että jäätymis-sulamissykliä vaikutukset. CLASS-projektissa tuotettiin mm. seuraavat raportit ja ohjekirjat, joissa asiaa on käsitelty eri näkökulmista:

- **CLASS WP1 – Kaupunkien tarpeet (Wahlgren & Kling 2013)**

Raportissa esitellään CLASS-hankkeen sisältö ja tarkastellaan taustatekijöitä läpäisevien pintamateriaalien ja muiden teknisten ratkaisujen kehittämisen tarpeelle, kaavoitukseen ja hulevesien käsittelyyn liittyviä ratkaisuja sekä kaupunkien näkemyksiä läpäisevien materiaalien tarpeesta ja käyttömahdollisuuksista.

- **Pervious pavement systems and materials – State-of-the-Art (Kuosa et al. 2013a)**

Raportti keskittyy läpäisevissä rakenteissa käytettäviin materiaaleihin ja tuotteisiin, sekä niiden toimintaan. Raportti perustuu julkaistuu tietoon, tutkimustuloksiin ja julkaistuihin käytännön kokemuksiin.

- **The impact of pervious pavements on water quality State-of-the-Art (Loimula & Kuosa 2013)**

Raportti on kirjallisuustutkimus, joka käsittelee vettä läpäisevien päällysteiden vaikutuksia ja käyttömahdollisuuksia huleveden määrän vähentämiseen ja veden laadun parantamiseen.

- **Pervious pavement testing methods – State-of-the-Art (Kuosa et al. 2013b)**

Raportti sisältää tietoa testausmenetelmistä ja standardeista, joita käytetään tai voidaan käyttää läpäisevien rakenteiden sekä niissä käytettävien materiaalien tutkimuksessa ja testauksessa.

- **Review of pervious pavement dimensioning, hydrological models and their parameter needs. State-of-the-Art (Korkealaakso et al. 2013)**

Raportissa kerrotaan läpäisevien pinnoitteiden suunnittelussa huomioon otettavista tekijöistä ja tyypillisistä pinnoite ja rakennekerrosten paksuuksista, niiden ominaisuuksista ja niille asetettavista vaatimuksista sekä eri maiden ja tahojen ohjeistuksista. Raportissa tarkastellaan lisäksi läpäisevien rakenteiden suunnittelussa, mitoituksessa ja mallinnuksessa käytettäviä tietokoneohjelmia ja mallinnustyökaluja sekä ilmastonmuutoksen mallinnusta ja vaikutuksia rankkasateiden toistuvuuteen ja voimakkuuksien lisääntymiseen.

- **Deliverable D2: Vettä läpäisevät pinnoitteet ja rakenteet – Materiaalikehitys ja simulointitestausta (Kuosa ym. 2014a)**

Raportissa esitetään CLASS-projektin kokeellisten tutkimusten tulokset. Kokeellisia tutkimuksia tehtiin vettä läpäisevien pinnoiteratkaisujen materiaaliominaisuuksien ja materiaalikehityksen sekä koko rakenteen toiminnan osalta. Tutkimuksilla täydennettiin aiemmissa kirjallisuustietoon perustuvissa selvityksissä saatuja tietoja. Tavoitteena oli saada kokemusta ja kokeel-

lisiä tuloksia suomalaisista materiaaleista ja Suomen ilmasto-olosuhteisiin soveltuvista materiaalkoostumuksista.

- **Pervious pavement winter performance – State-of-the-Art and recommendations for Finnish winter conditions (Kuosa et al. 2014b)**

Tämä raportointi keskittyy routimiseen, talvikauden vedenläpäisevyyteen ja talvikauden kunnossapitoon. Käytettävissä olevaan tietouteen perustuen annetaan Suomen olosuhteita vastaavat suositukset näiden osalta.

- **Life Cycle assessment (LCA) and costing analysis (LCCA) for conventional and permeable pavement walkways (Vares & Pulakka 2014)**

Tämä raportti antaa lyhyen yleiskatsauksen perinteisten ja vettä läpäisevien päällysteiden elinkaarianalyysistä erityisesti hiilijalanjäljen ja elinkaarikustannusten näkökulmasta.

- **Mallinnustyökalu tukemaan CLASS-tulosten soveltamista läpäisevien päällysrakenteiden hydrologisessa mitoituksessa ja suunnittelussa (Korkealaakso ym. 2014)**

Raportissa kuvataan CLASS-projektissa kehitetty mallinnustyökalu.

- **Green-Grey-projektin yhteenveto (Kuosa ym. 2015)**

Raportti sisältää yhteenvedon Ruotsin Green-Grey-projektin (*Grå Gröna Systemlösningar för Hållbara Städer*) tuloksista. Tämän CLASS-projektin ruotsalaisen rinnakkaisprojektin tulokset antavat suunnittelijoille tietoa erityisesti siitä, miten kaupunkiviihtyvyyttä sekä viheralueet ja esimerkiksi kaupunkipuitten hyvinvointi voidaan ottaa huomioon ja integroida suunnitteluun sen kaikissa vaiheissa.



## 2. Yleiset suunnitteluperiaatteet

Vettä läpäisevillä päällysteillä vesi saadaan viivytettyä päällysrakenteessa, alapuolisessa pengertäytössä tai muissa viivytyrakenteissa ennen päällysteen läpäiseen veden imeytymistä maaperään tai kulkeutumista hulevesiviemäriin. Koko rakenteen huolellinen suunnittelu on tärkeätä. Kaikkiaan läpäisevän pinnoitteen suunnittelussa ja mitoituksessa joudutaan ottamaan huomioon useita tekijöitä kuten (Korkealaakso et al. 2013):

- maaperän kantavuus ja vedenläpäisevyys
- liikenne – ajoneuvojen painot ja liikennemäärät
- rakenteellinen mitoitus – kerrospaksuudet, kantokyky, väsytykestävyys
- hydrologinen toiminta – vesimäärät, mistä vesi tulee ja minne se menee
- ympäröivät rakenteet (esim. kadun viereiset rakennukset)
- ympäristötekijät – vesilaatu, haitta-aineiden sitoutuminen päällysterakenteeseen
- kestävyys, säilyvyys, käyttöikä – jäädytys-sulatuksen kesto, sulatussuolajen kesto
- kulutuksenkesto (erityisesti jos nastarengaskulutusta)
- kustannukset ja projektihallinta.



**Kuva 1.** Vettä läpäisevä materiaali.

## **2.1 Käyttökohteet**

Läpäisevät pintamateriaalit ja huleveden viivytysrakenteet ovat tarpeen kohteissa, joissa on ongelmia hulevesien määrällisen tai laadullisen hallinnan suhteen. Esimerkiksi rankkasateiden koittaessa viemärien kapasiteetti voi olla rajallinen. Hulevesien paikallinen käyttötarve voi olla myös syynä läpäisevien päällysteiden käytölle, esimerkiksi kohteissa joissa pohjavedet täydentyvät hitaasti tai vesiä halutaan kerätä viheralueiden käyttöön poisjohtamisen sijaan. Läpäisevillä pintamateriaaleilla on myös yleisiä, ilmastonmuutoksen vaikutuksia vähentäviä ominaisuuksia, kuten lämpösaarekeilmiön lieventäminen kaupunkiympäristöissä (Wahlgren & Kling 2013).

Kaupunkien tarve uusille, läpäiseville pintamateriaaleille ja muille hulevesien hallintaratkaisuille kohdistuu ensisijaisesti kaduille ja yleisille, kaupunkien hallitsemille alueille. Vettä läpäisevien päällysteiden keskeisimpiä sovelluskohteita ovat alimpien katuluokkien kadut, kevyen liikenteen väylät, pysäköintialueet, välialueet, peli-, urheilu- ja liikunta-alueet, pihat, torit ja kentät sekä yhdistetyt alueet (Wahlgren & Kling 2013). Parhaiten läpäisevät materiaalit soveltuvat vähäliikenteisille alueille normaalia pienemmän kulutuskestävyyden takia. Mikäli läpäiseviä päällysteitä käytetään enemmän liikennöidyillä teillä ja kaduilla (keskivuorokausiliikenne enintään 50...1000 ajoneuvoa päivässä), tulee nastarenkaiden ja muun suuremman kuormituksen kuluttava vaikutus ottaa huomioon.



**Kuva 2.** Erilaisia vettä läpäiseville pinnoitteille soveltuvia käyttökohteita (kuvat: Rudus).



**Kuva 3.** Yleiskuva Painiityn pelikentästä ja sen avoimesta asfaltista.

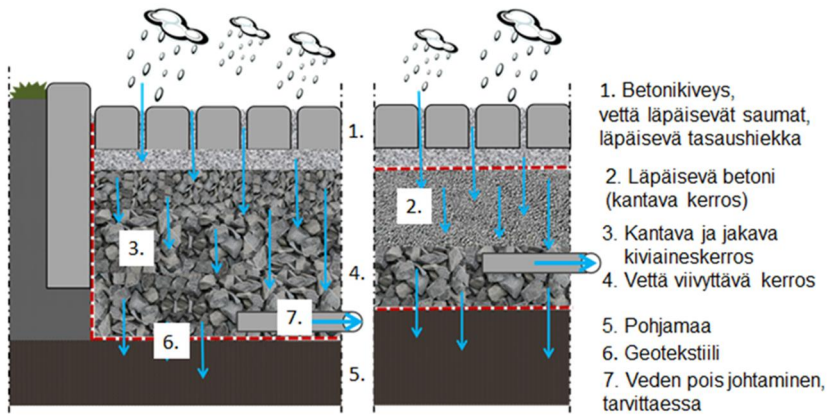
Läpäiseviä päällysteitä ei suositella tai ne eivät sovellu kohteisiin, joissa on teollista toimintaa, raskasta liikennettä tai tienpinnan kulutus on muuten suuri. Mikäli tien tai kadun keskivuorokausiliikenne on yli 1000 autoa/vrk, läpäiseviä päällysteitä ei tule käyttää. Tukkeutumiselle herkkänä materiaalina läpäiseviä päällysteitä ei tulisi myöskään käyttää alueilla, jossa tukkeutumisen vaara on poikkeuksellisen suuri. Näitä ovat esimerkiksi runsaasti hiekoitettavat kohteet tai alueet, joissa pintavalumavesien tiedetään sisältävän paljon hienoainesta (sekä eloperäinen että mineraalinen). Nastarenkaiden käyttö lisää myös tukkivan hienoaineksen määrää päällysteen pinnalla.

Läpäisevien päällysteiden käytössä – kuten muussakin imeytyksessä – tulee ottaa huomioon hulevesien laatu; esimerkiksi teollisuusalueilla hulevedet voivat sisältää huomattavia määriä epäpuhtauksia ja kemikaalipäästöjen riski on olemassa. Jos hulevesien imeytyminen aiheuttaa riskin pohjaveden tai maaperän pilaantumiselle, läpäiseviä päällysteitä ei voi käyttää tai käyttö on suunniteltava harkiten. Pohjavesialueilla niiden käyttöä tulisi rajoittaa vain asuinkortteleihin ja kevyen liikenteen väyliin. Joissakin tapauksissa läpäiseviä rakenteita voidaan käyttää veden puhdistamiseen (Loimula & Kuosa 2013).

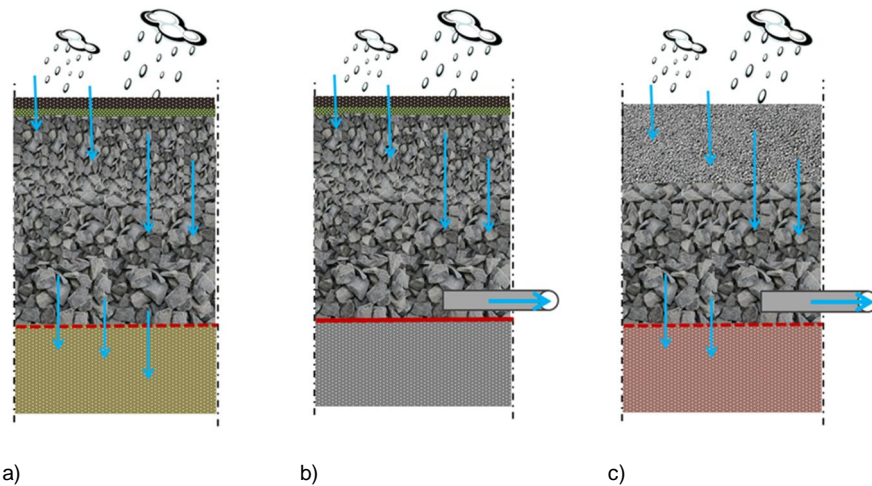
Läpäisevien päällysteiden käytön lisäksi hulevesiä voidaan hallita, viivyttaa tai varastoida lukuisilla muilla jo käytössä olevilla tai uusilla ratkaisuilla. Esimerkkejä kaupunkien jo käyttämistä ratkaisuista on esitetty viitteessä Wahlgren & Kling (2013). Ruotsalaisessa Green-Grey-projektissa on tutkittu näitä muita ratkaisuja sekä esimerkiksi läpäisevien päällysteiden suhdetta kaupunkiviivyyteen ja kaupunkipuiden elinehtoihin. Green-Grey-projektin tuloksiin sisältyy myös läpäiseviin päällysteisiin liittyvää tutkimustietoa esimerkiksi betoni- ja luonnonkivipintojen sekä hulevesikasettijärjestelmien kantavuudesta (Kuosaa ym. 2015).

## 2.2 Rakenteet

Vettä läpäisevät päällysteet käsittävät yleensä pintakerroksen ja alapuolisen rakennekerroksen, joka koostuu kiviaineksesta sekä pohjalla olevasta suodatinkerroksesta tai -kankaasta (kuva 4). Lisäksi on olemassa monenlaisia muunnelmia, joissa voi olla esimerkiksi erilaisia läpäiseviä materiaaleja sekä putkirakenteita, säiliöitä ja muita systeemejä, erityisesti pohjamaan ollessa vettä läpäisemätöntä. Järjestelmää, jossa vettä imeytetään maaperään, kutsutaan avoimeksi järjestelmäksi, kun taas järjestelmää, joka on alapuolelta suljettu vettä läpäisemättömällä muovikalvolla (georisteellä), kutsutaan suljetuksi järjestelmäksi (kuva 5). On myös mahdollista suunnitella järjestelmä, jossa osa vedestä imeytetään maahan ja osa johdetaan muualle. Vettä läpäisevät päällysteet ja muut ratkaisut on suunniteltava tapauskohtaisesti ottaen huomioon kohdekohtaiset tarpeet ja olosuhteet.

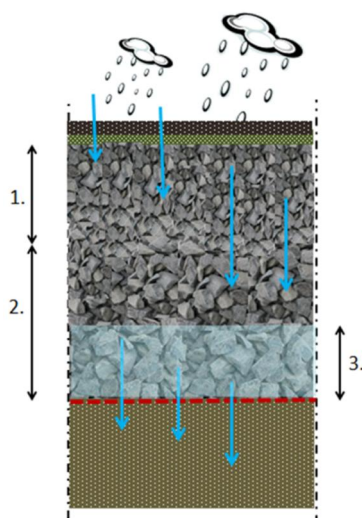


**Kuva 4.** Esimerkki vettä läpäisevästä päällysteestä ja siihen liittyvistä rakennekerroksista.



**Kuva 5.** a) Avoin järjestelmä, jossa kaikki päällysteen läpäissyt vesi imeytetään maahan. b) Suljettu järjestelmä, jossa kaikki päällysteen läpäissyt vesi viivytetään ja johdetaan muualle. c) Yhdistetty järjestelmä, jossa osa vedestä imeytetään maahan ja osa viivytetään ja johdetaan muualle.

Vettä läpäisevät päällysteet voidaan pintamateriaalista riippuen luokitella huokoiksi tai läpäiseviksi ja ne voivat olla joko monoliittisiä (yhtä kappaletta olevia) tai modulaarisia (toisiinsa liitettävistä kappaleista koostuvia). Huokoisen pintamateriaalin tapauksessa vesi läpäisee koko pinta-alan; läpäisevät päällysteet voivat koostua myös vettä läpäisemättömistä kivistä tai laatoista, joiden välissä on kiviainesta, joka päästää veden lävitseen. Pintakerroksen alapuolella ovat rakennekerrokset (kantava kerros ja jakava kerros). ”Vettä viivyttävä kerros” (kuva 6) on se laskennallinen osa kiviaineskerroksista, jonka huokostilan mitoitussadetta vastaava vesimäärä hetkellisesti täyttää, ennen kuin vesi imeytyy alapuoliseen maaperään ja/tai poistuu rakenteesta salaojaputkia pitkin.



**Kuva 6.** Rakennekerrokset (1) ja (2) ja ”vettä viivyttävä kerros” (3). Viivyttävä kerros voi olla esim. jakavan kerroksen alaosa tai jakavan kerroksen alapuolinen pengertäyttö (jota ei ole esitetty kuvassa).

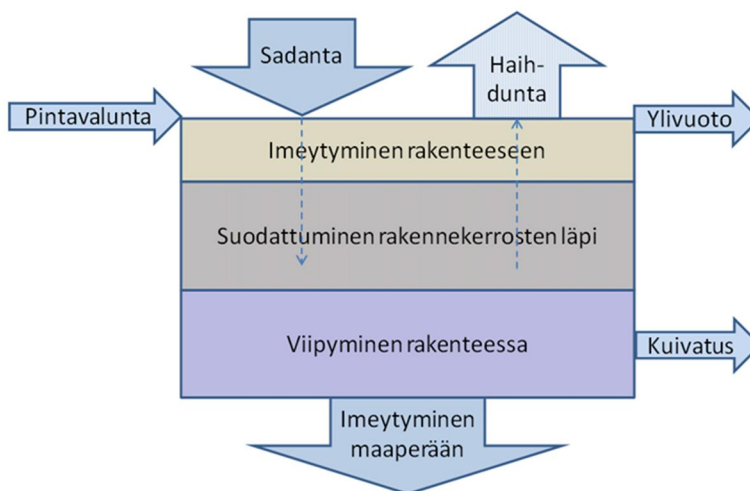
### 2.3 Suunnittelun lähtökohdat

Läpäisevät päällysteet tulisi suunnitella ja mitoittaa sellaisiksi, että ne kestävät haluttua käyttöä toteuttaen samalla hulevesien hallintaan liittyvät tavoitteet. Näitä tavoitteita ovat riittävä vedenläpäisevyys ja viivytyksen kapasiteetti sekä joissakin tapauksissa myös puhdistuskyky rakenteesta ja tavoitteista riippuen. Ylimääräisen veden poisjohtamisesta on huolehdittava, ettei vesi seiso rakenteessa tai sen päällä. Paikallinen sadanta määrittää pitkälle virtaamat ja vesimäärät, jolle rakenne mitoitetetaan. Pohjoisissa olosuhteissa suunnittelussa huomioidaan lisäksi erityisesti ilmastolliset olosuhteet, kuten jäätymis-sulamiskaudet sekä routiminen.

Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi rakenteelta voidaan odottaa muitakin ominaisuuksia. Tierakenteiden kohdalla näitä ovat esimerkiksi liikenneturvallisuus ja käyttömukavuus. Rakennetta ja sen osia on voitava ylläpitää, korjata tai tarvittaessa asentaa uudelleen esimerkiksi katukunnostustöiden yhteydessä. Myös rakenteen sisällä olevat mahdolliset putkistojen, kaivojen ja vastaavien osien on säilyttävä kunnossa, oltava ylläpidettävissä tai vaihdettavissa käyttöiän aikana. Lämpäisevien päällysteiden tapauksessa rakenteeseen voidaan liittää melua vaimentavia odotuksia.

## 2.4 Mitoituksen yleisperiaatteet ja kriteerit

Hulevesien käyttäytymistä ohjaava hydrologinen mitoittaminen on ensisijaisen tärkeää läpäiseviä päällysteitä ja muita imeytys- ja viivytyrakenteita suunniteltaessa. Suunnittelussa ja mitoituksessa huomioitavat hydrologiset prosessit on esitetty kuvassa 7. Hulevesien hallinnassa voidaan tavoitella laadullista, määrällistä ja/tai tulvariskien hallintaa. Sen lisäksi on huomioitava kantavuuteen ja kuormitukseen sekä routivuuteen liittyvät mitoitukset. Päällysteelle saattaa olla oma erillinen mitoituksensa materiaalista riippuen.



**Kuva 7.** Suunnittelussa ja mitoituksessa huomioitavat hydrologiset prosessit.

Mitoituskriteerinä läpäisevälle päällysteelle, imeytys- tai viivytyrakenteelle on riittävä vedenläpäisevyys, viivytytkapasiteetti, vedenjohtamiskyky tai puhdistuskapasiteetti paikallisten olosuhteiden ja mitoitusateen mukaisesti rakenteesta riippuen. Läpäisevällä tierakenteella kriteerinä on lisäksi päällysteen säilyminen käytökelpoisena. Kantokyvyn on oltava tavoitekantavuuden mukainen, eivätkä painumat saa ylittää sallittua määrää. Pohjoisissa olosuhteissa rakenteen routivuudelle

on asetettu vaatimukset, jotka sisältävät sallitut routanousut. Rakenteen tulee kestää aikaa ja erilaisia sääoloja sekä liikenteen rasitusta tiettyyn rajaan asti. Melunvaimennuskapasiteetille voidaan asettaa myös omat kriteerinsä. Kriteerien täyttymistä voidaan seurata rakenteen säännöllisellä monitoroinnilla.

Edellä mainitut mitoituksen osa-alueet ja mitoituskriteerit on esitelty tarkemmin seuraavissa oppaissa ja ohjeissa:

- Hulevesiopas (Kuntaliitto 2012)
- Tierakenteen suunnittelu (Tiehallinto 2004)
- Katu 2002 (Suomen kuntatekniikan yhdistys 2003)
- InfraRYL 2010 (Rakennustieto 2010)
- Materiaalikohtaiset oppaat, esim. Asfalttinormit (PANK 2011)

Mitoituksen yhteydessä käytettäviä parametreja ja huomioitavia seikkoja ovat esimerkiksi seuraavat:

- Mitoitussade, muut alueelle kerääntyvät pintaa pitkin valuvat hulevedet
- Hulevesien käsittely: imeytys, viivytys, varastointi, johtaminen muualle
- Vesien mahdolliset puhdistamistarpeet
- Mitoitettavan rakenteen liittyminen ympäröiviin rakenteisiin
- Alapuolinen maaperä: luokittelu, kantavuus, routivuus, vedenläpäisevyys
- Katuluokka ja kuormitus, tavoitekantavuus
- Lämmönjohtavuus ja routiminen
- Rakentamisvaihe, käyttövaihe, ylläpitotoimenpiteet ja monitorointi

## 2.5 Materiaalien ja rakenteiden valinta

Läpäisevän päällystemateriaalin ja tien muiden rakenteiden valintaan vaikuttaa edeltävissä kappaleissa mainittujen seikkojen lisäksi esimerkiksi kestävyys, esteettisyys ja esteettömyys. Myös huollettavuus, kunnossapidettävyyden, käytettävyyden ja esimerkiksi kustannukset vaikuttavat valintaan. Päällysteen valinta on riippuvainen käyttökohteesta ja esimerkiksi myös alueen laajemmasta suunnitelmasta, kuten asemakaavasta. Kussakin kohteessa tulee punnita parhaat kulloinkin käytettävissä olevat vaihtoehdot mahdollisimman käyttökelpoisen läpäisevän rakennekokonaisuuden saavuttamiseksi.

Eri läpäisevien päällysteiden käyttöä voivat rajoittaa esimerkiksi kulutuskestävyys, suolojenkestävyys, esteettömyysvaatimukset ja esteettisyysvaatimukset. Kiveyksen käyttö voi olla esimerkiksi rajoitettua kohteissa, joissa liikutaan pyörätuolilla. Läpäisevän betonin käyttöä voi rajoittaa vastaavasti suolauksen käyttö talviaikana. Läpäisevät päällysteet soveltuvat hyvin huonosti kohteisiin, jossa liikennöinnin määrä ja kulutus on suuri ja/tai pinnan tukkeutumisen vaara on ilmeinen. Laadullinen hulevesien hallinta voi tulla kysymykseen, mikäli kohteessa muodostuvissa hulevesissä on haitallisia aineita tai alueen ympäristö on erityisen herkkä.



## 2.6 Suunnittelun vaiheet

Suunnittelun vaiheisiin kuuluvat edellä mainittujen parametrien kartoittamiseksi ja valintojen perustelemiseksi kohdealueen maaperätutkimukset sekä sadannan ja huleveden määrän ja poisjohtamisen ja/tai puhdistustarpeiden kartoitus. Tarvittaessa voidaan tehdä valuma-alueitasoinen mallinnus hydrologisen kokonaisuuden hahmottamiseksi. Kaavassa esitetyt mahdolliset vaatimukset ja ohjeistukset otetaan huomioon, samoin kuin kuntien mahdolliset hulevesiin liittyvät erilliset vaatimukset. Kohteessa käytettävät tarkemmat päällystemateriaalit ja rakenteet valitaan. Rakenteen kantavuus ja routivuus mitoitetaan. Kohteeseen liittyvät muut rakenteet suunnitellaan.

Rakentamisen ja ylläpitotoimenpiteiden suunnittelu on olennainen osa läpäisevän rakenteen suunnittelua, jotta voidaan taata rakenteelle mahdollisimman pitkä käyttöikä. Mahdollinen monitorointi ja muu toiminnallisten kriteerien täyttymisen seuranta tukevat ylläpitotoimenpiteiden ajan tasalla pitämistä; monitorointivälineistö asennetaan usein jo rakentamisvaiheessa, joten seurannan tarve on tarpeen kartoittaa jo rakenteen suunnitteluvaiheessa.

Olosuhteet vaikuttavat suuresti läpäisevän päällysteen ja viivytys-/imeytysrakenteen valintaan, ja rakenne mitoitetaan paikallisten vaatimusten mukaisesti. Suomen olosuhteissa mitoitusvaatimukset poikkeavat ulkomaisista ohjeista esimerkiksi sulamis-jäätymiskestävyuden ja sääolosuhteiden suhteen. Ulkomaisia ohjeita tulee siis käyttää harkiten. Tukkeutumisen kontrollointi tapahtuu päällysteen tyhjätilan mitoittamisella ja huolellisella ylläpidolla.

## 3. Materiaalit

### 3.1 Pintamateriaalit

Läpäisevien päällysteiden yleisimpiä pintoja tai pintamateriaaleja ovat:

- päällystekivistä tai -laatoista (betoni/luonnonkivi) tehdyt pinnat, joiden saumat ja/tai aukkokohdat sekä niiden täyttömateriaali kuten myös tasauskerroksen materiaali mahdollistavat veden pääsyn alapuolisiin rakennekerroksiin
- avoin asfaltti (AA) ja
- läpäisevä betoni (LB).

Päällystekivet tai -laatat voivat myös olla itsessään vettä läpäiseviä, jolloin saumamateriaalin ei tarvitse läpäistä vettä.

On myös vettä läpäiseviä erikoismateriaaleja, joita voidaan käyttää joko mono-liittisinä kohteessa valettavina tuotteina, päällystekivien tai -laattojen materiaalina tai saumamateriaaleina. Myös erilaiset muovi- ja muut kennostot, jotka täytetään esimerkiksi vettä läpäisevällä kiviaineksella, voivat toimia vettä läpäisevien päällysteiden pintamateriaaleina ja pintoina. Oman ryhmänsä muodostavat nk. nurmikivet ja muut vastaavat viherratkaisut. On aina tapauskohtaista, miten erilaiset pintamateriaalit, tuotteet ja pinnat soveltuvat erityisesti liikennöidyille alueille. (Kuosa et al. 2013a, Korkealaakso et al. 2013.)

Suomessa läpäisevien päällysteiden pintamateriaaleille tai -tuotteille ei ole kailta osin olemassa vakiintuneita laadunvalvontamenetelmiä ja vaatimustenmukaisuuden hyväksyntämenettelyjä. Tilaajan (rakennuttajan) ja materiaalia tai tuotetta edustavan tahon onkin syytä sopia ennakkoon hyväksyntämenettelyt sekä käytettävät ennakkokokeet, laadunvalvontamenetelmät sekä niiden arviointikriteerit. Koska läpäisevän pinnoituksen ominaisuuksiin vaikuttaa aina myös rakennustyön suoritus, tulee sen osuus ottaa huomioon.

Liitteessä A on esitetty vettä läpäisevän pintakerroksen materiaalien toiminnan kannalta oleellisia arvoja kuten vedenläpäisevyyden arvoja. Nämä arvot ovat kunkin materiaalin tyypillisiä arvoja (tyypillinen vaihtelualue). Tietyn yksittäisen materiaalin tai tuotteen osalta ei ole mahdollista antaa tarkkaa arvoa ilman ennakkotestausta. Myös pintakerroksen alla mahdollisesti käytettävä geotekstiili voi vaikuttaa vedenläpäisevyyteen nimenomaan silloin, kun siihen kertyy ajan kuluessa hieno-

ainesta. (ks. kohta 3.3 Täydentävät tuotteet). Joka tapauksessa suunnittelussa tulee käyttää materiaaliominaisuuksien kuten vedenläpäisevyyden osalta tiettyä varmuuskerrointa. Pintakerroksen tyhjätilalla tai avoimella huokoisuudella on merkitystä nimenomaan vedenläpäisevyyden kannalta. Pintakerrosta ei sisällytetä mitoitettavaan veden viivytykskapasiteettiin.

Vedenläpäisevyyden osalta liitteessä A on annettu likimääräisiä arvioita siitä, miten paljon tukkeutuminen pienentää läpäisevyyttä ajan kuluessa joko hyväksyttävän kunnossapidon alaisena (ks. kohta 6 Kunnossapito) tai ilman sitä. Esimerkiksi englantilaisessa ohjeessa (BS 7533-13: 2009) vedenläpäisevyyden suunnitteluarvoksi suositellaan arvoa, joka on 10 % alkuperäisestä arvosta. Tämän katsotaan takaavan normaalisti 20 vuoden käyttöiän vedenläpäisevyyden osalta.

Liitteessä A on esitetty myös pintakerroksen materiaalien muita tyypillisiä teknisiä ominaisuuksia (kiviainesten ohjeelliset rakeisuudet, pintamateriaalin (AA, LB) tyypillinen huokoisuus, ym.). Myös muut ominaisuudet ja arvot voivat tulla kysymykseen, kunhan niitä vastaavat toiminnalliset ominaisuudet tunnetaan ja niitä sovelletaan kyseisen läpäisevän rakenteen suunnittelussa ja mitoituksessa. Tyypillisistä arvoista poikkeavat arvot voivat tulla kysymykseen esimerkiksi silloin, kun käytetään kierrätysmateriaaleja, erilaisia vihreitä tai muita suhteellisen hitaasti vettä läpäiseviä pintoja tai erikoistuotteita. Näitä käytettäessä kelpoisuuden arvioinnin tulee perustua niitä koskeviin standardeihin, ohjeisiin tai niistä saatavaan luotettavaan tietoon sekä läpäisevän rakenteen toimintaan eli suunnittelussa asetettuihin toiminnallisiin vaatimuksiin (esim. hydrologinen toiminta, kantavuus). (Kuosa et al. 2013a.)

Jos vettä läpäisevän pinnoitteen tiettyä ominaisuutta ei tunneta tai ei kyetä arvioimaan riittävän tarkasti, se on syytä määrittää kokeellisesti. Näin voikin olla, koska suomalaisista läpäisevistä päällysteistä ja niiden materiaaleista ei ole vielä kertynyt laajaa tietämystä. Toisena vaihtoehtona on käyttää mitoituksessa riittävän suurta varmuuskerrointa.

Liitteessä A on esitetty ohjeellisena nykytietämykseen perustuvia menettelyjä ja menetelmiä, joita voidaan käyttää tai soveltaa pintakerroksen materiaalien ja -tuotteiden tuotehyväksynnässä. Tilaajan tulee yhdessä materiaali- tai tuotetoimittajan sekä asennus- tai valutyön tekijän kanssa sopia ennakkokokeista ja laadunvalvonnasta työn aikana sekä asettaa niitä koskevat hyväksyntäkriteerit, jos niitä ei ole soveltuviissa voimassa olevissa standardeissa tai ohjeissa jo määriteltä.

Vettä läpäisevän päällysteen pintakerroksen valinta perustuu aina myös esteettisiin tekijöihin ja suunnittelijalla on runsaasti mahdollisia vaihtoehtoja valittavanaan.

Kuvassa 8 on esitetty joitakin esimerkkejä laboratoriokokeiden pinnoista, joissa saumamateriaalina on vettä läpäisevä materiaali. Kuvassa 9 on laboratoriotestaustauksiin valmistettuja läpäisevän betonin ja avoimen asfaltin laattoja ja koe-kappaleita. Kuvassa 10 on esimerkkejä tuotteista, joita voidaan käyttää vettä läpäisevien päällysteiden pintamateriaaleina.



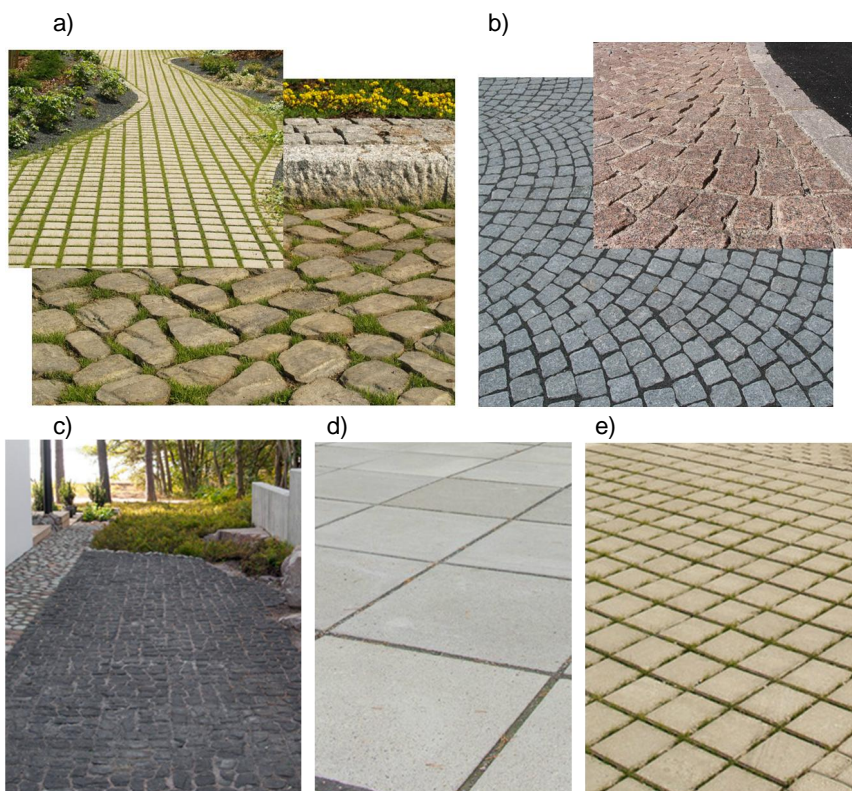
a)

b)

**Kuva 8.** Vettä läpäiseviä betoni- ja luonnonkivipintoja: a) Saumamateriaalina vettä läpäisevä kiviaines (VTT laboratorio); b) Sidottu saumamateriaali betoni- ja nopakivien saumamateriaalina (VTT laboratorio).



**Kuva 9.** Läpäisevä betoni (VTT laboratorio) ja avoin asfaltti (Lemminkäinen Oy).



**Kuva 10.** Tuotteita (Rudus Oy), joita voidaan käyttää vettä läpäisevien päällysteiden pintamateriaaleina: a) Golf-kivi ja Louhi-kivi; b) Noppakivet (graniitti); c) Louhi-kivi; d) Betonilaatat isolla saumalla asennettuna; e) Golf-kivi.

### 3.2 Rakennekerrosten kantavat materiaalit

Läpäisevän päällysteen oleellinen osa on pintakerroksen alapuolinen osa eli rakennekerrokset (kantava kerros ja jakava kerros). Käytettävien materiaalien, kuten kiviainesten, valinnassa joudutaan hakemaan tasapaino vedenläpäisevyyden sekä erityisesti veden viivytyksen kapasiteetin ja kantavuuden välillä.

Rakennekerrosten tyhjätilan tulee olla kaikkiaan riittävä, jotta voidaan viivyttää riittävä määrä vettä valituilla kerrospaksuuksilla. Suuri tyhjätila, tyypillisesti 30–40 %, voidaan saavuttaa siten, että rakeisuuskäyrä on riittävän jyrkkä eli hienoimmat ainekset puuttuvat. Tyhjätilan suuruus määräytyy kaikkiaan kiviaineksen rakeisuuden, raemuotojen ja tiivistyksen kautta. Rakennekerrosten yleinen materiaali on karkearakeinen kalliomurske. Sen vedenläpäisevyys on aina niin suuri, että se ei muodostu rajoittavaksi tekijäksi.

Rakennekerrosten toinen oleellinen ominaisuus on kantavuus. Murskeelle tyypillisellä raemuodolla on oleellinen merkitys kantavuuden ja sisäisen kitkan kannalta. Koska hienoimpia kiviaineksia ei ole, vettä läpäisevän rakenteen kantavuus muodostuu kulmikkaiden ja karkeapintaisten kiviainesrakeiden lomittumisen ja rakeiden välisten kontaktien kautta. Murskeen hienoainesmäärän tulisi lisäksi olla mahdollisimman pieni. Hienoaines voi erityisesti märkänä vähentää rakeiden välistä kitkaa, ja lisäksi se siirtyy rakenteen läpi virtaavan veden mukana sen pohjalle ja voi pienentää veden imeytymisnopeutta maaperään tai tukkia mahdollisen geotekstiiliä tai salaojaputkia. (Kuosa et al. 2013a, Kuosa ym. 2014a.)

Liitteessä B on esitetty tyypillisiä läpäisevien päällysteiden rakennekerrosten kiviainesten ohjeellisia rakeisuuksia ja muita vaatimuksia. Koska kiviainekset ovat kosketuksessa veden kanssa, niiden tulee kestää kuivumista ja kastumista sekä jäädytys-sulatusta. Lisäksi niiden tulee pysyä murskaantumattomina sekä rakentamisen että käytön aikana.

Suomessa ei vielä ole käytännön kokemusta suomalaisista materiaaleista ja siitä, minkälainen kiviaines toimii läpäisevässä rakenteessa kaikilta osin optimaalisesti. Lisäksi eri maissa on kiviainesvalintaan hieman erilaisia ohjeistuksia. Kiviainesvalintaan ei voidakaan antaa ehdottomia vaatimuksia. Myös paikallinen kiviainesten tai muiden materiaalien saatavuus joudutaan ottamaan huomioon. Mitoitus (ks. kohta 4: kantavuus, hydrologinen toiminta, tukkeutuminen) tulee tehdä ottaen huomioon käytettävissä olevien materiaalien ominaisuudet siten, että läpäisevän rakenteen toiminta vastaa kaikilta osin asetettuja vaatimuksia. Mitoituksessa tulee ottaa huomioon myös se, toimiiko kyseessä oleva kiviaineskerros tai osa siitä vettä viivyttävänä, jolloin sen koko huokostilavuus voi olla ajoittain vedellä täyttyneenä. Tällöin kiviaineskerroksen kantavuus on tavallista pienempi. Hydrologinen mitoitus voidaan myös tehdä siten, että kantavan kerroksen vesipitoisuus pysyy rajoitettuna. (Korkealaakso et al. 2013.)

Rakennekerrosten materiaalit voivat olla myös muita kuin karkearakeisia murskeita. Näitä sitomattomia tai sidottuja materiaaleja ovat esimerkiksi vettä läpäisevä betoni tai sementillä sidottu kiviaines, kevytsora rakeisena tuotteena tai sidottuna tuotteena sekä kierrätysmateriaalit, kuten murskattu kierrätysbetoni tai erilaiset teollisuuden kierrätysmurskeet. Näiden materiaalien ominaisuudet tulee tuntee siten, että läpäisevä rakenne voidaan mitoittaa niitä käyttäen. Liitteessä B on esitetty esimerkkejä tällaisista materiaaleista ja niiden tyypillisistä ominaisuuksista. Materiaalivalinnoissa voidaan ottaa huomioon myös mahdolliset positiiviset vaikutukset vesilaatuun sekä kierrätyksen kautta tulevat ekologiset hyödyt. Toisaalta tulee aina varmistua myös siitä, että materiaaleista ei aiheudu ympäristöhaittoja (haitallisten aineiden liukeneminen). (Kuosa et al. 2013a, Kuosa ym. 2014a.)

### **3.3 Täydentävät tuotteet**

Sekä toiminnallisena osana läpäiseviä päällysteitä että niihin liittyvissä hulevesi-ratkaisuissa voidaan käyttää lukuisia täydentäviä tuotteita. Näitä ovat geosynteesit tuotteet (kuten erityisesti geotekstiilit ja -eristeet) sekä salaojituksessa ja

veden siirtämisessä käytettävät tuotteet. Lisäksi läpäisevää päällystettä voidaan täydentää veden viivyttämiseksi käytettävillä imeytys- ja viivytyssäiliöillä sekä vastaavan toiminnan kasetti-, tunneli- ym. järjestelmillä. Viitteessä Kuosa et al. (2013b) on esitetty hieman lisätietoa näistä tuotteista ja niille asetettavista vaatimuksista.

### **3.3.1 Geotekstiilit**

Läpäisevissä rakenteissa käytettävien geotekstiilien (neulattu, termisesti sidottu tai kudottu kangas) tulee täyttää niille Suomessa tienrakentamisessa asetettavat vaatimukset (Kuosa et al. 2013b, SFS-EN 13249: 2001). Liitteessä C on esitetty ohjeellisia vaatimuksia vettä läpäisevien päällysteiden geoteksteille.

Geotekstiiliä on mahdollista käyttää läpäisevän päällysteen pintakerroksen alla erottamaan se alapuolisesta rakennekerroksesta, kevennyskerroksen päällä tai erottamaan rakennekerrokset maapohjasta. Kaikissa tapauksissa geotekstiilin tulee päästää vesi suotautumaan vapaasti sen läpi. Geotekstiiliä voidaan käyttää erottavana myös läpäisevän päällysterakenteen pystysivuilla estämään maaineksen tunkeutuminen kantavan tai jakavan kerroksen kiviainesrakeiden väleihin.

Koska rakenteen pinnalta sen läpi kulkeutuva tukkiva aines ja liiallisesti hienoainesta sisältävistä kiviaineksista irtoava aines voivat kulkeutua huleveden mukana geotekstiilin pinnalle, aiheutuu tästä geotekstiilin tukkeutumisen vaara. Myös alapuolisesta maaperästä suotautuva aines voi tukkia rakenteen alla olevaa geotekstiiliä. Jos geotekstiilin merkittävän tukkeutumisen mahdollisuus on olemassa, sen käyttöä on syytä mahdollisuuksien mukaan välttää, ellei tukkeutumisen vaikutusta oteta hydrologisessa mitoituksessa huomioon. Jos käytettävän geotekstiilin huokoisuus on tukkeutumisen kannalta riittävä tai muutoin optimaalinen, voi tukkeutuminen olla vähäisempää ja vedenläpäisevyys voi pysyä hyvällä tasolla. On myös olemassa erityismenetelmiä, joilla tukkeutumista voidaan mitata, mutta nämä menetelmät ovat suhteellisen vaativia ja yleensä ne antavat tiedon vain tutkitavan tukkivan aineksen suhteen. (Kuosa et al. 2013b.)

Geotekstiili voidaan myös tarkoituksella suunnitella rakenteen yläosassa tukkivaa materiaalia kerääväksi. Tällöin geotekstiili ja sen yläpuolinen pintakerros voidaan ajoittain uusia ja näin rakenteen hydrologinen toiminta voidaan palauttaa. Geotekstiili voidaan myös suunnitella hulevettä puhdistavaksi kerrokseksi (Loimula & Kuosa 2013).

Kaikkiaan geotekstiilin käytön suositeltavuus vettä läpäisevissä päällysteissä on tapauskohtaista. Ehdottoman ohjeistuksen antaminen ei ole mahdollista. (Kuosa et al. 2013a, Kuosa et al. 2013b, Kuosa ym. 2014a, Loimula & Kuosa 2013.)

### **3.3.2 Georisteet**

Georisteitä käytetään suljetuissa systeemeissä, joissa läpäisevän päällysteen läpi virtaava vesi johdetaan rakenteen alta toisaalle. Niitä voidaan käyttää myös osana huleveden varastointi- ja uudelleenkäyttöjärjestelmissä.

Läpäisevissä päällysteissä käytettävien geeristeiden tulee täyttää niille asetetut toiminnalliset vaatimukset liikenneinfrastruktuurin rakentamisessa (Kuosa et al. 2013b, SFS-EN 15382). Liitteessä C ja viitteessä Kuosa et al. (2013b) on esitetty lisätietoa vettä läpäisevien rakenteiden geeristeille asetettavista vaatimuksista ja testauksesta.

### **3.3.3 Salaojaputket, putket, imeytys- ja viivytyssäiliöt, kasetti-, tunneli-ym. järjestelmät, varastoaltaat**

Läpäisevissä päällysteissä, joista hulevesi tai osa siitä johdetaan pois, käytetään salaojaputkia ja vettä toisaalle johtavia putkituksia.

Huleveden viivytyks- ja varastointikapasiteettia voidaan kasvattaa oleellisesti yhdistämällä läpäisevään päällysteeseen täydentäviä tuotteita kuten kasetti- tai tunnelijärjestelmiä ja erilaisia säiliöitä (kuva 11). Näitä voidaan käyttää veden varastointiin tai esimerkiksi huonosti vettä läpäisevillä alueella veden viivytykseen. Ne soveltuvatkin hyvin erityisesti tiiviisti asutuilla alueilla käytettäviksi. Käytettävien tuotteiden varastointikapasiteetti on yleensä yli 95 % kokonaistilavuudesta. Niiden tekniset ominaisuudet (kuten lujuus vaaka- ja pystysuorassa kuormituksessa, taiputusvetolujuus ja taipuminen kuormituksessa ja liitoskohtien lujuus [taivutus/veto]) tulee tuntea ja niitä käytettäessä tulee noudattaa valmistajien ohjeistusta. (Kuosa et al. 2013a, BS 7533-13: 2009.)

Säiliöiden materiaali on yleensä muovi tai betoni. Kasetti- ja tunnelijärjestelmät ovat tyypillisesti muovivia ja ne ympäröidään tapauksen mukaan joko vettä läpäisevällä geotekstiilillä tai läpäisemättömällä geeristeellä, kuten HPDE tai LLPDE kalvolla. Yhden kasetin paino voi olla 8–20 kg ja koko 190–430 litraa, josta tehollinen varastointikapasiteetti on 95–97 %. Tunnelirakenteiden painot ovat 16–55 kg ja tehollinen varastointikapasiteetti on 0,88–5,06 m<sup>3</sup>/yksikkö.

Vettä voidaan myös johtaa ja kerätä erillisiin suuren varastointikapasiteetin yksikköihin, kuten betonialtaisiin, toisiinsa liitettyihin suuren läpimitan putkiin tai geeristeellä ympäröityihin laajoihin kasetti- tai tunnelijärjestelmiin.

Säiliöitä ja kasetti- ja tunnelijärjestelmiä käytettäessä tulee toimia tarkoin niiden valmistajilta saatavan mitoitus-, asennus- ja käyttöohjeistuksen mukaisesti, jotta niiden suunniteltu toiminta voidaan taata. Jos täydentävän ratkaisun ja tuotteen kanssa käytetään geotekstiilejä tai -eristeitä, myös niiden valinta sekä käyttö tulee tehdä ohjeistuksen mukaisesti.

Myös kokonaisuuden suunnittelu, asennus ja myös huolto tulee tehdä ohjeistuksen mukaisesti. Näin esimerkiksi veden mukana kulkeutuvaa hienoainemäärää voidaan jo ennakkoon rajoittaa (putket, kaivot ja lietepesät/sedimentaatio-keräimet) ja lisäksi lietteen vaikutukset systeemin hydrologiseen toimintaan voidaan muutoinkin minimoida (systeemin geometria, veden imeytyksen mitoitus). Järjestelmän toiminta tulee joka tapauksessa tarkistaa ajoittain ja se tulee olla huollettavissa siitä huolimatta, että vuosittainen huolto ja puhdistus eivät välttämättä ole tarpeen, jos järjestelmä on suunniteltu oikein. (Kuosa 2013a, Kuosa 2013b, Kuosa ym. 2014a.)



a)



b)



c)



d)



**Kuva 11.** Esimerkkejä läpäiseviä päällysteitä täydentävistä ratkaisuista ja tuotteista veden varastointiin tai viivytykseen: a) Hulevesikasettisysteemi (Rai-neo®/Pipelife Oy). b) Hulevesien imeyttäminen tunnelirakenteella (Kaitos Oy). c) ja d) Hulevesin siirrossa ja viivytyksessä käytettäviä betoniputkia ja -kaivoja.

## 4. Mitoitus

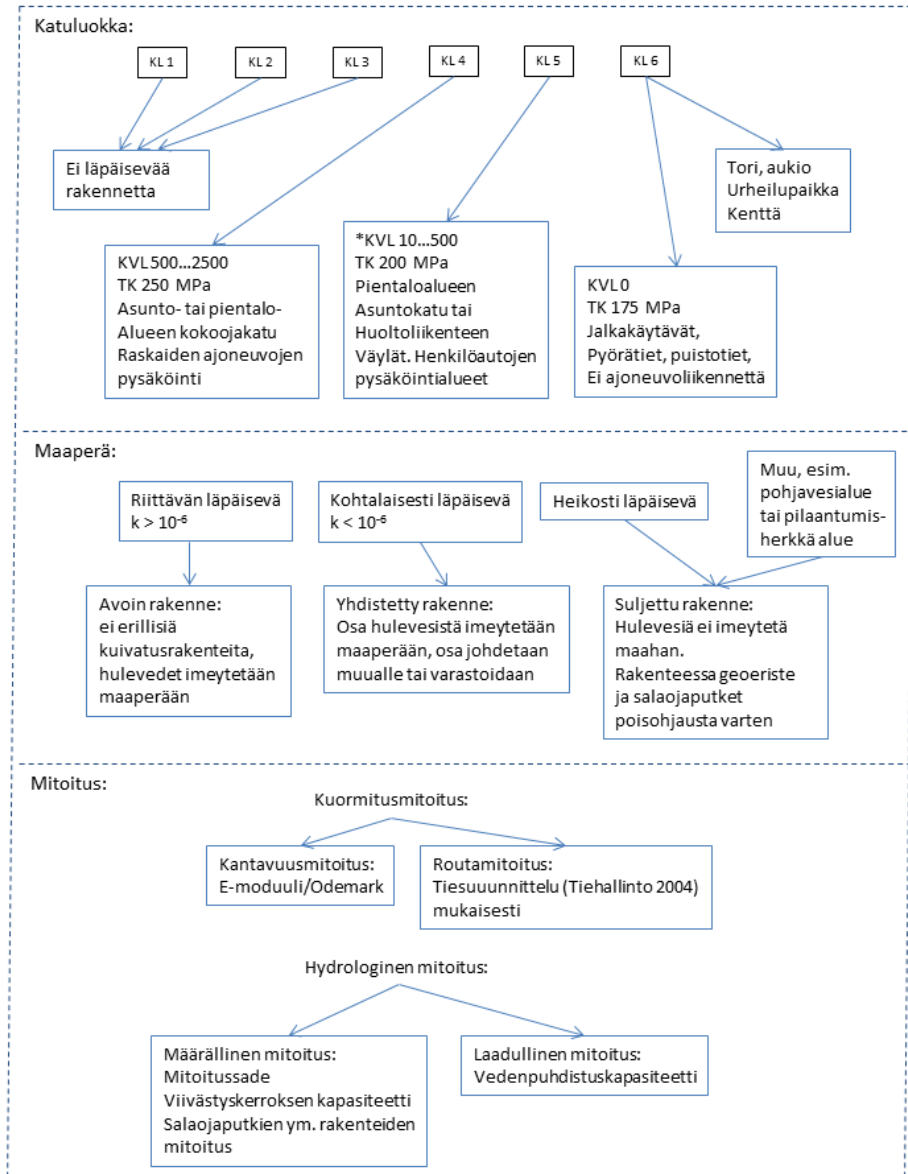
Läpäisevän päällysteratkaisun mitoitus ja suunnittelu poikkeavat tavanomaisesta. Läpäisevän päällysteen tulee täyttää sekä rakenteelliset että lisäksi hydrologisen toiminnan vaatimukset. Vaatimuksia voidaan asettaa mm. eri lujuusominaisuuksille ja jäykkyydelle, huokoisuudelle, vedenläpäisevyydelle ja -johtavuudelle.

### 4.1 Mitoituksen perusteet ja laatukriteerit

Vettä läpäisevä rakenne tulee suunnitella ja mitoittaa niin, että sitä voidaan käyttää halutussa kohteessa tietyn käyttöajan ajan niin, että se täyttää asetetut kriteerit (ks. kappale 2 Yleiset suunnitteluperiaatteet). Vettä läpäiseviä päällysteitä ja niihin liittyviä veden imeytykseen ja viivytykseen liittyviä rakenteita sisältävä tie- tai katurakenne poikkeaa tavanomaisesta rakenteesta hydrologisen toiminnan ja vaatimusten osalta. Kuvassa 12 on esitetty läpäisevän tierakenteen suunnittelussa ja mitoituksessa huomioitavia keskeisiä asioita päällystemateriaalista riippumatta.

Tavanomaisen katurakenteen mitoittaminen Suomessa perustuu pääasiassa kantavuuden ja kuormituksen (kuormituksen suuruus ja kuormituskertaluku) suhteeseen. Kuormitus ja rakenteen käyttötarkoitus määrittävät katuluokan, jolle on asetettu tietty tavoitekantavuus. Läpäisevän rakenteen rakennekerrosten materiaalit ja kerrospaksuudet valitaan tavoitekantavuuden mukaisesti huomioiden alla olevan pohjamaan kantavuus ja mahdolliset pohjanvahvistukset. Rakenteen alla olevan pohjamaan ominaisuudet eli vedenläpäisevyys ja mahdollinen pilaantumisherkkyyden määrittävät edellä mainittujen lisäksi veden imeyttämisen ja/tai poisjohdamisen tarpeen.

Rakenteen tulee kestää deformaatiota eli vastustaa liiallisia painumia ja routanousuja. Pohjamaan routivuus ja läpäisevien päällysteiden tapauksessa myös kosteusolosuhteet vaikuttavat kantavuuteen useimmiten heikentävästi. Läpäisevässä päällysteessä voidaan olettaa, että rakennekerrokset ovat routimattomia, jolloin routamitoituksessa on kyse rakennekerrosten lämmönjohtavuudesta, pak-suudesta ja pohjamaan routivuudesta.



\*KVL=keskivuorokausiliikenne, TK=tavoitekantavuus

**Kuva 12.** Läpäisevän rakenteen mitoitusta ohjaava kaavio.

Läpäisevä päällyste itsessään ei käytännössä saa olla routiva. Kostean materiaalin kimmomoduulin (E-moduuli) on tutkimuksissa (mm. Saarenketo et al. 2001) havaittu olevan kuivaa materiaalia heikompi, joten kantavuus saattaa heiketä pahimmillaan jopa 50 %, mikäli materiaalissa on runsaasti hienoaainesta mukana.

Lisäksi läpäisevältä rakenteelta voidaan edellyttää vettä poisjohtavia rakenteita, riittävää viivytyserroksen paksuutta ja/tai vesilaatua puhdistavaa puskurointikapasiteettia riippuen siitä, onko rakenteen mitoitustavoitteena hulevesien määrällinen tai laadullinen hallinta (hydrologinen mitoitus). Rakenteelle on voitu asettaa myös melua vaimentavia odotuksia. Nämä seikat edellyttävät huolellista perehtymistä alueelliseen hydrologiaan ja rakennekerrosten materiaali- ja toimivuusominaisuuksiin sekä kokonaisvaltaista mitoitustarkastelua taloudellisen, kestävän ja pitkäikäisen tierakenteen saavuttamiseksi.

Tierakentamiseen liittyvät laatuksiteerit on esitetty esimerkiksi seuraavissa suunnittelu- ja mitoituskäsikirjoissa: Katu 2002, Tierakenteen suunnittelu ja InfraRYL 2010. Laatuksiteerejä ovat esimerkiksi:

- Tavoitekantavuus
- Sallitut painumat, sallitut kaltevuuden muutokset
- Routimattomuus, sallittu routanousu, sulamispehmeneminen
- Vedenläpäisy-/viivyty-/johtamiskyky mitoitussateen mukaisesti
- Käyttömukavuus
- Käyttöikä, liikennesäätö
- Puskurointikapasiteetti, melunvaimennus (tarvittaessa)
- Ylläpitotoimenpiteet oltava mahdolliset suorittaa
- Kriteerien täyttymisen seuranta, monitorointi

## **4.2 Läpäisevän tie-/katurakenteen pintakerroksen mitoitus**

Päällysmateriaalit ovat usein kaupallisia tuotteita, joihin on olemassa vakioitu resepti ja mahdollisesti myös mitoitusohje. Yksinkertaisia esimerkiksi kuormituksen, pohjamaan laatuun tai sademäärään perustuvia ohjeita pinnan kerrospaksuuksille on saatavilla kirjallisuudesta, mutta niissä tulee huomioida soveltuvuus suomalaisiin olosuhteisiin ja käyttökohteeseen. Taulukossa 1 on lueteltu huomioitavia asioita.

**Taulukko 1.** Pintakerroksen mitoituksessa huomioitavia asioita.

<b>Materiaali</b>	<b>Mitoituksessa huomioitavia asioita</b>
Avoin asfaltti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerrospaksuudet kuormituksen mukaisesti, kaksikerrosasfaltit</li> <li>• Kiviaineksen suhteistus</li> <li>• Bitumireseptin valinta</li> <li>• Kulutuskestävyys, jäätymis-sulamiskestävyys, tyhjättila ja vedenläpäisevyys</li> <li>• Asfalttinormit (PANK 2011)</li> <li>• InfraRYL 2010: 21410 Asfalttipäällysteet</li> </ul>
Läpäisevä betoni	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerrospaksuudet kuormituksen mukaisesti</li> <li>• Reseptin valinta, kulutuskestävyys, jäätymis-sulamiskestävyys, tyhjättila ja vedenläpäisevyys</li> <li>• InfraRYL 2010: 21430 Betoniset pintarakenteet</li> </ul>
Läpäisevät kiveykset	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kiveyksen valinta: betonikivet, luonnonkivet, keskenään lukittuvat kivet</li> <li>• Sauman leveys tai aukkomäärä</li> <li>• Saumahiekan valinta: raekoko, vedenläpäisevyys</li> <li>• InfraRYL 2010: 21430 Betoniset pintarakenteet, 21440 Luonnonkiviset pintarakenteet</li> </ul>

### 4.3 Rakenteellinen mitoitus

Läpäisevät päällysteet ovat pääasiassa heikosti kulutusta ja kuormitusta kestäviä. Taulukossa 2 on esitetty katuluokitus (InfraRYL, Katu 2002). Läpäiseviä päällysteitä suositellaan käytettäväksi kohteissa, joiden katuluokka on 5 (pientaloalueen asuntokatu, huoltoliikenteen väylät, henkilöautojen pysäköintialueet) tai 6 (jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet: ei ajoneuvoliikennettä). Läpäisevät päällysteet soveltuvat myös aukioille, toreille, peli- ja leikkikentille, liikenteenjakajille ja vastaaville raskaasti liikennöimättömille alueille. Joissain tapauksissa myös katuluokan 4 kohteet (lähinnä asuntokatu tai pientaloalueen kokoojakatu) voivat tulla kysymykseen. Katuluokituksen ja kohteessa vaikuttavan kuormituksen kautta määritellään tavoitekantavuus. Tämä on määräävä mitoitusmenetelmä routimattomilla mailla. Myös painumat ja muut stabiiliteettiin vaikuttavat kysymykset tulee huomioida. (Katu 2002.)

Rakenteen osakerrosten ja koko rakenteen kantavuudet ja kerrospaksuudet voidaan laskea tavanomaisilla menetelmillä käsin taulukoiden mukaisesti (ks. esim. Katu 2002, liite 8), laskentakaavojen avulla (ks. esim. Odemarkin yhtälö; Tiehallinto 2004, Katu 2002) tai erilaisilla tietokoneavusteisilla mallinnusohjelmilla. Tavoitekantavuus tulee saavuttaa tietyillä rakennepakkuuksilla kerroksen materiaalin ominaisuudet ja pohjamaan kantavuus huomioon ottaen.

**Taulukko 2.** Katuluokitus (InfraRYL, Katu 2002).

Katu- luokka	Kuvaus	Liikennemäärä [ajoneuvoa/vrk]	Tavoite- kantavuus [MPa]
1	Erittäin raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu (ajokaistoja 2+2)	>30 000	550
2	Raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu (ajokaistoja 2+2)	10...30 000	420
3	Pääkatu, kokooja- tai vilkasliikenteinen kerrostaloalueen asuntokatu (ajokaistoja 1+1)	2500...10 000	350
4	Asuntokatu tai pientaloalueen kokoojakatu Raskaiden ajoneuvojen pysäköintialueet	500...2500	250
5	Pientaloalueen asuntokatu tai huoltoliikenteen väylät Henkilöautojen pysäköintialueet	10...500	200
6	Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet Ei ajoneuvoliikennettä		175

Vettä läpäisevissä rakenteissa tulee kiinnittää huomioita erityisesti siihen, että rakenteen sisällä on kosteutta ja kantavan/jakavan kerroksen materiaalit altistuvat jäätymiselle ja sulamiselle. Nämä seikat vaikuttavat materiaalin kantavuuteen heikentävästi tuoden lisähaastetta kantavuusmitoitukselle. Kostean, hienoainesta sisältämättömän materiaalin E-moduuleista on heikosti tietoa saatavilla<sup>1</sup>. Toisaalta läpäisevät rakenteet eivät lähtökohtaisesti sovellu suurten kuormitusten tierakenteille, joten tavoitekantavuus voidaan saavuttaa pienemmilläkin E-moduuleilla. Rakenteen suunnittelijan on kuitenkin huolellisesti arvioitava rakenteessa vallitseva vesikylläisyysaste niin veden tarkoituksellisen viivästyttämisen tai varastoinnin yhteydessä kuin esimerkiksi tulvatilanteiden tai poistoputkirakenteiden rikkoutumisen yhteydessä.

#### 4.4 Routamitoitus

Läpäisevien päällysrakenteiden routamitoitus tehdään rakenteelle sallitun routa-  
nousun, rakennekerrosten lämpöteknisten ominaisuuksien, rakennepakisuuden,

<sup>1</sup> E-moduuli (elastisuusmoduuli) kertoo materiaalin kyvyn vastustaa kuormitusta. Eri materiaalien E-moduuleille on saatavilla runsaasti taulukkoarvoja, kuten esim. Tietoa tiensuunnitteluun nro 71D, Tierakenteen suunnittelu (Tiehallinto 2004), Katu 2002, InfraRYL 2010, mutta ne eivät useimmiten ota huomioon läpäisevässä rakenteessa vallitsevaa kosteutta tai hienoainesten puuttumista läpäisevissä rakenteissa käytettyjen murskeiden raekokojakaumassa. Yleisesti on tutkittu, että kuivan, vettä imeneen ja jäätymis-sulamissyklin läpikäyneen murskeen E-moduuli voi vaihdella huomattavasti (Saarenketo et al. 2001). Valmiiden taulukkoarvojen käyttöön tulee siis suhtautua suurella varauksella. Luotettavin E-moduularvo saadaan mahdollisesti määrittämällä se tapauskohtaisesti käytettävällä aggregaatilla eri kosteuspitoisuuksissa.

pohjamaalle määritetyn routanousukertoimen ja paikallisesti sovellettavan mitoituspakkasmäärän perusteella. Routimattoman rakenteen paksuutta voidaan vaihdella muuttamalla joko jakavan kerroksen, suodatinkerroksen tai pengertäytön paksuutta. Lisäksi tulee varmistaa, että routamitoitetun päällysrakenteen kantokyky on tavoitekantokyvyn mukainen.

Pohjamaan routanousua kuvaavana tunnuslukuna käytetään routanousukerrointa SP. Tyypillisiä eri maalajien routanousukertoimia sekä rakennekerrosten routamitoituksessa käytettävät tilastollisesti keskimäärin kerran 5, 10 ja 20 vuodessa toistuvat mitoituspakkasmäärät F5, F10 ja F20 on esitetty viitteessä RIL 261-2013.

Läpäisevien päällysrakenteiden sallittu routanousu ja mitoituspakkasmäärä valitaan päällysteen tyyppiin ja toiminnallisten/ulkonäöllisten vaatimusten perusteella taulukoista 3–5.

Läpäisevien päällysrakenteiden yhteydessä, jos käytetään salaojaputkia ja vettä toisaalle johtavia putkituksia, tulee routamitoitus tehdä pienemmälle sallitulle routanousulle ja huomioida putkien kaltevuuksien suunnittelussa mahdollinen routanousu.

**Taulukko 3.** Piha-alueiden laatuluokitus, laatuluokka 1 (RIL 234-2007).

<b>Laatuluokka 1 (Piha-alueet, jossa on suuret toiminnalliset tai ulkonäölliset vaatimukset)</b>				
<b>Päällysteen tyyppi</b>	<b>Alue-tyyppi*</b>	<b>Ulkonäkö</b>	<b>Maksimi routanousu (F<sub>10</sub>)</b>	<b>Sallittu kaltevuuden muutos pihan liittyessä rakennukseen, katuun tai putkijohdoton (m/m)</b>
Kivilaatat	1...4		Ei sallita routaliikkeitä (F <sub>50</sub> )	0,01
Ladotut betoni- tai kivipäällysteet	3 ja 4 1 ja 2	Ei sallita epätasaisuutta	50 mm "	0,02 0,04
Sidotut päällysteet	3 ja 4 1 ja 2	Päällysteen oltava halkeilemätön	50 mm "	0,02 0,04
Sitomattomat päällysteet	3 ja 4 1 ja 2	Lätäköitymistä ei sallita	Poikkeustap. 50 mm	0,02 0,04
Kasvillisuusalueet	K	Ei lätäköitymistä	100 mm	0,04

\*1 ja 2: jalankululle ja kevyelle liikenteelle osoitetut pihat; 3 ja 4: ajoneuvoliikenteen pihat.

**Taulukko 4.** Piha-alueiden laatuluokitus, laatuluokka 2 (RIL 234-2007).

<b>Laatuluokka 2 (Muut asunto-, toimisto- ja liikerakennusten pihat)</b>				
<b>Päällysteen tyyppi</b>	<b>Alue-tyyppi*</b>	<b>Uikonäkö</b>	<b>Maksimi routanousu (F<sub>10</sub>)</b>	<b>Sallittu kaltevuuden muutos pihan liittyessä rakennukseen, katuun tai putkijohdoton (m/m)</b>
Kivilaatat	3 ja 4 1 ja 2	Ei sallita epätasaisuutta	Vain poikkeus-tapauksissa	0,02 0,04
Ladotut betoni- tai kivi-päällysteet	3 ja 4 1 ja 2	Sallitaan vähäistä epätasaisuutta	100 mm "	0,02 0,04
Sidotut päällysteet	3 ja 4 1 ja 2	Sallitaan vähäisiä halkeamia	100 mm "	0,02 0,04
Sitomattomat päällysteet	3 ja 4 1 ja 2	Sallitaan vähäistä lätköitymistä	100 mm "	0,02 0,04
Kasvillisuus-alueet	K	Sallitaan vähäistä lätköitymistä	Ei rajoitettu	0,04

\*1 ja 2: jalankululle ja kevyelle liikenteelle osoitetut pihat; 3 ja 4: ajoneuvoliikenteen pihat.

**Taulukko 5.** Katujen sallitut painumat ja routanousut (Katu 90).

<b>Kohde:</b>	<b>Aika:</b>	<b>s / 5 v [mm]</b>	<b>F / 5 v [mm]</b>	<b>s / 20 v [mm]</b>	<b>F / 20 v [mm]</b>
1. Pää- ja paikallisväylät -asfaltti -raitiotie		100	75	200	120
		50	50	100	75
2. Hidas- ja pihakadut -asfaltti -sora -kiveys		100	100	200	150
		125	120	250	175
		50	75	100	120
3. Torit -asfaltti -kiveys		75	100	150	150
		50	75	100	100

s = painuma, F = routanousu



Routimattomasta kivennäismaasta tehtävän routasuojusrakenteen paksuus voidaan arvioida viitteessä RIL 261-2013 esitettyjen mitoituskäyrästäjien perusteella. Mitoituskäyrästäjien laadinnassa käytettyjen päällyste- ja rakennekerrosmateriaalien lämpötekniiset ominaisuudet poikkeavat kuitenkin läpäisevien päällysteiden yhteydessä käytettävistä materiaaleista.

Päällysrakenteen tarkempi routamitoitus edellyttäisi käytettävien huokoisten päällystetyyppien ja rakennekerrosmateriaalien jäätyneen tilan lämmönjohtavuuden määrittämistä. Läpäisevän asfaltin lämmönjohtavuuden on arvioitu olevan 40–70 % tavanomaisen asfaltin lämmönjohtavuudesta. Rakennekerrosmateriaalien, joista hienoimmat ainekset puuttuvat lämpötekniisistä ominaisuuksista ei ole riittävästi tietoja. Rakeisuudeltaan katkaistujen karkeiden materiaalien yhteydessä on havaittu lämmön johtumisen lisäksi lämmön siirtymistä konvektiolla. Norjassa on havaittu ratarakenteen yhteydessä käytetyssä tasarakeisessa raekooltaan 25–63 mm kuivassa sepelissä talven aikaisilla suurilla lämpötilagradienteilla merkittävää lämmön siirtymistä konvektiolla. Rakenteessa havaitusta konvektiosta on seurannut 50–70 % lisäys materiaalissa tapahtuvaan lämmön siirtymiseen verrattuna lämmön siirtymiseen ilman konvektiota. (Jernbaneverket 1999, Nurmikolu & Kolisoja 2002.) Selvästi tuulettumattomissa rakenteissa (läpäisevä päällyste pinnalla) konvektiota tai päällysteen mahdollisesti tavanomaisia päällystemateriaaleja parempaa eristävyyttä ei toistaiseksi esitetä otettavaksi huomioon. Arviota muutetaan saatavien kokemusten perusteella tarvittaessa.

## 4.5 Hydrologinen mitoitus

Hydrologisessa analyysissä selvitetään, miten valitut sateet, joita määrittelee sateen voimakkuus, kesto ja esiintymisen todennäköisyys, käyttäytyvät pinnoiteratkaisussa. Analyysissä selvitetään, kuinka paljon rakenne kykenee viivyttämään vettä ja miten nopeasti vesi siirtyy siitä alapuoliseen maaperään. Suunnittelijan valinnat vaikuttavat siihen, kuinka paljon vettä ehtii imeytyä maaperään ja kuinka suuri osuus vedestä johdetaan pois. Jos vettä ei imeydetä suoraan alapuoliseen maaperään, se voidaan myös johtaa ja varastoida väliaikaisesti säiliöihin tai hulevesikasettisysteemeihin. Rakenne mitoitetaan siten, että valittu mitoitus sade ei aiheuta liiallista pintavalumaa. Liian suurta pintavalumaa voi syntyä, jos pinnoitteen kuten avoimen asfaltin tai läpäisevän betonikiveyksen läpäisevyys tai rakenteen viivytyksen kapasiteetti on liian pieni. Läpäisevien pinnoitteiden tukkeutumisen vaikutus läpäisevyyteen tulee ottaa mitoituksessa huomioon. Voidaan myös olettaa, että kunnossapito sisältää asianmukaisen puhdistuksen, joka ylläpitää vedenläpäisevyyden riittävästi valittua mitoitusarvoa suurempana.

Vettä viivyttävän kerroksen huokostilavuuden tulee olla riittävä mitoitusvesimäärälle. Kerroksen paksuus voidaan mitoittaa seuraavalla kaavalla:

$$h = \frac{Q_{mit}}{A \cdot n} \quad (1)$$

jossa  $h$  [m] on kerroksen paksuus,  $Q_{mit}$  [m<sup>3</sup>] on mitoitusvesimäärä,  $A$  [m<sup>2</sup>] on alueen pinta-ala ja  $n$  on arvioitu kiviaineksen huokoisuus.

Jotta vettä voitaisiin imeyttää maaperään, alapuolisen maaperän vedenjohtavuuden tulee olla riittävä, muussa tapauksessa rakenne tulee varustaa salaojilla ylimääräisen veden poisjohtamiseksi. Useissa ulkomaisissa lähteissä sekä Hulevesioppaassa (Kuntaliitto 2012) suositellaan, että pelkästään imeytykseen perustuvalle ratkaisulle pohjamaan vedenläpäisykyvyn tulee olla  $k > 1 \cdot 10^{-6}$ . Samoissa lähteissä suositellaan, että rakenteen tulisi tyhjentyä vedestä 48 tunnissa; käytännössä alapuolisen maaperän vedenjohtavuus ja/tai kuivatuksen mitoitus ratkaisee kuinka nopeasti vesi poistuu rakenteesta (Korkealaakso et al. 2013). Maahan imeytyvä vesimäärä  $Q(t)$  voidaan laskea ajan suhteen Darcy:n lain mukaisesti (Saarelainen 1985, Leminen 1985) seuraavasti:

$$Q(t) = k \cdot i \cdot A_i \cdot t \quad (2)$$

jossa  $k$  on maan vedenläpäisevyys,  $i$  on gradientti,  $A_i$  on maahan imeytymispinnan pinta-ala ja  $t$  on imeytymisaika. Gradientille käytetään vapaan pohjavedenpinnan yläpuolella arvoa yksi.

Hulevesioppas (Kuntaliitto 2012, s. 143) suosittelee mm. seuraavia suunnittelun ratkaisuja, joita on syytä punnita tapauskohtaisesti:

- Rakenteen ja vapaan pohjaveden pinnan välisen etäisyyden tulee olla vähintään yksi metri.
- Rakenteen pinnan ja valuma-alueen kaltevuuden tulee olla  $< 5$  %. Suuremmilla kaltevuuksilla pintoja tulee porrastaa, mutta pintojen tulee toisaalta olla hieman kaltevia ( $\sim 1$  %) ylimääräisen veden poisjohtamiseksi.
- Rakenne on varustettava ylivuotoreitillä.
- Gradientin mukaan rakennuksien alapuolelle sijoittuvien imeytysmenetelmien suojaetäisyys rakennuksista tulisi olla vähintään kolme metriä. Gradientin mukaan rakennuksien yläpuolelle sijoittuvien imeytysmenetelmien suojaetäisyys rakennuksista tulisi olla vähintään kymmenen metriä, minkä lisäksi imeytysmenetelmän tulisi olla riittävän syvä, jotta veden kulkeutuminen rakennuksen perustuksiin voitaisiin välttää.
- Imeytyskerroksen pohjan tulisi ulottua roudattomaan syvyyteen tai järjestelmä tulee varustaa salaojilla

Hulevesioppaassa (Kuntaliitto 2012, s. 110) esitetään myös ohjeellisia mitoitusperusteita hulevesien määrälliselle hallinnalle. Esitetyt mitoitusperusteet ovat osittain muotoutuneet käytännön suunnittelutyössä. Rakenteiden mitoittamisesta Suomen olosuhteissa ei ole vielä riittävästi kokemusta, joten esitetyt perusteet voidaan pitää väliaikaisina ohjeina, joita tarkistetaan kokemuseräisen tiedon karttuessa. Mikäli halutaan tarkastella intensiteetiltään vaihtelevien tai mitoituksen ylittävien

sateiden aiheuttamia vaikutuksia, hulevesijärjestelmien mitoitus edellyttää, että käytetään mallinnusohjelmaa, joka yhdistää valuma-aluemallin ja verkostomallin. Valuma-aluemalli kertoo, kuinka paljon ja missä ajassa hulevesiä valuma-alueelta muodostuu, ja verkostomalli huleveden johtamisen ja käsittelyn vaikutukset.

Kylmässä ilmastossa veden imeyttämiseen ja suodattamiseen perustuvien hallintamenetelmien käyttöä rajoittavat maanpinnan jäätyminen ja maaperän routautuminen, jotka ehkäisevät imeytymistä tai estävät sen kokonaan. Esimerkiksi läpäisevien päällysteiden pintakerros on talvella usein jään ja lumen peittävä eikä imeytymistä juuri tapahdu. Lisäksi lumen läjitys ja liukkauden torjuntaan käytettävän hiekan tai murskeen mukana kulkeutuva hienoaines voivat aiheuttaa läpäisevän päällysteen tukkeutumista. Viimeaikaiset tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että imeytys- ja suodatusmenetelmät voivat toimia talvellakin hyvin. Talviolosuhteet on kuitenkin otettava huomioon routamitoituksessa (ks. luku 4.4) ja kunnossapidossa (ks. luku 6). Imeytys- ja suodatusmenetelmien talviaikaisen toiminnan varmistamisessa tärkeintä on joko riittävän karkea (vedenläpäisykyvyltään suuri) materiaali imeytys-/suodatuskerroksessa tai rakenteen salaojittaminen, jolloin vesi läpäisee rakenteen nopeasti eivätkä kerrokset jäädy umpeen.

Imeytysjärjestelmissä tulee varautua ohjaamaan talviaikaisten sateiden aiheuttamat hulevedet ylivuodon kautta joko hulevesiviemäriin tai muuhun johtamisjärjestelmään. Lumen poistaminen imeyttämiseen pyrkivien pintojen päältä on suositeltavaa ennen sulamiskauden alkua, jotta imeytyminen saadaan keväällä käyntiin mahdollisimman nopeasti. Tulvareittien avoimena pysyminen tulee varmistaa sulamiskauden aikana.

Simulointeihin perustuva läpäisevän päällysteen mitoitus toimii samalla periaatteella kuin "käsini" tehtävä mitoitus. Simulaation avulla voidaan kuitenkin tarkastella laajemmin ja yksityiskohtaisemmin esimerkiksi sitä, riittääkö alun perin suunniteltu mitoitusvesimäärä halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Toisin sanoen läpäisevien päällysteiden mitoitusta voidaan tarkentaa ja läpäisevien päällysteiden vaikutusta voidaan analysoida monipuolisemmin huomioiden alueella sijaitsevat muut hulevesijärjestelmät.

Tämän käsikirjan liitteessä A on esitetty CLASS-projektissa tutkittujen pintamateriaalien mitoitusparametreja. Käytännössä, kun rakennekerrokset ovat liitteessä B esitetyn mukaiset, niiden vedenläpäisevyys on niin suuri, että pintakerroksen vedenläpäisevyys määrää yksin vettä läpäisevän päällysteen vedenläpäisevyyden (vastaa tällöin taulukossa A1 esitettyjä arvoja). Liitteen A taulukossa A1 läpäisevyyden arvoja on esitetty myös tukkeutuneille ja puhdistetuille pinnoille.

Läpäisevän rakenteen pintakerroksen vedenläpäisevyys pienenee, kun sen huokosrakteeseen muodostuu jäätä. Kuitenkin on havaittu, että läpäisevän pinnoitteen vedenläpäisevyys pysyy riittävän suurena myös talvikautena. Se pienentää pintavirtaamia myös talvella, ja vesi voi varastoitua alla oleviin huokosiin rakennekerroksiin. Koska sulava lumi voi siirtyä läpäisevän pintakerroksen läpi alaspäin eikä se jää läpäisevän rakenteen pintakerroksen päälle, pinnalle muodostuu tavallista vähemmän jäätä lämpötilan laskiessa sulamisvaiheen jälkeen. (Kuosla et al. 2014b.)

## 4.6 Vesilaatuminimitus

Kiinteistön omistaja vastaa kiinteistönsä vesihuollosta, mihin kuuluu myös vastuu kiinteistöllä syntyvien hulevesien ja perustusten kuivatusvesien poisjohtamisesta ja käsittelystä. Jos kiinteistöllä harjoitetaan ympäristöluvanvaraista toimintaa, voidaan luvassa antaa määräyksiä myös hulevesien tarkkailusta ja käsittelystä. Jos hulevesien johtamisesta saattaa aiheutua vesien pilaantumista, siltä voidaan edellyttää myös erillisenä toimintona ympäristölupaa. (Karvonen ym. 2012.)

**Taulukko 6.** Pintaveden laatuvaatimukset; EU:n vesipuitedirektiivi (Sänkiaho & Sillanpää 2012).

Alkuaine	Vuosittainen keskiarvo [ $\mu\text{g/l}$ ]
Pb	7,2
Cd	0,08–0,25
Ni	20

**Taulukko 7.** Pohjaveden laatonormi; kansallinen (Sänkiaho & Sillanpää 2012).

Alkuaine	Pitoisuus [ $\mu\text{g/l}$ ]
Pb	5
Cd	0,4
Cu	20
Zn	60
Ni	10
Cr	10

Hulevesien käsittelytarpeen arviointi ja käsittelytoimenpiteet perustuvat paikallistason harkintaan ja usein vapaaehtoisuuteen. Kunnan viranomaiset ja vesihuoltolaitos voivat asettaa vaatimuksia hulevesien laadulle. Yksinomaan hulevesiä koskevia ympäristölupia ei tiettävästi ole Suomessa käsitelty lainkaan. Sen sijaan hyvin monissa ympäristöluvuissa on muiden ympäristövelvoitteiden ohella myös hulevesiä koskevia velvoitteita. (Hulevesiopus; Kuntaliitto 2012.)

Suuri osa hulevesissä olevista epäpuhtauksista on sitoutuneena veteen suspensoituneeseen hienoaineeseen. Lämpäisevillä rakenteilla on kyky sitoa tätä hienoainesta ja siten puhdistaa rakenteen läpi kulkenutta vettä. Lämpäisevien rakenteiden vedenpuhdistusominaisuuksia on käsitelty laajemmin CLASS-raportissa "The impact of pervious pavements on water quality" (Loimula & Kuosa 2013).

## 5. Rakentaminen

Imeytysrakenteet tulee suojata rakentamisen aikaiselta kiintoainekuormitukselta, joten ne kannattaa mahdollisuuksien mukaan toteuttaa muun rakentamisen loppuvaiheessa. Hulevesiopas (Kuntaliitto 2012) suosittelee, että rakentamisvaiheen hulevesien käsittelyyn käytetään yksinkertaisia rakenteita, esimerkiksi maastonpainanteisiin patoamalla toteutettavia laskeutusaltaita.

Ennen rakentamisen aloittamista on pidettävä työmaakokous, jossa keskustellaan työmaan erityisvaatimuksista, joita ovat mm. seuraavat:

- Materiaalit säilytetään suojatulla alueella, jotta ne eivät pääse kosketuksiin mudan, lian tai muiden vieraiden aineiden kanssa.
- Kiviainekset kaadetaan geotekstiilin päälle, ei suoraan maahan.
- Huolehditaan hyvin rutiineista, kuten maa-ainesten ja roskien lakaisemisesta pois rakenteen päältä rakentamisen aikana. Likaisia työkaluja ei säilytetä rakennettavan kohteen päällä.
- Kaivaminen on tehtävä siten, että alapuolinen maaperä ei tiivisty (tela-alusta tai hyvin leveät renkaat).
- Kiviaines kannattaa ajaa rakentamisalueen toiseen päähän ja levittää kerros kerrokselta tela-alustaisella koneella. Jokainen kerros tiivistetään yhdellä ylityksellä käyttäen valssijyrää tai tärylevyä.

Tyypillinen työjärjestys läpäisevien päällysteiden rakentamisessa on seuraava:

1. Väliaikaisia eroosiosuojauksia ja pintavesien valun ohjaavia patoja tarvitaan, jotta alueelle ei pääse rakentamisen aikana huleveden mukana rakennetta tukkivaa ainesta.
2. Ylimääräisen pohjamaan tiivistymisen välttämiseksi kaivinkoneiden tulisi toimia sivuilta käsin, niin ettei niiden tarvitse liikkua käsiteltävällä alueella.
3. Pohjamaan ollessa esim. löyhää kitkamaata on se tiivistettävä riittävän kantavuuden saavuttamiseksi. Tiivistäminen kuitenkin pienentää läpäisevyyttä, mikä on huomioitava hydrologisessa mitoituksessa ja suunnittelussa.

4. Suodatinkangas tai -kerros asennetaan pohjalle ja sivuille. Suodatinkangas limitetään vähintään 50 cm ja sen tulisi ulottua reunoilla 120 cm alueen ulkopuolelle.
5. Asennetaan salaojaputket InfraRYLin ohjeiden mukaan.
6. Kostutetaan ja levitetään viivytysskerrokseen soveltuva kiviaines 15 cm kerroksina. Asennetaan vähintään 10 cm ylimääräinen kerros salaojaputkien päälle ja tiivistetään tärylevyllä staattiseen tilaan, jolloin kiviaines ei enää liiku. Tiivistettäessä ei saa rikkoa kiviainesta.
7. Asennetaan rakenne ja pintamateriaalit valmistajan ohjeiden mukaan.

CLASS-projektin raportista ”Pervious pavement testing methods” (Kuosa et al. 2013b) löytyy tietoa rakentamisvaiheessa käytettävistä laadunvalvonta- ja mittausmenetelmistä.



**Kuva 13.** Kuorman purku ja kevytsoran levitys (kuvat: Weber).

## 6. Kunnossapito

### 6.1 Vedenläpäisevyyden seuranta ja puhdistus

Vettä läpäisevälle päällysteelle ja erityisesti sen pintaosalle ominaista ajan kulussa tapahtuva tukkeutuminen. Tukkeutuminen on pitkälti suhteessa päällysteen sijaintiin ja muihin tukkeutumiseen vaikuttaviin olosuhdekijöihin sekä erityisesti päällysteen huoltoon ja puhdistukseen. Vedenläpäisevyys on kuitenkin ylläpidettävissä pitkäaikaisesti asianmukaisen seurannan, huollon ja puhdistuksen avulla.

Vedenläpäisevyyttä on hyvä seurata riittävän tiheästi tehtävin mittauksin. Aina-kin aluksi mittauksia on syytä tehdä 1–2 kertaa vuodessa. Myöhemmin mittauksia voidaan tehdä harkinnan mukaan ottaen huomioon kohteen tukkeutumiseen vaikuttavat tekijät, vedenläpäisevyyden mittaustulokset ja puhdistuskäytäntöjen tehokkuus. Puhdistus tulee tehdä viimeistään, kun vedenläpäisevyys alenee kriittiseksi katsottavan arvon alle (ks. liite A, taulukko A1). Tärkeää on, että puhdistus suoritetaan riittävän usein, jotta pintakerros ei pääse tukkeutumaan päällysteen toiminnan kannalta liiallisesti.

Liitteen A taulukossa A1 on esitetty ulkomaisia tietoja sekä CLASS-projektissa saatuja tuloksia eri pintamateriaalien vedenläpäisevyyksistä puhtaina sekä liattuna ja sen jälkeen puhdistettuina. Lisäksi on annettu esimerkki suosittelusta suunnitteluarvosta. Vedenläpäisevyyden suunnitteluarvon tulee sisältää riittävä varmuus tukkeutumisen varalle. Tukkeutuminen ei ole riski pinnoitteen hydrologiselle toiminnalle, kunhan pidetään huoli puhdistuksesta, joka vastaa materiaalin ja sen käyttöolosuhteen asettamia vaatimuksia.

Tutkimuksissa on havaittu, että suurin osa tukkivasta sedimentistä jää pintakerrokseen tai kiviaineskerroksen yläpään osaan. Liiallisesti tukkeutunut pintakerros voidaan myös kokonaan vaihtaa. Kivien tai laattojen välinen tukkeutunut saumamateriaali on myös mahdollista uusida joko osin tai kokonaan.

Eriyppiset ja myös eri massakoostumuksen tai saumamateriaalin vettä läpäisevät materiaalit ja pinnat voivat käyttäytyä toisistaan selvästi poikkeavasti likaantumisen ja puhdistuksen suhteen. Tämä johtuu erityisesti niiden vettä läpäisevän huokosverkoston rakenteesta ja huokosten koossa olevista eroista.

Yleensä päällysteen pintakerros estää tukkivan aineksen pääsyn sen alapuolella oleviin vettä viivytäviin kerroksiin. Jonkin verran erityisesti hienoa sedimenttiä voi kuitenkin kulkeutua veden mukana myös syvemmälle ja aina alapuoliseen

maaperään tai esimerkiksi sen pinnalla olevaan geotekstiiliin asti. Näin voi tapahtua erityisesti silloin, kun pintamateriaalin toisiinsa yhteydessä olevat huokokset ovat suhteellisen suuria, jolloin yleensä myös vedenläpäisevyys on suuri. Tämä voidaan ottaa huomioon hydrologisessa mitoituksessa käyttämällä alapuolisen maaperän vedenjohtavuudelle, joka vaikuttaa veden poistumisnopeuteen rakenteesta, vähintään varmuuskerrointa 2. Vieläkin suurempaa varmuutta tulisi käyttää, jos vedenläpäisevyydestä ja sen vaihtelusta kohteen alueella ei ole tarkkaa mittaustietoa. Viivytyksen kannalta ylimääräinen 25 mm kiviaineskerros riittää korvaamaan pitkänkin ajan kuluessa tukkeutumisen seurauksena menetetyn huokostilan eli veden viivytyksen kapasiteetin. Kaikkiaan tällainen tukkeutumisriski on pitkälti suhteessa myös olosuhteisiin eli siihen, mikä on tukkivan aineksen kokonaismäärä ja tyyppi kohteessa.

Suurin riski tukkeutumiselle on sekä rakentamisvaihe että sen jälkeinen vaihe, jossa lähialueiden maaperä ei ole vielä kasvillisuuden sitomaa. Erityisesti rakentamisvaiheessa tuleekin huolehtia tarkoin suojauksesta. Myös eroosiosuojaus on suositeltavaa kunnes kasvillisuus on asettunut alueelle.

Suomessa puhdistusmenetelmistä ei ole vielä käytännön kokemusta. Suositeltava puhdistusmenetelmä läpäiseville päällysteille on esimerkiksi seuraava: Käytetään kadunlakaisukonetta, joka ravistelee roskat irti huokosista veden ja harjojen avulla, ja imuroidaan ne sitten alipaineella pinnalta pois. Merkittävän tukkeutumisen yhteydessä voidaan käyttää myös painepesua ja alipaineimua. Painepesussa erityisesti hienoimmat partikkelit ja hienoaines (<0,1 mm) voivat siirtyä myös alaspäin tai koko pintakerroksen läpi alapuolisiin rakennekerroksiin.

Tukkeutumisesta ja puhdistusmenetelmistä on esitetty lisätietoa viitteessä Kuosa et al. (2013a). CLASS-projekin laboratoriotuloksia tukkeutumisen ja puhdistuksen vaikutuksista vedenläpäisevyyteen on esitetty viitteessä (Kuosa ym. 2014a) ja talvikunnossapitoon liittyvää tietoa ja analyysiä on esitetty viitteessä (Kuosa et al. 2014b). Jatkossa erilaisten olosuhteiden pilottiprojekteista on saatavissa käytännön kokemusta ja mittaustietoa erityyppisten pintamateriaalien tukkeutumisesta sekä erilaisten kunnossapitokäytäntöjen soveltuvuudesta ja tehokkuudesta vedenläpäisevyyden ylläpidossa.

## **6.2 Talvikunnossapito**

Läpäisevien päällysteiden talvikunnossapidosta ei Suomessa ole vielä kokemusta. Tällä hetkellä voidaan käyttää ulkomaisiin kokemuksiin ja tietoihin sekä CLASS-projektissa tehtyihin lisäanalyysiin perustuvia menettelyjä (Kuosa et al. 2013a, Kuosa et al. 2014b). Seuraavassa esitetään nämä suositukset läpäisevien päällysteiden talvikunnossapitoon Suomen olosuhteissa.



### 6.2.1 Puhdistus lumesta ja auraus

Auraamaton lumi voi tiivistyä ja muodostaa lopulta osin jäisen kerroksen läpäisevän päällysteen pinnalle. Erityisesti näin voi tapahtua keväällä, kun lumi ajoittain osin sulaa. Lumen tiivistyminen ja jään muodostuminen estää sulanutta vettä imeytymästä läpäisevään päällysteeseen. Vedenläpäisevyyden ylläpitämiseksi säännöllinen puhdistus lumesta kuten auraus onkin tarpeen. Tämä voidaan tehdä pääosin normaaliin tapaan. On kuitenkin myös joitakin hyviksi todettuja menettelyjä, joita on syytä käyttää.

Läpäisevän päällysteen pinnan mekaaninen kestävyys ei välttämättä ole suuremman huokoisuuden vuoksi yhtä hyvä kuin tiiviin pintamateriaalin kestävyys. Mekaanisen vaurioitumisen ja pinnan rikkoutumisen ehkäisemiseksi auraus tulee tehdä siten, että aura ei pääse koskemaan ja kuluttamaan pintaa vaan se pidetään hieman pintaa ylemmällä tasolla. Esimerkiksi auran asennettava kumiasennuslevy lisää terän pystysuuntaista joustoa ja vähentää mekaanista rasitusta. Lumen poistoon voidaan myös käyttää harjalaitteita.

### 6.2.2 Hiekoitus

Jos hiekoitus on tarpeen, tulee siinä käyttää karkearakeista hiekkaa tai hiekoitussepeä. Rakeisuuden tulisi olla sellainen, että vain pieni osuus (<10 %) hiekoitusmateriaalista voi tunkeutua pintamateriaalin huokostiloihin. Yleensä riittää, että pienin raekoko on >1 mm (Kuosa et al. 2014b). Hienoaines, <0,1 mm, ei yleensä ole suuri ongelma pintakerroksen vedenläpäisevyyden kannalta. Tämä tarkoittaa sitä, että hiekoitusmateriaalin ei välttämättä tarvitse olla pestyä. Kuitenkin jos pintakerroksen alla on geotekstiili, voi hienoaines tukkia sitä ja pienentää ajan kuluessa vedenläpäisevyyttä liiallisesti.

On myös olemassa riski, että hiekoitusmateriaalin hienoaines yhdessä muun päällysteen pinnalle kulkeutuvan hienon aineksen kanssa täyttää osan veden viivytykseen tarkoitettua huokostilavuudesta päällysteen alaosassa, tai etenkin pienentää veden imeytymisnopeutta maaperään. Näin ollen pestyn hiekoitusmateriaalin käytöstä voi olla pitkän ajan kuluessa etua.

### 6.2.3 Pintajään muodostuminen, liukkaus

Koska huokoisen materiaalin lämmönjohtavuus on pienempi kuin tiiviin materiaalin lämmönjohtavuus, voi vettä läpäisevän päällysteen pintalämpötila olla tietyissä olosuhteissa 1–2 °C, joskus jopa 4 °C, kylmempi kuin tiiviin päällysteen pintalämpötila. Toisaalta koska sulava lumi voi myös imeytyä läpäisevä päällysteen päältä nopeasti pois, ei se välttämättä pääse jäätymään pinnalle lämpötilan laskiessa pakkasen puolelle.

Suomen olosuhteista tarvitaan vielä lisää tietoa siitä, ovatko vettä läpäisevät päällysteet tavallista alttiimpia pintajään muodostukselle ja liukkaudelle.

#### **6.2.4 Suolaus**

Vettä läpäisevien päällysteiden suolaustarve on suurin jäätävän sateen aikana. Suolausta tulisi kuitenkin mahdollisuuksien mukaan välttää tai suolan käytön tulisi olla rajoitettua. Yleisesti hyväksytty suositus on, että suolausta ei tule käyttää vähän liikennöidyillä läpäisevillä päällysteillä ja alueilla. Erityisesti suolausta tulee välttää alueilla, joilla suola on riski pohjavedelle. Suola kulkeutuu läpäisevän päällysteen kautta suurella todennäköisyydellä pohjaveteen asti ja voi aiheuttaa myös kuivatusjärjestelmien korroosioriskin. Suljetussa systeemissä, joista vesi johdetaan toisaalle, suolainen vesi ei kuitenkaan pääse suoraan pohjaveteen. Suolaus on myös riksi sementtipohjaisten pintamateriaalien säilyvyydelle eli suolan kanssa tapahtuvalle jäädytys-sulatuksen aiheuttamalle rapautumiselle (Kuosa ym. 2014a).

#### **6.2.5 Lumen varastointi läpäisevän päällysteen päälle tai läheisyyteen**

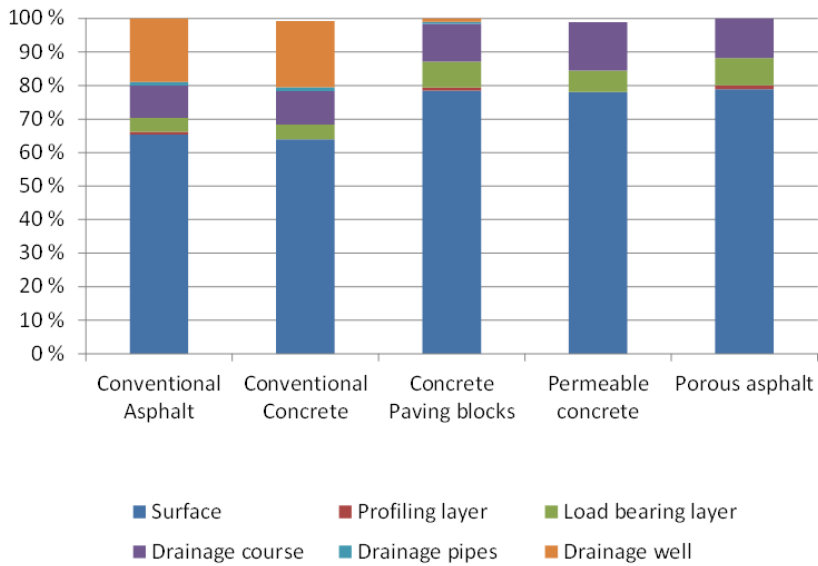
Lumen varastointi läpäisevän päällysteen päälle tai lähistölle muodostaa päällysteen tukeutumiseriskin. Tämän riskin aiheuttaa lumen sisältämä kiintoaine, kuten siihen kasaantunut hiekoitushiekka, mahdollisesti osin murskaantuneena pienemmiksi ja herkemmin pinnoitteeseen tunkeutuviksi partikkeleiksi.

Lisäksi lumen varastointi aiheuttaa läpäisevän päällysteen pinnalle siitä sulavan ja kertyvän veden jäätyneen vuoksi lisätukkeutumiseriskin. Sulanut vesi voi vielä keväällä jäätyä pinnoitteessa hieman pintaa syvemmällä, jossa lämpötila pysyy pakkasen puolella vaikka pinnalla olisikin auringon päivisin sulattamaa vettä. Päällysteen vedenläpäisevyys voi näin olla keväällä jonkin aikaa huono, tämä jakso kestää kuitenkin mahdollisesti vain muutaman viikon. Tässä tapauksessa suolauksesta, jos se voidaan sallia, on apua vedenläpäisevyyden palauttamisessa ja varastoidusta lumesta kertyneen veden imeyttämisessä päällysteeseen. (Kuosa et al. 2014b.)

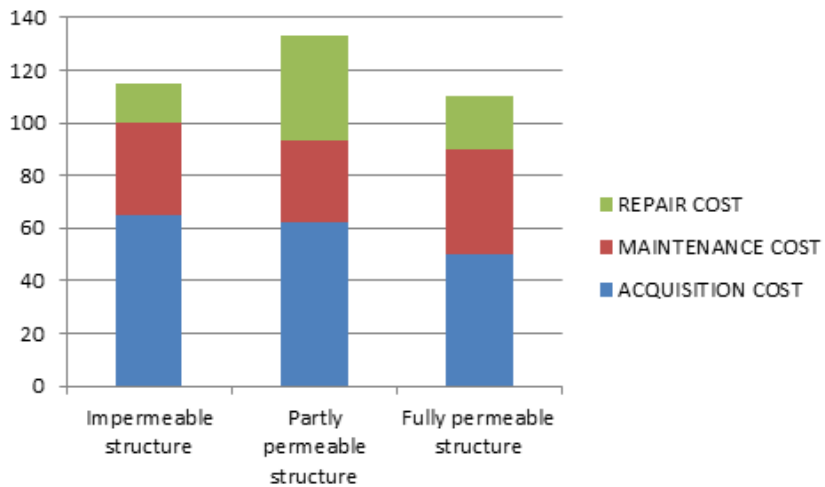
## 7. Kustannukset ja elinkaari

Verrattuna perinteisiin ratkaisuihin (sekaviemäröinti tai erilliset hulevesiverkostot) huleveden imeyttämistä ja viivyttämistä pidetään kestäväenä ja kustannustehokkaana ratkaisuna. Vettä läpäisevän päällysteen toiminnallinen elinikä on se aika, jonka päällyste asianmukaisesti huollettuna säilyttää läpäisevyytensä mitoitusta vastaavalla tasolla. Huolellisella suunnittelulla ja rakentamisella sekä kunnossapidolla toiminnallista elinikää voidaan pidentää, mutta samanaikaisesti kustannukset kasvavat. Vaikka rakentamis- ja ylläpitokustannukset ovat läpäisevillä päällysteillä jonkin verran korkeammat kuin perinteisillä, säästetään samanaikaisesti huleveden muun käsittelytarpeen vähentyessä.

Päällysteratkaisut valitaan ja suunnitellaan usein täyttämään tietyt tekniset vaatimukset, eikä ympäristövaikutuksia välttämättä aina huomioida. Suunniteltu käyttöikä läpäisevillä päällysteillä on käyttötarkoituksesta riippuen n. 20 vuotta, mutta todellisia käyttöikäkokemuksia ei Suomesta vielä ole. CLASS-projektissa tutkittiin perinteisten ja vettä läpäisevien päällysteiden elinkaarenaikaisia ympäristö- ja kustannusvaikutuksia erityisesti hiilijalanjäljen ja elinkaarikustannusten näkökulmasta (Vares & Pulakka 2014). Tutkimuksen perusteella vettä läpäisevät päällysteet aiheuttavat pienemmän hiilijalanjäljen kuin läpäisemättömät päällysteet. Tämä johtuu sekä käytetyistä materiaaleista, että vähäisemmästä tarpeesta huleveden pois johtamiselle. Kun materiaalin lisäksi huomioidaan rakentaminen ja skenaarioperusteinen ylläpito ja korjaus, avoimella asfaltilla on suurin hiilijalanjälki. Toisaalta, jos ylläpito- ja korjaustarve ovat samaa suuruusluokkaa kuin perinteisillä ratkaisuilla, avoimen asfaltin käyttö on edullista. Vettä läpäisevissä päällysteissä suurin hiilijalanjälki (65–80 %) tulee pintakerroksesta. Tutkitussa esimerkissä elinkaarikustannukset olivat alhaisimmat vettä täysin läpäisevillä rakenteilla, joissa kaikki vesi imeytetään maaperään, kun taas kallein oli yhdistetty rakenne, jossa vettä imeytetään mutta siitä huolimatta tarvitaan myös veden pois johtamista (Vares & Pulakka 2014); perinteinen vettä läpäisemätön ratkaisu oli elinkaarikustannuksiltaan edellisten väliltä.



**Kuva 14.** Esimerkki hiilijalanjäljen jakaumasta erilaisilla päällystevaihtoehdoilla kevyen liikenteen väylällä (Vares & Pulakka 2014).



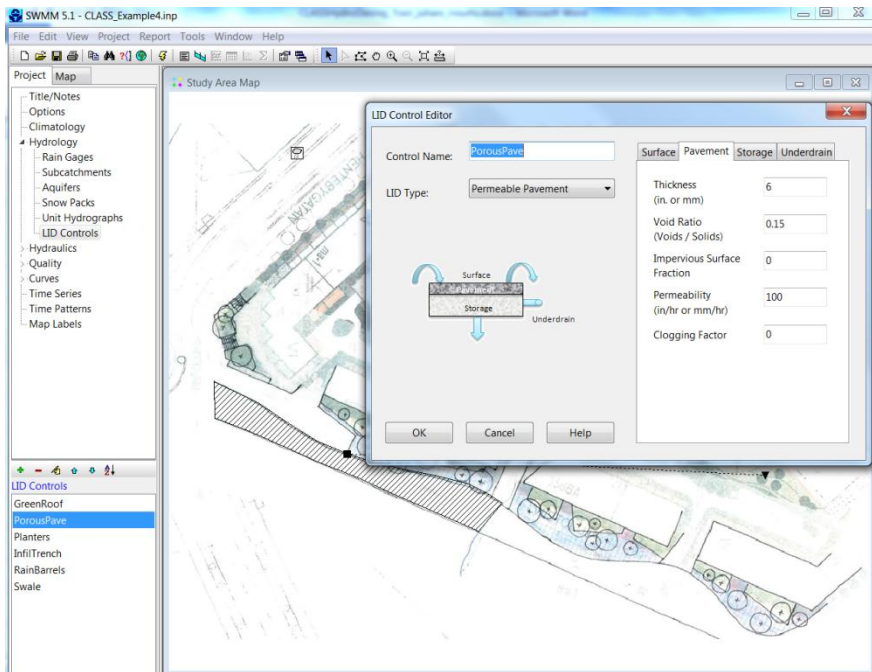
**Kuva 15.** Esimerkki LCC-analyysistä (€/m<sup>2</sup>/30 y) erilaisille rakennevaihtoehdoille (Vares & Pulakka 2014).

## 8. Työkalut

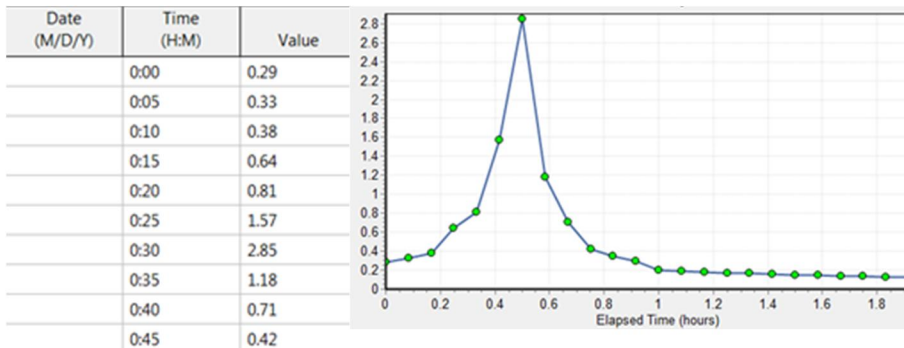
CLASS-projektin raportissa "Review of pervious pavement dimensioning, hydrological models and their parameter needs. State-of-the-Art" (Korkealaakso et al. 2013) tarkastellaan läpäisevien rakenteiden suunnittelussa, mitoituksessa ja mallinnuksessa käytettäviä tietokoneohjelmia ja mallinnustyökaluja. Tarkastelussa keskitytään pääasiassa hydrologisen mallinnuksen työkaluihin, mutta esitetään myös kytkettyihin termo-hydro-kemiallis-mekaanisiin kokonaistarkasteluihin perustuvia ohjelmistoja. Erityisesti Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluviraston kehittämät ja julkaisemat SWMM ja SUSTAIN -ohjelmistot soveltuvat hyvin läpäiseviin rakenteisiin liittyviin hydrologisiin tarkasteluihin.

SWMM (StormWater Management Model) on pääosin rakennetun ympäristön tarkasteluun tarkoitettu sadantavaluntamalli, jolla on mahdollista mallintaa sekä yksittäisiä, että pitkäaikaisia sadetapahtumia. Ohjelmistoa tai sen pohjalle kehitettyjä kaupallisia ohjelmistoja sovelletaan erittäin laajasti hulevesien hallintatarkasteluissa. Ohjelmisto jakautuu hydrologiseen ja hydrauliseen osioon siten, että hydrologisessa osassa ohjelma laskee sateen aiheuttaman pintavalunnan osavaluma-alueilta ja johtaa sen hydrauliseen osioon. Ohjelmiston uusin versio sisältää myös läpäisevien rakenteiden tarkasteluun soveltuvan työkalun. Tämän työkalun avulla voidaan läpäisevät rakenteet integroida osaksi valuma-alueelähtöisiä kokonaistarkasteluja ja vastaavasti linkittää erilliset rakenteiden mitoitus- ja mallinnustarkastelut alueellisiin kokonaistarkasteluihin.

CLASS-projektissa kehitettiin Excel/VBA-mallinnustyöväline (Korkealaakso ym. 2014) tukemaan CLASS-tulosten soveltamista läpäisevien päällysrakenteiden hydrologisessa mitoituksessa ja suunnittelussa. Työväline kyselee taulukkosivuiltaan läpäisevän päällysrakenteen hydraulisen käyttäytymislaskennan tarvitsemat input-tiedot ja muodostaa SWMM-ohjelmaan yhteensopivan input-tekstitiedoston. Työkalun laskentatulokset arvioivat kohteen generoimia valumavesimääriä erilaisille kehitys- ja hallintaskenaarioille käyttäen sekä alueen historiallisia sateita, ilmastonmuutoksen vaikutuksesta arvioituja sateita tai lyhytkestoisempia mitoitus- ja rankkasateita.



**Kuva 16.** Esimerkinäkymä SWMM-ohjelman käyttöliittymästä (Korkealaakso et al. 2014).



**Kuva 17.** Esimerkki CLASS-projektissa kehitetyn mallinnustyökalun sisältämästä sadetapahtumasta (Korkealaakso ym. 2014).

## 9. Tutkimustarpeet

Tässä käsikirjassa esitetään nykytietämykseen ja käytettävissä oleviin tutkimustuloksiin perustuva Suomen olosuhteisiin soveltuva ohjeistus. CLASS-projektin ja tämän käsikirjan teon aikana on kuitenkin tullut ilmi monia asioita, joista vielä tarvitaan lisätietoa jatkossa.

On olemassa havaintoja, joiden mukaan roudan syvyys läpäisevän päällysteen alla on pienempi kuin tavanomaisen tiiviin katurakenteen alla. Tämän katsotaan johtuvan huokoisen rakenteen eristävästä vaikutuksesta. Lisäksi sateet voivat sulattaa keväällä jäätynyttä maaperää tavallista nopeammin, kun sadevesi pääsee tunkeutumaan läpäisevien rakennekerrosten läpi maapohjaan asti. Toisaalta on myös havaittu, että ulkolämpötilan nopeat muutokset voivat heijastua rakennekerroksiin jolloin niiden lämpötila voi laskea tavallista nopeammin. Läpäisevien rakenteiden routakäyttäytymisen osalta onkin vielä olemassa lisätutkimusterve, jotta pohjamaan routiminen ja sen suhde rakenteen routimiseen voitaisiin ennakoida riittävän tarkoin.

Läpäisevien päällysteiden sekä erityisesti niiden pinnan vedenläpäisykyvystä Suomen talvikauden olosuhteissa ja huoltokäytännöissä tarvitaan myös lisää käytännön tietoa ja kokemuksia. Näitä voidaan jatkossa saada pilottiprojekteissa. Todellisia luonnonolosuhteita vastaavaa käyttäytymistä, jossa merkitystä on mm. lämpötilavaihtelulla, sademäärillä ja niiden ajoittumisella sekä auringon säteilylämmöllä, on vaikea jäljitellä täysin muilla tavoin kuten laboratoriokeuin. Pilottiprojekteja on jatkossa syytä käynnistää Suomessa useissa ilmastoltaan toisistaan poikkeavissa paikoissa.

Läpäisevien päällysteiden talvikunnossapidosta ei Suomessa ole vielä kokemusta. Tällä hetkellä voidaan käyttää ulkomaisiin kokemuksiin ja tietoihin sekä CLASS-projektissa tehtyihin lisäanalyysihin perustuvia menettelyjä. Lisää tietoa tarvitaan kuitenkin mm. siitä, ovatko vettä läpäisevät päällysteet tavallista alttiimpia pintajään muodostukselle ja liukkaudelle. Myöskään puhdistusmenetelmistä ei Suomessa ole vielä käytännön kokemusta. Jatkossa erilaisten olosuhteiden pilottiprojekteista on saatavissa kokemusta ja mittaustietoa erityyppisten pintamateriaalien tukkeutumisesta sekä erilaisten kunnossapitokäytäntöjen soveltuvuudesta ja tehokkuudesta vedenläpäisevyyden ylläpidossa.

Läpäisevä betoni on Suomessa jokseenkin uusi materiaali eikä sen valmistamisesta ja käyttäytymisestä Suomen olosuhteissa ole vielä laajaa kokemusta. Esi-

merkiksi läpäisevän betonin pakkasenkestävyydestä ja pakkas-suolakestävydestä ei ole vastaavaa tietämystä kuin tavanomaisen betonin osalta jo on.

Käytännön kokemusta ei ole myöskään kiviaineskerroksiin soveltuvista suomalaisista materiaaleista ja siitä, minkälainen kiviaines toimii läpäisevässä rakenteessa kaikilta osin optimaalisesti. Esimerkiksi lisää tietoa ja mittaustuloksia tarvitaan suuren huokoisuuden kiviainesten kantavuudesta.

Rakenteiden mitoittamisesta Suomen olosuhteisiin soveltuviksi ei ole vielä riittävästi kokemusta, joten tässä käsikirjassa esitetyjä suosituksia voidaan pitää alustavina ohjeina, joita tarkistetaan kokemukseräisen ja tutkimustiedon karttuessa.

Toivomme, että kun kokemus ja tieto vettä läpäisevistä päällysteratkaisuista lisääntyvät, niistä tulee normaali osa kestävää ja viihtyisää kaupunkiympäristöä myös Suomen olosuhteissa.



## Viitteet

- ACI 522.1M-13 (2013). Metric Specification for Pervious Concrete Pavement. 11 p.
- ACI 522R-10. 2011. Report on pervious concrete. 38 s.
- BS 7533-13: 2009. Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. Guide for the design of permeable pavements constructed with concrete paving blocks and flags, natural stone slabs and setts. 26 p.
- BY 50. 2012. Betoninormit. Suomen betoniyhdistys r.y. 250 s.
- Ferguson, B. K. 2005. Porous pavements. Integrative Studies in Water Management and Land Development. CRC Press, Boca Raton, Florida. 577 p.
- HSY 2010. Pääkaupunkiseudun ilmasto muuttuu. Sopeutumisstrategian taustaselvityksiä. HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut. HSY:n julkaisuja 3/2010. Helsinki. 92 s.
- InfraRYL 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Osa 1 Väylät ja alueet. Rakennustietosäätiö RTS. Rakennustieto Oy. 555 s.
- Jernbaneanverket. 1999. Laerebok i jernbaneteknikk. L521 Kapittel 6, Frost. Utgitt 15.09.1999. 39 s.
- Karvonen, A., Taina, T., Gustafsson, J., Mannio, J., Mehtonen, J., Nystén, T., Ruoppa, M., Sainio, P., Siimes, K., Silvo, K., Tuominen, S., Verta, M., Vuori, K.-M. ja Äystö, L. 2012. Vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annettujen säädösten soveltaminen. Ympäristöministeriön raportteja 15 | 2012. 79 s.
- Katu 2002: kadunrakennuksen tekniset ohjeet. Suomen kuntatekniikan yhdistys, 2003. 281 s.
- Katu 90: kadunrakennuksen tekniset ohjeet. Suomen kunnallisteknillinen yhdistys, 1991. 273 s.
- Korkealaakso, J., Kuosa, H., Niemeläinen, E. & Tikanmäki, M. 2013. Review of pervious pavement dimensioning, hydrological models and their parameter needs. State-of-the-Art. Lämpäisevien pinnoitteiden mitoitus, hydrologiset mallit ja niiden parametrit. Nykytilaselvitys (englanniksi). VTT Research Report VTT-R-08227-13, 63 s.
- Korkealaakso, J. ym. 2014. Mallinnustyökalu tukemaan CLASS- tulosten soveltamista lämpäisevien päällysrakenteiden hydrologisessa mitoituksessa ja suunnittelussa. Tutkimusraportti VTT-R-05775-14 (draft).

- Kuntaliitto 2012. Hulevesiopas. ISBN 978-952-213-896-5. Suomen Kuntaliitto, Helsinki 2012.
- Kuosa, H., Niemeläinen, E. & Loimula, K. 2013a. Pervious pavement systems and materials. State-of-the-Art. Vettä läpäisevät päällysteet ja niiden materiaalit. Nykytilaselvitys (englanniksi). VTT Research Report VTT-R-08222-13, 95 s.
- Kuosa, H., Niemeläinen, E. & Korkealaakso J. 2013b. Pervious pavement testing methods. State-of-the-Art. Vettä läpäisevien päällysteiden testausmenetelmät. Nykytilaselvitys (englanniksi). VTT Research Report VTT-R-08222-13, 62 s.
- Kuosa, H., Loimula, K., & Niemeläinen, E. 2014a. Deliverable D2: Vettä läpäisevät pinnoitteet ja rakenteet – Materiaalikehitys ja simulointitestaus. VTT Tutkimusraportti VTT-R-05001-14.
- Kuosa, H., Niemeläinen, E., Kivikoski, H. & Törnqvist, J. 2014b. Pervious pavement winter performance – State-of-the-Art and recommendations for Finnish winter conditions. VTT Tutkimusraportti VTT-R-08223-13.
- Kuosa, H. ym. 2015. Green-Grey-projektin yhteenveto. VTT Tutkimusraportti VTT-R-XXXXX-15 (draft).
- Leminen, K. 1985. Imeyttävä kuivatustekniikka pientaloalueella. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 459. Espoo. 51 s. ISBN 951-38-2330-X. ISSN 0358-5085.
- Loimula, K. & Kuosa, H. 2013. The impact of pervious pavements on water quality. State-of-the-Art. Läpäisevien rakenteiden vaikutus vesilaatuun. Nykytilaselvitys (englanniksi). VTT Research Report VTT-R-08224-13. 16 s.
- Makkonen, L. & Tikanmäki, M. 2008. Poikkeukselliset luonnonilmiöt ja rakennettu ympäristö muuttuvassa ilmastossa II. EXTREMES II-hankkeen loppuraportti. VTT Tutkimusraportti VTT-R-10419-08.
- Nurmikolu, A. & Kolisoja, P. 2002. Ratarakenteen routasuojaus. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 1/2002. Ratahallintokeskus. Helsinki. 101 s.
- PANK 2011. Asfalttinormit 2011, Päällystealan Neuvottelukunta, PANK ry ([www.pank.fi](http://www.pank.fi)). 118 s.
- RIL 234-2007. Pihojen pohja- ja päällysrakenteet. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL r.y. 122 s.
- RIL 261-2013. Routasuojaus – rakennukset ja infrarakenteet. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL r.y. 89 s.

- Saarelainen, S. 1985. Imeytysrakenteet. Teoksessa: RIL K42-1985 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivanapito. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki: Painorengas Oy. S. 109–129.
- SFS-EN 13108-7 + AC. 2006. Asfalttimassat. Materiaalivaatimukset. Osa 7: Avoin asfaltti (AA). 30 s.
- SFS-EN 13242 + A1. 2008. Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset. 39 s.
- SFS-EN 13249. 2001. Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Toiminnalliset vaatimukset teiden ja muiden liikennöityjen alueiden rakentamisessa (lukuun ottamatta rautateitä ja asfaltilla sidottuja kerroksia). 29 s.
- SFS-EN 15382. 2001. Georisteet. Liikenneinfrastruktuurin rakenteissa käytettäville georisteille vaadittavat ominaisuudet. 69 s.
- Saarenketo, T., Kolisoja, P., Vuorimies, N. & Ylitapio, S. 2001. Kantavan kerroksen murskeen imupaine- ja muodonmuutosominaisuudet. Tiehallinnon selvityksiä 9/2001. 22 s.
- Sillanpää, N. 2013. Effects of suburban development on runoff generation and water quality. Aalto University publication series, Doctoral Dissertations 160/2013. 226 p. + app.
- Smith, D.R. 2011. Permeable Interlocking Concrete Pavements, Design • Specifications • Construction • Maintenance, Fourth Edition, Copyright 2000, Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI). ISBN 978-1-4507-8440-5.
- Sänkiaho, L. & Sillanpää, N. 2012. STORMWATER-hankkeen loppuraportti; Taa-jamien hulevesihaasteiden ratkaisut ja liiketoimintamahdollisuudet. Aalto-yliopiston julkaisusarja TIEDE + TEKNOLOGIA 4 / 2012. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos, Vesitekniikka.
- Tiehallinto. 2004. Tierakenteen suunnittelu. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki 2004. [www.tiehallinto.fi/julkaisut](http://www.tiehallinto.fi/julkaisut).
- Vakkilainen, P., Kotola, J. & Nurminen, J. (toim.) 2005. Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 776. 116 s.
- Vares, S. & Pulakka, S. 2014. Life Cycle assessment (LCA) and costing analysis (LCCA) for conventional and permeable pavement walkways. VTT Research Report VTT-CR-05777-14. 24 s.

- Wahlgren, I. & Kling, T. 2013. CLASS WP1 – Kaupunkien tarpeet. VTT-R-08909-13. 97 s.
- Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L. 2008. Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa – Tapauskohtaisia tarkasteluja. Loppuraportti. VTT Tutkimusraportti VTT-R-03986-08. 173 s.
- Yrjölä, T. & Viinanen J. 2012. Keinoja ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi Helsingin kaupungissa. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2012. 59 s.



## Liite A: Pintamateriaalit

Taulukossa A1 on esitetty tyypillisten pintamateriaalien ominaisuuksia. Pintakerroksen tulisi pysyä kaikissa olosuhteissa mahdollisimman tyhjänä hyvän toiminnan ja säilyvyyden takaamiseksi. Pintakerrosta ei voi mitoituksessa sisällyttää veden viivytyskapasiteettiin.

Käytännössä, kun läpäisevän päällysteen rakennekerrokset ovat liitteessä B esitetyn mukaiset, niiden vedenläpäisevyys on niin suuri, että pintakerroksen vedenläpäisevyys määrää yksin vettä läpäisevän päällysteen vedenläpäisevyyden (vastaa tällöin taulukossa A1 esitettyjä arvoja) (Kuosa ym. 2014a). Jos pintakerroksen alla olevien kerrosten vedenläpäisevyys on liian pieni, vaikuttavat ne osaltaan vedenläpäisevyyteen. Näin voi olla, jos rakennekerrosten kiviainekset eivät täytä liitteessä B kiviaineksille asetettuja vaatimuksia, tai ovat esimerkiksi liitteen B vaihtoehtoisia tuotteita. Läpäisevän päällysteen vedenläpäisevyys voidaan määrittää myös kokeellisesti joko laboratoriossa tai kenttäkokein. (Kuosa et al. 2013b, Kuosa ym. 2014a.)

Viitteissä Kuosa et al. (2013b) ja Kuosa ym. (2014a) ja seuraavassa on esitetty, mihin ominaisuuksiin, laatuksiteereihin tai testauksiin perustuen erilaiset pintamateriaalit voidaan vettä läpäiseviin päällysteisiin nykytietämykseen perustuen valita ja hyväksyä.

### Avoim asfaltti (AA)

Vettäläpäisevät avoimet asfaltit (AA) on kuvattu Asfalttinormeissa (Asfalttinormit 2011, Päällystealan Neuvottelukunta PANK ry), joka perustuu eurooppalaisiin standardeihin. Asfalttinormit uusitaan tai tarkastetaan säännöllisesti. Avoimille asfalteille on laadittu oma tuotestandardi SFS-EN 13108-7. Sekä Asfalttinormit että EN-tuotestandardi määrittävät avoimille päällysteille lähinnä niiden koostumukset.

Vettäläpäisevien avointen asfalttien tulee täyttää tuotestandardien ja/tai Asfalttinormien vaatimukset. Jotkut asfalttituottajat ovat kehittäneet lisäksi omia vettäläpäiseviä tuotteita, joilla on tiettyjä ominaisuuksia standardeissa esitettyjen vaatimusten lisäksi.

Vettäläpäiseville päällysteille voidaan asettaa pintaa koskevia vaatimuksia, kuten tavallisille katupäällysteillekin. Vaatimuksia voi olla asetettuna

- massamäärälle [kg/m<sup>2</sup>]tai paksuudelle [mm]
- tasaisuudelle, kaltevuudelle ja korkeusasemalle (ks. Asfalttinormit)

Vettäläpäisevien avointen asfalttien hankintaan liittyvien laatuvaatimusten asettaminen voidaan tehdä kahdella eri tavalla; joko kokemuseräisesti (reseptipohjaisesti) tai toiminnallisten ominaisuuksien perusteella. Nämä ovat toisensa poissulkevia, joten ristiriitaisia tai yhtäaikaisia vaatimuksia ei tulisi esittää.

**Taulukko A1.** Pintakerroksen ja pintamateriaalin ominaisuuksia.

Ominaisuus	Pintamateriaali		
	Betoni- ja luonnonkivi-pinnat, joissa vettä läpäisevät saumat/aukkokohdat	Läpäisevä betoni (LB)	Avoin asfaltti (AA)
Vedenläpäisevyys puhtaana [ $10^{-3}$ m/s]			
Kirjallisuustieto	1,1–14,0	0,5–12	0,1–3,5
CLASS (kokeelliset tulokset)		2,8–5,4	0,2 - 0,6
kun aukkomäärä 5 % ja hiekka 1/5 mm	1,6		
kun aukkomäärä 10 % ja hiekka 1/5 mm	2,3–3,1		
kun aukkomäärä 10 % ja komposiittisauma	0,2–0,6		
noppakivi 10 mm saumalla ja hiekka 1/5	4,6		
Vedenläpäisevyys tukkeutuneena [ $10^{-3}$ m/s]			
Kirjallisuustieto <sup>1)</sup>	0,015–0,5	0,007–0,2	0,004–0,01
CLASS (kokeelliset tulokset)		0,03–2,7	0,05–0,2
kun aukkomäärä 10 % ja hiekka 1/5 mm	0,3		
Puhdistus viimeistään,			
kun vedenläpäisevyys [ $10^{-3}$ m/s]	0,07	0,07	0,07
Vedenläpäisevyys puhdistettuna [ $10^{-3}$ m/s]			
CLASS (kokeelliset tulokset)		0,1–5,2	0,08–0,27
kun aukkomäärä 10 % ja hiekka 1/5 mm	1,8		
Suunnittelu-arvo (huollettuna, ajoittain puhdistettuna) [ $10^{-3}$ m/s]			
	0,007 <sup>4)</sup>	0,035 <sup>4)</sup>	0,02 <sup>4)</sup>
Tiheys [ $\text{kg/m}^3$ ]			
		1600–2080	1940–2150
Avoin huokoisuus/tyhjättila [%] <sup>2)</sup>			
		11–35	14–32
Tyypillinen tai optimaalinen <sup>3)</sup>			
		20 <sup>3)</sup>	16–22
Puristuslujuus [MPa]			
		3,5–28,0	
Tyypillinen vaatimus (kantavana pintana) [MPa]			
		17,0	
Taivutusvetolujuus [MPa]			
		1,0–2,8	
Kimmomoduuli (tyypillinen) [GPa]			
		13,8	

1) esimerkiksi 7 vuodessa ilman huoltoa

2) tyypillinen toleranssi  $\pm 5\%$

3) LB:lle yleensä optimaalinen arvo (liian suuri huokoisuus heikentää lujuus- ja säilyvyysominaisuuksia ja liian pieni huokoisuus lisää tukkeutumisriskiä ja pienentää vedenläpäisevyyttä)

4) Virginia DCR 2013, Kuosa et al. 2013a

## Laatuvaatimusten asettaminen asfalttityypin perusteella – kokemusperäinen tapa

Kokemusperäinen menettely on yksinkertainen tapa tuottaa avoimia asfalttipäällysteitä. Asfalttinormeissa on määritelty neljä erilaista avoimen asfaltin luokkaa maksimiraekoon perusteella, AA 5, AA 8, AA 11 ja AA 16. Rakeisuudelle, kiviaineksen lujudelle, sideaineen laadulle, sideainepitoisuudelle ja massamäärälle [kg/m<sup>2</sup>] on määritelty ohjearvot luokittain. Asfalttinormit edellyttävät myös, että vettä läpäisevän AA-päällysteen tyhjätila on 15–25 %. Tyhjätila korreloi suoraan päällysteen vedenläpäisevyyteen.

Asfalttimassojen tulee olla CE-merkittyjä (CE-merkki, tyyppitestaus ja DoP).

## Toiminnallisten laatuvaatimusten asettaminen

Päällysteen vedenläpäisevyys on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista kun suunnitellaan asfalttimassoja hulevesirakenteisiin. Asfalttinormeissa ei esitetä vaatimusluokkia päällysteen vedenläpäisevyydelle. CLASS-tutkimuksen tulosten perusteella voidaan esittää, että asfalttipäällysteen vedenläpäisevyyden (k-arvo) tulisi olla  $>10^{-4}$  m/s. Hulevesikohteen päällysteelle halutaan mahdollisesti asettaa myös muita toiminnallisia vaatimuksia vedenläpäisevyyden lisäksi, kuten esimerkiksi kulutuskestävyys, kestävyys muodonmuutoksia vastaan, tukkeutumisherkkyys tai puhdistettavuus. Toiminnallisia vaatimuksia asetettaessa on kuitenkin huomioitava, että vettä läpäisevien päällysteiden mekaaniset ominaisuudet ovat heikommalla kuin normaalien katupäällysteiden, joten mahdolliset vaatimukset on asetettava harkiten. Useimmiten noin 1–2 vaatimusta riittää kaikkiin kohteisiin.

Asfalttinormit antaa mahdollisuuden valita eri toiminnallisille ominaisuuksille vaatimukset tai vaatimusluokat. Kaikille ominaisuuksille ei kuitenkaan ole välttämättä varsinaisia ohjealueita tai raja-arvoja, joiden perusteella kriteerien täyttymistä voitaisiin seurata. Tässä tutkimuksessa on lisäksi osoitettu, että kaikki vettä läpäisemättömien asfalttien testaukseen käytetyt menetelmät eivät välttämättä sovellu sellaisenaan avoimille päällysteille. Tällöin kunkin tulevan rakenteen toiminta, sen laatu ja laadun arviointi voidaan määritellä tapauskohtaisesti hyödyntäen mahdollisuuksien mukaan aiempia kokemuksia avointen asfalttien käytöstä. Säännöllistä monitorointia ja dokumentointia suositellaan.

## **Läpäisevä betoni (LB)**

Tässä esitettävä ohjeistus perustuu viitteissä (Kuosa et al. 2013a, Kuosa et al. 2013b, Kuosa ym. 2014a, BY 50: 2012, ACI 522R-10: 2011, ACI 522.1M-13: 2013) esitettyyn tietoon ja menetelmiin sekä muuhun yleisesti saatavilla olevaan tietoon kuten erityisesti LB:n testausstandardeihin (ASTM) ja ulkomaisiin LB-ohjeistuksiin.

LB poikkeaa merkittävästi tavanomaisesta betonista. Sen avoin vettä läpäisevä huokosrakenne tarkoittaa sitä, että myös sen sisäiset huokospinnat altistuvat ulkoisille olosuhteille kuten vedenimulle, mahdollisille klorideille, kuivumiselle ja



ikäntymiselle. Tämä altistuminen tapahtuu sekä pitkän ajan kuluessa että myös heti valun jälkeen.

LB on Suomessa jokseenkin uusi materiaali eikä sen valmistamisesta ja käyttäytymisestä Suomen olosuhteissa ole vielä laajaa kokemusta. Valu, tiivistys ja jälkihoito vaikuttavat sen ominaisuuksiin tavallista enemmän, mikä tulee ottaa huomioon. Tehokas jälkihoito tulee aloittaa välittömästi valun jälkeen ja sitä ei saa jättää missään olosuhteissa tekemättä. Jälkihoitoajan tulee olla vähintään seitsemän vuorokautta.

Kaikkiaan LB-rakenteen valmistuksessa tulee yleensä erikseen valvoa itse betonin ominaisuuksia ja toisaalta työn suoritusta (valu, levitys, tiivistys, jälkihoito). Myös hyväksyntäkriteerit (raja-arvoineen ja testaustiheyksineen) tulee sopia yhdessä läpäisevän betonin valmistajan ja valu- ja tiivistystyön suorittajan kanssa. Massan hyväksyntä voi perustua osin ennakkokokeiden tuloksiin ja osin jatkuvaan osa- ja lisäaineiden annostelumäärien valvontaan sekä betoniannosten tiheys- ja mahdollisesti myös lujuustulosten valvontaan.

LB:n tuotehyväksynnässä ja laadunvalvonnassa ei voida käyttää täysin samoja menetelmiä, joita käytetään tavanomaisen betonin tapauksessa. Jo käytössä olevia tunnettuja menetelmiä voidaan kuitenkin osin soveltaa ottaen huomioon LB:n erityispiirteet ja tutkimuksissa saadut tulokset.

Ennakkokokeissa tulee hankkia tieto valitulla tai standardoidulla (ASTM) tavalla tiivistetyn LB:n tiheydestä, huokoisuudesta, vedenläpäisevyydestä, lujuudesta ja pakkasenkestävyydestä. Pakkasenkestävyys tulee testata LB:lle soveltuvaksi katsottavalla menetelmällä.

Ennakkokokein valitaan käytettävän suhteutuksen osa- ja lisäaineiden määrät, joiden saavuttamista tuotannossa valvotaan. Annosteltavien osa- ja lisäainemäärien sallitut vaihteluvälit sovitaan erikseen. Jos tietyn koostumuksen LB:n tiheyden, huokoisuuden ja vedenläpäisevyyden sekä lujuuden väliset yhteydet tunnetaan, mahdollistaa tämä tuotannossa tiheyden seurantaan perustuvan jatkuvan laadunvalvonnan. Esimerkiksi vesimäärän vaihtelu voi vaikuttaa LB:n tiivistymiseen ja sitä kautta tiheyteen ja huokoisuuteen. Tiheys ei saisi poiketa enempää kuin  $\pm 80 \text{ kg/m}^3$  ennakkokokeiden tuoreen massan tiheydestä. Tiheyttä voidaan sopia seurattavan tietyin aika- tai tuotantomääräväleihin. Sovittaessa voidaan seurata vastavasti myös lujuutta.

Kovettuneen LB:n ominaisuuksiin vaikuttaa massan koostumuksen lisäksi tavallista enemmän myös kohteessa tapahtuva valu, tiivistys ja jälkihoito. Massan koostumuksen laadunvalvonta tulee mielellään tehdä valmistetuista betoniannoksista, jotta se voidaan erottaa työnsuorituksesta. Tällöin tiheys- ja lujuusmääritykset tehdään muottiin tiivistetystä massasta.

Jos halutaan valvoa valmiin rakenteen tiheyttä ja huokoisuutta, voidaan tätä varten ottaa poranäytteitä. Vaihtelun tulisi olla korkeintaan  $\pm 5 \%$  suunnitellusta. Valmiin rakenteen vedenläpäisevyytaso voidaan todeta paikan päällä tehtävin kenttämittauksin tai poranäytteiden laboratoriomittauksin. Valmiin rakenteen laadunvalvontamittausten määristä ja sallittavista hajonnoista tulisi sopia erikseen kohteen laajuuden mukaisesti. Erityisesti laajoissa valukohteissa on syytä tehdä koealue, jotta voidaan varmistua käytettävien työmenetelmien soveltuvuudesta.

LB:n pakkasenkestävyydestä ja pakkas-suolakestäväyydestä ei ole vastaavaa tietämystä kun tavanomaisen betonin osalta jo on. LB:n hyvä pakkasenkestävyys vaatii yleensä kaikissa Suomen olosuhteissa suojahuokostuksen ja erityisesti silloin, jos ei käytetä kestävyyttä parantavia lisä- ja/tai seosaineita, joiden toiminta on kokeellisesti todennettu. Suojahuokostukselle ei kuitenkaan ole vielä mahdollista asettaa arvostelukriteerejä. LB:n pakkasenkestävyys tulee määrittää ennakkoon suoralla pakkaskokeella, joka valitaan harkinnan ja käyttöolosuhteen mukaan. Lisäksi on kuitenkin hyvä saada ennakkoon tieto myös kovettuneen LB:n suojahuokostuksen määrästä ja laadusta. Tätä tietoa voidaan jatkossa käyttää myös niin sovittaessa hyväksyntäkriteerinä, kun sen suhde suoran kokeen tulokseen tiedetään.

Kovettuneen betonin suorat pakkaskokeet ja huokosjakotestaukset tulee sopia ennakkoon kuten myös niiden vaatimustasot. Pakkaskestävyyden laadunvalvonnan laajuudesta, menettelyistä ja menetelmistä tulee sopia ennakkoon kohteen laajuuden ja LB:n valmistuspaikan mukaisesti (paikallavalu, laattojen valmistus tehtaalla). Massan valmistuksen ja valutyön aikana huokostuksen osalta voidaan tehdä vain suuntaa-antavia havaintoja tuoreesta betonista.

LB:n alapuolisen rakenteen tulee aina olla kohteen vaatimuksiin soveltuva ja erittäin hyvin vettä läpäisevä, mikä tulee varmistaa ennen LB:n valua tai tehdasvalmisteisten LB-laattojen asennusta.

### **Kiveysten saumat, aukkokohdat ja tasaava kerros**

Betoni- ja luonnonkivien sauma- ja aukkomateriaalin sekä tasaavan kerroksen kiviaineksen tulee olla rakeisuudeltaan sellaista, että se läpäisee hyvin vettä. Hienoainesta siinä ei tulisi olla (pesty kiviaines) ellei hienoaineksen vaikutuksia läpäisevän rakenteen toimintaan oteta suunnittelussa huomioon.

Kiviainesvalinnassa tulee ottaa huomioon myös se, että kiviainesrakeet eivät pääse tunkeutumaan alla olevaan rakeisuudeltaan karkeampaan kiviaineskerrokseen ja tukkimaan sitä. Toisaalta alemman kerroksen vedenläpäisevyyden tulee olla ylemmän kerroksen vedenläpäisevyyttä riittävästi suurempi. Näitä kahta vaatimusta vastaavien kriteerien täyttyminen voidaan tarkistaa seuraavien ehtojen täyttymisen kautta ( $D_{xx}$  on läpäisyä  $xx$  (%) vastaava raekoko) (Ferguson 2005):

$$\text{Kantavan kerroksen } D_{15} \geq 5 \times \text{Tasaavan kerroksen } D_{15}$$

$$\text{Kantavan kerroksen } D_{50} \leq 25 \times \text{Tasaavan kerroksen } D_{50}$$

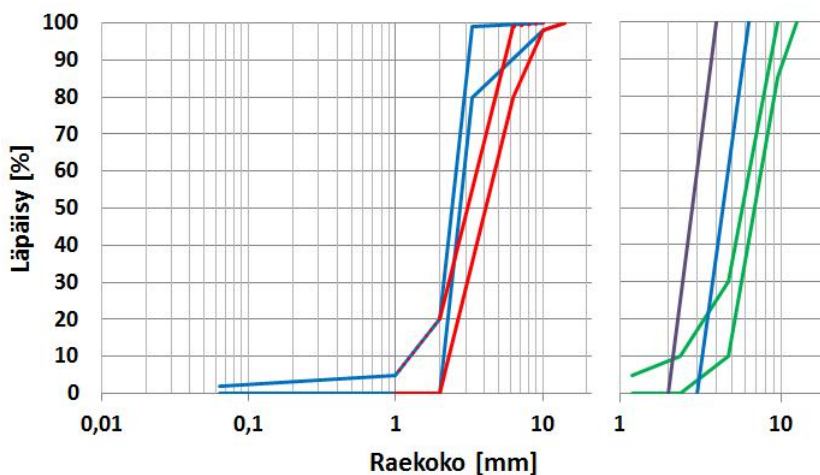
$$\text{Kantavan kerroksen } D_{15} \leq 5 \times \text{Tasaavan kerroksen } D_{85}$$

Huomiota tulee kiinnittää myös siihen, miten kiviainekset ovat tiivistettävissä (ks. myös kohta 5 Rakentaminen). Tiivistyksen ja kantavuuden osalta merkitystä on myös kiviainesten raemuodolla, jonka tulisi olla mahdollisimman kulmikas. Tarvittaessa tulee tehdä kantavuusmittauksia. (Kuosa et al. 2013a, Kuosa ym. 2014a.)

Läpäisevässä päällysrakenteessa käytettävän murskeen rakeisuuskäyrän muoto poikkeaa merkittävästi normaalista päällysrakenteessa käytettävän murskeen rakeisuudesta, joten mitoituksessa käytettävän E-moduulin suuruus tulee määrit-

tää materiaalin rakeisuuskäyrän muodon perusteella (esim. TVL 1985) tai käytettävä muutoin luotettavasti määritettyjä parametreja. Lämpäisevien päällysrakenteiden eri kerrosten kantavuuskokeita suositellaan tehtävästi runsaasti kantavuusmitoituksen tarkistamiseksi sekä kantavuusparametritiedon kartuttamiseksi tulevia kohteita ajatellen.

Kuvassa A1 on esitetty sauma/aukkomateriaalin ja tasaavan kerroksen kiviainesten rakeisuuksien ohjealueita, joita on esitetty eri maiden tai instanssien ohjeistuksissa. Saumamateriaali voi myös olla sidottu materiaali, joka on todettu tarkoitukseen soveltuvaksi.



**Kuva A1.** Esimerkkejä ohjeellisista (eri maat tai instanssit) läpäisevän betoni-/luonnonkivipinnan sauma/aukkomateriaalin ja tasaavan kerroksen kiviainesten rakeisuuksista.

## Liite B: Rakennekerrosten kantavat ja vettä viivyttävät materiaalit

### Kantavan ja jakavan kerroksen kiviainekset

Kiviainesvalinnoissa huomiota tulee kiinnittää riittävän tyhjätilan lisäksi myös siihen, miten kiviainekset ovat tiivistettävissä (ks. myös kohta 5 Rakentaminen). Tiivistyksen ja kantavuuden osalta merkitystä on esimerkiksi kiviainesten raemuodolla. Tarvittaessa tulee tehdä kantavuusmittauksia.

Kiviainesvalinnassa tulee ottaa huomioon myös se, että kiviainesrakeet eivät pääse tunkeutumaan alla olevaan rakeisuudeltaan karkeampaan kiviaineskerrokseen. Toisaalta alemman kerroksen vedenläpäisevyyden tulee olla ylemmän kerroksen vedenläpäisevyyttä riittävästi suurempi. Näitä kahta vaatimusta vastaavien kriteerien täytyminen voidaan tarkistaa seuraavien ehtojen täyttymisen kautta ( $D_{xx}$  on läpäisyä xx (%) vastaava raekoko) (Ferguson 2005):

$$\text{Jakavan kerroksen } D_{15} \geq 5 \times \text{Kantavan kerroksen } D_{15}$$

$$\text{Jakavan kerroksen } D_{50} \leq 25 \times \text{Kantavan kerroksen } D_{50}$$

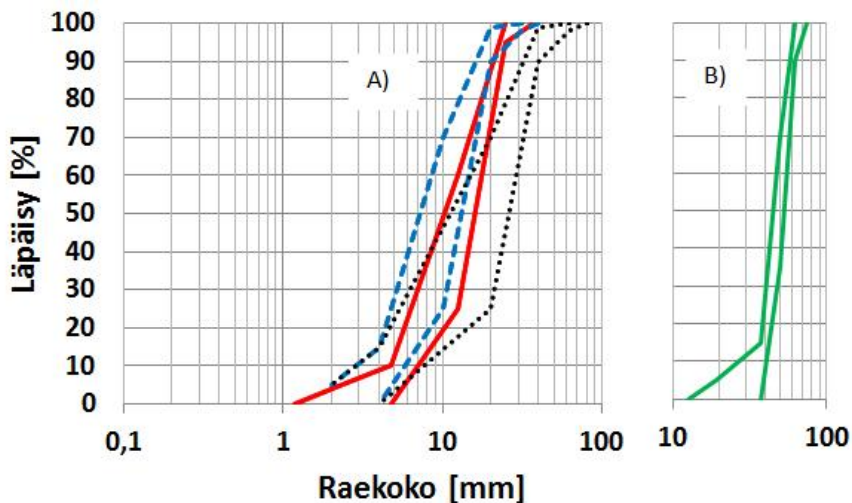
$$\text{Jakavan kerroksen } D_{15} \leq 5 \times \text{Kantavan kerroksen } D_{85}$$

Huomiota tulee kiinnittää myös siihen, miten kiviainekset ovat tiivistettävissä (ks. myös kohta 5 Rakentaminen). Tiivistyksen ja kantavuuden osalta merkitystä on myös kiviainesten raemuodolla, jonka tulisi olla mahdollisimman kulmikas. Tarvittaessa tulee tehdä kantavuusmittauksia. (Kuosa et al. 2013a, Kuosa ym. 2014a)

Kuvassa B1 on esitetty tyypillisiä kantavan ja jakavan kerroksen kiviainesten rakeisuuksien ohjealueita, joita on esitetty eri maiden tai instanssien ohjeistuksissa.

Viitteessä (BS 7533-13: 2009) on annettu kantavan/jakavan kerroksen ohjeelliseksi rakeisuudeksi 4/20 mm tai 4/40 mm ja lisäksi vaatimuksina luokat GC 85-15 ja GTC 20/17,5, joita vastaavat vaatimukset on esitetty standardissa (SFS-EN 13242 + A1: 2008).

Taulukossa B1 on esitetty tyypillisiä ominaisuuksia ja vaatimuksia kantavan ja jakavan kerroksen kiviaineksille.



**Kuva B1.** Esimerkkejä ohjeellisista (eri maat ja instanssit) kantavan ja jakavan kerroksen kiviainesten rakeisuuksista: A) kantava kerros; B) jakava kerros.

**Taulukko B1.** Tyypillisiä ominaisuuksia ja vaatimuksia kantavan ja jakavan kerroksen kiviaineksille (BS 7533-13: 2009, SFS-EN 13242, Kuosa et al. 2013a).

Ominaisuus	Luokka [SFS-EN 13242 + A1: 2008] ja/tai vaatimus/ominaisuus
Tyhjätila (tiivistettynä) [%]	30 - 40
Vedenläpäisevyys [ $10^{-3}$ m/s]	>11
Tiheys (tyypillinen) [ $\text{kg/m}^3$ ]	1520 - 1920
Murtopintaisten ja kokonaan pyörityneiden rakeiden osuus <sup>1)</sup>	$C_{90/3}$ tai murtopintaaiset >90 %
Litteysluku <sup>1)</sup>	$F_{20}$ (<20)
Hienoainemäärä <sup>1) 2)</sup>	vesipesty tai $f_2$ tai $f_4$
Iskunkestävyys, Los Angeles-luku	$LA_{30}$ tai $LA_{20}$ <sup>3)</sup>
Kulutuskkestävyys, Micro-Deval-arvo	$M_{DE20}$ (<20)

1) Vaikuttaa tiivistettävyyteen ja/tai kantavuuteen.

2) Rajoitus hienoainemäärälle sen mukaan, miten hienoaineksen vaikutukset otetaan suunnittelussa huomioon.

3) Valitaan harkinnan ja liikennemäärän mukaan

## L2.2 Vaihtoehtoiset materiaalit

Taulukossa B2 on annettu alustavina esimerkkejä perusominaisuuksista vaihtoehtoisille materiaaleille, joita mahdollisesti voidaan käyttää kantavassa tai jakavassa kerroksessa tai kevennysmateriaalina jakavan kerroksen alla. Vaihtoehtoisten materiaalien soveltuvuus tulee kuitenkin aina arvioida tapauskohtaisesti ja suunnittelussa tulee käyttää tuotekohtaisia arvoja. Jos niitä ei ole tiedossa, tulee ne arvioida tai määrittää siten, että vettä läpäisevä rakenne voidaan suunnitella ja mitoittaa riittävällä varmuudella ko. materiaalia käyttäen. Esimerkiksi betonimurskeen 7/45 (ei hienoainesta) soveltuvuudesta kantavaan kerrokseen vielä ei ole tutkimustuloksia. Kuvassa B2 on esimerkkejä vaihtoehtoisista materiaaleista.

**Taulukko B2.** Esimerkkejä rakennekerrosten vaihtoehtoisten materiaalien ja tuotteiden ominaisuuksista (Kuosa ym. 2014a).

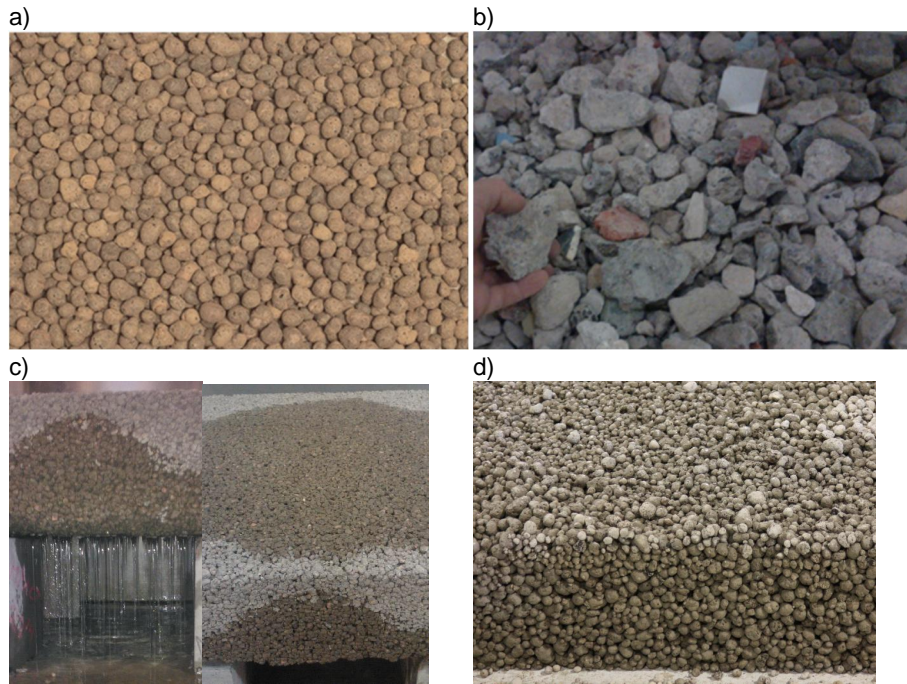
Ominaisuus	Materiaali/tuote			
	Lecasora <sup>1)</sup> 4/10 ja 8/20	Betonimurske 7/45 <sup>1)</sup>	Läpäisevä betoni (8/12)	Läpäisevä Leca-betoni 4/10 <sup>3)</sup> ja 8/20 <sup>4)</sup>
Avoin huokoisuus [%]	46 ja 46	44	24 - 28	18 ja 23
Vedenläpäisevyys [ $10^{-3}$ m/s]			6	1 ja 5
Irtotiheys kuivana <sup>2)</sup> [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	290 ja 230	1160		
Irtotiheys märkänä <sup>1)</sup> [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	350 ja 290	1260		
Tiheys (massa) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]			1840 - 1950	830 ja 750
Raemuoto	pyreähkö	kulmikas		
Puristuslujuus [MPa]			16	4 ja 2

1) tiivistämättömänä, vedelläimeytysaika 18 h

2) tiivistämättömänä, laboratorio-olosuhteessa

3) Leca-soraa  $173 \text{ kg}/\text{m}^3$ ; sideaineena CEM I 42,5 ja silika; yhteensä  $290 \text{ kg}/\text{m}^3$

4) Leca-soraa  $287 \text{ kg}/\text{m}^3$ ; sideaineena CEM I 42,5 ja silika; yhteensä  $300 \text{ kg}/\text{m}^3$



**Kuva B2.** Esimerkkejä rakennekerrosten vaihtoehtoisista vettä läpäisevistä ja/tai viivyttävistä materiaaleista: a) Leca-soraa; b) Betorock (betonimurske 4/45 mm); c) Läpäisevä betoni (LB 4/8 mm); d) Läpäisevä Leca-betoni.

## **Liite C: Geotekstiilit ja -eristeet**

### **Geotekstiilit**

Vettä läpäisevässä päällysteessä geotekstiilin tulee toimia suodattavana, mutta toisaalta läpäistä vettä. Ohjeessa (BS 7533-13: 2009) on esitetty tyypillisiä pintakerroksen alle tulevalle geotekstiilille asetettuja vaatimuksia. Esimerkiksi vedenläpäisevyyden (määritys EN ISO 11058 mukaisesti) tulisi olla kudotulle geotekstiilille vähintään 0,2 m/s ja ei-kudotulle vähintään 60 m/s. Standardin EN ISO 12956 mukaisen aukkokoon tulisi olla kudotulle geotekstiilille vähintään 0,2 mm ja ei-kudotulle vähintään 0,1 mm.

Kaikilta osin soveltuvan geotekstiilin valinnassa on hyvä olla yhteydessä valittavan tuotteen edustajaan tai geotekstiilien käyttöön perehtyneeseen tahoon/suunnittelijaan.

Kasetti- ja tunneli- ym. järjestelmien yhteydessä käytettävien geotekstiilien valinnassa tulee noudattaa kunkin tuotteen edustajan ohjeistusta.

### **Geoeristeet**

Geoeristeen eli tässä tapauksessa muovisen tiivistyskalvon (esim. HPDE tai LLPDE kalvo) tulee olla riittävän kestävä materiaalia jotta se pysyy vaurioitumattomana sekä vettä läpäisevän päällysteen rakentamisen että koko suunnitellun käyttöajan aikana. Erilaisissa käyttöolosuhteissa vaadittavat ominaisuudet on esitetty standardissa (SFS-EN 15382: 2013). Oleellisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi staattinen puhkaisulujuus, vetolujuus, käyttäytyminen matalassa lämpötilassa (taivutus) sekä saumojen kestävyys.

Kaikilta osin soveltuvan geoeristeen valinnassa on hyvä olla yhteydessä valittavan tuotteen edustajaan tai geoeristeiden käyttöön perehtyneeseen tahoon/suunnittelijaan.

Kasetti- ja tunneli- ym. järjestelmien yhteydessä käytettävien geoeristeiden valinnassa tulee noudattaa kunkin järjestelmän edustajan ohjeistusta.





Nimeke	<b>Vettä läpäisevät päällysteet</b> Käsikirja suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon
Tekijä(t)	Terhi Kling, Erika Holt, Harri Kivikoski, Juhani Korkealaakso, Hannele Kuosa, Kalle Loimula, Emma Niemeläinen & Jouko Törnqvist
Tiivistelmä	<p>Kaupungistuminen kasvattaa vettä läpäisemättömien pintojen määrää, mikä vähentää veden imeytymistä maaperään ja lisää viemäröinnin tarvetta. Pääasialliset vaikutukset ovat pintavalunnan lisääntyminen, lyhyet ja voimakkaat virtaamapiikit, tulvat ja eroosio-ongelmat. Edellä mainittuja ongelmia pahentaa se, että ilmastomuutoksen seurauksena myös sademäärien ennustetaan kasvavan. Kaupungistumisen vesistö- ja ympäristövaikutuksia voidaan vähentää hydrologiset tekijät huomioon ottavan kaupunkisuunnittelun avulla. Tavoitteet huleveden kestäväälle käsittelylle, tulvariskien minimoinnille ja kaupunkien virtavesien laadun parantamiselle on asetettu Euroopan ja kansallisen tason direktiiveissä sekä kaupunkien hulevesistrategioissa.</p> <p>CLASS-projektissa (Climate Adaptive Surfaces) tutkittiin vettä läpäiseviä pintamateriaaleja ja niiden alapuolisia rakennekerroksia, joiden avulla voidaan vähentää pintavaluntaa, lisätä veden imeytymistä alapuoliseen maaperään ja viivyttää poisjohdettavan veden virtaamaa sekä tasoittaa virtaamapiikkejä. Tutkimuksen painopiste on ollut materiaalien kehittäminen, niiden toimivuuden osoittaminen sekä asiantuntemuksen ja läpäisevien pinnoitteiden suunnittelu-, rakentamis- ja ylläpito-osaamisen lisääminen. Läpäisevät päällysteet tulisi suunnitella ja mitoittaa sellaisiksi, että ne kestävät haluttua käyttöä ja toteuttavat samalla hulevesien hallintaan liittyvät tavoitteet, joita ovat riittävä vedenläpäisevyys ja viivytykskapasiteetti sekä joissakin tapauksissa myös veden puhdistuskyky. Läpäiseviin päällysteisiin soveltuvia pintamateriaaleja ovat mm. avoin asfaltti ja läpäisevä betoni sekä päällystekivistä tai -laatoista (betoni/luonnonkivi) tehdyt pinnat, joiden saumat ja/tai aukkokohdat sekä niiden täyttömateriaali kuten myös tasauskerroksen materiaali mahdollistavat veden pääsyn alapuolisiin rakennekerroksiin. Päällystekivet tai -laatat voivat myös olla itsessään vettä läpäiseviä, jolloin saumamateriaalin ei tarvitse läpäistä vettä. Rakennekerroksissa käytettävien kiviainesten valinnassa joudutaan hakemaan tasapaino vedenläpäisevyyden sekä erityisesti veden viivytykskapasiteetin ja kantavuuden välillä. Tässä käsikirjassa pyritään antamaan perustiedot siitä, miten vettä läpäiseviä pinnoiteratkaisuja suunnitellaan ja toteutetaan käytännössä Suomen olosuhteisiin.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8198-6 (nid.) ISBN 978-951-38-8199-3 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> ) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-1211 (Painettu) ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)
Julkaisuaika	Tammikuu 2015
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	59 s. + liitt. 11 s.
Projektin nimi	CLASS (Climate Adaptive Surfaces)
Rahoittajat	Espoon kaupunki, FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy, Helsingin kaupunki, Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä (HSY), Kaitos Oy, Kiviteollisuusliitto ry, Lemminkäinen Infra Oy, Oulun kaupunki, Pipelife Finland Oy, Puutarha Tahvoset Oy, Ramboll Finland Oy, RTT Betoniteollisuus, Rudus Oy Ab, Saint Gobain Weber Oy Ab, Tekes, Vantaan kaupunki, VTT
Avainsanat	vettä läpäisevät päällysteet, läpäisevät pintamateriaalit, avoin asfaltti, läpäisevä betoni, huleveden viivytyt
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Title	<b>Permeable pavements</b> Guidance for planning, construction and maintenance
Author(s)	Terhi Kling, Erika Holt, Harri Kivikoski, Juhani Korkealaakso, Hannele Kuosa, Kalle Loimula, Emma Niemeläinen & Jouko Törnqvist
Abstract	<p>Urbanization increases the amount of water impervious surfaces, thereby reducing water infiltration into the soil and causing a growing need for sewerage. The main effects are an increase in surface runoff, short and strong flow peaks, flooding and erosion problems. The above problems are aggravated by the fact that as a result of the climate change, rainfall is forecast to grow. The environmental impact of the urbanization can be reduced by city planning that takes into account the hydrology.</p> <p>The Climate Adaptive Surfaces (CLASS project) was instigated due to the needs for Finland to have methods for addressing improved urban storm water management. Pervious pavement implementation is one of the prescribed methods for decreasing the impacts of soil sealing, as identified by European and national level directives. The pervious pavements can be used in urban open areas, such as playgrounds and plazas, as well as low-volume traffic areas such as residential streets and parking areas. The primary benefit is the direct filtration of storm water to the underlying soil, thus having less run-off, puddling, ice and snow accumulation. The solutions can improve the urban safety, vegetation growth, societal well-being and reduce environment pollution.</p> <p>The main pavement types are pervious concrete pavement, permeable interlocking concrete pavement together with permeable natural stone pavement and porous asphalt pavement. As the whole pavement structure is more that essential for the function of a pervious pavement, also the materials and products needed to build the substructures were investigated. This handbook is intended to provide a basic understanding of how the water-permeable solutions are designed and implemented in practice in cold conditions such as Finland.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8198-6 (Soft back ed.) ISBN 978-951-38-8199-3 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> ) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-1211 (Print) ISSN 2242-122X (Online)
Date	January 2015
Language	Finnish, English abstract
Pages	59 p. + app. 11 p.
Name of the project	CLASS (Climate Adaptive Surfaces)
Commissioned by	Espoon kaupunki, FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy, Helsingin kaupunki, Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä (HSY), Kaitos Oy, Kiviteollisuusliitto ry, Lemminkäinen Infra Oy, Oulun kaupunki, Pipelife Finland Oy, Puutarha Tahvoset Oy, Ramboll Finland Oy, RTT Betoniteollisuus, Rudus Oy Ab, Saint Gobain Weber Oy Ab, Tekes, Vantaan kaupunki, VTT
Keywords	permeable pavements, permeable surfaces, porous asphalt, permeable concrete, stormwater management
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

## Vettä läpäisevät päällysteet

### Käsikirja suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon

Kaupungistuminen kasvattaa vettä läpäisemättömien pintojen määrää, mikä vähentää veden imeytymistä maaperään ja lisää viemäroinnin tarvetta. Tulvia ja eroosio-ongelmia pahentaa myös ilmastonmuutoksesta aiheutuva sademäärien lisääntyminen. Kaupungistumisen vesistö- ja ympäristövaikutuksia voidaan vähentää hydrologiset tekijät huomioon ottavan kaupunkisuunnittelun avulla.

Suomalaisessa CLASS-projektissa (Climate Adaptive Surfaces) tutkittiin ja kehitettiin uusia vettä läpäiseviä pinnoitteita sekä niihin oleellisesti liittyviä alusrakenteita, jotka ovat myös vettä läpäiseviä, mutta toimivat ennen kaikkea vettä viivyttävinä rakenteina. Rakenteiden toiminnan kannalta on oleellista, että ne pystyvät käsittelemään riittävän määrän vettä, mutta samalla niiden kantavuus ja muut ominaisuudet ovat käyttökohteen asettamien vaatimusten mukaisia. Suomen ilmasto-olosuhteissa on myös otettava huomioon sekä routa että jäätymis-sulamissykliin vaikutukset. Tässä käsikirjassa pyritään antamaan perustiedot siitä, miten vettä läpäiseviä päällysteratkaisuja suunnitellaan ja toteutetaan käytännössä Suomen olosuhteisiin.

ISBN 978-951-38-8198-6 (nid.)

ISBN 978-951-38-8199-3 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-1211 (Painettu)

ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)