

# **Katualueen rakenteiden käyttöiät**

**Käyttöikiin vaikuttavat tekijät suunnittelun näkökulmasta**

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

2023

Anna Vartiainen

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Vartiainen, Anna	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 80	Valmistumisaika 2023
Työn nimi <b>Katualueen rakenteiden käyttöiät</b> Käyttöikiin vaikuttavat tekijät suunnittelun näkökulmasta		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Ville John, yksikönpäällikkö, Ramboll Finland Oy		
<p>Opinnäytetyössä tutkittiin katualueen rakenteiden käyttöikiä ja niihin vaikuttavia tekijöitä suunnittelijan näkökulmasta. Työn tarkoituksena oli koota yhteen tietoa, jotta käyttöikä voitaisiin huomioida kunnallistekniikan suunnittelussa paremmin. Käyttöikä on olennainen lähtötieto elinkaariarvioinneille. Työssä käsiteltiin katualueen rakenteita, mutta aiheesta rajattiin pois asfalttipäällysteet ja valaisimen osalta käsiteltiin vain pylväät. Tietoa kerättiin perehtymällä alan kirjallisuuslähteisiin, sekä haastatteleamalla 16 suunnittelijaa sekä tilaajien ja tuotevalmistajien edustajaa.</p> <p>Tutkimuksessa selvisi, että kunnallistekniikan käyttöikä liittyy moniin keskeisiin teemoihin, kuten kiertotalouteen, kustannusten hallintaan, päästöjenhallintaan, laatuun, kunnossapitoon sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksiin sopeutumiseen. Käyttöikä tietoa on vaihtelevasti saatavilla ja se on aina tiettyihin normaaliolosuhteisiin määriteltyä. Erityisesti maaperäolosuhteiden huolellinen selvittäminen osoittautui usean rakenteen suunnittelulle tärkeäksi lähtötiedoksi. Itse käyttöikäsuunnittelua varten tarvitaan tilaajan antama käyttöikävaatimus laatutason määrittämiseksi. Käyttöikä pitää suunnitteluvaiheen jälkeen konkretisoida myös hankinnoissa ja rakentamisen aikana, jolloin suunnitteluvaiheessa määritellyllä laadunvalvonnalla on merkittävä rooli. Opinnäytetyön tuloksena saatiin tietoa yksittäisten tuotteiden ja rakenteiden käyttöiästä, niihin vaikuttavista tekijöistä, tarvittavista lähtötiedoista sekä käyttöiän konkretisoimisen edellytyksistä suunnittelun näkökulmasta.</p> <p>Opinnäytetyön toteutettiin Ramboll Finland Oy:n ja Lappeenrannan kaupungin toimeksiannosta.</p>		
Asiasanat käyttöikä, elinkaariarviointi, kunnallistekniikka, kadunrakennus, vesihuolto		

## Abstract

Author(s) Vartiainen, Anna	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2023
	Number of Pages 80	
Title of Publication <b>Service life of municipal infrastructures</b> Impacting variables of municipal structures' service lives from design standpoint		
Degree and field of study Bachelor of Engineering, Civil and Construction Engineering		
Name, title, and organisation of the client Ville John, Head of Department, Ramboll Finland Oy		
Abstract <p>The purpose of the study was to find out service lives of municipal structures in the street zone and which variables have impact on them. The goal was to round up information on service lives to help designers take it into account when executing life cycle assessment. Asphalt paving and streetlights apart from lighting columns were left out of this study. The information was gathered from literature and by carrying out 16 interviews with members of municipal building project owners, members of manufacturers and designers.</p> <p>The results of the study show that service life is related to many themes such as circular economy, costs, emissions, standards, maintenance and adapting to weather impacts of global warming. Rate of how easy it is to find information about service lives varies. The information is always limited to manufacturer special standard circumstances. Especially finding out soil survey information proved to be essential for many structures' service lives. What comes to service life-based designing, it is necessary to place demands for municipal structures' service life by building project owners to set the standard for designing. Service lives must be considered also when products are bought and when a street is being built as quality control has impact on service life. In short, results of this study are information of products service lives, impacting factors, needed primary data and how to fulfill service lives from design standpoint.</p> <p>The study was commissioned by Ramboll Finland Oy and City of Lappeenranta.</p>		
Keywords service life, life cycle assessment, municipal structures, street construction, water supply and sewerage construction		

## Sisällys

1	Johdanto.....	3
2	Katurakenteen elinkaarihallinta .....	4
2.1	Ilmastonmuutos ja yhdyskuntarakentaminen .....	4
2.2	Elinkaariajattelu ja kunnallistekniikan suunnittelu .....	5
2.3	Elinkaariajattelu ja kustannukset.....	8
2.4	Kunnossapidon vaikutus käyttöikään .....	9
2.5	Laatuvaatimukset ja -merkinnät .....	10
3	Vesihuolto- ja hulevesirakenteet .....	12
3.1	Vesihuoltoverkot .....	12
3.2	Hulevesien hallinta.....	13
3.3	Viettoviemärointi .....	14
3.4	Paineputkijärjestelmät.....	21
4	Betonituotteet .....	30
4.1	Betoniset tasokiveykset .....	30
4.2	Reunatuet.....	32
4.3	Valaisinjalustat.....	33
4.4	Tukimuurit.....	34
5	Luonnonkivituotteet.....	37
5.1	Luonnonkiviset tasokiveykset.....	37
5.2	Reunatuet .....	40
5.3	Luonnonkivitukimuurit .....	41
6	Päällysrakenne .....	43
7	Muut tuotteet ja rakenteet .....	54
7.1	Tiementunnukset.....	54
7.2	Valaisinpylväät.....	56
7.3	Kaapelit .....	58
7.4	Kaukolämpöjohdot.....	60
8	Yhteenveto ja pohdinta .....	64
	Lähteet.....	73

## Liitteet

Liite 1. Katualueen rakenteiden käyttöiät

Liite 2. Betonisten ja muovisten viettoviemäriputkien taulukoita

Liite 3. Valokuvia eri ikäisistä reunakivistä Lappeenrannassa

Liite 4. Katupuiden tilavaatimukset

Liite 5. Kaukolämpökaivannon mitat

Liite 6. Vakituisesti asuttujen omakoti-, pari-, rivi- ja kerrostalojen lukumäärät Lappeenrannassa rakennusvuoden mukaan

Liite 7. Taulukoita päällysrakenteen suunnitteluun

## Käsitteet

Biofilmi:	tuotteen pinnalle kasvanut mikrobien järjestäytynyt kertymä.
Deformaatio:	Rakennekerroksen vertikaalinen muodonmuutos.
Diffuusio:	Ilmiö, jossa molekyylit pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan.
Elinkaari:	Yksittäisen tuotteen elinkaareen kuuluvat kaikki tuotannon vaiheet materiaalin valmistamisesta lopulliseen käytöstä poistamiseen.
Itsepuhdistuminen:	Viettoviemäri on itsepuhdistuva silloin, kun putken pohjalle kerääntynyt kiintoaines lähtee liikkeelle virtaaman vaikutuksesta jätevedenpuhdistamolle vähintään kerran vuorokaudessa.
Kiisu:	Eri sulfidimineraaleja sisältävä malmi.
Käyttöikä:	Aikaväli, jolloin tuote tai rakenne palvelee käyttötarkoitustaan asennuksesta käytöstä poistamiseen.
LCA:	Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi
Maakaapelin auraus:	Maakaapelin asennusmenetelmä kaivinkoneen ja kaapeliauran avulla.
Ominaisvastus:	Resistiivisyys kertoo maan kyvystä vastustaa sähkövirran kulua senttimetriä kohden [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ].
Padotuskorkeus:	Tukkeutumistilanteessa syntyvä vedenkorkeus viemäriässä.
Paineisku:	Verkostoa pitkin kulkeva paineaalto, joka syntyy, kun paineellisen putken virtausolosuhteet muuttuvat nopeasti, esimerkiksi äkillisen vuodon tai verkostoon liittyvien varusteiden ja laitteiden käytön vuoksi.
Rapautuminen:	Vaurioitumistapa, jossa betoni halkeilee ja murenee, kun jään tilavuus on ylittänyt betonin huokostilavuuden.
Redox-potentiaali:	Hapetus-pelkistyspotentiaali.
SDR-luku:	<i>Standard Diameter Ratio</i> , muoviputken nimellisen ulkohalkaisijan ja seinämävahvuuden suhde.

Sujutus:	Vesihuoltoverkoston saneerausmenetelmä, jossa viedään vanhan putken sisäpuolelle uusi putki joko pitkä-, pätkä-, pakko-sujuttamalla tai sukittamalla.
Sulfidi:	Rikkiä sisältävä yhdiste.
TLL:	Tieliikennelaki
Työyhteenliittymä:	Kahden tai useamman toimijan perustama yhteenliittymä, jonka tavoite on toteuttaa rakennushanke.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheeksi on valittu katualueen rakenteiden käyttöiät, ja niihin vaikuttavat tekijät suunnittelun näkökulmasta. Tarve tälle opinnäytetyölle syntyi työelämästä, kun Lappeenrannan kaupunki tilasi Ramboll Finland Oy:ltä katusuunnitteluohjeen, jonka taustaineistoksi tarvitaan suunnitteluun sovellettavaa selvitystä katurakenteiden eri osien käyttöiästä. Tavoitteena on, että voitaisiin suunnitella enemmän elinkaariajatteluun perustuen.

Aihe on erittäin ajankohtainen ja tarpeellinen, eikä siitä ole vielä olemassa selkeää ja yhteen koottua kokonaisuutta. Lisäksi yhteiskunta ja rakennusala on enenevässä määrin siirtymässä kohti kestävästä kehitystä ja elinkaariajattelua. Niin rakennusallalla, kuin yhteiskunnassa laajemminkin ollaan haasteen edessä, jossa toimintaa täytyy muuttaa resurssivisaampaan suuntaan ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja sen vaikutuksiin sopeutumiseksi. Tieto katualueen rakenteiden käyttöiästä hyödyttää niin suunnittelijoita kuin tilaajiakin, sillä harkitulla suunnittelulla rakennusosien käyttöikää voitaisiin hyödyntää tehokkaammin.

Työn tarkoituksena on selvittää, millaisia käyttöikä tuotteille tai rakenteille annetaan, mitkä tekijät pidentävät tai lyhentävät niitä ja mitä asioita suunnittelussa tulee määrittää ja selvittää rakenteen mahdollisimman pitkän kestoajan saavuttamiseksi. Tutkimuskysymyksillä lähdetään selvittämään haastattelemalla tuotetoimittajia, suunnittelijoita ja Lappeenrannan kaupungin henkilöstöä. Lisäksi tietoa kerätään laajasti kirjallisuuslähteitä hyödyntäen.

Työssä ei oteta kantaa työmaatoimintaan, vaan tarkastellaan aihetta suunnittelun näkökulmasta. Myöskään asfalttipäällysteitä ei tutkita, sillä aiheesta on jo tehty opinnäytetyö toimeksiantajalle. Valaisimien osalta käsitellään vain pylväät. Myöskään kaikkia rakenteiden suunnittelu- ja mitoitusperusteita ei käsitellä, vaan lähinnä sellaisia, jotka vaikuttavat käyttöikään. Turhan toiston välttämiseksi tietyt suunnitteluasiat käsitellään vain kerran, vaikka samat asiat pätevät materiaalista huolimatta. Tutkittava aihe liittyy moniin yhdyskuntarakentamisen ajankohtaisiin teemoihin; ilmastonmuutokseen ja sen vaikutuksiin sopeutumiseen, päästöihin, elinkaariajatteluun, resurssitehokkuuteen ja kiertotalouteen. Työssä sivutaan myös kiertotaloutta, koska purkutuetteen uudelleenhyödyntäminen pidentää yksittäisen materiaalin käyttöikä.

Työn toimeksiantajina ovat Ramboll Finland Oy ja Lappeenrannan kaupunki. Ramboll Finland Oy on kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointialan yritys, joka toimii useilla rakennusalan toimialoilla infra- ja kiinteistöarakentamisesta aina vesi- ja ympäristöarakentamiseen.

## 2 Katurakenteen elinkaarihallinta

### 2.1 Ilmastonmuutos ja yhdyskuntarakentaminen

Nykytiedon mukaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomessa tulevat olemaan lyhemmät talvet, lisääntyneet talvisateet, lämpimämmät kesät, pidemmät hellekaudet sekä mahdollisesti ajoittainen kuivuus ja veden kierron voimistuminen (Ilmasto-opas.fi). Yhdyskuntarakenteisiin kohdistuu tulevaisuudessa ilmastoriskien aiheuttamien haavoittuvuuksien vuoksi laajoja vaikutuksia ja haasteita (Lappeenrannan kaupunki 2020, 30).

Ilmastonmuutoksen vahingollisuus on riippuvainen sen nopeudesta, voimakkuudesta ja laadusta, mitkä taas riippuvat maailmanlaajuisesta päästöjen kehitymisestä. Ilmastonmuutoksen huomioimiseen yhdyskuntarakentamisessa liittyy näin ollen kaksi samanaikaista ulottuvuutta; päästöjen vähentäminen ja sopeutumistoimet. Toisinaan nämä tavoitteet voivat olla ristiriidassa toistensa kanssa, esimerkiksi tiivis kaupunkirakenne on päästöjen kannalta edullinen, mutta haavoittuvaisempi lisääntyville sään ääri-ilmiöille. Sään ääri-ilmiöihin sopeutuminen on haasteellisinta kaupunkiseuduilla. (Ilmasto-opas.fi.)

Lappeenrannassa ilmastoriskeiksi on tunnistettu ja arvioitu äärimmäisten sateiden, helteiden, tulvien, kuivuuden, myrskyjen ja metsäpalojen lisääntyminen. Esimerkiksi äärimmäinen helle vaikuttaa päällysteiden kestävyYTEEN, kasvattaa vedenkulutusta ja lisää tarvetta varjoisille paikoille. (Lappeenrannan kaupunki 2020, 29.) Kasvavat sademäärät yhdistettynä vettä läpäisemättömien pintojen, kuten kattojen ja päällystettyjen alueiden, lisääntymiseen aiheuttaa hulevesimäärien ja tulvariskin kasvun. Toisaalta läpäisemättömät pinnat voivat aiheuttaa myös kuivuutta ja vaikuttaa pohjaveden tasoon ja laatuun. (Lylykangas ym. 2019, 9). Taulukossa 1 on esitetty Lappeenrannan ilmastoriskejä eri aikajän-teillä.

Lappeenrannan kaupunki on määritellyt ilmasto-ohjelmassaan (2020, 21) kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen eräksi pääteemoikseen kestävän rakentamisen, sekä kaavoituksen- ja maankäytön, sekä julkiset vihreät ja kestävät hankinnat. Strategiassaan (2021) Lappeenrannan kaupunki on määritellyt hillitsevänsä ilmastonmuutoksen seurauksia, toimivansa edelläkävijänä ilmastohaasteiden ratkaisemisessa, edistävänsä ekologisia toimintamalleja, parantavansa resurssi- ja materiaalitehokkuutta sekä noudattavansa kiertotalouden periaatteita. Lappeenrannan ilmasto-ohjelmassa (2020, 23) on linjattu, että julkisissa vihreissä hankinnoissa tavoitellaan hankintojen energia- ja materiaalitehokkuuden edistämistä ja hankintojen kasvihuonepäästöjen vähentämistä. Maankäytön suunnittelu on tunnistettu merkittäväksi ilmastonmuutokseen sopeutumisen keinoksi (Lappeenrannan kaupunki 2020, 31).

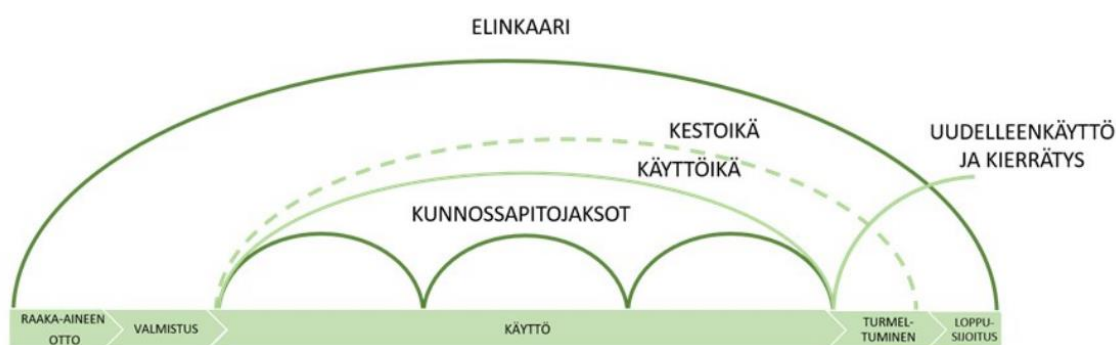
Ilmatoriski	Riskitaso	Odotettu intensiteetti	Odotettu esiintyvyys	Aika-jänne
Äärimmäinen lämpö	!!	↑	↑	▶
Äärimmäinen kylmyys	!	↓	↓	▶
Äärimmäinen sade	!!	↑	↑	▶
Tulvat	!!	↑	↑	▶▶
Merenpinnan nousu	!			
Äärimmäinen kuivuus	!	↑	↑	▶▶
Myrskyt	!!	↑	↑	I
Maanvyörymät	!	↔	↔	▶▶
Metsäpalot	!!	↑	↑	I
	I Matala !! Keskinkertainen !!! Korkea [?] Ei tiedossa	↑ Kasvu ↓ Lasku ↔ Ei muutosta [?] Ei tiedossa	↑ Kasvu ↓ Lasku ↔ Ei muutosta [?] Ei tiedossa	I Nykyinen ▶ Lyhyt aikaväli ▶▶ Keskipitkä aikaväli ▶▶▶ Pitkä aikaväli

Taulukko 1 Lappeenrannan kaupungin tunnistetut ja arvioidut ilmatoriskit (Lappeenrannan kaupunki 2020)

## 2.2 Elinkaariajattelu ja kunnallistekniikan suunnittelu

Elinkaariajattelu tarkoittaa suunnittelun aikana tapahtuvaa tuotteiden ja rakenteiden eri elinkaaren osien kielteisten ja myönteisten vaikutusten hallintaa. Elinkaariajattelu ei ole tavoite, vaan menetelmä. Elinkaariarviointi eli LCA taas tarkoittaa tuotteen tai rakenteen ympäristövaikutusten sekä sosiaalisten ja taloudellisten vaikutusten arviointia määrällisesti. Rakennetun ympäristön elinkaari voidaan jakaa neljään päävaiheeseen: valmistus, rakentaminen, käyttö ja elinkaaren loppu. Yksittäisen tuotteen elinkaareen kuuluvat valmistus, kuljetus, käyttö, korjaus, elinkaaren loppu ja kierrätys uudelleenkäyttöön. (Aalto-yliopisto 2021.) Katusuunnittelussa elinkaariajattelua voidaan toteuttaa maksimoimalla käyttöikä vaikuttamalla yksittäisten tuotteiden ja rakenteiden muihin elinkaaren vaiheisiin. Tiivistetysti käyttöiän hallinta tarkoittaa käytännössä kaikkien vaikuttavien lähtötietojen huomioonottamista suunnittelussa ja rakentamisessa. Kuvassa 1 on esitetty infran elinkaaren vaiheet.

Käyttöikä eroaa elinkaaresta niin, että käyttöikä on tuotteen elinkaaren yksi osa. Suunniteltua käyttöikää ei pidä sekoittaa todelliseen käyttöikään eli kestoikään. Tuotetoimittajat asettavat tuotteidensa käyttöiän toteutumisen ehdoiksi tietyn olosuhdetiedon. Näiden nk. normaalien olosuhteiden ulkopuolella käyttöikätaavoitteen täyttymistä ei voida taata. Monet tuotteet toimivat osana rakennetta, eikä näin yksinään tuotteen käyttöikä kerro rakenteen todellista käyttöikää, sillä tuotteen käyttöikään vaikuttavat tuotteen valmistuksen lisäksi rakennus- ja suunnitteluvaiheet. Elinkaaritietoisuus on avainasemassa ekologisen ja taloudellisen kestävyuden mukaisissa toteutusratkaisuissa (Sitra 2018, 7). Käyttöiän huomioiminen rakentamisessa tarkoittaa resurssiviisautta, eli ekologista ja taloudellista kestävyttä. Rakennustuotteen energiatehokkuus on huipussaan kestoikä ollessa maksimoitu. Maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999, §152) todetaan, että *Rakennustuotteen, joka on tarkoitettu käytettäväksi pysyvänä osana rakennuskohteessa, tulee olla turvallinen ja terveellinen sekä ominaisuuksiltaan sellainen, että rakennuskohde asianmukaisesti suunniteltuna ja rakennettuna täyttää tässä laissa säädettyt olennaiset tekniset vaatimukset tavanomaisella kunnossapidolla taloudellisesti perustellun käyttöiän ajan.* Sitran (2018, 6) mukaan elinkaarihallinnan haasteeksi voi joissain tapauksissa osoittautua intressien yhteen törmääminen, kun esimerkiksi teknisesti toimivin ratkaisu ei ole elinkaarihallinnan kannalta järkevin, ja päinvastoin. Kokonaisvaltaisesti optimaaliset ratkaisut vaativat suunnittelualojen yhteistyötä. Elinkaarihallinta vaatii osittain uutta osaamista alan toimijoilta aina tilaajista suunnittelijoihin ja urakoitsijoihin.



Kuva 1 Infran elinkaari (Korkiala-Tanttu ym. 2005 s.9, Suomela 2019, 11 mukaan)

Kunnallistekniikan elinkaaren hallinta on erittäin tärkeää, sillä rakentamiseen täytyy käyttää paljon uusiutumattomia luonnonvaroja. Rakennettu ympäristö käyttää puolet maailman raaka-aineista, joten rakentamisesta löytyy paljon potentiaalia resurssien kulutuksen vähentämiseen ja ilmastonmuutoksen hidastamiseen (Aalto-yliopisto 2021). Nykyään

rakennetaan kohteita, joiden käyttöiän aikana niiden pitäisi kestää myös tulevat ilmastonmuutoksen vaikutukset. Vaikutusten huomioiminen pitäisi siis ottaa huomioon suunnittelussa, vaikka vaikutuksiin liittyy vielä epävarmuustekijöitä. Lisäksi kunnallistekniikkaan liittyvät päätökset ja ratkaisut ovat pitkäaikaisia ja koskevat yhdyskunnan kannalta kriittisiä toimintoja. (Ilmasto-opas.fi.) Käyttöikäsuunnittelun onnistumiselle on joitakin edellytyksiä:

- Tuotevalmistaja on jakanut tiedon tuotteensa käyttöiästä ja toteutumisolosuhteista.
- Tilaaja on asettanut hankekohtaisia käyttöikävaatimuksia.
- Suunnittelija suunnittelee rakenteet siten, että tilaajan asettamat käyttöikävaatimukset täyttyvät.
- Tuotteiden ja rakenteiden käyttöikien mukaiset laatuvaatimukset on saatettu urakka-asiakirjoihin.
- Rakentamisessa ja hankinnoissa konkretisoidaan suunnittelijan asettamat vaatimukset tuotteille ja rakenteille. (Häkkinen ym. 2004, 51.)

Kunnilla on kaavoituksen suhteen monopoli, joten sitä kautta niillä on myös suurin vastuu ja mahdollisuudet toteuttaa päästövähennyksiä ja sopeutustoimia maankäytössä (Ilmasto-opas.fi). Lisäksi kunnat ja vesilaitokset ovat kunnallistekniikan suurimpia rakennuttajia. Suunnittelupäätösten vaikuttavuus on sitä suurempaa mitä aiemmin suunnitteluprosessissa päätös tehdään. Useista haastatteluista ilmeni, että kunnallistekniikan elinkaaren hallinta lähtee liikkeelle jo kaavoituksesta erilaisten linjausten ja katutilojen määrittämisen myötä. Haastatteluiden mukaan katusuunnittelussa tulevia tarpeita voidaan ennakoida mitoittamalla katualue koko elinkaarellensa ottaen huomioon liikenteen ja liikennemäärien kehittyminen. Tulevien tarpeiden ennakointia helpottaa huolellinen kaavoitus ja yleissuunnittelu. Elinkaariajatteluun perustuvassa suunnittelussa otetaan huomioon korjattavuus. Materiaalivalintojen optimoinnin lisäksi olennaista on käyttää oikeaa materiaalia oikeassa kohteessa. Tulevien tarpeiden ennakoiminen ja huomioonottaminen edesauttaa materiaalien käyttöarvon säilymistä. (Sitra 2018, 7.)

Haastatteluista selvisi, että käytännöllisellä tasolla kunnallistekniikan käyttöikää pidentää työyhteisliittymän hyödyntäminen, sillä uudis- tai saneerauskohteissa on mahdollisuus kerralla suunnitella ja rakentaa kaikki katualueen järjestelmät yhteensovitusti. Lappeenrannassa työyhteisliittymässä ovat mukana kadut, vesihuolto, hulevedet, kaukolämpö, maakaasu, sähköverkot ja tietoliikenneyhteydet. Maankäyttö- ja rakennuslain (§84) mukaan kunnilla on myös velvollisuus yhteensovittaa katualueilla tehtäviä töitä. Työyhteisliittymän toimintaa tehostaa osapuolien aikataulujen yhteensovittaminen vuosi- ja työohjelmointien ohjelmointivaiheissa (Suomen Kuntaliitto 2006, 9).

Suunnittelemalla rakennetun ympäristön pitkäikäiseksi, noudatetaan samalla yhtä kiertotalouden periaatetta pitää materiaalit ja tuotteet käytössä mahdollisimman pitkään, jolloin rakennusosat myös tuottavat yhteiskunnalle arvoa eniten rahallisesti ja käyttöarvallisesti (Sitra 2018, 7). Vaikka yksittäisen tuotteen käyttöikä täyttyy osana rakennetta, sen elinkaari voi jatkua edelleen toisessa käyttötarkoituksessa. Näin voidaan vähentää neitseellisten materiaalien tarvetta. Haastatteluista selvisi, että Lappeenrannassa on jo löydetty joitakin uusiokäyttökohteita;

- Entiset kantavan ja jakavan kerroksen murskeet on voitu käyttää lopputäytöissä ja suodatinkerroksessa.
- Purettuja graniittikiviä on uudelleenkäytetty.
- Maaleikkauksien hiekkaa on välivarastoitu ja käytetty jossakin toisessa kohteessa.
- Ylijäämämaita on maisemoitu kummuiksi.
- Purettuja valaisinkalusteita on voitu käyttää uudestaan ”kakkosluokan paikoissa”, kuten koirapuistoissa.
- Vanhoja liikennemerkkien ja valaistuksen pylviä ja anturoita on kerätty kunnossapidon käyttöön.
- Kaivannoista löytyneitä suuria kiviä on hyödynnetty maisemoinnissa.
- Vanhoja laiturien ja siltarakenteiden kiviä on käytetty maisemointiin ja muureihin.

### 2.3 Elinkaariajattelu ja kustannukset

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999, §86) mukaan *kadunpito käsittää kadun suunnittelun, rakentamisen ja sen kunnossa- ja puhtaanapidon sekä muut toimenpiteet, jotka ovat tarpeen katualueen ja sen yläpuolisten ja alapuolisten johtojen, laitteiden ja rakenteiden yhteen sovittamiseksi*. Kaavoituksessa ja katusuunnittelussa luodaan taloudelliset lähtökohdat kadunpidolle koko elinkaaren ajalle katutilan jäsentelyllä, sopivilla rakenneratkaisuilla, varusteilla ja katuvihreillä (Väätäinen 2020). Hankkeen rakentamiskustannukset ja suurin osa ylläpidon kustannuksista määrittyy suunnitteluvaiheessa, minkä vuoksi suunnitteluun panostaminen kannattaa. Suunnittelukustannusten osuus hankkeen kokonaiskustannuksista on n. 10 %. (Siikaluma 2020.)

Katurakentamisen tulee tähdätä hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen, sekä noudattaa luonnonvaroja ja materiaaleja säästäviä suunnitteluratkaisuja (Oittinen 2020).

Lähtökohtana on, että katurakennetta ei tarvitsisi peruskorjata vuosikymmeniin valmistumisestaan. Näin ollen rakennuskustannukset täytyy suhteuttaa kohteen käyttöikäen (Junntila ym. 2011, 35). Kadun kunnossapitokustannuksia voidaan parhaiten ottaa huomioon suunnitteleamalla katutila tarpeeksi suuripiirteiseksi ja koneellisesti ylläpidettäväksi (Väätäinen 2020). Elinkaariajattelun mukaisten hankintojen tekeminen vaatii tietoa hankinnan elinkaarikustannuksista. Käyttöikä ei kannata pidentää silloin, kun on energiatehokkuuden kannalta järkevämpää toimia toisin. (Sitra 2018, 7.)

Ilmastonmuutoksen aiheuttamien ääri-ilmiöiden vaikutuksia ehkäisevien toimenpiteiden mukaiset ratkaisut vaativat huomattavia investointeja elinkaarensa alkupäässä, mutta niiden vaikuttavuus mahdollisten vahinkojen ja ylläpidon kustannuksiin elinkaarensa aikana voi olla merkittävä. Näin ollen investointeja tulisi verrata mahdollisten vahinkojen ja ylläpidon kustannuksiin. (Lappeenrannan kaupunki 2020, 30.)

## 2.4 Kunnossapidon vaikutus käyttöikäen

Kunnossapidolla tarkoitetaan korjaustoimenpiteitä, jotka poistavat vikoja ja palauttavat rakenteen kunnan käyttökelpoiseksi (Betoniteollisuus ry 2022, 225). Laissa kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta (669/1978) todetaan, että;

*Kadun kunnossapito käsittää ne toimenpiteet, joiden tarkoituksena on pitää katu liikenteen tarpeiden edellyttämässä tyydyttävässä kunnossa. Kunnossapidon tason määräytymisessä otetaan huomioon kadun liikenteellinen merkitys, liikenteen määrä, säätila ja sen ennakoitavissa olevat muutokset, vuorokaudenaika sekä eri liikennemuotojen, kuten moottoriajoneuvoliikenteen, jalankulun ja polkupyöräilyn, tarpeet sekä terveellisyys, liikenneturvallisuus ja liikenteen esteettömyys.*

Suunniteltujen käyttöikäen toteutuminen edellyttää oikeanlaista kunnossapitoa. Erään haastattelun mukaan kunnossapidettävyyden huomioiminen on tärkeää, sillä katu ympäristöä kunnossapidetään koko käyttöikäen ajan. Oikeanlaisella kunnossapidolla voidaan pidentää pintamateriaalien ja rakenteiden käyttöikäen (Sitra 2018, 6). Katutilan tulisi olla helposti ylläpidettävissä ja katurakenteen mahdollisimman vähän ylläpitoa tarvitsevaa. Tästä huolimatta katutilaan täytyy valita materiaaleja, jotka kestävät ylläpitoa. (Väätäinen 2020.)

Koneellinen kunnossapito asettaa joitakin vaatimuksia katutilaan, geometriaan ja kestävyydelle. Katutilojen tulee olla sellaisia, että huoltoajoneuvot pääsevät kulkemaan alueella ja reunarakenteiden tulisi kestää talvikunnossapidon iskut. (Betoniteollisuus ry 2022, 222.)

Haastattelun perusteella kunnossapidon kannalta on tärkeää, että kaavoituksessa huomioidaan lumitilat. Lumivallin pitäisi mahtua katualueelle väliaikaisesti, sillä kaikkialla ei ole mahdollista aurata ja siirtää lumia heti pois. Kunnossapidon kannalta olisi edullisinta suunnitella katu ympäristö yksinkertaiseksi, sekä välttää sellaisia yksityiskohtia, jotka jäävät lumen alle piiloon ja sitä myötä saattavat vaurioituvat.

Kunnossapidon lisäksi kadun ylläpitoon kuuluu myös vaurioiden ennaltaehkäisy, jota toteutetaan tarkkailemalla rakenteiden kuntoa, tekemällä vähäisetkin korjaustyöt, mahdollisuuksien mukaan poistamalla vaurioitumista edesauttavat syyt sekä huolehtimalla käytettävän kaluston ja rakenteen yhteensopivuudesta (Betoniteollisuus ry 2022, 228).

## 2.5 Laatuvaatimukset ja -merkinnät

### Standardit

Standardit ovat tuotteille, testauksille, järjestelmille ja palveluille yhteisesti kirjallisesti määritettyjä vaatimuksia, suosituksia tai ominaisuuksia. Standardeissa on esitetty vaatimusten lisäksi hyviä käytäntöjä ja toimintatapoja. Niiden laatimiseen saa osallistua kaikki alansa ammattilaiset, ja ne syntyvät usein markkinoiden tarpeesta. Käytännössä standardisointityötä tekevät toimialoittain toimialayhteisöt, joita ovat aloillaan esimerkiksi Liikenne ja viestintävirasto Traficom, Väylävirasto, Muoviteollisuus ry ja Rakennustuoteteollisuus RTT ry. Standardit voivat olla kansallisia, eurooppalaisia, kansainvälisiä tai kaikkia näitä. Standardien tavoitteena on parantaa yhteensopivuutta ja turvallisuutta, mutta niiden käyttö on vapaaehtoista, tosin usein niiden noudattaminen on viranomaisten velvoittamaa. (SFS.)

### CE-merkintä ja DoP

CE-merkintä on tuotteen valmistajan ilmoitus EU:n säädösten vaatimustenmukaisuudesta. Sen tarkoitus on helpottaa tuotteiden markkinoille saattamista Euroopan markkinoille. CE-merkintä on pakollinen tietyissä rakennustuotteissa, kun tuote kuuluu EU direktiivien säätelyalaaan. Se ei kuitenkaan ole turvallisuus- tai laatu merkki. (SFS.) Se ei myöskään kerro tuotteen soveltuvuudesta kohteeseen, vaan käytettävyys on arvioitava tapauskohtaisesti olosuhteiden ja rakentamismääräysten perusteella (Ympäristöministeriö). Suomen standardisointiliiton mukaan *rakennustuotteissa CE-merkintä ei automaattisesti takaa määräysten täyttymistä. Rakennustuotteiden käyttäjien tehtävänä on tarkistaa, että CE-merkintätiedot osoittavat tuotteen täyttävän viranomaisten asettamat vähimmäisvaatimustasot aiotussa käyttökohteessa.*

Rakennustuotteiden osalta merkintä on pakollinen *maa- ja vesirakentamisen tuotteille, joihin sovelletaan eurooppalaisia harmonisoituja tuotestandardeja. Standardisoimattomille tuotteille voi valmistaja saada CE-merkinnän käyttöön vapaaehtoisesti eurooppalaisen teknisen arvioinnin kautta. Rakennustuotteiksi katsotaan rakennuskohteeseen kiinteäksi osaksi tulevat tuotteet. Rakentamisvaiheen aikana käytettävät tuotteet, jotka eivät jää osaksi itse rakennetta, eivät kuulu rakennustuotteiden CE-merkintäjärjestelmän soveltamisalaan.* (hEN Helpdesk.)

DoP (*Declaration of Performance*) on CE-merkitylle tuotteelle pakollinen valmistajan laatima määrämuotoinen dokumentti, jossa ilmoitetaan tuotteelta edellytetyt ominaisuudet arvot ja luokat sovellettavaan tuotestandardiin perustuen (hEN Helpdesk). CE-merkinnän saamiseksi on ilmoitettava vähintään yksi tuotteen perusominaisuuksien suoritustasoista. Valmistaja voi halutessaan jättää ilmoittamatta muut suoritustasot merkitsemällä ominaisuuden kohdalle NPD eli *no performance determined*. (Ympäristöministeriö.)

### **InfraRYL**

InfraRYL on Rakennustieto Oy:n ylläpitämä palvelu, joka kuvaa rakennusalalla yleisesti hyväksyttyä rakennustapaa ja *infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset*. InfraRYL:n laatii useat toimikunnat, joiden jäseniä ovat mm. kunnat, yhdistykset, yritykset, ammattilaiset ja Väylävirasto. InfraRYL viittaa usein muihin julkaisuihin ja standardeihin. InfraRYL:ssä esitetyt vaatimukset on jaettu teknisiin vaatimuksiin ja toimivuusvaatimuksiin. Tekniset vaatimukset koskevat rakennushetken vaatimuksia, jonka jälkeen *rakenteet yleensä kuormituksen ja rasitusten vaikutuksesta hitaasti heikkenevät tai menettävät ominaisuuksiaan*. Toimivuusvaatimukset kertovat taas *rakenteen ja sen osien elinkaaren aikaista käyttäytymistä, ja ne ohjaavat teknisten vaatimusten asettamista. Toimivuusvaatimukset ovat raja-arvoja, joita enempää rakenne ei saa huonontua menettämättä käyttäjien, omistajien ja ympäristön asettamia vaatimuksia*. (Rakennustieto Oy 2022a.) Näin ollen InfraRYL toimivuusvaatimuksia voidaan pitää minimilaatutasona, jota parempaa laatutasoa saa edellyttää.

### **Nordic Poly Mark (NPM)**

Nordic Poly Mark -merkki on muoviputkituotteiden ja -järjestelmien vapaaehtoinen tuotesertifikaatti, joka osoittaa EN-standardien ja pohjoismaisten olosuhteiden laatuvaatimusten täyttymisen. NPM-merkittyjen tuotteiden valmistajat sitoutuvat sisäiseen ja ulkoiseen laadunvalvontaan riippumattoman kolmannen osapuolen toimesta. Merkki osoittaa, että tuote täyttää oikein asennettuna odotetun käyttöikänsä. (Nordic Poly Mark.)

### 3 Vesihuolto- ja hulevesirakenteet

#### 3.1 Vesihuoltoverkot

Vesihuollolla tarkoitetaan Vesihuoltolaissa (119/2001, §3) *veden johtamista, käsittelyä ja toimittamista talousvetenä käytettäväksi sekä jäteveden poisjohtamista ja käsittelyä*. Vesihuoltoverkot sijoitetaan yleensä katujen alle samaan kaivantoon yhdessä mahdollisen hulevesiviemärin kanssa. Vesihuollon järjestäminen kuuluu vesihuoltolaitoksen toiminta-alueella vesihuoltolaitokselle. (Vesihuoltolaki (119/2001, §3, §6.) Vesijohto- ja viemäriputket asennetaan yleensä samaan kaivantoon rinnakkain katualueelle tai muulle yleiselle alueelle. Talousvesi toimitetaan käyttäjille päävesijohdon, jakelujohdon ja tonttijohdon kautta. Jätevesi johdetaan käyttäjiltä joko vietto- tai paineviemäreillä. Jätevesiviemärintä järjestetään kaupunkialueella viettoviemäreillä aina kun mahdollista. (RIL ry 2010a, 26–27.)

Vesihuoltoverkkojen suunnittelu käsittää uusien linjojen rakentamisen, laajennus- ja tehostussuunnittelun sekä saneeraussuunnittelun (RIL ry 2010a, 67). Haastatteluiden mukaan vesihuoltoverkostojen mitoituksessa on huomioitava kaupunkirakenne ja sen kehitys, jotta kapasiteetti on riittävä koko käyttöiälle. Jätevesiviemärin suunnittelussa käyttöikä huomioidaan varmistamalla riittävä kapasiteetti, huomioimalla huuhtoutuminen ja eroosio kaltevuuksin, huomioimalla eri putkimateriaalien asettamat vaatimukset sekä viemärintapa (RIL ry 2010a, 115). Haastatteluiden mukaan vesijohtojen suunnittelussa verkoston käyttöikä huomioidaan erityisesti paineolosuhteisiin sopivilla ratkaisuilla, liitoksilla, materiaalinnoilla, laitteilla ja kuormien hallinnalla.

Tulevaisuuden tarpeiden huomioiminen voi olla haasteellista, sillä esimerkiksi käyttöiän alkupäässä virtaaman ollessa liian pieni suhteessa putken poikkileikkaukseen huuhtoutuvuus kärsii. Suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon myös huollettavuus sijoittamalla tarvittavat varusteet ja laitteet tarkoituksenmukaisille paikoilleen. Vesihuoltoverkkojen sijoittelulla viheralueille voidaan joissain tapauksissa välttää sellaisen kulkuväylän aukikaivaminen, joka ei tarvitse elinkaarensa puolesta saneeraamista tai toiminnallisuuden vuoksi uudistamista (RIL ry 2010b, 66). Vesihuoltoverkon saneeraustarvetta aiheuttavat:

- Rakenteelliset tekijät kuten painumat, siirtymät, korroosio ja rakenteiden heikkeneminen.
- Toiminnalliset tekijät kuten kapasiteetin lasku, ali- tai ylikuormitus.
- Muut tekijät kuten maankäytön muutokset, muu rakennustoiminta tai olosuhteiden muutos johdon yläpuolella. (RIL ry 2010a, 90–91.)

### 3.2 Hulevesien hallinta

Hulevesien hallinnalla tarkoitetaan *hulevesien imeyttämiseen, viivyttämiseen, johtamiseen, viemäröintiin ja käsittelyyn liittyviä toimenpiteitä*. Mahdollisen hulevesiviemäröinnin järjestäminen kuuluu hulevesijärjestelmän vaikutusalueella kunnalle. Kiinteistöillä kiinteistön omistaja tai haltija vastaa hulevesien hallinnasta. (Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 682/2014, §103b, §103e.)

Niin vesihuoltoverkkojen, kuin hulevesien johtamisen lähtökohdat tulevat kaavoituksesta. Kaavoitusvaiheessa tehdään hulevesiselvitykset, määritetään tilavaraukset ja kaavamääräykset. Hulevesisuunnittelua tehdään yleiskaavoituksen, asemakaavoituksen, yleissuunnittelun, katu- ja puistosuunnittelun ja rakennussuunnitelman tasolla. (Ramboll Finland Oy 2021, 7–9.) Tulevaisuudessa hulevesien hallinta korostuu entisestään sademäärien lisääntyessä. Hulevesien haittoja rakennetulle ympäristölle voidaan välttää tutkimalla rakentamisen vaikutukset valuma-alueen vesitasapainoon, tulvareititys sekä luonnonmukaisen hulevesien hallinnan vaihtoehdot. (Lylykangas ym. 2019.) Huleveden hallinnassa pitää huomioida sademäärien kehitys tulevaisuudessa, sillä sademäärien kehittyminen riippuu kasvihuonekaasupäästöjen kehityksestä. Suomessa etenkin talven sademäärien odotetaan voimistuvan. Pahimman skenaarion mukaan vuosittaisen sademäärän odotetaan 50 vuoden päästä olevan 15–20 % suuremmat, kuin vuosituhannen alussa. (Ilmasto-opas.fi 2017.) Lappeenrannassa mitoitussateen intensiteetissä huomioidaan ilmastonmuutoslisä 20 % (Ramboll Finland Oy 2021, 20). Lappeenrannan kaupungin hulevesien hallintaohjelman mukaan hulevesien hallinnan tavoitteita ovat:

- tulvahaittojen ehkäisy,
- pohjavesivarantojen ylläpito,
- ravinteiden vesistöihin kulkeutumisen ehkäiseminen,
- putkiverkoston laajentamisen minimointi,
- minimoida yhteisviemäröintiä,
- luonnonmukaisten käsittelymenetelmien lisääminen ja
- huleveden hyödyntäminen resurssina.

Verkostojen loppupäiden kapasiteetin kasvatukselta voidaan parhaassa tapauksessa välttyä noudattamalla hulevesien hallinnan tärkeysjärjestystä, jossa ennen verkostoon johtamista tulevat vesimäärien minimointi, viivytytys ja luonnonmukainen käsittely. (Ramboll Finland Oy 2021, 6–7.)

### 3.3 Viettoviemäröinti

#### **Betoniset viettoviemäriputket**

Viettoviemäröinti toteutetaan nykyään uusiin kohteisiin erillisviemärein. Viettoviemäröintilinjat sijaitsevat usein katualueella samassa kaivannossa vesijohdon kanssa. Kaivoja sijoitetaan linjan pysty- ja vaakataitteisiin, sekä tonttiliittymien kohdalle. Jätevesi sijoitetaan yleensä muita alemmas hygieenisyyssyistä ja liittymiskorkeuksien vuoksi. Hule- ja jätevesiviemäreiden mitoitukselle on omat perusteensa.

Haastattelun mukaan Lappeenrannassa betonia käytetään tyypillisesti isommilla putkiko'illa ( $\geq 800$  mm) ja teollisuuden jätevesille. Betoniputkia valmistetaan raudoitusluokissa B (raudoittamaton), Br (normaali raudoitus) ja Dr (vahva raudoitus), joista Lappeenrannassa käytetään kahta viimeistä (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 480; Lappeenrannan Energia-verkot Oy 2015). Betoniputkia voidaan käyttää jäte- ja hulevesiverkostoissa, sekä rummuissa. Nykyisin betoniviemärituotteista puhutaan EK-putkina, mikä tarkoittaa, että putkien liitoskohdassa on esiasennettu kiintotiivist. Putken poikkileikkaus voi olla pyöreä tai munan muotoinen, jalalla tai ilman. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 479.)

Vakiotuotantoputkien käyttöikä määrittyy rasitusluokan mukaan ja se on joko 50 tai 100 vuotta. Raudoitteiden betonipeitepaksuusvaatimus on 50 vuoden putkissa vähintään 20 mm ja 100 vuoden putkissa 25 mm. (Petrow ym. 2017, 86.) Haastattelun perusteella betoniputken kestoikä voi odottaa 100 vuotta tavanomaisissa olosuhteissa, eli kun jäteveden laatu on raja-arvojen sisällä, tuotteen ominaisuudet ovat kohteeseen sopivat ja kun suunnittelu ja asennus ovat onnistuneita.

Betoniputkien käyttöikää lyhentävät toistuvat tukkeumat, hiekka ja muut kovat kappaleet, liete, juuristot, puutteellinen tuuletus siirtolinjoilla, viemäriveden kemikaaleista aiheutuva syöpyminen, kuormien muutokset, maaperän ja pohjaveden laatu. Nämä aiheuttavat putken lujuuden heikkenemistä ja rapautumista, putkien rikkoutumista tai romahtamista, muodonmuutoksia, siirtymiä, kulumista, halkeilua, kemiallista korroosiota sisä- ja ulkopuolella ja liittyvien varusteiden kunnan huonontumista. Rakenteellisten vaurioiden lisäksi hydrauliset ominaisuudet kärsivät, jos viemärissä esiintyy vuotoja, padottamista aiheuttavia painumia ja kaltevuuden vaihteluita, saostumista ja kapasiteettiin liitettäviä ongelmia. (Petrow ym. 2017, 100–106.)

Viemäriverkoston mitoitus on useiden tekijöiden yhteensovittamista optimaalisimman ratkaisun saavuttamiseksi. Jätevesiviemärit tulisi mitoittaa koko tuotteen teknisen käyttöajan suurimmalle tuntivirtaamalle, mutta toisaalta myös niin, että putki on huuhtoutuva myös elinkaarensa alkupuolella. Mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat jäteveden laatu,

korkeusasemat, linjaus, kaltevuus, huippuvirtaamat, huuhtoutuminen, suurin sallittu virtausnopeus, sekä rakennus- ja elinkaarikustannukset. (Petrow ym. 2017, 50–51; 57–61.)

Kaltevuuden minimiarvoon vaikuttaa huuhtoutuminen, eli itsepuhdistuminen, ja maksimiarvoon putken suurin sallittu virtausnopeus. Betoniputkilla järkevä virtausnopeus on 2,5–3,0 m/s, suurimpana arvona voidaan pitää 6 m/s. Huuhtoutuvuus on mitoituksen tärkein kriteeri, sillä itsepuhdistuvaan viemäriin ei pääse syntymään tukoksia. Näin ollen myös ylläpitokustannukset pysyvät kohtuullisina. Liian luja virtausnopeus lisää putken sisäpinnan kulumista. Tarvittavien lähtötietojen puuttuessa voidaan käyttää taulukoituja (liite 2 taulukko 1) minimi- ja maksimikaltevuuksien arvoja, joiden käytössä on huomioitava, ettei putkikokoa kasvattamalla tehdä viemäriinjaa huuhtoutuvaksi virtaaman pysyessä samana. Taulukkoa ei voida luotettavasti soveltaa myöskään viemäriverkoston latvaosissa, joissa virtaamat ovat vähäisemmät. Mikäli huuhtoutuminen halutaan varmistaa esimerkiksi kohteessa, jossa virtaamat ovat muuttuvia, voidaan valita poikkileikkaukseltaan munanmuotoinen Qmax-putki. Esimerkki tällaisesta kohteesta voisi olla alue, jolla on suurimmalta osin kausiasumista. (Petrow ym. 2017, 57–62, 91.)

Suunnittelijan on määritettävä betoniputken lujuus- ja kestävyysluokat (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 481). Haastattelun perusteella oikean betoniputken määrittelyssä on tärkeää huomioida putkeen kohdistuvat kuormat putken raudoitusluokan määrittämiseksi. Lujuusluokan valintaan tarvitaan lähtötiedoksi putken asennussyvyys ja liikennekuormien suuruus. Br-putkien sallittu peitesyvyys on 0,4–5 m, Dr-putkien 0,2–13 m (Petrow ym. 2017, 88). Tavanomaisissa olosuhteissa betoniputkien kestävyyttä ei tarvitse tarkastella erikseen, mutta suuremmilla kuormilla valittavan putkituotteen lujuusvaatimusten tarkastaminen on järkevää. Liitteessä 2 taulukossa 6 on esitetty betoniputkien lujuusvaatimukset raudoitusluokittain.

Maaperän ja johdettavan jäteveden aggressiivisuudella on merkitystä betoniputken kestävyydelle. Haitallisimpia aineita kestävyuden kannalta ovat sulfidit ja happamat aineet. Maaperä voi aiheuttaa betoniputkeen kemiallisia rasiuksia, esimerkiksi sulfidisavimailloilla betoniputken valmistukseen on käytettävä SR-sementtiä rasiusluokissa XA2 ja XA3 käyttöiän ollessa 100 vuotta. Sulfaattimaita voi esiintyä Suomessa sellu- ja paperitehtaiden läheisyydessä, kiisupitoisten kallioiden alueella, hiilihappopitoisten pohjavesien alueella ja sulfidisavimailloilla. (Petrow ym. 2017, 107–109.) Haastattelun mukaan tavallinen jätevesi kuuluu rasiusluokkaan XA1. Normaalista poikkeavien jätevesien rasiusluokka (liite 2 taulukko 3) ja haitallisten aineiden pitoisuus on selvitettävä, jotta voidaan määrittää oikeanlainen putki. Sulfidipitoinen jätevesi aiheuttaa betoniin rikkivetykorroosiota, kun anaerobiset bakteerit hajottavat rikkiyhdisteitä rikkivedyiksi.

Betonin kemiallisten rasitusten kestokykyyn vaikuttavat käytettävien sideaineiden ominaisuudet ja betonin tiiviys. Sulfidien aiheuttamia vaurioita voidaan estää suunnittelemalla viemärilinjat tarpeeksi tuulettuviksi, jotta hapettomia olosuhteita ei pääse syntymään, käyttämällä betonin valmistuksessa sulfaatinkestäviä sideaineita, kasvattamalla betonin tiiveyttä ja lujuutta, sekä pinnoittamalla putket ja kaivot polyurealla tai polyuretaanilla. Muita keinoja ovat jäteveden ilmastus, virtaaman kasvatus ja pH-arvon nostaminen. (Petrow ym. 2017, 105–114.) Haastatteluiden mukaan tuuletuksen järjestäminen on olennaista lähinnä pitkillä siirtoviemärilinoilla, sillä rikkivedyt syntyvät hapettomissa olosuhteissa. Aina tuuletukselta ei ole mahdollista järjestää esimerkiksi hajuhaittojen vuoksi, jolloin on hyödynnettävä muita keinoja, esimerkiksi pinnoittamista. Jäteveden ”tuoreus” vaikuttaa pinnoitustarpeeseen; mikäli verkostossa liikkuva tavara on uutta, ei rikkivetyjä pääse juurikaan syntymään. Muutenkin viemärit pääsevät tuulettumaan jonkin verran kiinteistöjen tuuletusviemäreihin ja kaivojen kansiin kautta.

Haastatteluiden perusteella betoniputkien sisäpintojen kulumisen nopeutuu, kun hulevesilinjaan pääsee hiekkaa tai soraa täysistä sakkapesistä ja kun virtausnopeus on liian suuri. Kiintoaineiden aiheuttamaa mekaanista kulutusrasitusta esiintyy eniten putkilinjan suunnanmuutostilanteissa (Petrow ym. 2017, 106). Kulumisnopeuteen vaikuttaa eniten johdettavan jäteveden kiintoaineiden laatu, jonka mukaan maksimivirtausnopeus ja sen myötä maksimikaltevuus määräytyvät (RIL ry 2010b, 53).

Haastattelussa todettiin, että maaperän kantavuuden selvittäminen ja putken perustamisen suunnittelu merkittävää painumien ehkäisemiseksi. Putkikaivannon täyttömateriaalit voivat aiheuttaa painumia pohjamaahan itse putken lisäksi. Maapohjan epätasaiset painumat synnyttävät putkien välille sallittuja kulmanmuutosarvoja suurempia poikkeamia, jolloin liitokset eivät ole enää vedenpitäviä. Perustamistavan valintaan vaikuttavat maaperän ominaisuudet, pohjaveden pinnan taso, putkilinjalle sallittavat painumat ja painumaerot, liitosten käyttäytyminen painumatilanteissa, viereisten ja liittyvien rakenteiden perustamistapa sekä pehmeikköalueilla kaivu- ja asennustyön vaatimukset (Petrow ym. 2017, 115, 74). Haastattelun perusteella putkilinjojen tulevia painumia voidaan suunnitteluvaiheessa laskea.

Haastatteluissa nousi esiin puiden aiheuttamat vauriot, joiden aiheuttamien vaurioiden välttämiseksi on hyvä pohtia uusien puuistutusten sijoittamista. Putkilinjoihin pitäisi jättää suojaetäisyys, jonka on tarkoitus suojata itse puun lisäksi kunnallistekniikkaa. SKTY (Junttila ym. 2011, 170, liite 4) on esittänyt mittataulukon katupuiden elintilasta maan päällä, jossa katupuun etäisyydeksi viemärikaivannon yläreunaan on annettu 2,5 m. Haastatteluissa todettiin, että vaurioiden lisäksi verkostojen päälle istutetut puut vaikeuttavat kaivamista edellyttäviä huoltotoimenpiteitä ja tulevaa saneerausta. Näin ollen kunnallistekniikan kestävä

suunnittelu vaatii yhteensovittamista vihersuunnittelun kanssa. Muutoin viettoviemärien huollettavuus voidaan ottaa suunnittelussa huomioon välttämällä kaivojen ulkopuolisia kulmanmuutoksia ja riittävän suurilla kaivoilla.

## **Betonikaivot**

Betonikaivot koostuvat pohjaelementistä, kaivonrenkaista, kartiorenkaasta ja korotusrenkaista. Kaivoelementtejä valmistetaan kahdessa kestävyysluokassa; Br (kevyt rauditus) ja Cr (normaali rauditus). (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 481.) Betonisia Cr-luokan EK-kaivoja käytetään Lappeenrannassa tyypillisesti betonisilla viettoviemäriinjoilla (Lappeenrannan Energiaverkot Oy 2015). Kaivot ovat viettoviemäriverkoston epäjatkuvuuskohtia, joiden kestoikään vaikuttaa osin eri tekijät, kuin putkien, mutta käyttöään voi silti odottaa olevan yhtenäinen.

Betonikaivon suunnittelussa tulee määrittää kaivojen tyyppi ja kestävyysluokka. Br-luokan kaivon suurin sallittu asennussyvyys on 6,7 m ja Cr-luokan 10,0 m. Peitesyvyudet edellyttävät, että ympäristä on tiivistetty kitkamaalla ( $18 \text{ kN/m}^3$ ), kuormitukset ovat Liikenneviraston määrittelemän yhtenäisen liikennekuorman  $81 \text{ kPa}$  mukaiset ja kuormat jakaantuvat 2:1 syvyyden funktiona. Kuormituksiltaan poikkeavissa tapauksissa kestävyys on tarkistettava. (Petrow ym. 2017, 119, 89.)

Painejätevesiviemärien purkukaivot joutuvat sulfaattirasituksen ja jäteveden pH arvon laskun vuoksi alttiiksi aggressiivisille olosuhteille, joten purkukaivot täytyy suunnitella polyurea- tai polyuretaanipinnoitteisina (Petrow ym. 2017, 114). Lisäksi kaivon muotoillaan HST-levy koko sille alueelle, jolle kohdistuu jäteveden mekaanista rasitusta (Rakennustieto 2022b).

Myös routiminen on huomioitava suunnittelussa, sillä kaivoa ympäröivä maa tarttuu jäätyessään kaivon ulkoseinämään ja nostaa ylimmät kaivorenkaat pois paikoiltaan tai aiheuttaa sivusuuntaisia siirtymiä. Roudan vaikutuksia voidaan vähentää suunnittelemalla betonikaivon ympärille pakkasenkestävä kaksinkertainen muovikalvo yhdessä routimattoman ympäristäytön kanssa. Ympäristäytön ja hienojakoisen maalajin välissä on käytettävä suodatin-kangasta sekoittumisen estämiseksi. (Petrow ym. 2017, 36.) Haastattelun mukaan pohjavesialueilla on hyvä tarkastella nosteen vaikutus kaivon ja tarvittaessa suunniteltava ankurointi.

Eräässä haastattelussa ilmeni, että kiertoliittymissä kitakaivot ovat sopiva valinta, koska kaivon kansi ei ole ajouran kohdalla, mikä vaikuttaa ympäröivän päällysteen kestävyysasteeseen. Kitakaivojen suunnittelussa on huomioitava, ettei kitakaivon suu jää ulkonevaksi reunakivilinjaan nähden, vaan ne viistetään reunakivilinjan mukaiseksi.

## Muoviset viettoviemäriputket

Lappeenrannassa viettoviemäriputkien materiaalina käytetään polypropeenaa (PP) jäykkyyssluokassa SN 8 niin jäte-, kuin hulevesiverkostossa (Lappeenrannan Energia Oy 2015). Haastattelun perusteella normaaleissa käyttöolosuhteissa muoviputkien valmistajan antama käyttöikä on vähintään 50 vuotta. Normaaleiksi käyttöolosuhteiksi lasketaan muoviputkien kohdalla tavanomainen paine, lämpötila (20°C), ulkoiset kuormat, käyttötarkoituksen mukainen käyttö ja oikea asennustapa. Muovilaatujen välillä ei ole käyttöikäeroja, mutta joitakin ominaisuuksia löytyy. Normaaliolosuhteissa oikein asennettuna muoviputken kestoikä voi olla yli 100 vuotta. Muoviputkien materiaalin vanhenemisnopeuteen vaikuttavat mm. asennusympäristön happipitoisuus ja lämpötila. (Uponor Suomi Oy 2009, 19.)

Johdettavan veden laatu vaikuttaa muoviputken käyttöikään, joten lähtötiedoksi edellytetään tietoa jäteveden laadusta. Muovisen viemäriputken kemikaalikestävyyteen vaikutetaan tarkistamalla putkimateriaalin kemikaalikestävyys sekä määrittämällä liittämismenetelmät ja oikeanlaiset tiivisteet. (Uponor Suomi Oy 2009, 24.) Haastattelun mukaan esimerkiksi teollisuuden kuumat jätevedet ovat tärkeää olla tiedossa, sillä korkeat lämpötilat lyhentävät muoviputkien käyttöikää. PP viettoviemäriputkien korkein suositeltu käyttölämpötila on 60 °C (Uponor Suomi Oy 2009, 25).

Pohjaveden pinnan alapuolisiin viemäriputkiin kohdistuu nostetta, mikä aiheuttaa kaltevuuksien muutoksia viemäriputkissa. Nosteen vaikutus on huomioitava erityisesti suurilla putkiko'illa ( $\geq 600$  mm). Ankkurointi voidaan tehdä geoverkoilla tai geotekstiileillä ankkuroimalla ne poikkisuunnassa tarpeeksi pitkältä matkalta alkutäyttöön. Ankkurointipituuden määrittäminen edellyttää mitoituslaskentaa. Liitteessä 2 kuviossa 1 on esitetty pohjaveden nostelta suojaavaa peitesyvyyttä putkikoon mukaan. Taulukko on laadittu PE SN4 putkille, mutta voidaan soveltaa myös SN8 jäykkyyssluokkaan. (Uponor Suomi Oy 2009, 107.) PP:n ja PE:n tiheys on ainoastaan 10–25 kg/m<sup>3</sup> (Pipelife Finland Oy), joten oletettavasti taulukkoa voidaan soveltaa myös PE:tä hieman kevyemmälle PP:lle.

Haastattelun mukaan muovisen viettoviemäriputken suunnittelussa on tärkeää tehdä riittävät maaperätutkimukset, huomioida maaperän aggressiivisuus ja suunnitella putkien perustaminen. Muoviputki ja kaivannon alkutäyttö ominaisuuksineen muodostavat rakenteena kokonaisuuden, jonka hallinta on tärkeää pitkän kestoajan saavuttamiseksi. Putkilinjojen geologinen suunnittelu tarkoittaa käytännössä perustamistavan valintaa. Perustamistapa suunnitellaan pohjaolosuhteiden, kokoonpuristuvien maakerroksien paksuuksien, putken koon, materiaalin, kaltevuuden, putkilinjojen määrän kaivannossa, liitostapojen ja muihin rakenteisiin liittymisen perusteella. Tavanomaisin perustamistapa on asennusalusta, mutta myös

muut tavat voivat tulla kysymykseen. Painumaherkillä alueilla geoverkot ja -tekstiilit soveltuvat putken painumien ehkäisyyn (Uponor Suomi Oy 2009, 108). Haastattelun perusteella painuneista putkilinjoista saattaa tulla aiottua aiemmin saneerauskohteita. Painumisen vuoksi kaltevuudet voivat jäädä liian pieniksi, jolloin viemärin toiminnallisuus kärsii. Myös vuotovesien määrä lisääntyy verkostossa.

Muovisten viettoviemärintiputkien jäykkyysluokan määrittämiseen vaikuttavat alkutäyttö-materiaali, sen tiiviysaste, sekä liikenteen ja peittosyvyyden aiheuttamat kuormitukset (RIL ry 2013a, 31). Haastatteluiden mukaan suunnittelussa on huomioitava muoviputkien vaaditut peitesyvyydet eri jäykkyysluokissa. Lappeenrannassa käytetään pääsääntöisesti jäykkyysluokan SN8 putkia, joiden asennussyvyys katualueella on 1–6 m, kun alkutäyttömateriaalina on tiivistetty hiekka, sora tai moreeni (RIL ry 2013a, 31). Haastattelussa todettiin, että *tuotteen suositusta syvemmissä tai matalammassa asennussyvydessä putken kestävyys on hyvä varmistaa tavarantoimittajalta, sillä poikkeavat kuormitusolosuhteet vaikuttavat tuotteen käyttöikään lyhentävästi.*

Niin viettoviemäri- kuin paineputkien jäätyminen ja ympäröivän maan routiminen voi aiheuttaa putkistoihin huomattavia vahinkoja. Putkien jäätymistä ja maapohjan routimista voidaan estää lämmöneristyksellä tai tarvittaessa lämpösaatolla. Putkistojen asennussyvyyden ja routaeristyksen tarpeen määrittämiseen tarvitaan tiedot ympäröivästä maalajista ja sen routivuudesta, pohjavedenpinnan korkeudesta, paikkakunnalla kerran 50 vuodessa toistuvasta pakkasmäärästä ja putkistosta vapautuvan lämmön määrästä. Routaeristyksen suunnitteluun tarvitaan tiedot ympäröivän maan tai kallion lämpöteknisistä ominaisuuksista, putkistossa virtaavan nesteen määrästä ja lämpötilasta ja sille sallitusta lämpötila-alenemasta eristettävällä osuudella, ilmastotekijöistä ja asennussyvyydestä. Maapohjan ollessa routimaton ja maapohjan jäätyminen sallitaan, on lämmöneristys suunniteltava koteloituna. Routivassa maassa lämmöneristys suunnitellaan putken yläpuoliseksi niin, ettei myöskään putken alapuoleinen maa pääse jäätymään. Lämmöneristeeksi on valittava tuote, joka kestää siihen kohdistuvat kuormat ja säilyttää eristysominaisuutensa koko käyttöiän ajan. (RIL ry 2013a, 26–27.)

### **Muovikaivot**

Haastattelun perusteella muovikaivoja on kahdentyyppisiä; nk. valmiskaivoja ja räätälikäivoja. Valmiskaivot on valmistettu ruiskuvalamalla ja niiden liittymäkulmat ovat vakioita. Räätälikäivot ovat useista eri osista yhteen, osin käsityönä, hitsattuja tuotteita. Valmistustavasta, tilaajan preferenssien ja käytettävien materiaalien vuoksi räätälikäivojen laatu voi vaihdella. Suomessa räätälikäivojen käyttäminen on erittäin yleistä suunnittelun

helppouden ja kohteeseen muokattavuuden vuoksi. Vain valmiskaivoja on mahdollista saada Nordic Poly Mark -laatumerkittynä ja silloinkin merkintä on voimassa kuuteen metriin asti. Kaivoilla rengasjäykkyys on SN 2 tai SN 4.

Haastattelun mukaan kaivojen vaurioita ovat painumat ja liitoskohtien vuodot. Alapuolisen täytön tiivistyksen jäädessä vajaaksi kaivoon saattaa aiheutua vääntöä, mikä voi aiheuttaa liitosten murtumisen. Materiaalien sekakäyttöä, esimerkiksi muovisille viemärijohtoille betonisen kaivon käyttäminen, tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää. Tällöin liitänköhtien kestävyyyteen sisältyy riskejä, sillä liitosten toteutus saattaa vaatia erikoisosia ja käsityötä. Saneerauskohteissa kahden eri materiaalin kohtaamista ei voida aina välttää.

Hydraulisten ominaisuuksien takaamiseksi viemäriinjojen vaaka- ja pystytaitteisiin on järjestettävä vähintään 2 cm korkeuseroa tulo- ja lähtöputkien välille, jotta vältetään padottaminen, sillä muutoskohdissa syntyy painehäviöitä. Vaihtoehtoisesti porrastukset voidaan lisätä kaltevuuden lisäämisen. Myös kaivojen pohjien muotoilu kulloiseenkin kohteeseen parhaimmalla tavalla parantaa hydraulisia ominaisuuksia. (RIL ry 2010b, 107.)

## **Rummut**

Rumpu tarkoittaa putkirakennetta, jonka vapaa-aukko on alle 2 m. Rumpuja käytetään, kun väylä ylittää vesiuoman tai alava maasto edellyttää sivuoijien vesien purkua katualueen ulkopuolelle. Usein rummut ja sivuoijat suunnitellaan yhtäaikaaisesti.

Rumpua suunniteltaessa on määritettävä rummun tarve, sijoitus, materiaali, päiden muotoilu, rumpuaukon koko, pituuskaltevuus, pohjan korkeusasema ja sallittu rummun aiheuttama padotus. Rummun rakentamiselta voidaan välttyä siirtämällä uomaa, muotoilemalla painanteita tai sivuoijajärjestelyillä. Saneerauskohteissa mitoituksen lähtötietona voidaan käyttää nykyisten rumpujen kokoa ja toimivuutta. (Liikennevirasto 2013.) Rumpumateriaalin valintaan vaikuttavat peitesyvyys, käyttöolosuhteet sekä kustannustekijät. Rummun maksimi kaltevuudeksi suositellaan 0,5–1 %, jotta virtausnopeus pysyy maltillisena. (Kuntaliitto 2012, 264.)

Niin betoni-, kuin muovirumpujen virtaamamitoituksessa tarkastelualueen on oltava suurempi, kuin suunnittelualue, sillä vesimääriin voivat vaikuttaa viereisten alueiden mahdolliset kaavamutokset tai uusi kaava, peltojen salaojitukset sekä metsien ja soiden ojitukset. (Liikennevirasto 2013.) Rummun kapasiteettiin vaikuttavat rummun koko, kaltevuus sekä korkeusasema suhteessa ylä- ja alapuolisiin uomiin (Rakennustieto 2018).

Betonisten rumpuputkien ominaisuudet ovat viemäriputkia vastaavat. Jatkuvasti jäätymissulamisasiirityksessa olevien rumpujen kestävyys on syytä kiinnittää huomiota. Putkien pakkasenkestävyyttä voidaan parantaa kasvattamalla käytettävän betonin lujuutta ja tiivyyttä. Betonirumpujen perustamisessa on huomioitava pohjamaan routivuus. (Petrow ym. 2017, 74, 11, 106–107.)

Haastatteluiden mukaan muovirummun yleisiä vaurioita ovat sortuminen ja tukkeutuminen. Muovisten rumpuputkien materiaaliksi polypropeeni (PP) on sopivin lämmönkestonsa vuoksi, koska toisinaan tukkeutuneita rumpuja joudutaan sulattamaan vesihöyryllä.

### **Tiivisteet**

Haastatteluiden mukaan tiivisteille luvataan yhteneväistä käyttöikää putkien kanssa. Yleisiä tiivistemateriaaleja betoniputkille ovat SBR (styreenibutadieenikumi), EPDM (eteeni-propeenikumi) ja NBR (nitrilikumi). EPDM on tiivistemateriaaleista yleisimmin käytetty. NBR sopii kohteisiin, joissa voi esiintyä bensiiniä tai öljyä jatkuvasti, kuten öljynerotuskaivoissa. Muilla materiaaleilla lyhyen altistumisen vaikutus käyttöikää ei ole merkittävä. Muoviputkilla tiivistemateriaalina käytetään edellä mainittujen lisäksi TPE (termoplastista elastomeeriä) (Uponor Suomi Oy 2009, 22).

Tiivistemateriaalin valintaan vaikuttaa käyttökohde. Kun viemärin lämpötila jää alle 45 asteen, sopii SBR ja EPDM. EPDM kestää 80 asteen lämpötilan, mutta tätä korkeampiin lämpötiloihin on valittava erikoisvalmisteista EPDM tiivistettä. (Petrow ym. 2017, 122.) Haastattelun perusteella tiivistemateriaalien kemikaalikestävyys vaihtelee, joten suunnittelijan on otettava kantaa materiaalivalintaan, varsinkin jos olosuhteet ovat jollakin tapaa poikkeavat. Liitteessä 2 taulukoissa 5 ja 9 on esitetty eri tiivistemateriaalien eroja.

## **3.4 Paineputkijärjestelmät**

### **Paineputkijärjestelmien suunnittelu yleisesti**

Paineellisten johtolinjojen materiaalin käyttöikään vaikuttavat verkostossa virtaavan veden laatu, hydraulinen kuormitus, maaperän vaikutukset ja ulkopuoliset kuormitukset. Käyttöikään vaikuttavia veden laatutekijöitä ovat pH, kovuus, alkaliteetti, lämpötila, ja vapaan hiilidioksidin, raudan, mangaanin, kloridien ja sulfaattien pitoisuudet, sekä näiden muutokset. Veden laadullisten tekijöiden haitalliset yhteisvaikutukset kohdistuvat kaikkiin materiaaleihin, erityisesti betoniin ja metalliin. Kuitenkin ulkopuolinen korroosio on käyttöikänsä kannalta

merkittävämpää kuin sisäinen. (Kekki ym. 2008, 18–20, 4.) Kuvassa 2 on esitetty vesijohdotoverkon käyttöikään vaikuttavat tekijät.

Haastattelun mukaan painejohtojen suunnittelussa voidaan vaikuttaa putken paineeseen, paineiskuihin, putkeen kertyvän ilman määrään ja alipainetilanteisiin. Mitä useammin paineiskuja tulee, sitä suuremmaksi kasvaa putken vaurioitumisriski. Painejohtojen paineluokan määrittämiseen vaikuttavat virtaavan nesteen käyttöpainne, putkistossa mahdollisesti esiintyvä alipaine, putkimateriaali ja liikennekuorman aiheuttama paineluokan korotustarve (RIL ry 2013a, 31–32).

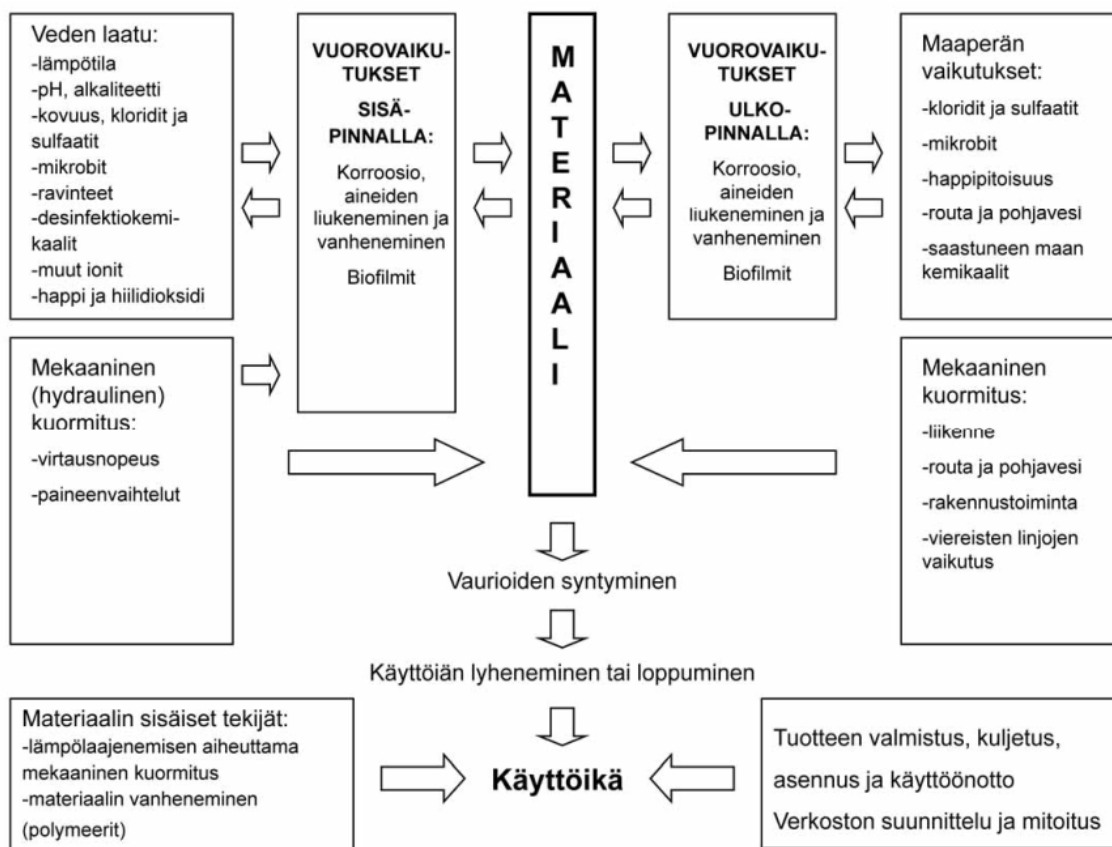
Paineellisia johtoja suunnitellessa on selvitettävä johtolinjaan kohdistuvat ulkopuoliset kuormat. Paineputkiin kohdistuvat ulkopuoliset kuormat jaetaan taivutus-, puristus- ja vetojännityksiin. Jännityksiä syntyy roudan aiheuttamasta maakerrosten liikkeestä, maanpäällisistä kuormista ja lähistön maanrakennuksesta. Maanpäälliset kuormitukset, esimerkiksi liikennekuormat, ovat haitallisia silloin, kun ne kohdistuvat putkeen epätasaisesti tai toispuoleisesti. (Kekki ym. 2008, 30–34.) Liikenneväylien alituksiin painejohdoille on suunniteltava oikean jäykkyyssluokan suojaputki (RIL ry 2013a, 31–32).

Maaperän routivuus aiheuttaa muodonmuutoksia, jotka voivat johtaa vuotoihin. Putkilinjan lämmöneristämisen tarpeeseen vaikuttavat asennussyvyys, paikallinen routasyvyys, maaperän ominaisuudet, lumen eristävä vaikutus, putken koko ja virtaama. Pienemmät putket jäätyvät herkemmin, kuin suuremmat, joissa on myös isompi virtaus. Vaikka lumi on eristävä ja sitä on toisinaan paljonkin, ei sen suojaavaa vaikutusta kannata ottaa huomioon suunnittelussa, sillä riskinä on alimitoitus lumettomina aikoina. Roudan kannalta asennussyvyyteen vaikuttavat ilmasto, pohjamaan lämpötekniiset ominaisuudet, mahdolliset lisälämmönlähteet, mahdollisten käyttökeskeytysten riskit ja lämmöneristämisen toteutustapa. (RIL ry 2013b, 141–143.)

Paineputkijärjestelmien materiaalin valinnassa huomioidaan käyttöiän kannalta kohdekohtaisesti:

- putken kestoikä
- paineolosuhteiden vaihtelun kestävyys
- sisä- ja ulkopuolinen korroosionkestävyys
- järjestelmän tiiviys
- kuormien kestävyys
- jäätymisvaurioiden kestävyys sekä sulatettavuus
- mahdollisten muodonmuutosten vaikutukset (RIL ry 2010b, 69–70).

Paineverkoston rakennevaurioita ovat erisuuntaiset halkeamat, pintavauriot, epätasaiset painumat, muodonmuutokset, liitoksien siirtymät, tiivistevauriot ja liitosten rakennusvirheet (Kekki ym. 2008, 32–34).



Kuva 2 Vesijohtoverkon käyttöikään vaikuttavat tekijät (Kekki ym. 2008, 19)

## PE-paineputket

Paineellisten muoviputkien materiaaleina Lappeenrannassa käytetään polyeteeniä, joko PE80 (SDR11) tai PE100 (SDR17) (Lappeenrannan Energiaverkot Oy 2015). PE-paineputkien liitosmenetelmiä ovat puskuhitsaus, sähköhitsaus ja laippaliitos. Pusku- ja sähköhitsausta käytetään liittämään putkien päät toisiinsa, laippaliitosta venttiileihin ja muihin osiin liitettäessä, mekaanisia liittimiä pienikokoisten putkien liitoksiin. (Muoviteollisuus ry 2012, 4.)

Normaaleissa käyttöolosuhteissa PE-putkille annetaan vähintään 50 vuoden käyttöikä. Mikäli putken sisäinen paine on PN-merkinnän mukainen ja lämpötila on korkeintaan +20°C, voi standardien SFS-EN 12201–1 ja 12201–2 mukaan PE-putken kestoikä olla jopa 100

vuotta. (Muoviteollisuus ry, 5.) Todellisen käyttöiän voi odottaa olevan suunniteltua käyttöikää pidempi useista syistä; käyttöpaine on elinkaaren aikana nimellispainetta pienempi, käyttölämpötilat ovat maassa matalammat ja ainevahvuuksien toleransseissa sallitaan poikkeamat ainoastaan vahvempaan suuntaan (TEPPFA 2019).

PE-putken käyttöikään vaikuttavat materiaalin ominaisuudet, putken kuormitustaso, kuormitus aika, lämpötila ja ympäristötekijät (Muoviteollisuus ry 2012, 5). Haastattelun mukaan polyeteeniputkien käyttöikä lyhenee korkeissa lämpötiloissa, joita voi esiintyä esimerkiksi teollisuudessa. PE-paineputkijärjestelmien korkein suositeltu käyttölämpötila on +40°C (Uponor Suomi Oy 2009, 25). Lämpötila- ja paineolosuhteista johtuva käyttöiän alenema on laskettavissa tuotevalmistajan toimesta. Mikrobitoiminnan tiedetään vaurioittavan muovisia putkia, mutta tutkimustietoa ei ole vielä tarpeeksi sen merkityksestä materiaalin käyttöiälle (Kekki ym. 2008, 25).

PE:n matalan E-moduulin vuoksi paineiskut ovat pienempiä ja paineaallot etenemisnopeudeltaan hitaampia kuin kovemmissa materiaaleissa. Toistuva paineen nouseminen hetkellisesti 1,5 kertaisesti nimellispainetta korkeammaksi ei vaikuta putken kestävyysjuurikaan. (Muoviteollisuus ry 2012, 9.) Putkivalmistaja antaa putkelle pienimmän sallitun kaarresäteen arvon, jota suositellaan noudattamaan suurten paineiskujen aiheuttamien voimien vuoksi. Minimiarvon toteutumista ajatellen taivutussäteiden minikaarresäteen arvo kaksinkertaistettava mittalinjapoikkeaman ja mittausvirheen varalle (RIL ry 2010b, 72). Paineiskujen vuoksi ankkurointia ei yleensä tarvita, mikäli putki on asennettu kitkamaalle (Muoviteollisuus ry 2012, 12). Alipainetilanteessa, kuten paineiskun tai pumppukatkon, seurauksena PE-putki voi lommahtaa. Putken lommahtamisherkkyys kasvaa suuremmilla SDR-arvoilla. (Muoviteollisuus ry 2012, 10.) Paineiskut huomioidaan suunnittelussa putkien, liitosten ja varusteiden paineluokkien valinnalla (RIL ry 2010b, 31). Haastatteluiden mukaan paineiskuihin voidaan varautua riskipaikoissa mm. kasvattamalla putken paineluokkaa, mutta sitä ei kannata tehdä varmuuden vuoksi tai säännönmukaisesti, sillä kustannustehokkuus kärsii. Alipainetilanteiden varalta verkostojen huippukohtiin on suunniteltava ilmanpoistokäivöt, joista verkostoon saadaan tarvittaessa korvausilmaa, jotta vältetään putken kokoon painuminen.

PE-paineputkilinjan poikkileikkauksen muodonmuutoksiin vaikuttavat alipaineen lisäksi maaperän kantavuus, täyttömateriaalien laatu ja tiivistäminen sekä liikennekuormat (Uponor Suomi Oy 2009, 166). Asennusalusta- ja alkutäyttömateriaalin valinta tehdään sen mukaisesti, mikä materiaali sopii kaikille kaivannon putkille. Keskenään eriäviä alkutäyttömateriaaleja voidaan käyttää, mikäli putkien välinen pystysuora etäisyys on 1 m (Uponor Suomi Oy 2009, 169.) Huonosti vettä läpäiseville maapohjille rakennettaessa on

huomioitava veden virtauksen estäminen kaivannossa. Kaivantoon voidaan rakentaa patoja savesta tai bentoniittimatosta. (Uponor Suomi Oy 2009, 170.)

Haastattelun perusteella diffuusion vuoksi polyeteeniputkia ei voi käyttää sellaisenaan piilantuneilla mailla eikä sulfidipitoisessa maaperässä, kuten sulfidisavilla tai turpeella, vaan ne on suunniteltava joko diffuusiosuojattuna tai toisesta materiaalista. Haasteelliseksi diffuusion huomioonottamisen tekee se, että suunnitteluvaiheessa maaperäolosuhteita ei usein tunneta täydellisesti. Muoviteollisuus ry:n mukaan (2012, 10) erityisesti pienemmät putkikoot ovat alttiimpia diffuusiolle, koska diffuusion nopeus on suorassa suhteessa putken seinämäpaksuuden neliöön, minkä lisäksi vesi seisoo paikallaan pidemmän aikaa. Diffuusio ei suoranaisesti aiheuta käyttöiän, vaan veden laadun heikkenemistä. Sulfidimaa-ainekset eivät aina ole tunnistettavissa aistinvaraisesti, joten sulfidimaiden esiintyvyys olisi hyvä tarkistaa GTK:n happamien sulfaattimaiden karttapalvelusta (Forsman 2020).

Rinnakkaiset paineelliset johtolinjat, esimerkiksi päävesijohto ja jakeluvesijohto, tulee suunnitella niin, että johtojen keskinäinen väli on tarpeeksi suuri. Näin toisen putken vaurioituminen ja korjaaminen ei vaikuta toiseen johtoon. Vaurioitumisen varalta vesijohdot tulisi sijoittaa myöskin niin, että ne voidaan suhteellisen helposti kaivaa esiin. Kunnossapidon vuoksi vesijohdon ja kaukolämpöputkien etäisyys toisistaan tulisi olla 2,5–3 m. (RIL ry 2010b, 66–67.)

### **Pallografiittivalurautainen putkijärjestelmä**

Pallografiittivalurautaputki, ts. SG-putki koostuu putken sisäpuolisesta sementtilaastivuorauksesta, pallografiittivaluraudasta, sinkkialumiini pinnoitteesta ja puoliläpäisevästä pinnoitteesta. SG-putkia on saatavissa myös PE- ja PUX-pinnoitettuina. (Saint-Gobain Pipe Systems Oy.) Lappeenrannassa SG-putkia käytetään runkojohdoissa ko'issa DN 100–600 (Lappeenrannan Energiaverkot Oy 2015). Haastattelun mukaan SG-järjestelmien tiivisteet ovat vesijohtoverkossa EPDM kumia ja jätevesiverkossa NBR kumia. Pallografiittivalurautaisia putkia ei pidä sekoittaa vanhoihin harmaa valurautaisiin putkiin, sillä pallografiittiputki ovat myötävä ja huomattavasti lujempi.

Kaikkien SG-putkijärjestelmien käyttöikä on vähintään 100 vuotta. Haastattelun mukaan sähköä johtamattomalla maalla ilman erikoispinnoitteita DN 150 C40 pallografiittivalurautaputken käyttöikä on 150 vuotta, mutta jokainen tuotevalmistaja määrittää omien tuotteidensa käyttöiän erikseen olosuhteiden mukaan. Putken ulkopinnan pinnoite vaikuttaa käyttöikäen eniten, joten pallografiittivaluraudan seinämäpaksuuden kasvattaminen ei lisää

käyttöikä. Haastattelun perusteella pallografiittivalurautaputkien vaurioita ovat asennusvirheet ja työnaikaiset kolhut.

Haastattelun perusteella tilaajan tulee määrittää putkien vaatimukseksi SFS-EN 545:2010 standardin *Pallografiittiraudasta valmistetut putket, putkenosat, varusteet ja niiden liitokset vesijohtoputkistoihin. Vaatimukset ja testausmenetelmät* tai SFS-EN 598:2007 + A1:2009 *Pallografiittivalurautaiset putket, putkenosat, varusteet ja yhteet viemäröintikäyttöön. Vaatimukset ja testausmenetelmät*, koska normi määrittää koko järjestelmän yksittäisen osan sijaan. Näin ollen suunnittelijan tai urakoitsijan ei tarvitse huomioida erilaisia varmuuskerroksia, sillä ne on huomioitu jo tuotenormissa. Lisäksi sisäpuolisen laastin on täytettävä juomavesidirektiivin 98/83EY vaatimukset.

Haastattelun mukaan käyttöiän kannalta tärkeitä tekijöitä suunnittelussa ovat ulkopuolisen pinnoitteen määrittely, lukitusmatkojen suunnittelu sekä oikean liitostekniikan valitseminen kohteen mukaan. Toisin kuin muoviputkilla, peitesyvyydellä ei ole suurta merkitystä kestävyteen SG-putken suuren rengasjäykkyyden vuoksi. Sallitut asennussyvyydet riippuvat putken koosta, onko liikennekuormia, tehdäänkö asennusalustaa ja tiivistetyn ympäristytön toteutustavasta. Asennussyvyyden minimi- ja maksimiarvot vaihtelevat välillä 0,8–15 m.

Haastattelussa todetaan, että *90 % Suomen olosuhteissa sinkkialumiini pinnoite riittää aikatavoitteen saavuttamiseen*. Ulkopuolinen sinkkipinnoite ei saa olla normin mukaan alle 200 g/m<sup>2</sup>. Sinkkipinnoite pidentää järjestelmän käyttöikää huomattavasti. Mikäli maaperä on syövyttävää tai siinä esiintyy hajavirtoja, voidaan käyttää muita eristäviä erikoispinnoitteita, joten haastattelun mukaan suunnittelussa on huomioitava ja selvitettävä maaperäolosuhteet. Ulkopuolisen pinnoitteen valinta riippuu maaperän sähkönjohtavuudesta. Erikoispinnoitettuja tuotteita täytyy käyttää, kun maan ominaisvastus on <500 Ω\*cm määrässä maassa ja pH on > 6. Varmuutta pinnoitteeseen tuo muovipinnoitteen valinta jo vastuksen ollessa <1500 Ω\*cm yksittäisten aggressiivisempien kohtien varalle. Mikäli päädytään käyttämään pallografiittivalurautaisia putkia ja epäillään aggressiivisiä olosuhteita, on maaperän sähkönjohtavuus hyvä tutkia Wenner-mittauksin tai vaihtoehtoisesti valita pinnoite varmalle puolelle. Kuvassa 3, jossa on esitetty suomalaisten maalajien ominaisvastuksia, huomataan myös maaperän kosteusolosuhteiden merkitys ominaisvastukseen. Ominaisvastuksen lisäksi maaperän aggressiivisuuteen redox-potentiaali, rikkivedyt ja sulfidit (Saint-Gobain Pipe Systems Oy, 7). Haastattelun mukaan erikoispinnoitteita on mahdollista valita vain osalle putkilinjaa, sillä eri tavoin pinnoitetut SG-putket eivät vaadi liitosten erityisjärjestelyjä. Mikäli pallografiittivalurautaista putkea käytetään pakkosujutukseen tai suuntaporaukseen, täytyy ulkopinnoitteena olla kuitubetonipinnoite. Pallografiittivalurautaputket vaativat

alkutäytöikseen kivettömän materiaalin. Alkutäytön materiaali valitaan putken muiden tekijöiden ohella putken pinnoitteen mukaan.

Suomalaisten maalajien ominaisvastuksia:	
Maalaji	Ominaisvastus $\Omega \times \text{cm}$
turve	2 000-25 000
lieju	5 000-25 000
märkä savi	500-5 000
märkä siltti	3 000-10 000
märkä hiekka	30 000-200 000
kuiva hiekka	100 000-300 000
moreeni	100 000-1 000 000
kuiva sora	300 000-3 000 000

Kuva 3 Suomalaisten maalajien ominaisvastuksia (Saint-Gobain Pipe Systems Oy, 7)

Haastattelun mukaan SG-putkijärjestelmien paineluokat ovat lukitsemattomilla putkiosuukilla C40 (80–300), C30 (350–600) ja C25 (700–2000). Normin EN545:2010 paineen mukaisen mitoituksen varmuuskertoimen 3 vuoksi C40 paineluokan rikkoutumispaine on yli 120 bar. Paineokeen mitoituspaine on enintään 15 bar. Suuri varmuuskerroin antaa varmuutta sisäisen paineen lisäksi myös mahdollisia muita käyttöiän aikaisia kuormituksia vastaan, kuten taivutusta, puristusta, alipainetta ja vetoa vastaan. Pallografiittivalurautainen putki on näin ollen hyvin anteeksiantava rakennusvirheitä ja olosuhteinen muutoksia kohtaan. Pallografiittivalurautaputket eivät lommahda verkoston alipainetilanteissa.

Haastattelun perusteella liitostyyppin valinta on erittäin tärkeää työturvallisuuden ja asennuksen aiheuttamien rasitusten kannalta. Liitosmahdollisuuksia on vetoa kestävämmät ja kestävätkä muhviiliitokset sekä laippaliitokset. Liitoksen lukitsemistarpeen valintaan vaikuttaa liitoksen paikka verkostossa, asennustapa (sujutus/suuntaporaus/maa-asennus) ja putkikoko. Suunnittelijan on määritettävä järjestelmän lukitsemien suunnitelmissa. Lukitsemistapauksia ovat kulmien molempien puolien lukitseminen, T-haaran venttiilillisen haaran lukitseminen, päälinjan lukitseminen venttiilin molemmin puolin ja kun putken pituuskaltevuus on yli 1:4. Usein kuitenkin kaikki liitokset tehdään lukittuna, koska lukitustapauksia on niin

tiheään. Lukitusmatkan määrittäminen tehdään aina tapauskohtaisesti laskentaohjelmalla ja sen lähtötiedoiksi tarvitaan maaperän laatu ja kitkakulma, putken halkaisija, testauspaine, tuentatyyppi (kulma, haara), pohjaveden pinta ja peitesyvyys. Erityisesti pohjavesiolosuhteilla on vaikutus lukitusmatkaan, joten urakoitsijan on ilmoitettava poikkeavista pohjavesi- ja maaperäolosuhteista. Laskentaohjelmalla mitoitettu lukituspituus on minimimitta, joten tulevaisuuden erilaiset kaivantotapaukset on huomioitava. Lukituspituus lasketaan siitä pisteestä, missä peitesyvyys täyttyy täysin, eli työnaikaiset tilanteet on otettava huomioon, esimerkiksi painekokeiden teko. Tämän vuoksi usein mitoituslukituspituuden jälkeen lukitaan vielä yksi liitos. Vaihtoehtoisesti voidaan valita sama varman puolen lukitusmatka joka puolelle, mutta tällöinkin on varmistettava sen riittävyys aina tapauskohtaisesti. Mikäli vesijohdolinjassa ei ole vetoa kestävämpiä liitoksia, ei linjaa tarvitse tukea erikseen, sillä putken ja täytön välinen kitka muodostaa tarvittavan tuen kulmakohtiin (RIL ry 2010b, 87, 91).

### **Varusteet ja laitteet**

Vesijohtoverkon laitteita ja varusteita ovat:

- erilaiset sulkuventtiilit
- erilaiset säätöventtiilit
- ilmanpoistoveniilit
- paine- ja virtaamamittarit
- huuhtelu- ja tyhjennyshaarat (RIL ry 2010b, 77).

Haastattelun mukaan kaikilla verkoston osilla on sama käyttöikä. Normissa SFS-EN 1074 (2001) on määritetty vesijohtoveniilin käyttöikäksi 50 vuotta. Veniilit vaurioituvat suhteessa vähemmän muuhun verkostoon verrattuna. Vesijohdon varusteisiin kohdistuvia vaurioita ovat korroosio, kuluminen, pulttien löystyminen ja tiivistevauriot. (Kekki ym. 2008, 132–133.)

Veniilien valintaan vaikuttaa käyttötapa, käyttökohde, käytettävyyden, tilantarve ja peitesyvyys. Ilmanpoistoveniilien kapasiteetin riittävyys on tärkeää erityisesti PE-putkin toteutetuissa järjestelmissä, jotta alipainetilanteen varalta verkostoon pääsee ilmaa. Suunnittelijan on määritettävä ilmanpoistoveniilien tyyppi sen mukaan, montako toiminnallisuutta tarvitaan kyseisen verkoston kohtaan. (RIL ry 2010b, 79, 82.)

Vesihuollon verkostojen laitteiden sijoittamisessa on huomioitava huollettavuus ja korjattavuus sijoittamalla laitteet niin, että niille on kulkuyhteys ja ne eivät pääse jäätymään, mielellään sivuun liikenneväyliltä (RIL ry 2010a, 114). Haastattelun mukaan veniilien käyttöikä pidentää niiden ajoittainen käyttäminen, mikä varmistaisi niiden toimivuuden sillä hetkellä, kun veniili täytyy saada suljettua esimerkiksi putkirikon vuoksi.

Vesijohtoverkon laitteiden paineenkestävyys täytyy vastata verkostoa. Varusteiden materiaalivalintaan vaikuttava olosuhteet ja korroosionkestävyys. Suunnittelussa on huomioitava laitteiden jäätyminen estäminen ja materiaalien yhteensopivuus. (RIL ry 2010b, 77–78.) Jos putkikaivannon täyttöihin käytetään sivuvirtamateriaaleja, täytyy selvittää metallisten varusteiden korroosionsuojaustarve (RIL 2013a, 24).

Vesijohdon muutoskohtiin, kuten vaakakulmien, T-haarojen, venttiilien ja supistusten kohdalla on tutkittava tuennan tarve, sillä veden virtaus, paine ja painenvaihtelut aiheuttavat näihin kohtiin siirtymiä ja sitä myötä kuormituksia esimerkiksi vetoa kestävämmässä liitoksissa. Tuentatapoja on monia ja sopiva valitaan olosuhteiden mukaan. Tuenta mitoitetaan käyttöpaineen, paineiskujen ja veden virtauksen aiheuttamille voimille paineen ja putkihalvaisijan mukaan. Vetoa kestävä liitoksen suunnitteluun vaikuttavat putken paine, putkihalvaisija, putken pinnoite, kulman suuruus, alkutäytön laatu ja tiiveysaste, maan tilavuuspaino, peitesyvyys ja pohjaveden pinta. Kun suunnitellaan vanhaan putkeen liittymistä, on vanhan putken olosuhteet ja tuentatarve selvitettävä kestävä liitoksen tekoa varten. (RIL ry 2010b, 87–91.)

Muoviputkilla laippaliitoksia käytetään liitettäessä venttiileihin sekä muihin putkimateriaaleihin ja osiin. Muoviputken laippaliitos koostuu PE-kauluksesta, irtolaipasta, tiivisteestä ja pulteista. Irtolaippojen ja pulttien valinnassa täytyy huomioida käytettävä materiaali ja korroosionsuojaus. Tiivisteiden valinnalla on suurin merkitys liitoksen tiiveydelle, joten teräsytimellä vahvistetut kumitiivisteet ovat näin ollen paras vaihtoehto. Suuremmilla putkikoolla tiivisteeksi täytyy valita tuote, joka tiivistää liitoksen matalalla puristuspaineella, koska liian suuri laippojen kiristysmomentti voi vaurioittaa kaulusta. (Muoviteollisuus ry 2012, 18–20.)

Maaperäolosuhteiden selvittäminen on oleellista myös paineverkostojen laitteiden kannalta. Laitekaivojen kohdalla pohjaveden nostetta vastaan on suunniteltava ankkurointi esimerkiksi pohjalaatalla. Mitoituksessa pohjaveden oletetaan olevan maanpinnan tasolla. (RIL ry 2010b, 83.)

## 4 Betonituotteet

### 4.1 Betoniset tasokiveykset

Betonisten tasokiveysten tuotteita ovat erityyppiset betonikivet, -laatat, nurmikivet ja vesikourut. Betonikivet ovat mittatarkkoja suorakaide- tai reunaprofiilikiviä, joita on yleisimmin saatavissa 60, 80 ja 100 mm paksuisina. Betonikiville on saatavissa useita pintakäsittelyvaihtoehtoja; käsittelemätön muottipinta, hiekkapuhallettu, ristipäähakattu, pesubetonipinta ja ”vanhennettu” pinta. (RT ry 2006, 12.)

Mitä käyttöikään tulee, normissa SFS-EN 1338 +AC (2003) ei ole annettu vaatimusta betonisen päällystekiven käyttöiälle. Normeissa on ainoastaan veloitettu tuotteen säilyvän koko käyttöiän, eli käytännössä on annettu raja-arvot vain vedenimeytymiselle ja jäädytys-sulatuskestävyydelle. Tietoa ei ollut käytettävissä myöskään tuotevalmistajilta tai suunnitteluohjeista. Betonikiville ei myöskään määritetä rasitusluokkia, kuten paikallavaletuille ja elementtirakenteille käytetään käyttöikäsuunnittelua (Betoniteollisuus ry 2022, 64), josta lisää kappaleessa 4.3.

Betonikiveyksen vaurioita voivat olla yksittäiset rikkoutuvat kivet, painumat, kivien kuluminen, routimisen tai puiden juurien aiheuttamat kiveyksien muodonmuutokset ja purkautuminen (Betoniteollisuus ry 2022, 76–80, 230). Betonikiveys ei kestä säännöllistä talvikunnossapidon suolausta. Esteettisesti ajatellen betonikivi haalistuu ja likaantuu ajan myötä, jolloin värisävyt ja ladontakuvioinnit menettävät erottuvuuttaan. Tämä voi olla ongelmallista esimerkiksi vaaleilla betonikivillä toteutetuilla suojateilla. (RT ry 2006, 30.) Ladonnan ja kivi-tyyppien vaihteluilla ja näiden yhdistelyllä muiden materiaalien kanssa parannetaan pinnan kuvioden säilymistä (Leskinen & Åvist 2020). Edellä mainittujen asioiden lisäksi betonikivien käyttöikään vaikuttavat betonimassan koostumus, kivien perustamistapa ja rasitukset (Tielaitos 1997).

Betonirakenteiden suunnittelussa on huomioitava elinkaaritavoitteet, tuotteiden soveltuvuus kohteeseen, maaperäolosuhteet, kunnallistekniikan varusteet ja detaljisuunnittelua vaativat kohdat. Lähtötiedoksi tarvitaan alueen liikennemäärä sekä kuormitukset. Soveltuvuuden ratkaisevat kiveen kohdistuvat rasitukset, kuten liikenne ja suolaus, kiveysraken-teen kunnossapidettävyyys ja lujuus. (Betoniteollisuus ry 2022, 76,120.) Betonikivi ei sovellu alueille, joilla on voimakasta nastarengaskulutusta, mutta soveltuu alueille, joilla on kovaa kuormitusta mutta liikennemäärät vähäiset, esimerkiksi pysäköintialueille, pihakaduille tai linja-autopysäkeille. Liikennealueille suositellaan vähintään 80 mm kiviä. Kestävyyttä lisää sivumitaltaan pienen kiven valinta. Kevyenliikenteen väylilläkin täytyy huomioida satunnaisesti mahdollisesti esiintyvät suuret kuormat. (RT ry 2006, 19; Betoniteollisuus ry 2022, 86.)

Betonikivirakenteet luokitellaan kuormituskestävyyden kannalta puolijäykäksi päällysteeksi (RT ry 2006, 18). Kivipäällysteisen kadun päällysrakenne mitoitetaan samoin, kuin asfalttipäällysteisen kadun. 80 mm paksu betonikivi asennushiekalla vastaa kuormituskestävyydeltään 100 mm asfalttikerrosta. (RT ry 2006, 38–39.) Reunaprofiloitu kivi eli sidekivi on reunaltaan epätasainen, jotta kivet lukkiutuisivat keskenään ja muodostaa päällysteestä kantavamman. Betonikivipäällyste on laattapäällystettä kestävämpi, koska laatat eivät lukiudu toisiinsa. Laattoja ei suositella ajoneuvoliikenteellisille alueille. (RT ry 2006, 12–13, 39.) Sivumitoiltaan suuremmille kiville suositellaan tasakaatoa tai korkeintaan pientä kallistuksen muutosta, sillä ne täytyy huomioida sekä pituus- että leveysuuntaan. Liian suuret muutokset saattavat jättää laatan tyhjän päälle, mikä johtaa laatan murtumiseen. Pienet kivet ovat näin ollen anteeksiantavampia pinnan muotojen muuttumiselle. (Betoniteollisuus ry 2022, 121.)

Detaljisuunnittelun kohteita ovat kunnallistekniikan laitteiden ympäristät, tavoitteena on esteettinen ja kestävä kiveys myös laitteiden ympärillä (Betoniteollisuus ry 2022, 76, 80). Näissä kohdissa pitäisi käyttää nk. puolen kiven sääntöä, mikä tarkoittaa, että puolikkaita kiviä pienempiä ei asenneta, vaan kiveys toteutetaan jotenkin muuten. Ladottavalle päällysteelle tehtävä kansi on hyvä suunnitella suorakulmaisella kehyksellä. Muita suunniteltavia seikkoja ovat liittyminen muihin rakenteisiin, ladontamalli ja -suunta, hulevesien hallinta ja reunojen viimeistely. Reunan kestävyys varmistetaan kiinnittämällä reunimmainen kivrivi maakosteaan betoniin tai tukemalla reunatukeen. Kokonaisista kivistä rakennettu reuna on leikatuista rakennettua kestävämpi. (Betoniteollisuus ry 2022, 120–123.) Päällysteen kustannus on suhteutettava sen käyttöikänsä. (RT ry 2006, 36.)

Useissa lähteissä mainittiin betonikivien uudelleenkäytettävyys, mutta toistaiseksi haastattelun mukaan rakenteesta puretut betonikivet ovat olleet usein niin huonokuntoisia, että niitä ei ole voitu uusiokäyttää. Puretun betonikivirakenteen elinkaarta voidaan jatkaa jatkokäsittelemällä kivet betonimurskeeksi ja jatkokäyttämällä (RT ry 2006, 13).

Eräästä haastattelusta nousi esiin, että kunnossapitäjän kannalta liikennejakajissa käytettävä Stoneprint-betonipinnoite on erittäin kestävä vaihtoehto. Stoneprint-betonipinnoite on paikallavalettu yhtenäinen betonikappale, jonka pintaan painetaan kiveyskuvio. ”Kivien” välissä ei ole kasvualustana toimivaa saumaushiekkää, mikä tekee pinnasta helposti puhdistettavan ja esteettisesti kestävä. Stoneprint-pinnoite sopii jakajiin, koska niille ei usein kohdistu kuormia.

## 4.2 Reunatuet

Reunatuen tehtävä on tukea kevyen liikenteen väylien korokkeiden reunoja, rajata aluetta, lisätä katualueen hahmotettavuutta, johtaa hulevesiä sadevesikaivoihin ja ohjata talvikunnossapitokalustoa. Usein upotetun reunakiven näkyvä osa on 120 mm korkea, madallettujen reunakivien 80 tai 60 mm. Muita reunakiviä ovat viistetyt, yliajettavat ja luiskatut reunatuet. (Junttila ym. 2011, 62.) Betoniset reunatuet voidaan jakaa kolmeen ryhmään toteutustavan mukaan; liimattavat, upotettavat ja liukuvaletut (Betoniteollisuus ry 2022, 136), joista Lappeenrannassa käytetään haastatteluiden mukaan nykyään enää kahta viimeistä.

Upotettavia reunakivituotteita löytyy useassa profiilissa kaarre-, kulma- ja madalluskappaleineen. Yleisimmin käytetty koko on 170 mm leveä ja 300 mm korkea. Upotettu reunatuki kiinnitetään maakostealla betonilla. (Betoniteollisuus ry 2022, 136, 142.) Liukuvalettavat reunakivet valetaan huokostetusta kuitubetonista kohteessa valukoneella, yleensä asfalttipäällysteen päälle ankkuroimalla terästapeilla alustaan. Liukuvaletun reunakiven sisällä on pituussuunnassa yksi 8 mm harjateräs. Liukuvalettuja reunakiviä on saatavilla myös upotettuna. (Betoniteollisuus ry 2022, 136, 145; Skantti Oy.)

Samoin kuin betonikivillä, normeissa ei ole määritelty vaatimusta betonisten reunakivien käyttäjälle eikä tietoa ole käytössä tuotevalmistajilta tai suunnitteluohjeista. Tämän takia opinnäytetyön liitteeseen 3 on käyty valokuvaamassa eri ikäisiä ja tyyppisiä reunakiviä Lappeenrannasta. Liitteestä ei voida päätellä tai määrittää yksittäisen tuotteen käyttöikää, mutta kuvat antavat viitteitä mahdollisista vauriotyypeistä ja säilyvyydestä. On myös mahdollista, että kuvatut reunakivet ovat katua uudempia. Kohteiden iän ja katutyypin vuoksi kuvatuissa kohteissa oli paljon liimattuja reunakiviä, joita tässä työssä ei käsitellä. Liitteen ensimmäisellä sivulla on esitetty kohteiden ikä ja katutyyppi. Ikänä on käytetty katusuunnitelman vahvistusvuotta. Kohteet on valittu sattumanvaraisesti.

Haastatteluiden perusteella upotetut reunatuet kestävät paremmin talvikunnossapitoa, kuin liukuvaletut tai liimatut reunakivet. Kovimmalle kulutukselle altistuvilla reunakivilinjojen epäjatkuuus- ja käänkökohdilla, kuten risteysalueilla, on järkevää käyttää betonireunakivien sijaan graniittia.

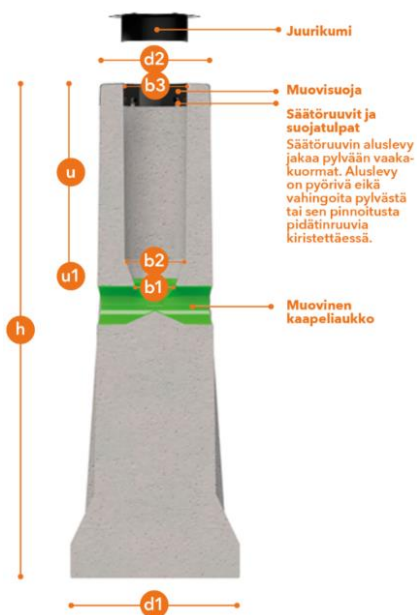
Betonisen reunatuen käyttöikään vaikuttaa kulutuksen suuruus. Koska reunakiven yhtenä tehtävänä on ohjata auraukskalustoa talvella, auraaminen myös kuluttaa reunakiveä. Reunakivien poikkeavat linjaukset ja muut korokkeet ovat haastavia talvikunnossapidolle, koska lumen alta niitä on vaikeaa havaita. Seurauksena ovat vauriot sekä reunakiveen, että kunnossapitokalustoon. (Kolehmainen 2010.) Kovalle kulutukselle alttiin betonireunatuen kes-töikä voi olla alle 10 vuotta (Junttila ym. 2011, 35).

Talvikunnossapitolukalustoa ja reunakiven kestävyyttä ajatellen reunakivilinja suunnitellaan niin, ettei aurauskalusto osu kiven päähän. Aukkojen päät suunnitellaan viistettynä ja hie- man ajoradalta poispäin sisennettynä. (Tielaitos 1997a, 7.) Lumen läjityspaikoilla, kuten au- rauslinjojen loppupäissä, tulisi reunakivilinjat suunnitella miinuskorolla suhteessa kadun pintaan, jotta reunatukirakenteesta tulee kestävämpi. Upotetun tuotteen suunnittelussa on määritettävä kiven asennustapa, eli asennetaanko kivi murskeelle vai maakosteaan beto- niin. Mahdollinen suola- tai kemiallinen rasitus voi aiheuttaa vaatimuksia asennusbetonille. (Betoniteollisuus ry 2022, 141, 143.)

### 4.3 Valaisinjalustat

Katuvalaisinkalusteen muodostavat lamppu, valaisin, valaisinvarsi, pylväs, valaisinjalusta ja sähkönjakolaitteet. Pylväät asennetaan yleensä upottamalla betoniseen valaisinjalusta- taan, jotka ovat maahan upotettuja betonisia rakenteita. Tieverkolla valaisimien jalustojen suunnittelukäyttöä on asetettu 50 vuotta (Väylävirasto 2022, 24).

Laippakiinnitteiset jalustat eivät ole yhtä kestäviä kuin upotusjalustat, sillä pylvään kiinnitys- osat jäävät sääoloille alttiiksi (Väylävirasto 2022, 26). Kuvassa 4 on esitetty valaisinjalustan perusrakenne, johon kuuluu juurikumi, muovisuoja, säätöruuvit ja suojatulpat sekä kaapeli- aukko. Juurikumien tehtävä on estää veden, kivien ja hiekan pääsy jalustan sisään. Jalus- tan yläosat voidaan suunnitella muovilla tai teräksellä suojattuna. Suojatun jalustan betonin vaatimukset ovat alemmat, kuin suojaamattoman. Terässuojan tavoitteena on lisäksi suo- jata jalustaa aurauskalustolta. Veden jäätyminen jalustan sisällä ei ole havaittu aiheuttavan vaurioita jalustalle, pylväille tai kaapeleille. (Väylävirasto 2022, 24–26.)



Kuva 4 Betonisen säätöruuvi kiinnitteisen valaisinjalustan rakenne (Sähkö-Jokinen Oy)

#### 4.4 Tukimuurit

Tukimuureja käytetään yhdistämään maastonkohdat, joiden välillä on korkeuseroa, ja joita ei voida luiskata esimerkiksi tilankäytöllisistä syistä. Tukimuurin rakentamiseen on tarjolla useita eri materiaalivaihtoehtoja, ja sen valintaan vaikuttaa kuormitukset, ilmastorasitukset, ilkvallan kesto ja kaupunkikuvalliset tekijät. Betoniset tukimuurit tehdään joko teräsbetonista paikalla valaen tai tehdasvalmisteisista tukimuurielementeistä. (Juntila ym. 2011, 65–66.) Lujitemaatukimuuria käytetään, kun tasoero on korkea tai kun tukimuriin kohdistuu maanpaineen lisäksi hyötykuormia (Nuotio ym. 2015).

Valmiiden tukimuurielementtien suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta rakenneluokassa 2 ja lujuusluokassa C32/40 (Rudus 2021,4). Paikallavalettujen tukimuurien käyttöiän määrittää rakennesuunnittelija säätämällä käyttöikään vaikuttavia betonin parametrejä. Betonirakenteiden käyttöikää arvioidaan todennäköisyyksien perusteella 95 % varmuustasolla, mikä tarkoittaa, että 5 % rakenteista ei saavuta suunniteltua käyttöikää, mutta suurin osa rakenteista kuitenkin ylittää sen reilusti. Tyypillinen suunnittelukäyttöikä betonirakenteille on 50, 100 tai 200 vuotta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 15.) Lujitemaatukimuurien tyypillinen käyttöikä on 100 vuotta (Liikennevirasto 2012, 32).

Paikallavaletun betonirakenteen käyttöikäsuunnittelu tapahtuu vaiheittain. Ensiksi määritetään suunnittelukäyttöikä ja vaikuttavat rasitusluokat, joiden perusteella seuraavaksi määritellään laatuparametrit, sallittu halkeamaleveys, betonipeitteen paksuus, rakennemitat ja

muut vaikuttavat tekijät. Tämän jälkeen laaditaan säilyvyys- ja käyttöohjeet. Käyttöikämitoituksen parametrit saadaan selville joko taulukoilla tai laskennallisesti. Näiden parametrien perusteella suunnittelija määrittelee enimmäis- ja vähimmäisvaatimukset käytettävälle betonimassalle. Käyttöään odotetaan täyttävän, mikäli käytettävä betonin koostumus, betoni- peitepaksuus ja halkeilu ovat vaaditun laisia. (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 15, 21.) Tukimuurielementtien rasitusluokat ja mitoituskuormat selviävät tuotevalmistajalta, joten suunnittelijan tehtäväksi jää varmistaa tuotteen sopivuus kohteeseen.

Tukimuurien suunnittelussa on huomioitava muurin geometria, muuriin kohdistuvat maanpaine kuormat, mahdolliset hyötykuormat, jäänpaine, sekä maaperän lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet kohteen vaativuuden mukaan (Nuotio ym. 2015). Mitoituksessa tarkastellaan kokonaisstabiiliteettiä, vaaka- ja pystystabiiliteettiä, maapohjan murtuminen, siirtymät, rakenteellinen kestävyys, maapohjan kantokestävyys, liukuminen ja kaatuminen. Myös mahdollinen vedenpaine ja virtaus on huomioitava mitoituksessa. (Liikennevirasto 2017, 71.) Tukimuurin kestävyttä voidaan lisätä suunnittelemalla se pystysuoran sijaan hieman rinteeseen päin kaltevaksi (Nuotio ym. 2015).

Osana tukimuurin kosteusteknistä suunnittelua muurille on suunniteltava kate, vedeneristys ja kuivatus. Tukimuurin yhteyteen voi olla tarvetta suunnitella salaojat, mikäli taustamaassa virtaa pohjavettä tai tukimuurin alla tai takana on kalliota tai vettä läpäisemätöntä maata. Salaojat sijoitetaan perustustason alapuolelle. Hieman muurin ulkopinnasta ulkoneva kate estää veden valumisen muurin pintaa pitkin. (Nuotio ym. 2015.) Katteen puuttuminen voi ajan myötä myötävaikuttaa Trentepohlia-suvun viherlevän eli nk. punajäkäläkasvuston syntymiseen betonipinnalle (kuva 5). Ruosteen värinen kasvusto syntyy useiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta; betonipinnan emäksisyyden laskeminen ajan myötä, sadeveden toimitamat typpiyhdisteet sekä pinnalle laskeutuva pöly ja lika. Leväkasvuston haitta on lähinnä esteettinen. (Tahkokorpi 2013.)



Kuva 5 Punajakälän värjäämä betonitukimuri (Kuva: Anna Vartiainen)

Koska tukimuurit ovat usein näkyvillä paikoilla sijaitsevia pystysuoria rakenteita, ne ovat alttiina ilkeivallalle, jota pintojen suunnittelussa voidaan välttää esimerkiksi käyttämällä verhoiltua, uritettua tai kuviollista pintaa ja puhdistusta helpottavia suoja-aineita. Luonnonkivi-verhous kestää puhdistusta betonia paremmin. (Junttila ym. 2011, 66.) Mahdollisia suoja-aineita käytettäessä on huomioitava aineen tekninen sopivuus, sillä suoja-aineet saattavat vaikuttaa rakenteen kosteustekniseen toimintaan aiheuttaen lopulta vaurioita. Kun tukimuurin viereen suunnitellaan istutuksia, on tukimuri suojattava kasvillisuuden juurien aiheuttamilta vahingoilta muurin tausta varustettava juurimatolla. (Nuotio ym. 2015.)

## 5 Luonnonkivituotteet

### 5.1 Luonnonkiviset tasokiveykset

Tasokiveysrakenne on nupukivistä, noppakivistä tai kivilaatoista maakostean betoniin tai hiekkaan asennettu päällyste. Tasokiveyksiä käytetään toreilla, kaduilla, ja muilla liikenneväylillä. Erilaisista pintakäsittelytapoja ovat poltettu, lohkottu, lohkotusta pinnasta hakattu, sahattu, sahatusta pinnasta hakattu, ristipäähakattu ja karkeahakattu. Ulkotilojen tasokiveyskivien pintakäsittelyt ovat usein karkeita. (Kiviteollisuusliitto ry 2006b, 2.) Kivituotteen ja tasokiveysrakenteen suunnittelun tehtäväluetteloon kuuluvat:

- kivityypin ja pintakäsittelyn valinta
- kiven mitoitus (laatat)
- saumojen suunnittelu
- maaparametrien selvittäminen
- rakennetyypin valinta (asennusalusta ja ladonta) (Kiviteollisuusliitto ry 2006b, 3).

Haastattelujen perusteella luonnonkivituotteen käyttöikä vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan, mutta tavallisesti sen voi olettaa kestävän katu ympäristössä ainakin 100 vuotta. Rakenteesta puretut kivet ovat usein uudelleenkäytettävissä toisessa käyttötarkoituksessa, esimerkiksi viheralueilla, missä kuormat ovat pienempiä kuin kadulla. Mikäli puretulle kivelle käyttötarvetta ei heti ole, kannattaa ehjät kivet kerätä talteen välivarastoon myöhempää käyttöä varten. Pitkän kestoikänsä vuoksi luonnonkivituotteet voivat tulla pitkällä aikavälillä edullisemmaksi kuin vastaavat betoniset (Junttila ym. 2011, 35).

Luonnonkivellä on hyvä kulutuksenkestävyys, säänkestävyys, öljyn ja polttoaineen kestävyys (Mörönen 2011, 2). Haastatteluista selvisi, että talvikunnossapito aiheuttaa eniten haasteita luonnonkivelle katu ympäristössä. Tavallisia vaurioita ovat kuluminen, lohkeaminen, murtuminen ja asennusvirheet. Pienemmät kivet ovat kestävämpiä, kuin laatat. Kivet myös likaantuvat öljystä, renkaista irtoavasta kumista, purukumista (Mörönen 2001, 7) ja erään haastattelun mukaan rullalautoista irtoavasta tummasta vahasta.

Haastattelujen mukaan katusuunnittelussa kivirakenteen kestoikää voidaan pidentää valitsemalla kohteeseen sopiva kivilaji, sekä pintakäsittely- ja saumaustapa. Kivilajin valintaperusteita ovat ulkonäkö, taiputusvetolujuus, kulutuskestävyys, säänkestävyys, ulkonäön säilyminen, saatavuus ja hinta. (Mörönen 2001, 3.) Koska lähtökohtaisesti Suomen katu ympäristössä käytetään luonnonkivenä graniittia, oikean pintakäsittelytavan valinta kohteen vaatimusten ja käytettävän graniittilajin rakeisuuden mukaan on näin ollen merkittävämpää käyttöä varten kannalta. Lisäksi haastatteluiden perusteella kivituotteiden valintaa varten

tarvitaan tietoa alueen liikennemääristä ja -kuormista. Kiven paksuus ja kestävyysluokka on valittava kuormituksen mukaan. Kuormien ja liikennemäärien ollessa suuria, kiveykset kannattaa suunnitella mahdollisimman suuripiirteisesti, jotta kiveysrakenne kestää kuormat ja on helposti ylläpidettävissä ja talvihoidettavissa.

Pintakäsittelytavan valintaan vaikuttavat ulkonäkö ja sen säilyminen sekä liukastumisvastus. Karkeuden muuttuminen ajan myötä riippuu kiven kulutuskestävyydestä. Karkeapintaisiin kiviin lika tarttuu herkemmin ja on vaikeampaa poistaa, mutta se ei ole niin havaittavaa. Kuluminen tasoittaa kivien pintaa alkuperäisestä pintakäsittelytavasta riippumatta. Kaikista pisin esteettinen käyttöikä on kivillä, joiden pintakäsittelytavaksi on valittu kulunutta kiveä vastaava. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että karkea pinta kiillottuu ja kiiltävä karheutuu ajan myötä. Kuluminen vaikuttaa jonkin verran myös kiven värin näyttäytymiseen. Lisäksi luonnonkivien on aina oltava säänkestäviä. Säänkestävyys voidaan todeta vastaavissa olosuhteissa olevien toteutettujen kohteiden kunnon perusteella tai suoritustasoilmoituksesta. (Mörönen 2001, 6–7.)

Itse luonnonkivipäällysteen lisäksi on tarkasteltava koko rakennetta. Tasokiveykset voidaan asentaa joko hiekkaan tai maakosteaan betoniin. Betoniin asennetun kiveysrakenteen kantavuus on suurempi, kuin hiekalle asennetun. Saumat välittävät kuormia kiveltä toiselle. Kiveystuotteille on saumaleveyssuosituksia, mitkä takaavat rakenteen optimaalisen toiminnan. Sauman leveyteen vaikuttavat myös saumasaine ja kivien mittatarkkuus. Sen sijaan kiven reunan pintakäsittelytapa ei vaikuta sauman toimintaan. (Mörönen 2001, 2, 10; Kiviteollisuusliitto ry 2006b, 15.) Saumasaineen valintaan vaikuttavat kuormituksen suuruus ja tuleva kunnossapito. Esimerkiksi suurilla kuormilla sementtilaasti on sopiva valinta, kun taas säännöllisesti harjaamalla pestäville pinnoille ei sovellu hiekka. (Kiviteollisuusliitto ry 2006b, 15.)

Luonnonkivipäällyste toimii kantavana rakennekerroksena, joka siirtää kuormituksia alusrakenteelle. Luonnonkivistä tasokiveysrakennetta suunniteltaessa fysikaalisten ominaisuuksien huomiointi on merkittävää lähinnä kivilaattojen taivutusvetolujuuden kannalta. (Kiviteollisuusliitto ry 2006b, 3, 6.) Kiven fysikaalisia ominaisuuksia voidaan käyttää lähtötietona kivilaatan mitoituksessa. Tasokiveyksien suunnittelussa usein puristuslujuus ei ole niin mitoitettava tekijä kuin taivutusvetolujuus, erityisesti kivilaattojen kohdalla. Koska luonnonkivi ei ole materiaalina täysin homogeenistä, yksittäistä taivutusvetolujuuden arvoa merkittävämpi arvo on koetulosten hajonta, mikä määrittää materiaalivarmuuskertoimen. (Kiviteollisuusliitto ry 2006a, 12–13.) Kuten asfalttipäällysteisten katujen, haastattelujen mukaan myös tasokiveyksillä päällystettyjen katujen suunnittelussa selvitettäviä lähtötietoja ovat

maaperän kantavuus ja routivuus. Myös pintojen ja rakenteen kuivatus täytyy suunnitella samoin kuin muuallakin.

Kiveyksien tulee olla helposti purettavia ja uudelleen asennettavissa. Kiveyksien käyttöikä saadaan pidennettyä suunnittelemalla kiveykset hyvin saatavilla olevista tuotteista, jotta yksittäisiä rikkoutuneita kappaleita voidaan helposti korjata vaihtamalla ne uusiin pinnan esteettisyyden kärsimättä. Kivilaattapintaisia alueita suunnitellessa tulee huomioida, että mikäli kulkuväylää ylläpidetään koneellisesti tai sillä kulkee raskasta liikennettä, tulisi käyttää vähintään 80–100 mm paksuja kivilaattoja. Liian ohuet laatat eivät kestä suuria pistekuormia. (Väätäinen 2020.)

Kivien ladonta vaikuttaa kiveyksien tiivistymiseen ja kestävyYTEEN. Ajouradoilla nupukivet tulisi latoa kohtisuoraan tai vinosti ajorataan nähden. (Leskinen & Åvist 2020.) Viistosti limitämällä asennettu tasokiveys pienentää ajoneuvoliikenteen ja rakenteen tärinää sekä melua. Suorien saumojen välttäminen parantaa kivien paikallaan pysymistä. (Mörönen 2001, 10.) Noppakivien latominen somu- tai kaariladontana tekee päällysteestä kestävämmän ja pienentää saumoja verrattuna suoraan ladontaan (Junttila ym. 2011, 52). Reuna-alueilla kivien pysyvyys varmistetaan tukemalla esimerkiksi reunakivellä (Ehrola 1996, 151).

Eräästä haastattelusta ilmeni, että varoittavien opaslaattojen, joita käytetään mm. bussipysäkeillä ja suojateiden yhteydessä, metallinastat ovat herkkiä irtoamaan talvikunnossapidon seurauksena. Pahoin vaurioituneet tai lumen peittämät opaslaatat eivät täytä käyttötarkoitustaan, joten niille olisi hyvä suunnitella sulanapitojärjestelmä. Kuvassa 6 on esitetty vierekkäin ehjä ja vaurioitunut opaslaatta.



Kuva 6 Ehjä ja vaurioituneita opaslaattoja (Kuva: Anna Vartiainen)

## 5.2 Reunatuet

Lappeenrannassa luonnonkivestä valmistettuja reunatukia käytetään tällä hetkellä keskustassa ja muilla merkittävillä alueilla. Luonnonkivisten reunatukien pintakäsittelytapoja ovat lohkominen, hakkaaminen, karkeahakkaus, poltto ja ristipäähakkaus. Luonnonkiviset reunakivet jaetaan profiilin perusteella suora-, faasi-, viiste- ja vaakareunakiviin. Reunakiven eri pinnat voivat olla käsitelty eri tavoin niin, että piiloon jäävät pinnat ovat lohkottuja ja näkyvät muilla tavoin käsiteltyjä. (Kiviteollisuusliitto ry 2006b, 16.) Luonnonkiviset reunatuet asennetaan upottamalla maakostean betoniin.

Oikein asennetun luonnonkivisen reunatuen käyttöikä on lähes ikuisuuden ja ne ovat uudelleenkäytettävissä. Luonnonkivisen reunatuen käyttö betonisen sijaan on perusteltua, mikäli kulutus on suurta eikä katualueelle ole tiedossa muutoksia, jotka voisivat vaikuttaa rakenteiden käyttöikään (Junttila ym. 2011, 63, 35). Liitteeseen 3 on valokuvattu eri ikäisiä luonnonkivisiä reunakiviä.

Haastatteluiden mukaan luonnonkivisille reunatuille tyypillisiä vaurioita ovat lohkeaminen, ruosteenväriset pitkittäisnaarmut ja halkeaminen. Luonnonkiviset reunakivet myös kuluvat ajan myötä. Eniten vaurioita aiheuttaa talvikunnossapitokalusto (Mörönen 2001, 7), minkä kannalta haastatteluissa todettiin graniittisten reunakivien olevan kestävimpiä. Kuten luonnonkivisten tasokiveysten kohdalla, reunatukien pintakäsittelytavan valinta vaikuttaa

ulkonäön säilymiseen. Lohkeilu ei muuta lohkotun pinnan ulkonäköä niin paljoa, kuin esimerkiksi sahatusta pinnasta hakkaamalla työstetyn pintaa. (Mörönen 2001, 7.)

### 5.3 Luonnonkivitukimuurit

#### **Kivikorit**

Kivikorit ovat pinnoitetusta teräksestä valmistettuja teräsverkon silmäkokoa isommilla kivillä täytettyjä koreja, joita voi latoa rinnakkain tai useampaan kerrokseen. Kivikoreja voidaan käyttää tukimuureina, meluaitoina (kuva 7), vesistö rakenteina ja betonimuurin verhoiluna. Kivikorien käyttöikä on 40–50 vuotta ja riippuu teräksen korroosiosta. Mikäli hienompaa maata pääsee kivien väliin ajan mittaan, kestoikä voi pidentyä jonkin verran kasvien juurien sitoessa rakennetta. (Junttila ym. 2011, 71–72.)

Kivikoreista tehty tukimuri kestää vähäistä pohjamaan epätasaista painumista ja routarajaksia hyvin rakenteensa vuoksi. Kivikorirakennetta suunniteltaessa on selvitettävä pohjamaan kantavuus ja vahvistustarve. Mahdollinen taustatäyttö on suunniteltava routimattomasta materiaalista. Kivitukimuurien etuna on kiviaineksen koon ansiosta hyvä vedenjohtokyky, mikä tekee rakenteesta itsessään salaojittavan, mikä taas parantaa tukimuurin vakavuutta eikä aiheuta taustatäytölle eroosiota. (Nuotio ym. 2015, Helsingin kaupunki 2016.)

Suunnittelussa on huomioitava kivien muoto. Pyöreät kivet liikkuvat suhteessa toisiinsa helpommin, kuin kantikkaat kivet, mikä voi aiheuttaa pintarakenteelle muodonmuutoksia. Pyöreitäkin kiviä voidaan käyttää, jolloin on käytettävä vähintään 5 mm vahvuista teräsverkkoa. Teräsverkon korroosiosuojaus on suunniteltava olosuhteiden mukaisiksi. (Nuotio ym. 2015.) Liikenteen läheisyydessä korit kannattaa suunnitella toteutettavaksi paksummalla langalla, jotta korit kestävät paremmin mahdollisia iskuja (Junttila ym. 2011, 71).



Kuva 7 Kivikorirakenne meluaitana Lappeenrannassa (Kuva: Anna Vartiainen)

### **Muut luonnonkiviset tukimuurit**

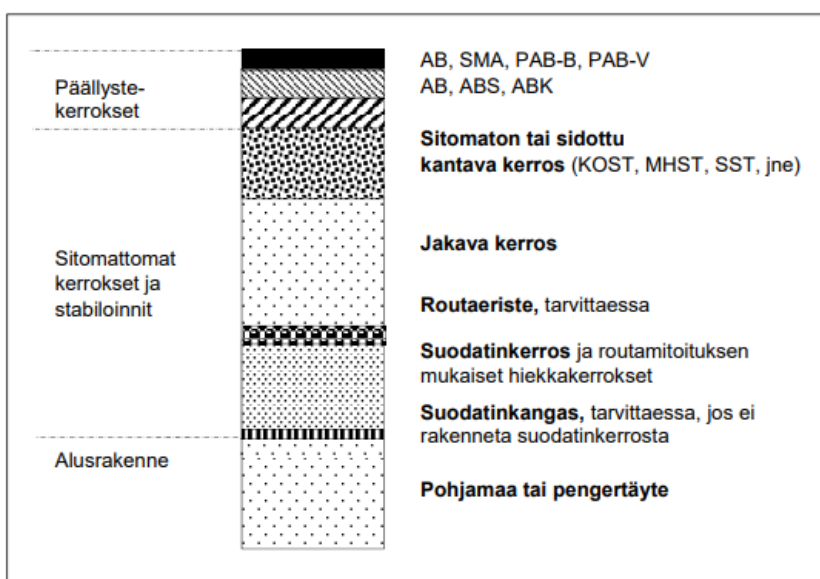
Muita luonnonkivisiä tukimuureja ovat harkko- ja paasikivimuurit (Nuotio ym. 2015). Luonnonkivistä tukimuurin rakennesuunnittelussa on selvitettävä maanpainekuorma. Suurien vaakakuormien tukimuurit tehdään yleensä betonista ja saatetaan verhota luonnonkivellä. (Kiviteollisuusliitto ry 2006b, 3.) Muurin lujuus riippuu käytettyjen kivien koosta; mitä suuremmista kivistä muuri on tehty, sitä lujempi se on. Geoteknisessä suunnittelussa tulee määrittää perustamistapa, routasuojaus, kuivatus, maapohjan laatu ja mahdollinen vahvistus. (Helsingin kaupunki 2016.)

## 6 Päälysrakenne

### Rakennekerrokset

Päälysrakenne koostuu rakennekerroksista, jotka toimivat kokonaisuutena yhdessä alusrakenteen ja kuivatuksen kanssa. Liikenneväylän päälysrakenteen tavoitteena on ottaa vastaan ja jakaa alustaansa liikennekuormat sekä tasoittaa alusrakenteen pituussuuntaisia laadunvaihteluita säätämällä rakennekerrosten paksuutta. Tavallinen kaduilla käytettävä päälysrakennetyyppi (kuva 8) on joustava, mikä tarkoittaa, että rakennekerroksia on useita, kulutuskerros ja mahdollisesti myös kantava kerros ovat sidottuja, muut kerrokset ovat sitomattomia. (Ehrola 1996, 13, 138.)

Suodatinkerroksen tehtävä on estää alus- ja päälysrakenteiden materiaalien sekoittuminen sekä katkaista veden kapillaarinen nousu ylempiin kerroksiin. Suodatinkerros tarvitaan, kun alusrakenne on routiva. Jakavan kerroksen tehtävä on johtaa suotautuvia vesiä väylän sivuun ja estää kapillaarisen veden nousu suodatinkerroksen yläpuolelle. Lisäksi jakavan ja kantavan kerroksen tehtävänä on jakaa kuormat laajemmalle alueelle ja muodostaa päällysteelle niin kantava alusta, että päällysteen alapintaan ei pääse syntymään materiaalille liian suuria taivutusvetojännityksiä. Jakava kerros tarvitaan, kun alusrakenne on jakavaa kerrosta huonommin kantavaa. Kantavan kerroksen tehtävä on muodostaa kantava ja oikean muotoinen pohja päällysteelle. Kantava kerros voidaan tehdä yhtenä sitomattomana kerroksena tai kahtena niin, että alaosa on sitomaton ja yläosa sidottu. (Ehrola 1996, 139–141.)



Kuva 8 Tien päälysrakenteen nimitykset (Liikennevirasto 2018, 11)

Haastatteluiden mukaan päällysrakenteen suunnitteluikä on 50 vuotta korjausvelkalaskennan perusteella. Rakennekerroksille ei ole nykyohjeistuksessa asetettu varsinaisia käyttöikävaatimuksia, vaan suunniteltu käyttöikä jää usein tilaajan asettamaksi parametriksi. Ongelmana on, että päällysrakenteen käyttöiän mukaiseen suunnitteluun ei ole olemassa varsinaisia suunnitteluohjeita eikä käyttöiän määrittely ole aivan yksiselitteistä. Haasteena on myös sellaisten työkalujen puute, joilla voitaisiin osoittaa suunnitteluvaiheessa käyttöiän pidentämiseen tähtäävän mitoituksen korrelaatio rakenteen kestoikäälle. Rakennekerroksien käyttöiän mittaamiselle ei myöskään ole vakioitua tapaa. Yksittäisen rakennekerroksen käyttöikä riippuu kerroksen asemasta rakenteessa. Mitä alempana rakennekerros sijaitsee, sitä pidempää käyttöikää sille tavoitellaan. Huolellinen suunnittelu on tärkeää, koska virheiden korjaaminen jälkikäteen on erittäin kallista.

Ymmärrys katurakenteesta ja sen toiminnasta vaihtelee toimijakohtaisesti, joten on mahdollista, että sen vuoksi katurakenteen laatua alennetaan, toimitaan vanhojen toimintatapojen mukaisesti tai mitoituksessa noudatetaan ainoastaan minimiarvoja ymmärtämättä kunkin toimen seurauksia. Koko päällysrakenteen käyttöikään olisi syytä kiinnittää huomiota, koska se muodostaa usein suuren osan hankkeen kustannuksista, uusiutumattomia luonnonvaroja kuluu paljon ja sen laatu vaikuttaa suoraan päällysteen kuntoon. Tieverkon suunnittelussa käyttöikä otetaan paremmin huomioon, kuin katujen. Usein katurakenne uusitaan vasta, kun kadun käyttötarkoitus muuttuu, jos vesihuoltoverkosto on saavuttanut kestoikänsä tai mikäli ilmenee tarvetta uusille kunnallistekniikan linjoille kadun kunnosta riippumatta.

Haastattelussa todettiin, että *mikäli katurakenteen suunnittelu tai toteutus on jostakin syystä epäonnistunut, vauriot voivat olla nähtävissä jopa 0,5–2 vuodessa rakentamisesta ympäristötekijöistä riippuen*. Urautuminen on hyvin yleinen vauriotyyppi poikkileikkaussuunnassa, jota tapahtuu päällysteen kulumisen lisäksi alapuolisissa rakennekerroksissa deformaationa (Ehrola 1996, 24). Routiminen voi aiheuttaa päällysteeseen epätasaisuutta, mikä muuttaa pinnan kaltevuuksia ja vaikuttaa tätä kautta pintakuivatuksen toimivuuteen. Myös tasainen routanousu voi olla haitallista esimerkiksi rakenteille ja putkille. (Kivikoski & Saarelainen 2009, 12.) Kadun painumat voivat aiheutua pohjaolosuhteiden vaihteluista, pengerpaksuuden nopeasta vaihtelusta, työvirheistä ja puutteellisista siirtymäkiiloista. Painumat ovat suurempi ongelma katuun liittyvälle muulle tekniikalle, kuin itse päällysrakenteelle. Kaikista haitallisinta on epätasainen painuminen. (Forsman 2020.)

Haastatteluiden perusteella lähtötiedoksi tarvitaan mahdollisimman kattava pohjatutkimuksin hankittu tieto pohjaolosuhteista. Kadun rakentamiseen tarvittavia lähtötietoja ovat:

- maanpinnan korkeusasema
- pohjamaakerrosten laatu ja paksuus
- kallionpinta
- leikkauslujuus- ja kokoonpuristuvuusominaisuudet maakerroksittain
- leikattavien ja ylimmäisten maakerrosten routivuus
- pohjaveden ja orsiveden painetaso ja vaihtelu
- pohjavesialueen tai vedenottamon läheisyys
- vapaan vesipinnan tai tulvaveden korkeus
- pohjamaan aggressiivisuus (Forsman 2020).

Maaperätutkimuksien tietoja tarvitaan rakennekerroksien määrittämisen lisäksi esimerkiksi siirtymäkiilojen suunnitteluun, painuman, perustamisen ja esirakentamisen määrittämiseen sekä kaivuumaiden hyödyntämiskelpoisuuden arviointiin. Se mitä pohjatutkimuksilla halutaan selvittää, riippuu maaperän laadusta. (Forsman 2020.) Liitteessä 7 taulukossa 1 on esitetty pohjatutkimuksin selvitettävät asiat rakenteen mukaan.

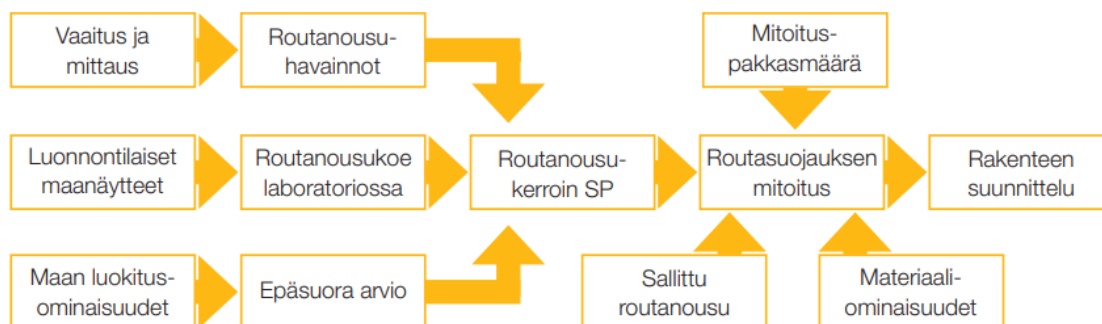
Päällysrakenteen elinkaarisuunnitteluun vaikuttavat monet tekijät. Haastatteluiden mukaan päällysrakenteen mitoitusparametrien valinnalla on suuri merkitys käyttöikään, eikä niiden valintaan ei ole yksinkertaisia ohjeita, esimerkiksi katuluokittain. Katurakenteen mitoitus määräytyy joko roudan tai kantavuuden mukaan. Päällysrakenteen mitoittaminen aloitetaan katuluokan valinnalla kadun liikenneteknisen merkityksen ja liikennemäärien perusteella. Liitteessä 7 taulukossa 2 on esitetty katuluokitus em. tekijöiden mukaan. Haastattelun mukaan kadun kuormituksia tulisi arvioida koko sen elinkaaren ajalta, jotta voidaan määrittellä oikea katuluokka. Muutoksia kuormiin käyttöiän aikana voisi tuoda esimerkiksi lähialueen kaavamuutos. Rakennekerrosmitoitusta varten olisi hyvä tietää raskaan liikenteen määrä.

Seuraavaksi määritetään alusrakenneluokka ja sen E-moduuli pohjatutkimusten perusteella. Mikäli pohjamaa on vaihtelevaa, tehdään valinta epäedullisimman mukaan. (Sikiö 2020.) Alusrakenneluokan määrittämiseksi täytyy selvittää maan kuivatusolosuhde, tasalaatuisuus ja pohjamaan rakeisuus. Alusrakenteet jaetaan kuivatusolosuhteen mukaan kahteen luokkaan; kuiviin ja märkiin. Kuivatusolosuhteeseen vaikuttaa tasausviivan sijainti suhteessa routasyvyYTEEN, maalaji ja pohjaveden taso. Alusrakenneluokka vaikuttaa päällysrakenteen kuormituskestävyyssmitoituksessa alusrakenteen E-moduuliin [MPa]. Alusrakenne luokitellaan märäksi, mikäli sen ei voida osoittaa olevan kuiva. Alusrakenteen tasalaatuisuuteen vaikuttavat pohjamaan lohkaraisuus, kerroksellisuus, maalajivaihtelut ja veden virtaus. (Liikennevirasto 2018, 18–19.) Tasalaatuisuuden ja kuivatusolosuhteiden

perusteet määritellään tarkemmin Liikenneviraston ohjeessa 38/2018. Liitessä 7 taulukossa 6 on esitetty alusrakenneluokkien määräytymisperusteet.

Kun alusrakenneluokan perusteella on saatu selville alusrakenteen E-moduuli, selvitetään routivuusominaisuudet. Routamitoituksella pyritään estämään routimisen aiheuttamat muodonmuutokset ja pinnan halkeamat. Katurakenteen routamitoitus voidaan tehdä kahdella eri menetelmällä, joista Väyläviraston (Tierakenteen suunnittelu 2018) menetelmää suositellaan ainoastaan, mikäli se soveltuu kohteeseen ja tilaaja hyväksyy menetelmän käytön (Forsman 2020). Tämän vuoksi tässä työssä käsitellään Katu 2020 -oppaassa esitettyä ohjeistusta.

Maaperän routanousuun vaikuttaa routivan maalajin ominaisuudet, pakkasmäärä, kuivatusolosuhteet ja pohjaveden pinta, rakenteen paino, routimattomien maakerrosten paksuus ja routimattoman rakenteen lämmöneristyskyky. Routivuuden määrittelyyn on tässä oppaassa kolme menettelytapaa; kenttähavainnot, rakeisuus ja routanousukoe. Tavoitteena on määrittää mitoituksessa käytettävä routimiskerroin (eli segregaatipotentialiaali SP), joka tarkoittaa Saarelaisen (2001,3) mukaan *routanousunopeuden ja routarajalla vaikuttavan lämpötilagradientin suhdetta*. (Saarelainen 2001, 3; Forsman 2020.) Routamitoituksen etenemistä on kuvattu kuvassa 9. Haastatteluiden mukaan routan huomioiminen on erittäin tärkeää, sillä usein routa on päällysrakenteen mitoittavin tekijä.



Kuva 9 Routamitoituksen eteneminen (Kivikoski & Saarelainen 2009, 8)

Kenttähavaintojen perusteella määritetty routimiskerroin tarkoittaa käytännössä havaintoihin perustuvaa takaisinlaskua, mikä taas edellyttää pohjamaan routisuusominaisuuksien tuntemista ja määrittämistä. Ominaisuuksien määrittäminen voidaan tehdä routanousumittauksilla kohteessa, joiden perusteella voidaan arvioida routimiskerroin, kun tunnetaan havaintotalven pakkasmäärä, väylärakenne, routanousu, routan syvyys ja pohjamaan laatu. Pakkasmäärän, routanousun mittaus ja väylärakenteen määrittämisen menetelmäkuvaukset on

kuvattu muissa VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan TPPT-sarjan julkaisuissa. Kun tarvittavat lähtötiedot ovat kasassa, arviointi tehdään joko likimääräiskaavalla tai käyrästömenetelmällä. Routimiskertoimen SP määrittäminen takaisinlaskennalla edellyttää olemassa olevaa rakennetta, jolta routanousu voidaan mitata, joten se sopii käytettäväksi ainoastaan saneerauskohteisiin. Arviointia hankaloittaa routanousun pienpiirteinen vaihtelu. Havaintoihin perustuva menetelmä on kuitenkin kaikista luotettavin. (Saarelainen 2001, 4–5, 11, 13.)

Rakeisuuden perusteella epäsuorasti saatu routivuus on karkea arvio, eikä kerro sen voimakkuutta tai suuruutta. Arviointi tehdään maalajin luokitusominaisuuden, savilajitepitaisuuden tai hienousluvun perusteella. Rakeisuuden perusteella määritetty routivuus perustuu havaintoihin laboratoriomääritysten ja luokitusominaisuuksien verrannollisuudesta. Hienoainespitoisuuden perusteella määritetty routimiskerroin on sikäli epäluotettava, että kerroin voi kokemusten mukaan olla huomattavasti suurempi kerrallisilla savilla, kuin homogeenisellä savella. Keskimääräisen saven routimiskerroin taas on jotakin näiden väliltä. Menetelmän luotettavuutta parantaa kontrolliroutanousukokeiden teko, sillä routanousukoe vastaa riittävällä tarkkuudella kenttähavaintoja. (Saarelainen 2001, 3, 10–11.) Liitteen 7 kuviossa 1 on esitetty rakeisuuskäyrän mukaisen routivuusluokituksen ohjekäyrät. Luokan 1 maalajit ovat routivia sekä 2,3 ja 4 luokkien maalajit, mikäli niiden käyrät ulottuvat rakeisuudelta hienomman luokan alueelle. Luokka 1L on lievästi routiva. Muita routivuuden määrittäskriteereitä on esitetty Liitteen 7 taulukossa 3. (Forsman 2020.) Alusrakenteen muutoksohjeisiin tarvitaan siirtymäkiiloja tasaamaan pohjamaan routanousu-, painuma-, kantavuus- ja tiivistymiseroja. Jyrkät kosteusolosuhde-erot vaativat myös siirtymäkiilan, ellei eroa tasata kuivatuksella. Siirtymäkiila voi olla mittalinjaan nähden pitkittäinen tai poikittäinen. (Liikennevirasto 2018, 91–92.)

Segregaatiopotentiaalin määrittämisen jälkeen valitaan pakkasmäärä  $F$  [Kh] ja sen toistuvuus. Pakkasmäärä perustuu historiatietoon, joten tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen myötä arvot saattavat muuttua. Kaduilla mitoituspakkasmääränä käytetään yleensä kerran kymmenessä vuodessa toistuvaa pakkasmäärää. Routimattomaksi suunniteltavalle rakenteelle täytyy käyttää kerran 50 vuodessa toistuvaa pakkasmäärää. Seuraavaksi määritetään sallittu routanousu päällysteen vaurioitumisriskin mukaan. Sallitun routanousun vaatimuksen tarkoitus on saavuttaa kestävä rakenne ja suunniteltu käyttöikä. Tämän jälkeen itse mitoituslaskenta tehdään routanousun laskentamallilla. (Kivikoski & Saarelainen 2009, 9, 12–13.) Routamitoitus tarkistetaan vielä kantavuusmitoituksen jälkeen. Liitteessä 7 kuvassa 1 on esitetty mitoituspakkasmäärät Suomessa toistuvuuden mukaan ja taulukossa 4 mitoitusroutanousut eri päällysteillä.

Kun routamitoitus on saatu tehtyä, mitoitetaan kuormituskestävyyden suhteen. Kantavuuden mitoituksen vaiheita ovat kuormituskertaluvun laskeminen, kuormitusluokan, päällysteen vähimmäispaksuuden ja tavoitekantavuuden määrittäminen, alusrakenteen kantavuuden määrittäminen, rakennekerrosten materiaalien valinta ja kerrospaksuuksien määrittäminen tavoitekantavuuteen Odemarkin kaavalla. Kantavuusmitoitusta ei käydä tarkemmin läpi tässä työssä, sillä se on kattavasti esitelty Tierakenteen suunnittelu -ohjeessa. Tode-taan kuitenkin, että ohjeessa on kuormituskertaluvun yhteydessä esitetty rakennekerrosten kestoiäksi päällystettä lukuun ottamatta 50–100 vuotta. (Liikennevirasto 2018, 34.) Haas-tatteluiden mukaan katujen ja teiden kantavuusmitoitus eroaa jonkin verran toisistaan. Ka-tuverkolla kokonaisjäykkyys eli kantavuusvaatimus määritetään katuluokan mukaan kanta-van kerroksen päältä. Materiaalit on valittava kuitenkin niin, että saavutetaan määritetty vä-himmäiskantavuus päällysteen alapuolelta. Kantavuusmitoituksessa on huomioitava myös mahdollinen veden aiheuttama kantavuuden alenema (Liikennevirasto 2013, 104). Liit-teessä 7 taulukossa 5 on esitetty katuluokilta vaaditut kantavuusarvot. Tieverkolla tavoitel-laan aina samaa kokonaisjäykkyyttä kantavan kerroksen päältä, ja vain päällysteet mitoitetaan liikennemäärien mukaan.

Rakennekerroksia käsitellään mitoituksessa homogeenisinä kerroksina, vaikka ne luonnol-lisesti koostuvat yksittäisistä epähomogeenisistä rakeista. Rakenne käyttäytyy kuormituk-sen alla samoin kuin kivi, eli siihen tulee palautuvia ja pysyviä muodonmuutoksia, mutta murtuminen on hauraan sijaan sitkeä. Koska kiviainesten hienontuminen rakenteessa on väistämätöntä ajan myötä, on käyttöiän kannalta olennaista asettaa oikeat lujuuskriteerit kuormituksen mukaan, jolloin vaikutetaan hienontumisen nopeuteen. Rakeisen materiaalin lujuutta kuvaa Los Angeles -testin tulos LA-luku. InfraRYL (Rakennustieto 2022e) mukaan jakavalla kerroksella ei tällä hetkellä ole vaatimusta LA-luvulle. Kantavassa kerroksessa on vaatimuksena LA30, mutta siitäkin voidaan poiketa. Kiviaineksen käyttöikään vaikuttavia tekijöitä on useita, kuten kiven alkuperäinen rapautumisaste, käyttöiän aikaiset kuormituk-set ja ympäristöolosuhteet. (Kuula 2015, 21, 46–47.)

Haastatteluiden mukaan on merkitystä, mitä E-moduulin arvoja materiaaleille käytetään. Esimerkiksi InfraRYL antaa kantavan kerroksen murskeen E-moduuliksi 300 MPa (Raken-nustieto 2022d), kun Tierakenteen suunnittelu -ohje (Liikennevirasto 2018, 46) antaa E-moduulin rakeisuuden mukaan. Tierakenteen suunnittelu -ohjeessa 300 MPa moduulin mursketta ei ole lainkaan. Näin ollen, jos seurataan InfraRYL ohjeistusta, kaduista saattaa tulla alimitoitettuja. On turvallisempaa käyttää pienempiä arvoja. Lisäksi haastattelun mu-kaan materiaalivalinnoissa on huomioitava materiaalin soveltuvuus rakenteeseen. Määri-tettäviä tekijöitä ovat murskeen rakeisuusalue, suhteutuneisuus sekä laadunvarmistus. Ma-teriaalivalinnoissa huomioitavaa on, että InfraRYL sallii tiettyjä poikkeamia rakeisuuksiin,

jolloin täytyy miettiä, että sopiiko nk. sallitun poikkeaman mukainen materiaali enää tiettyyn rakenteeseen, vaikka poikkeamat ovat "sallituissa" rajoissa. Myöskään materiaalin CE-merkintä ei tarkoita vielä sitä, että se täyttäisi kansalliset vaatimukset. Näin ollen suunnittelijan olisi hyödyllistä ymmärtää maksimiraekoon ja rakeisuusluokan käytännön merkitys.

Haastateltavien mukaan alalle tarvitaan lisää tutkimusta, osaamista ja mitoitusten menetelmiä käyttöikäikähtöisen suunnittelun tueksi. Lisäksi ymmärrys väylien kuormituskestävyydestä alalla on vielä vajaata, joten materiaalivalinnat eivät voi olla optimaalisia. Koska uusiomateriaalien yleistymisen väylärakentamisessa yleistyy, tarvitaan lisää tietoa niiden käyttäytymisestä rakenteessa pitkällä aikavälillä. Lujittuvat materiaalit ovat jäykempiä, mutta eivät kestä vetojännitystä. Tämä johtaa siihen, että periaatteessa ei voida suunnitella ainoastaan kokonaisjäykkyyden perusteella, vaan myös rakenteen muodonmuutokset tulisi ottaa huomioon. Kantavuuden näennäinen lisääminen ei takaa rakenteen toimivuutta, koska tällöin taipuma jää huomioimatta. Yksikään kerros ei toimi yksittäin, vaan kokonaisuutena. Koska tietoa ei ole, yksittäisen suunnittelijan vaikutusmahdollisuudet päällysrakenteen käyttökäyttöön ovat rajalliset.

Työkohtaisessa työselostuksessa on usein kohta, jossa ohjeistetaan urakoitsijaa ottamaan yhteyttä suunnittelijaan, mikäli leikkauksen yhteydessä pohjamaan havaitaan olevan pohjatutkimuksista poikkeavaa. Haastateltavien kokemuksen mukaan työmaalta ei oteta yhteyttä pohjamaan laadun vuoksi, mikä viittaa siihen, että pohjamaa on täysin pohjatutkimusten mukaista, pohjamaan laatua ei tarkkailla tai siitä ei ilmoiteta. Haastatteluiden mukaan syynä tähän on usein aikataulu ja kustannukset. Tilaajan tai rakennuttajan tehtäväksi jää varmistaa, että laadunvalvontaa tehdään suunnittelijan ohjeiden mukaisesti, sillä suunnittelija on tehnyt suunnitelmat pohjatutkimusten parametrien mukaisesti. Mikäli kyseiset parametrit eivät vastaa todellisuutta, voi käydä niin, että koko mitoitus on pielessä, mikä pahimmassa tapauksessa lyhentää sekä päällysrakenteen että liittyvien rakenteiden käyttöikä muiden vaikutusten ohessa.

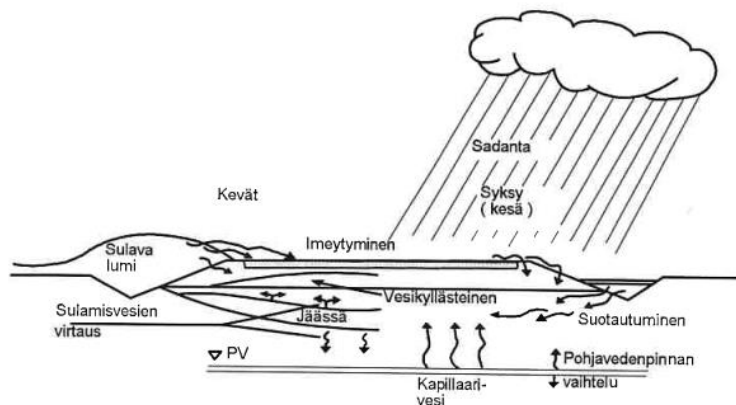
Haastatteluiden mukaan päällysteiden alapuoliset kerrokset palvelevat suoraan päällysteitä, jonka vuoksi katurakennetta tulisi tarkastella ja suunnitella kokonaisuutena yksittäisen kerroksen sijaan. Tämän vuoksi voi olla vahingollista vaihtaa yksittäisen kerroksen materiaalia rakennusvaiheessa käyttämättä muutosta ensin suunnittelijalla. Haastatteluiden perusteella erityisesti suuren rasituksen alaisilla kaduilla päällysteen suunnitteluun on syytä kiinnittää huomiota. Päällystekerrosten suunnittelussa on huomioitava uudelleenpäällystetävyys. Oikein suunnitellun päällysteen uudelleenpäällystämiskulut ovat matalammat, sillä tällöin vain ylintä sidottua kerrosta, eli kulutuskerrosta uusitaan sen sijaan että pahimmillaan uusitaan kolmea sidottua kerrosta. Rakennekerrokset ovat kokonaisuus: sekä päällysteen

että alempien rakennekerrosten täytyy olla kunnossa, jotta rakenteesta saadaan pitkäikäinen.

Eräässä haastattelussa nousi esiin kaupunkien ennalta määrittämät mitoitusparametrit ja rakennekerrokset valmiiksi katu- ja pohjamaaluokittain, kuten esimerkiksi Oulun kaupunki on valinnut toimintatavaksi. Toimintatavassa on sekä hyviä, että huonoja puolia. Muiden kaupunkien vastaavien ohjeiden varaukseton noudattaminen ei ole välttämättä järkevää, sillä parametrien oikeellisuus on tarkistettava joka tapauksessa kohdekohtaisesti. Ohjeet eivät ota huomioon kohteiden mahdollisia erityispiirteitä. Mitoitusohjeet eivät myöskään ole yksiselitteisiä ja mitoituksen tekemiseen on useita eri tapoja. Tyypillistä on, että kaksi suunnittelijaa voi suunnitella kaksi erilaista rakennetta samaan kohteeseen samoilla lähtötiedoilla. Hyvä puoli valmiiksi määritellyissä päällysrakenteissa on niitä määritettäessä samalla tehty periaatepäätös toteutettavasta laatutasosta katuluokittain.

## **Kuivatus**

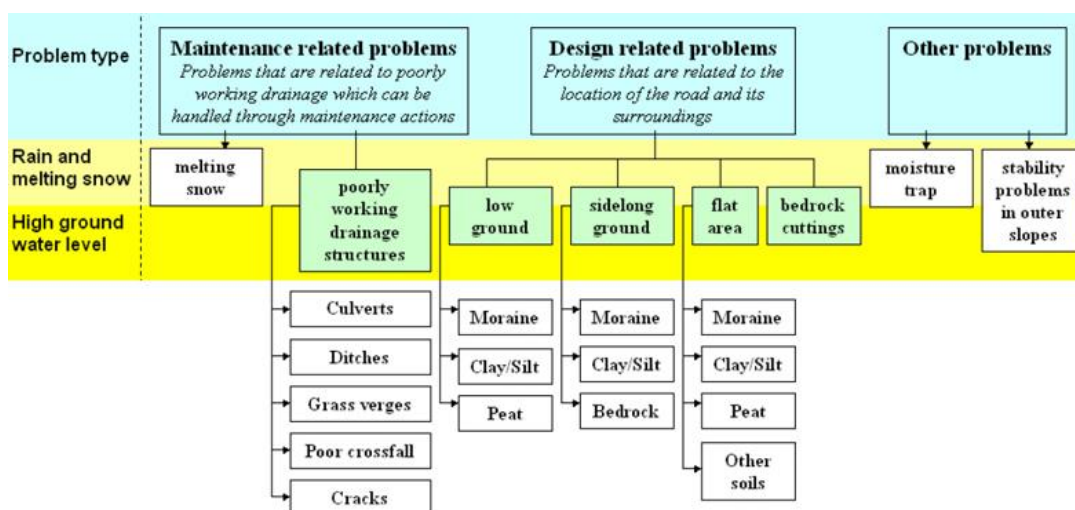
Vettä esiintyy väylärakenteessa kapillaarivetenä, sidottuna vetenä, vesihöyrynä tai vapaana vetenä (kuva 10), mihin erityisesti pyritään vaikuttamaan suunnittelussa (Ehrola 1996, 119). Kadun kuivatus muodostuu pintavesien poisjohtamisesta ja syväkuivatuksesta. Pintakuivatuksen tehtävä on estää haitallista vapaan veden läpikulkua rakenteissa. Syväkuivatuksen tehtävä on estää veden jääminen alusrakenteeseen, missä se heikentää kadun kuormituskestävyyttä ja mahdollistaa routimisen. (Liikennevirasto 2013.) Kuivatusjärjestelmän osia ovat avo-ojat, sadevesiviemärit, salaojat, kourut ja kaltevat pinnat. Salaoja kuljettaa vettä pois rakenteen sisältä. Avo-ojiin vesi voi päätyä maapohjasta tai pintavaluntana. Kaltevat pinnat ja kourut ovat pintakuivatusjärjestelmiä. Sadevesikaivot ottavat vastaan pintakuivatuksen kuljettamia vesiä. Kuivatuksen toteuttamisen periaatteet määritetään jo yleissuunnitteluvaiheessa. Kuivatuksen suunnittelua kaupunkialueella ohjaavat laki tulvariskien hallinnasta, vesilaki ja ympäristönsuojelulaki (Liikennevirasto 2013). Tässä luvussa käsitellään kadun kuivatuksen suunnittelua rakenteiden käyttöään kannalta.



Kuva 10 Väylää kuormittavat veden alkulähteet (Ehrola 1996, 120)

Kaduilla ja teillä veden aiheuttamia vaurioita ovat epätasaisien routanousujen aiheuttamat halkeamat ja muodonmuutokset, eroosio, pohjamaan kantavuuden heikentymisestä johtuvat muodonmuutokset sekä päällysteen käyttöiän lyheneminen (ROADEX Network). Kuviossa 1 on esitetty teiden kuivatusongelmia aiheuttajan mukaan. Yleisiä kuivatuspuutteita ovat;

- Painumista, reunapalsteista tai lumivalleista johtuva pintavesien seisominen.
- Vesi ei pääse poistumaan rakenteesta esimerkiksi kasvillisuudesta tai kalliosta johtumalla.
- Ojien, laskuojien tai rumpujen toimimattomuus tai puuttuminen. (Väylävirasto 2019.)



Kuvio 1 Teiden kuivatusongelmat luokiteltuna aiheuttajan mukaan (ROADEX Network)

Rakenteen kuivatuksen suunnitteluun tarvitaan tietoa pohjaveden korkeudesta mahdollisimman pitkältä aikaväliltä. Pohjavedenpinta vaihtelee vuosien ja vuodenaikojen välillä. Kaupunkialueilla tieto pohjaveden pinnasta on tärkeää myös sen säilyttämiseksi nykyisellä tasolla. (Jääskeläinen 2009, 122–123.) Pohjaveden aleneminen voi johtaa rakennusten, kunnallistekniikan ja penkereiden painumiseen muiden haittojen ohella (Liikennevirasto 2013).

Syväkuivatuksen tarkoitus on johtaa vettä rakennekerroksista sivuojiin, salaojaan tai pohja-maahan ajoradan kummallekin puolelle. (Liikennevirasto 2013, 91–92.) Päälysrakenteen kuivatustaso täytyy valita niin, että kuormituskestävyyden edellyttämät rakennekerrokset pysyvät kuivina. (Liikennevirasto 2018, 99.) Salaojia tarvitaan, mikäli ojan pohja on rakennekerroksien alapintaa ylempänä tai pohjaveden pinta on kuivatustason yläpuolella. Salaojat sijoitetaan vähintään 0,2 m kuivatussyvyyden alapuolelle, ellei jäätymistukosten riski, työmaaliikenne tai muu syy vaadi suurempaa syvyyttä. Maksimisyvyys määräytyy sen mukaan, miltä tasolta vedet puretaan pois salaojasta. Salaojien poikkisuuntainen sijainti riippuu sillä kerättävien veden lähteestä. Pohjavettä keräävät salaojat sijoitetaan kauemmas ajoradoista, kuin vajovesiä keräävät. Salaojien kaltevuuden ei tarvitse seurata välttämättä tasausta, mutta kaltevuuden on oltava vähintään 0,4 % ja mielellään laskuaukkoa kohti vähitellen kasvava liettymisen estämiseksi. (Liikennevirasto 2013, 93, 99–100.) Salaojien purkputkia täytyy olla riittävän tiheästi (Liikennevirasto 2018, 56). Salaojat puretaan joko pengerluiskaan, sivuojaan, laskuojaan tai sadevesiviemäriin sakkapesällisten kaivojen kautta. Sivuojaalliseen poikkileikkaukseen täytyy tehdä myös salaoja, mikäli ojien vesiä ei pääse purkamaan laskuojaan tai ojissa on maamassoja tai kalliota. Salaojan jäätymisestä ei tarvitse huolehtia, mikäli johdetaan ainoastaan vajovesiä, sillä ojaan ei tule vettä talvella. Pohjavesiä johtavan salaojan jäätyminen on estettävä joko sijoittamalla oja tarpeeksi syväälle, käyttämällä lämpöeristettä, lämpösaattamalla oja tai sijoittamalla oja kasvipeitteiselle alueelle. Salaojien kohdalle ei saa istuttaa syväälle juurensa kasvattavaa kasvillisuutta, jottei juuret tuki salaojaputkea. Myös siirtymäkiilojen kuivatustarve on tutkittava. Pelkkien salaojien lisääminen rakenteeseen ei voi luottaa kuivatavan rakennetta, vaan kuivatukseen täytyy panostaa myös muilla toimilla. (Liikennevirasto 2013, 97, 100–101.)

Haastatteluista selvisi, että katualueelle täytyy varata jo kaavoitusvaiheessa tarpeeksi tilaa myös lumelle ja ojapainanteille. Sivuojaallisessa poikkileikkauksessa tulisi kiinnittää huomiota ojan syvyyteen. Ojan suunnittelussa on huomioitava liettymisen jättämällä liettymisvara 0,25–0,6 m. Mikäli hulevesiä johdetaan avo-ojiin, on niiden padotuskorkeus arvioitava varmalle puolelle. Pintavesien johtamiseen tarkoitettun ojan kokoon ja muotoon vaikuttavat lumitilat, näkemävaatimukset ja pituuskaltevuus. (Liikennevirasto 2013, 93, 97.)

Ilmastonmuutoksen odotetaan lisäävän rankkasateita Suomessa, jolloin hulevesien hallintaan on syytä kiinnittää erityistä huomiota. Haastattelun mukaan tyypillisessä katurakenteessa päällysrakenteen käyttöikä voidaan pidentää hyvällä hulevesisuunnittelulla, sillä hyvin kuivuvan rakenteen kuormituskestävyys on parempi, eikä rakenteeseen pääse syntymään vedellä kyllästyneitä epäjatkuvuuskohtia. Kuivatuksen voisi huomioida kaavoituksessa ja katusuunnittelussa nykyistä paremmin lisäämällä vettä läpäiseviä alueita, erityisesti raskaasti kuormitettujen väylien läheisyydessä. Läpäisevien pintojen lisääminen katuympäristöön helpottaa hulevesien hallintaa myös tulevaisuudessa, kun sademäärät lisääntyvät. Suunnittelijan on tutkittava ja tunnistettava valuma-alueella mahdollisesti rakenteille ongelmia aiheuttavat kohdat. Pintakuivatuksen toimivuutta voisi lisätä viettokaltevyyden lisääminen alueilla, joilla on painumisen vaara. Näin rakenne kuivuu myös painumien jälkeen.

Sulamisvesien odotetaan lisääntyvän talvella lämpötilojen nousun vuoksi, mikä voi aiheuttaa haasteita kuivatuksen toimivuudelle, mikä voi johtaa tulvimiseen. Erilaisia tulvatyyppejä ovat vesistötulva, meritulva, rumpu- tai silta-aukon padotus, hulevesitulva ja jäätymistukoksesta johtuva tulva (Liikennevirasto 2013). Haastattelun mukaan kaavoituksen yhteydessä olisi syytä suunnitella alueen tulvareitit, jotta voidaan vähentää rakennetun ympäristön vaurioita. Tulvareittien järjestäminen jälkikäteen on hyvin haastavaa, ellei mahdotonta.

Katualueen toimiva kuivatus pidentää katurakenteen ja muiden rakenteiden käyttöikä, minkä vuoksi kuivatusjärjestelmän kunnossapidolla on suuri merkitys kadun kestävyydelle. Seisova vesi nopeuttaa päällysteen rappeutumista ja heikentää kantavuutta. Näin ollen kuivatuksen kunnossapidon toimenpiteet voidaan ajatella osaksi päällysteiden kunnossapitoa. (Väylävirasto 2019.) Salaojien kunnossapidettävyyden voidaan huomioida sijoittamalla purkukaivot tarpeeksi tiheään, vähintään 80 m välein. (Liikennevirasto 2013, 100). Mikäli kadun kuivatus ei ole kunnossa, saattaa rikkoutuneen päällysteen uusiminen olla vain oireiden hoitamista.

## 7 Muut tuotteet ja rakenteet

### 7.1 Tiemerkinnt

Tiemerkintöjen tarkoitus on parantaa liikenneturvallisuutta ja sujuvuutta. Niiden käytöstä, sijoittelusta ja ulkonäöstä on määrätty tieliikennelaissa, valtioneuvoston asetuksessa 379/2020 ja Traficomien määräyksessä *Liikenteenohjauslaitteiden värit, rakenne ja mitoitus*. Nykyään kaikki tiemerkinnt ovat valkoisia, paitsi tilapäisissä liikennejärjestelyissä käytettävät linjamerkinnät ovat keltaisia. Tiemerkinnt voidaan jakaa kahteen ryhmään: linjamerkintöihin ja pienmerkintöihin. Linjamerkinnät (TLL pituussuuntaiset merkinnät) ovat kadun pituussuuntaisia merkintöjä, kuten reuna- ja keskiviivoja, joiden tehtävä on jakaa katu kais-toihin ja muihin alueisiin. Pienmerkintöjä (TLL poikkisuuntaiset merkinnät) ovat esimerkiksi suojatiet, ajokaistanuolet ja pysäytysviivat. (Väylävirasto 2020, 10, 12.)

Tiemerkintöjen toteuttamiseen on useita materiaaleja ja merkintätapoja. Upottaminen tarkoittaa sitä, että massalla toteutettavalle merkinnälle tehdään laatikkojyrsintä päällysteen pinnan alapuolelle. *Upotettuja merkintöjä tehdään ainoastaan uusille tai erittäin hyväkuntoisille päällysteille. Upottamalla voidaan tehdä sekä pituussuuntaisia merkintöjä että pienmerkintöjä. -- Mikäli päällystekierto on pitkä, kannattaa tuotannollisista syistä harkita alemman tieverkon yksittäisten suojateiden upottamista.* (Liikennevirasto 2015a, 10.) Upotetun merkinnän jyrsinnan syvyys on 5 tai 7 mm ja lopullinen merkintä on 2 mm päällysteen pintaa korkeammalla (Väylävirasto 2020, liite 5, 1). Pintamerkintä tarkoittaa päällysteen pinnalle massalla tai maalilla tehtyä merkintää. Tiemerkinntöjen materiaaleja ovat maali, kuuma-massa ja kylmämassa. Maali on yksi- tai monikomponenttinen nestemäinen tuote, joka levitetään siveltimellä, telalla, ruiskulla tai muulla soveltuvalle menetelmällä. Kuumamassa on kiinteää, rakeista tai jauhoista ainetta, joka kuumennetaan sulaksi ja levitetään levittimellä tai ruiskulla. Kylmämassa on yksi- tai kaksikomponenttinen tuote, joka muodostaa lopullisen merkinnän kemiallisen reaktion myötä. (Liikennevirasto 2015b, 7.) Haastattelusta mukaan linjamerkintöjä voidaan tehdä maalaamalla tai massalla. Linjamerkintöjen päältä ei ajeta niin usein, kuin pienmerkintöjen, joten ne ovat lähtökohtaisesti jo pitkäikäisempiä. Pääka-duille toteutettavat linjamerkinnät tulisi tehdä massaamalla. Pienmerkinnät tehdään yleensä väliaikaisia merkintöjä lukuun ottamatta massalla, koska ne ovat alttiina kovemalle kulu-tukselle.

Eräs haastattelu toteaa, että tiemerkinntöille on haastavaa tavoitella tiettyä käyttöikää, koska kulumisnopeuteen on hankalaa vaikuttaa. Pääkaduilla eniten yliajetut merkinnät ovat uusi-misen tarpeessa jo vuodessa. Merkintöjen käyttöikä riippuu liikennemäärästä, merkintäta-vasta ja talvikunnossapidosta. Tiemerkinntän kestoikä on sitä pidempi, mitä vähemmän

kadulla on liikennettä ja kadun pintaa raapivaa talvikunnossapitoa. Käyttöikään voidaan vaikuttaa materiaalivalinnoilla ja merkinnän upottamisella. Merkintöjen sijoittelulla ei voida vaikuttaa käyttöikään, sillä merkintöjen paikat on määritetty aiemmin mainituissa määräyksissä. Merkinnän tason tulisi olla yhteensopiva tien merkityksen ja liikennemäärän kanssa (Liikennevirasto 2015b, 6).

Haastattelusta selvisi, että merkinnän kestävyys vaikuttaa päällysteen ikä, mutta ei asfalttityyppi. Vanhaan asfalttiin massalla tehty merkintä tarttuu huonommin, kuin uuteen päällysteeseen tai maalamalla tehty merkintä, koska bitumi on kulunut päällysteestä pois. Sekä pien- että linjamerkintöjen kestoja pidentää huomattavasti merkinnän upottaminen. Tiemerkin- nän upottaminen päällysteeseen pidentää merkinnän käyttöikää, sillä ne kestävät paremmin auraamista ja liikenteen kulutusta (Liikennevirasto 2015b, 16). Merkinnän upottaminen on hyödyllistä erityisesti liittymäalueiden ajokaistaviivoissa, suojatiemerkinnoissä, ajokaistanuolissa ja muissa yli ajettavissa merkinnöissä, kun liikennemäärät ovat suuria (Väylävirasto 2020, liite 5, 1).

Haastattelusta paljastui, että talvikunnossapito, erityisesti polanteen ja sohjon poisto raapimalla, kuluttaa tiemerkin- tää. Polannelanan raapiessa päällysteen pintaa merkintää lähtee mukana. Näin ollen merkintöjen kestoikää pidentää tarpeettomasti raapivien työmenetelmien välttäminen, esimerkiksi sohjon poistoon on olemassa hellävaraisempi kuminen työkalu. Tiivistynyt lumi suojaa merkintää talviaikana.

Tiemerkintöjen laatu ja kunto vaikuttavat suoraan niiden toimivuuteen, joten laatuvaatimukseen on tärkeää kiinnittää huomiota. Eräs haastattelu toteaa, että *Suomessa on asetettu paljon laatuvaatimuksia tiemerkinnoille tieverkolla, koska tiemerkin- taurakat ovat usein laatu- vastuu-urakoita. Katuverkolla tiemerkin- töjen laatuvaatimukset ovat usein alhaisemmat. Tiemerkin- töjen käyttöikää ja laatua voisi parantaa asettamalla laatuvaatimukseksi ”Liikenneviraston ohjeen 38.2015 Tiemerkin- töjen laatuvaatimukset” soveltuvin osin, kuten joissakin kaupungeissa on tehty. Ohjeen paluuheijastavuuden vaatimus ainoana ei ole merkittävä katuverkolle, sillä kadut ovat usein valaistuja ja nopeudet ovat alhaisempia.* InfraRYL (Rakennustieto 2022c) vaatimukset tiemerkinnoille mukailevat hyvin pitkälti Liikenneviraston vaatimuksia, mutta antavat myös joitakin poikkeamismahdollisuuksia. InfraRYL vaatimukset ovat minimivaatimuksia, joita parempaa laatutasoa saa toteuttaa. Esimerkiksi InfraRYL (Rakennustieto 2022c) ohjeistaa merkintätavan toteutuksesta tiettyjen merkintöjen tekoa upottamalla ainoastaan pääkaduille. Haastattelun mukaan merkintätapa tulisi määrittellä kohdekohtaisesti lähtötietoina alueen liikennemäärä ja merkintöjen tarve.

Haastattelun mukaan linjamerkintöjen suunnittelussa voidaan tapauskohtaisesti harkita niiden tarvetta. Mikäli merkintää ei ole, sitä ei myöskään tarvitse uusia. On tapauksia, joissa

linjamerkintöjä ei tehdä sekä tapauksia, joissa niiden käyttöä voidaan harkita. Keskiviivaa ei merkitä esimerkiksi silloin, kun ajoradan leveys on alle 5,7 m tai tasa-arvoiseen katuliittymään. Esimerkkinä harkinnanvaraisesta tapauksesta on taajamassa reunaviivan käyttö reunakiven kohdalla. (Väylävirasto 2020, 13.) Keskiviivan sijoittaminen enintään 0,3 m sivusuuntaan suhteessa kadun mittalinjaan auttaa säilyttämään merkinnän, mikäli päällyste aukeaa keskisaumasta esimerkiksi routimisen vuoksi. (Väylävirasto 2020, 14.) Haastattelusta selvisi, että pienmerkintöjen suunnittelussa voidaan harvoin tehdä tarveharkintaa, koska tietyt merkinnät ovat tieliikennelaissa asetettu pakollisiksi, esimerkiksi suojatiet. Tie-merkintöjen suunnittelussa tulisi turvallisuusnäkökulman kuitenkin mennä aina etusijalle.

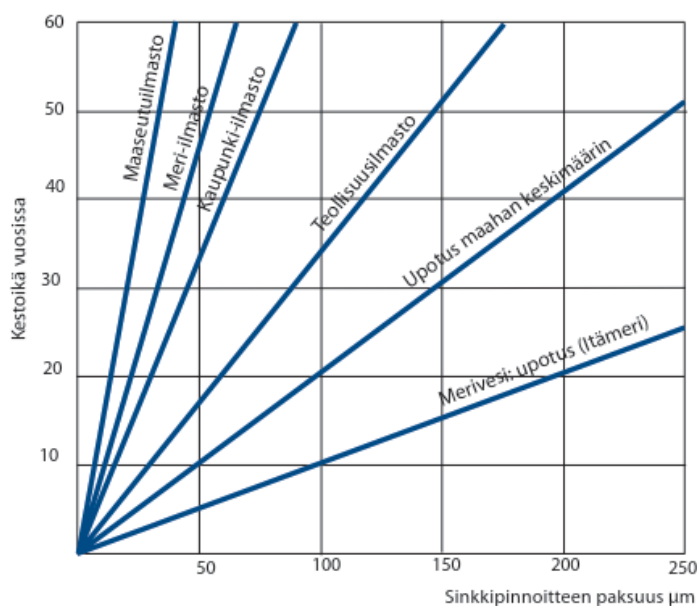
## 7.2 Valaisinpylväät

Kaupunkialueilla teräspylväät ovat yleisimpiä, puu-, betoni- ja valurautapylväät harvinaisempia. Taajama-alueilla valaisinkalusteisiin kohdistuu rasituksia käytöstä, ilmastosta ja ilkivallasta. (Junttila ym. 2011, 164.) Teräspylväät suojataan korroosiolta kuumasinkityksellä, maalilla tai molemmilla.

Haastattelusta ilmeni, että valaisinpylväiden käyttöiät vaihtelevat materiaalin, käyttöiän määrittelytavan, pintakäsittelytavan ja kunnossapidon mukaan. Esimerkiksi erikoiskohteissa esteettinen kestoikä voi täytyä aiemmin, kuin tekninen kestoikä. Tavallisesti käytetyt teräspylväät ovat vähintään kuumasinkittyjä. Valaistussuunnittelussa valaisinpylväiden ja -varsien käyttöikä voidaan hallita valitsemalla niille ympäristöönsä sopiva pintakäsittelyjärjestelmä. Pintakäsittelyjärjestelmän tason nosto vaikuttaa pylvään käyttöikäen pidentävästi, sillä korroosionkestoluokka kasvaa. Varsinkin teräspylväillä ja -varsilla korroosio on merkittävin vaurionaiheuttaja, joten pintakäsittelyn tavalla ja tasolla on suurin merkitys teräksisten osien käyttöikäen. Lähivuosina on maanlaajuisesti huomattu, että suosituilla koiranulkoilutusreiteillä teräs- tai alumiinipylvään ja jalustan liitoskohdassa on syntynyt ennenaikaisesti korroosiovaurioita. Syövyttävän koiran virtsan aiheuttamia vahinkoja voidaan estää suunnittelemalla pylväs ylimääräisellä tyvisuojausmaalauksella harkituissa kohteissa.

Valaisinkalusteiden valinnassa on otettava huomioon huollettavuus, lamppujen vaihdettavuus, ilkivallan kestävyys, sään ja korroosion kestävyys, tärinöiden kestävyys, tuulikuorman kestävyys ja puhdistettavuus. (Junttila ym. 2011, 164–165). Standardissa SFS-EN-ISO 12944-1:2017 määritetään kestävyys suojamaaliyhdistelmille neljänä kestävyysluokkana, jotka eivät kuitenkaan ole tuotteiden takuuajkoja, vaan suunnitteluparametrejä. Standardissa SFS-EN-ISO 12944-2:2017 on esitetty ilmastokorroosiovaikutusluokat ja esimerkiksi ympäristöt. Haastattelun mukaan näiden yhdistelmästä määritetään korroosiosuojauksen

tarvittava taso. Maalausjärjestelmän soveltuvuus kuhunkin kestävyys-/ilmastokorroosiovaikutusluokkiin esitetään tuoteselosteissa. Kuviossa 2 on esitetty sinkityksen kestoikä eri ympäristöolosuhteissa. Korroosionkesto täytyy huomioida myös kiinnitysjärjestelmien valinnassa, jotta voidaan välttää galvaaninen korrosio. Väyläviraston (2022, 24) mukaan näin ollen jalustojen säätö- ja kiinnitysruuvien materiaalina tulisi käyttää ruostumatonta terästä, sillä pelkästään kuumasinkityt kiinnikkeet ruostuvat kiinni ajan saatossa, jolloin tarvittaessa uutta pylvästä ei voida kiinnittää vanhaan jalustaan.



Kuvio 2 Sinkkipinnoitteen kestoikä eri ympäristöolosuhteissa (Rakennustieto 2011)

Valaisimet ovat ilkvallan kohteina erityisesti silloin, kun ne ovat sijoitettu matalalle, esimerkiksi jalankulkualueilla (Junttila ym. 2011, 160). Haastattelun perusteella ilkvallan kestävyyttä voidaan lisätä erilaisilla lisäpinnoitteilla, joihin esimerkiksi tarrat eivät tartu tai joista spraymaali on helpommin puhdistettavissa. Mikäli tällaisia pinnoitteita päädytään käyttämään, täytyy niiden yhteensopivuus pylvään maalausjärjestelmän kanssa tarkistaa.

Kolhut ja törmäykset lyhentävät pylväiden kestoikää. Valaisimen sijoittamisessa katualueelle täytyy huomioida kunnossapitokaluston tilatarpeet. Selkeään linjaan, mahdollisuuksien mukaan istutusriviin, sijoitetut katuvalaisimet helpottavat talvikunnossapitoa, sekä vähentävät pylväiden kolhiintumista (Junttila ym. 2011, 165). Käyttöikä saadaan pidennettyä sijoittamalla valaisinpylväät katualueelle mahdollisuuksien mukaan sisäkaarteeseen, etteivät ajoneuvot vahingoita niitä liukkailla keleillä (Alen & Pasanen 2020). Ojallisessa

poikkileikkauksessa sijoittelussa on syytä huomioida myös veden kulkureitit ja lumitilat sijoittamalla pylväs ojan takaluiskaan (Jyväskylän kaupunki 2017, 31). Haastattelun mukaan törmäysalttiiseen ympäristöön voidaan suunnitella pylvään ympärille pylvässuoja tai pollarit, mutta ahtaassa ympäristössä niiden käyttöä on harkittava, koska ne lisäävät koko valaistusrakenteen tilantarvetta. Näin ollen suojien parhaat käyttökohteet ovat pysäköintialueet ja tietyt katualueen epäjatkuvuuskohdat. Myös pylväaseen mahdollisesti kiinnitettävät liikenteenohjaus-, mainos- tai muut laitteet on huomioitava, sillä nämä lisäävät pylväaseen kohdistuvia tuulikuormia (Junttila ym. 2011, 165–166).

Haastattelun mukaan pylväävät ovat kunnostettavissa uudelleenkasittelemällä, mutta usein pylväiden vaihtaminen uusiin on kustannustehokkaampaa. Standardissa SFS-EN-ISO 12944-1:2017 on todettu, että *korroosionestoyhdistelmien kustannustehokkuus ja kestävyys ovat yleensä suoraan verrannollisia ajan pituuteen, jonka aikana tehokas suojaus säilytetään, sillä tarvittavan kunnossapito- ja uusintatyön määrä rakenteen kestoaikana vähennee silloin minimiinsä.*

### 7.3 Kaapelit

#### **Sähkökaapelit**

Haastattelun perusteella sähkökaapelirakenteen suunniteltu käyttöikä on 40–60 vuotta. Lappeenrannassa käytetään kaupunkialueella nykyisin PEX-eristeisiä kaapeleita, joiden todellisesta kestoikästä ei ole vielä tarkkaa tietoa, sillä niiden käyttö on aloitettu 70–80-luvulla eikä huomattavia vaurioitumista ole toistaiseksi havaittu. Kestoiässä on vaihtelua sen mukaan, onko kyseessä nk. keski- vai pienjännitekaapeli.

Haastattelusta selvisi, että yleisimmät sähkökaapeleiden vauriot ovat ulkoisten tekijöiden, kuten kaivinkoneen kauhan, huonon täyttömateriaalin, kivien tai muiden ulkoisten kuormitusten aiheuttamia. Mikäli ulkoiset kuormitukset pääsevät painamaan sähkökaapelia kiveä vasten, kaapelin pinta rikkoutuu, jolloin vesi pääsee kaapelin sisään ja aiheuttaa pistemäisen oikosulun. Vaurioitumisesta vian ilmenemiseen voi kulua pari vuotta. Myös riittämätön mitoitus voi aiheuttaa ennenaikaista saneeraustarvetta erityisesti pienjännitekaapeleilla, mikä lyhentää tuotteen käyttöikää.

Sähkökaapeleiden käyttöikään voidaan haastattelun mukaan vaikuttaa kaapelin sijainnin, kaapelityypin ja kaivannon täyttömateriaalin valinnalla, sekä kaapelin mitoituksella. Sähkökaapeleille paras sijainti katupoikkileikkauksessa on ajoratojen ulkopuolella, missä ulkoiset kuormat ja värinä ovat pienempiä. Mikäli kaapeli asennetaan auraamalla, on tarkistettava

kaapelin soveltuvuus asennustapaan. Myös lähelle kaapelilinjaa istutettujen puiden juuret voivat aiheuttaa kaapeleiden vaurioitumista. Olemassa olevat sähkökaapelit, erityisesti vanhat nk. öljykaapelit, säilyvät parhaiten, kun niitä liikutellaan mahdollisimman vähän kaivamisen yhteydessä.

Täyttöjen laadun merkitys korostuu, jos kaapeleita joudutaan sijoittamaan ajoradalle. Haastattelun perusteella tällöin kaapeleihin kohdistuu suurempia kuormia, joten täyttömateriaali ei saa sisältää kaapelin eristettä rikkovia kiviä. Alitusten kohdissa suojaputkien käyttäminen voi olla aiheellista kuormitusten vuoksi, toisaalta suojaputken sisään jäävä ilma voi toimia eristeenä, eikä kaapeli pääse samalla tavalla jäähtymään, kuin suoraan maa-ainekseen asennettuna. Kaapelin lämpeneminen aiheuttaa suojamuovin nopeampaan haurastumista. Resistanssi vapauttaa lämpöä ja sen aiheuttamaa liiallista lämpenemistä esiintyy enemmän kuormitetuilla kaapeliosuuksilla. Suojaputken vaihtoehtona on suojakouru, joka on kaapelin jäähtymisen kannalta parempi vaihtoehto. Aina kadun tai vesihuollon saneerauksen yhteydessä ei ole tarvetta uusien kaapeleita, jolloin voidaan asentaa tulevaisuuden varalle suojaputkea kaapelireitiksi. Näin toimittaessa saneeraustarpeiden eriaikaisuus ei aiheuta tulevaisuudessa turhaa auki kaivamista ja lyhennä muiden rakenteiden kestoikiä.

Kaapelin poikkipinnan mitoitus vaikuttaa kaapelin käyttöikänsä, haastattelusta selvisi. Kaapeli täytyy mitoittaa koko elinkaarelleen huomioiden kuormitusten kehittyminen, jolloin sitä ei tarvitse uusien kapasiteetin vuoksi. Muita keinoja verkoston elinkaareen vaikuttamiseen suunnittelussa ovat urakka-asiakirjoissa tarvittavien työnaikaisten laadunvalvontatoimenpiteiden ja -mittausten määrittäminen.

### **Tele- ja valokuitukaapelit**

Teleoperaattorien tietoliikennekaapelit ovat yleensä 0,2–1 m syvyydessä riippuen alla olevista rakenteista, kallionpinnasta, kaapelien risteyskohdista ja myöhemmästä maanrakennuksesta. Kaapelit on asennettu joko suojaputkeen tai suoraan maahan. Kaapeleiden merkintänauhan käyttö ei ole pakollista. (DNA ym.)

Haastatteluiden mukaan teleoperaattoreita ja valokuidun palveluntarjoajia ei saada aina mukaan työyhteisöliittymään, sillä heidän verkostotarpeensa saattavat ilmetä hyvin lyhyellä aikajänteellä. Tämä on johtanut sellaisiin tilanteisiin, että hiljattain rakennettuja katuja on avattu uudestaan poikitetusten kohdilta. Kaapeleiden rakentaminen jälkikäteen muodostaa esteettisen haitan kadulle, mutta myös sekoittaa rakennekerroksia ja voi vaurioittaa jo rakennettuja kaapelirakenteita. Tämän vuoksi ainakin risteävien katujen alitukseen kannattaa tehdä suojaputkilla varaukset kaapeleille varmuuden vuoksi, jotta voidaan myöhemmin

välttää kadun uudelleen avaaminen. Yksittäisenä keinona haastatteluissa nousi esiin myös kaivulupien epääminen määräajaksi uusilta kaduilta, kuten joissakin kaupungeissa on asetettu käytännöksi.

Timo Korpela on opinnäytetyössään (2015) laatinut Oulun kaupungille ohjetaulukon kaapeliputkitusten suunnittelua, rakentamista ja käyttöönottoa varten, jossa on listattu hyödyllisiä toimintatapoja suojaputkien kanssa toimimiseen. Toinen keino puuttua kadun perättäiseen kaivamiseen on Suomen kuntaliiton (2006, 10) mukaan yrittää vaikuttaa tehtävien töiden aikatauluun siinä vaiheessa, kun aiotusta työstä saadaan tieto, yleensä kun yksittäinen rakentaja tekee ilmoituksen kadulla tehtävästä työstä. Muovisen suojaputken suunnittelussa huomioitavia asioita ovat putkilinjan pituus, käytettävät kaarresäteet sekä lujusluokan valinta kuormituksen ja peitesyvyyden mukaan (Uponor Suomi Oy 2009, 240).

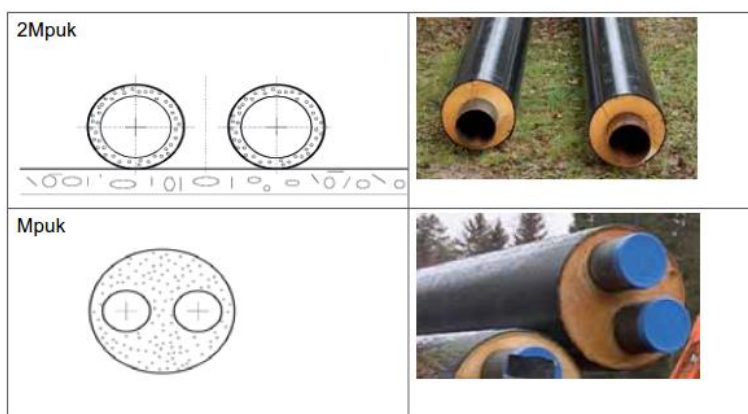
Suoja- ja varausputkiin liittyy käsite passiivi-infra, mikä tarkoittaa olemassa olevan fyysisen infran yhteiskäyttöä viestintäverkkojen rakentamisessa, esimerkiksi kaapelikaivoja, laitteita ja ennakkoon rakennettavia putkia. Tällä hetkellä teleyritykset hyödyntävät toistensa infraa viestintäverkkojen rakennuksessa. Passiivi-infran laajempi hyödyntäminen voisi vähentää tarpeettomia katutöitä, kustannuksia ja muita haittoja. Nykyisin kuntien, vesilaitosten ja energiayhtiöiden omistaman soveltuvan passiivi-infran yhteiskäyttö on hyvin vähäistä. Haasteiksi passiivi-infran yhteiskäytölle on tunnistettu tiedon saanti, passiivi-infran sijainti, puuttuvat toimintamallit ja liian korkea vuokra. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020.)

#### 7.4 Kaukolämpöjohdot

Kaukolämmön jakeluverkosto muodostuu siirto-, runko-, ja talojohdoista, jotka koostuvat yhdensuuntaisista meno- ja paluuputkista. Verkoston varusteita ovat venttiilit, mittauslaitteet, kiintopiste-, ohjaus- ja liikuntaelementit, jotka voivat sijaita kaukolämpökaivoissa, verkostossa tai asiakkailla. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 50.) Kaukolämmön rakentaminen eroaa jonkin verran vesihuoltoverkostojen rakentamisesta, sillä siinä missä vesihuoltoa voidaan rakentaa lyhyt pätkä kerrallaan, kaukolämmön kaivantoa on oltava auki 50–100 m, jonka lisäksi kaivantoa on pidettävä auki jopa viikkoja. Toisaalta asennussyvyys on pienempi.

Haastattelusta selvisi, että Lappeenrannassa uusien kaukolämpölinjojen rakentamiseen käytetään kiinnivaahdotettua Mpuk- tai 2Mpuk-kaukolämpöelementtiä. Nykyisessä verkostossa on käytössä 6–7 eri johtomateriaalia. Mäkelä & Tuunanen (2015, 56) mukaan sekä Mpuk-, että 2Mpuk-johdot muodostuvat polyeteenimuovisesta ulkokuoresta, polyuretaanilämmöneristeestä ja eristeeseen kiinnitetystä teräsputkesta. Mpuk-kanavassa meno- ja paluuputket ovat saman suojaakuoren sisällä, 2Mpuk-kanavassa erillisissä suojaakuorissa.

Kuvassa 11 on esitetty kaukolämpöjohtojen poikkileikkaukset sekä liitteen 5 kuvissa 1 ja 2 Mpuk- ja 2Mpuk-kanavien tyyppipoikkileikkaukset. Polyuretaanieristeiset kaukolämpöjohdot ovat kitkakiinnitettyjä rakenteita, eli virtausputken, polyuretaanin, muovisuojakuoren ja ympärystytön väliset kitkavoimat ottavat vastaan lämpölaajenemisesta syntyvät voimat. Ennen peittämistä putket esilämmitetään. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 58.)



Kuva 11 2Mpuk- ja Mpuk-johtojen poikkileikkaukset (Mäkelä & Tuunanen 2015)

Kaukolämpöverkosto on kaukolämpöjärjestelmän kallein osa ja vaatii suuria rakennusinvestointeja. Tämän vuoksi verkoston elinkaaren hallinta on tärkeää, sillä se lisää kaukolämmön kannattavuutta, eikä rakentamisvaiheen investointikustannusten minimointi johda elinkaarellisesti parhaaseen tulokseen (Mäkelä & Tuunanen 2015, 16; Energiateollisuus ry 2018,1). Kaukolämpöjohdon käyttöikävaatimus riippuu jatkuvasta käyttölämpötilasta. Vaatimukseksi sekä yksi- että kaksiputkirakenteelle on asetettu normaaleissa olosuhteissa 120 °C käyttölämpötilassa 30 vuotta, 115 °C käyttölämpötilassa 50 vuotta ja sitä alemmassa lämpötilassa yli 50 vuotta. (Energiateollisuus ry 2013, 9.) Verkoston toteutunut kestoikä voi Suomessa olla jopa 70–100 vuotta (Mäkelä & Tuunanen 2015, 50). Haastattelusta kävi ilmi, että tällä hetkellä Lappeenrannan kaukolämpöverkoston jatkuva käyttölämpötila on 115 °C. Tulevaisuudessa tullaan siirtymään 90 °C käyttölämpötilaan lämpöhäviöiden pienentämiseksi ja erilaisten energiantuotantovaihtoehtojen hyödyntämisen vuoksi. Verkoston suunnittelupaine on 16 bar (Energiateollisuus ry 2020).

Haastattelusta selvisi, että kaukolämpöverkostoissa voi esiintyä monenlaisia vaurioita putkimateriaaleittain. Ulkopuolinen kosteus on kaukolämpöjohtojen pahin vaurioittaja, koska se aiheuttaa putken ulkopinnan korroosiota, joka johtaa lopulta vuotoon. Vanhat betoni- tai muovielementtikanaarakenteet eivät kestä siirtymiä lainkaan, koska ulkokuoren vaurioituessa ulkopuolinen kosteus pääsee elementin sisälle. Tämän vuoksi säilytettävien

kaukolämpölinjojen alapuolista maata ei saisi häiritä. Esimerkiksi katusaneerauksen yhteydessä liikkuneen linjan vaurion ilmenemiseen kestää puolesta vuodesta pariin vuoteen. Uusien Mpuk ja 2Mpuk -putkien yleisin vaurio on jatkoskohdan vuoto. Mpuk- ja 2Mpuk-verkostoissa ei ole yleensä kaivoja, joista mahdollisia vuotoja voitaisiin seurata, jonka vuoksi elementtien varustaminen hälytyslangalla on hyödyllistä vuotojen paikantamisen kannalta, erityisesti kriittisissä kohdissa. Materiaalivirheistä johtuvia vaurioita esiintyy hyvin vähän. Virheellisen asennuksen vuoksi kulmakohdat voivat painua kasaan, mikäli lämpölaajenemista ei ole otettu huomioon.

Kaukolämpöverkoston suunnittelu muodostuu yleissuunnittelusta, putkiston mitoituksesta, sekä reitti- ja asennussuunnittelusta (Mäkelä & Tuunanen 2015, 52). Vanhojen linjojen suunnittelun ja rakentamisen aikataulutaminen realistisesti on tärkeää, sillä kiire vaarantaa rakennustyön laadun (Energiateollisuus ry 2018, 2). Haastattelusta selvisi, että kaukolämpöelementtien materiaalivalmistajien suunnittelu- ja rakentamissuosituksista ei pääsääntöisesti saa joustaa.

Haastattelun mukaan uusilla alueilla kaukolämmön mitoituksessa täytyy ottaa huomioon tulevaisuuden tarpeet nykyisen tehotarpeen lisäksi, kuitenkin ylimitoitusta välttämällä. Simulointi- ja laskentaohjelmien käytöllä saavutetaan optimaalinen putkikoko. Kaukolämpöverkoston mitoitukseen vaikuttavat rakennusten ominaistehontarve, sopimusvesivirta, painehäviöt, meno- ja paluuveden lämpötilaero mitoittavassa käyttötilanteessa, johdon sijainti verkostossa ja rakennettavan johdon lähtöpisteessä käytettävissä oleva paine-ero epäedullisemmassa käyttötilanteessa (Energiateollisuus ry 2013, 6).

Haastattelun mukaan maaperätiedot ovat tärkeitä, jotta voidaan suunnitella ulkopuolisen veden poisjohtaminen esimerkiksi salaojin. Kuiva maaperä pidentää kaukolämpöputken kestoikää, sillä olosuhde on anteeksiantavampi asennusvirheille. Salaojituksen tarve on selvitettävä ja vesien poisjohtaminen esitettävä piirustuksissa (Energiateollisuus ry 2018, 2).

Uusien putkien jatkoksien toteuttaminen sähköhitsattavilla muhveilla tai kutistuvilla muhvi-jatkoksilla on huomattu tekevän liitoksista varmempia, kuin entiseen tapaan peltijatkoksilla. Vastaavasti verkoston käyttölämpötilan liian suuri vaihtelu voi vaikuttaa käyttöikäen lyhentävästi, sillä lämpölaajenemisliike liikuttaa verkostoa tarpeettomasti, mikä voi aiheuttaa vaurioita liitoskohtiin. Lämpötilan vaihtelu johtuu usein laitoksien häiriöistä, jotka ovat poikkeus-tilanteita.

Suunnitteluratkaisujen ohella kunnossapitotoiminnan ja rakentamisen laadulla suuri vaikutus verkoston käyttöiälle (Energiateollisuus ry 2018, 2). Suunnitteluvaiheessa huomioidaan huollettavuus ja korjattavuus varaamalla tarpeeksi tilaa huoltoon vaativille kohdille, kuten

sulkuventtiileille, haastattelussa todettiin. Venttiilien sijoittelulla on merkitystä verkoston kunnossapidettävyyteen, mutta toisaalta ne muodostavat myös huoltokohteen. Asennusvaihetta varten verkostoa suunniteltaessa täytyy huomioida lämpöliikkeiden vastaanotto ja kompensointi kuten kulmaosat, paljetasaimet ja paisuntatyyny. Mikäli linjan asennusvaiheessa ei ole mahdollista esilämmittää linjaa, täytyy huomioida pituussuuntainen lämpölaajeneminen murtumien estämiseksi. Kaukolämpöjohtojen asennussyvyys on 0,5–1 m ja niitä asennetaan katujen ja kevyen liikenteen väylien alle, sekä puistoalueille (Energiateollisuus ry).

Haastattelusta selvisi, että kaukolämpöverkoston käyttöikäsuunnitteluun tarvitaan lähtötiedoksi maaperäolosuhteet, kosteusolosuhteet, nykyiset ja tulevaisuuden tehotarve, verkostolämpötilat ja asennettavien kaukolämpöelementtien soveltuvuus kohteeseen. Tilavaatimuksiin liittyvät ohjeet ja suositukset ovat minimejä, joita suurempien arvojen käyttöä suositellaan. Myös piirustusten laadulla on merkitystä rakennustyön laatuun. Haastattelun mukaan katu- ja vesihuoltosuunnittelijan olisi hyvä perehtyä käytettyjen kaukolämpöputkien dimensioihin ja saattaa ne oikeannäköisenä poikkileikkauksiin. Näin tilavaatimukset hahmottuvat paremmin urakoitsijoille. Johtojen paikannuksen helpottamiseksi tulevaisuudessa piirustuksiin on hyvä merkitä myös ympärystytön päälle asennettava merkintänauha tai -verkko.

## 8 Yhteenveto ja pohdinta

### Opinnäytetyön teko

Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää kunnallistekniikan käyttöikien pituuksia ja niihin vaikuttavia tekijöitä suunnittelun näkökulmasta. Aihetta tutkittiin, koska kunnallistekniikan rakenteista ei ollut yhteen koottua tietoa. Vaikka työstä rajattiin pois asfalttipäällysteet ja työmaatoiminnan vaikutukset, työstä tuli laaja käsiteltävien asioiden määrän vuoksi. Opinnäytetyön tuloksena saatiin sekä yksityiskohtaista tietoa yksittäisten tuotteiden ja rakenteiden kestoiän pidentämiseen, että tietoa käyttöikäsuunnittelun edellytyksistä lähtötietoineen ja määritellyineen. Selvitetyt käyttöiät on koottu liitteeseen 1.

Opinnäytetyötä varten haastateltiin 16 alan toimijaa, joihin kuului tilaajaorganisaatioiden jäseniä, tuotetoimittajien edustajia ja suunnittelijoita. Haastattelut olivat hyvin vapaamuotoisia sekä niiden aihe ja kysymykset vaihtelivat haastateltavan asiantuntija-alan mukaan ja ne tallennettiin purkamisen helpottamiseksi. Haastatteluiden tekeminen auttoi hahmottamaan kunkin aiheen kannalta olennaisimmat tekijät. Haastatteluista saatu tieto oli arvokasta, sillä vastaavaa määrää tietoa en olisi voinut löytää pelkästään kirjallisuudesta. Toki monet haastatteluissa nousseet asiat olivat vahvistettavissa myös kirjallisuudesta. Haastatteluiden tulokset ovat luotettavia, sillä haastateltavilla on pitkä kokemus nimenomaan kunnallistekniikan rakenteista. On kylläkin mahdollista, että tuotetoimittajien haastatteluiden vuoksi eri tuotteiden hyvät puolet ovat korostetusti esillä. Toisaalta tuotetoimittajat ovat tuotteidensa asiantuntijoita, joten vastaavaa tietomäärää olisi ollut haastavaa kerätä muuten. Opinnäytetyötä tehdessä on kertynyt hyvä kokonais käsitys siitä, mitkä asiat ovat käyttöiän kannalta merkittäviä. Työn tekeminen on myös kasvattanut kriittistä suhtautumista eri tietolähteisiin. Lähteiden suuri määrä mahdollisti niiden vertailun. Opinnäytetyö onnistui hyvin, vaikka aihe oli laaja ja tieto hyvin hajanaista. Yritin käsitellä oleelliset asiat tarvittavassa laajuudessa, vaikka moniin asioihin olisi ollut kiinnostavaa syventyä enemmänkin. Tämän opinnäytetyön myötä heräsi joitakin mielenkiintoisia jatkotutkimusaiheita:

- Elinkaarisuunnittelun kustannusvaikutukset
- Laadunvalvonnan ja rakennuttamisen keinot käyttöikien hallintaan
- Kunnallistekniikan purkumateriaalien uusiokäyttömahdollisuudet ja edellytykset
- Ilmastonmuutoksen vaikutuksiin sopeutuminen yhdyskuntatekniikan suunnittelun näkökulmasta
- Alueellisen massakoordinoinnin hyödyt, haasteet, mahdollisuudet ja edellytykset
- Kiviainesten käyttöiät ja vaikuttavat tekijät.

Tutkimuksen perusteella selvisi, että suunnittelupöydältä ei voida vaikuttaa kaikkiin käyttöiän toteutumisedellytyksiin, jonka vuoksi eri toimijoiden välisellä kommunikaatiolla voi olla suuri merkitys kestoikiin. Erääksi elinkaarihallinnan haasteeksi useassa haastattelussa nimettiin tiedonkulku. Tuotteen normaaleista poikkeavista olosuhteista ja materiaalivaatimuksesta on saatettava tieto urakoitsijan lisäksi myös tuotevalmistajalle, jotta rakenteen suunniteltu elinkaari voi toteutua. Toisaalta urakoitsijoilla on luultavasti muutos- ja kehitysideoita, joita olisi hyvä saattaa tiedoksi suunnittelijalle. Rakennushankkeen osapuolien keskinäinen aktiivinen vuorovaikutus on hyvä väline pyrkimyksissä laatuun. Suunnittelijan näkökulmasta tämä tarkoittaisi suunnittelijan mukana pitämistä myös urakointivaiheessa. Kappaleessa 2.2 todettiin käyttöikäsuunnittelun onnistumisen edellytykset. Työn tulokset voidaan jakaa näiden edellytysten mukaisesti kuuteen osa-alueeseen, joiden keskiössä ja toteuttajina ovat kaikki rakennushankkeen eri osapuolet. Seuraavaksi käsitellään opinnäytetyön tuloksia ja oppimiani asioita mainittujen käyttöikäsuunnittelun onnistumisen edellytysten kautta.

## **1. Tuotevalmistaja jakaa tiedon tuotteensa käyttöiästä ja toteutumisolosuhteista**

Ensimmäinen edellytys oli tuotevalmistajien jakama tieto käyttöiästä ja niiden toteutumisolosuhteista. Huomasin, että eri materiaaleista oli saatavilla vaihtelevasti tietoa. Betonista valmistuotteista oli vastoin odotuksia haastavaa löytää haastateltavia tai kirjallisuutta putkia ja kaivoja lukuun ottamatta. Erityisesti reunakivien kestävyys jäi saamatta selville, mihin saattaa osin vaikuttaa se, että reunakivituotteiden kestoikä vaihtelee hyvin paljon kohteen mukaan, jolloin tiettyä käyttöikää on mahdotonta antaa. Kuitenkin ilman käyttöikä tietoa tuotteen elinkaarikustannusten tai -päästöjen arviota on mahdotonta tehdä luotettavasti. Näin ollen vaihtoehtoverailu suunnitteluvaiheessa tyypistyy helposti ainoastaan rakennuskustannuksiin, jolloin kestävyysnäkökulma kaikissa ulottuvuuksissaan jää puuttumaan.

Tuotteiden vertaaminen keskenään ilman olosuhdetietoa ei tämän työn perusteella ole mielestäni mielekäästä, koska se on liian yksinkertaistavaa. Eri tuotteilla on omat käyttökohteensa perustuen materiaalin hyviin ominaisuuksiin ja käyttörajoituksiin. Myös olosuhteet ovat vaativuudeltaan hyvin vaihtelevia, joten aina ei ole perusteltua käyttöiän puolesta kaikista kestävimä tuotetta. Avainasemassa on siis vaatimusten ja lähtötietojen selvittäminen, jotta perusteltu päätös voidaan tehdä. Tässä työssä käsiteltiin uusia säännöllisessä käytössä olevien tuotteiden käyttöikä. Mikäli uudentyyppisiä rakenteita tai tuotteita otetaan käyttöön, niiden käyttöiät ja käyttöiän edellytykset on hyvä selvittää.

Tuotevalmistajien antama käyttöikä tieto perustui normeihin, laskentaan ja käyttöhistoriaan. Nykyisten rakenteiden käyttöiästä ei usein voida päätellä uusien rakenteiden käyttöikä, sillä rakentamisen laatu, tuotteet, tieto ja laadunvalvonta on parantunut. Tuotevalmistajat

osaavat kertoa käyttöiän kannalta keskeisimmät tekijät, jolloin ns. voidaan keskittyä olennaisiin asioihin suunnittelussa. Mielestäni varsinkin poikkeavissa olosuhteissa olisi hyödyllistä käyttää tuotevalmistajien asiantuntemusta omien tuotteidensa suhteen tehokkaammin apuna suunnittelussa. Tämä onnistuu, mikäli tuotevalmistaja on tiedossa jo suunnittelun aikana tai soveltuvan tuotteen valmistajassa ei ole valinnanvaraa.

## 2. Tilaaja asettaa käyttöikävaatimuksia

Toinen edellytys oli tilaajan asettamat käyttöikävaatimukset. Useissa haastatteluissa nousi esiin, että tonttikaduille annetaan suunnitelluksi käyttöiäksi tällä hetkellä 50 vuotta, ainakin kun lasketaan korjausvelkaa. Tämän työn perusteella rakenteiden käyttöiät antavat mahdollisuuden sille, että kunnallistekniikkaa voitaisiin jo lähtökohtaisesti suunnitella jopa 100-vuotiaaksi. Opinnäytetyön perusteella selvinneet kunnallistekniikan käyttöiät on esitetty taulukossa 2. Jokaisella kadulla ei ole läheskään kaikkia tässä opinnäytetyössä käsiteltyjä rakenteita tai tuotteita, joten käyttöikää voitaisiin saada kasvatettua vieläkin pidemmäksi. Lisäksi erilaiset yksittäisten rakenteiden saneeraus- ja parantamismenetelmät mahdollistavat näiden uudistamisen ilman koko katurakenteen avaamista.

	Käyttöikä	Max kestoikä
Betoniset viettoviemäriputket ja kaivot	50/100	100
Muoviset viettoviemäriputket ja kaivot	50	100
PE-paineputket	50	100
Pallografiittivalurautaiset putkijärjestelmät	100	150
Betoniset tasokiveykset	-	-
Betoniset reunatuet	-	-
Betoniset valaisinjalustat	50	-
Betoniset tukimuurielementit	50	-
Betoniset paikallavaletut tukimuurielementit	50/100/200	-
Luonnonkiviset tasokiveykset	100	>100
Luonnonkiviset reunakivet	100	>100
Kivikorit	40-50	-
Päällysrakenne	-	-
Tiemerkinnät	-	Vaihtelee
Valaisinpylväät	Vaihtelee	Vaihtelee
Sähkökaapelit	40-60	-
Kaukolämpöjohdot	>50	70-100

Taulukko 2 Opinnäytetyön tuloksena selvitettyt kunnallistekniikan käyttöiät

Käyttöikävaatimuksen asettamiseksi tilaaja voisi pohtia jo hankkeen varhaisessa vaiheessa asiaa kahdelta kannalta: rakennettavan kadun merkityksellisyyttä ja sillä tarvittavia kunnallistekniikan järjestelmiä. Käyttöikä määritettäisiin suhteessa näihin tekijöihin, jolloin selkeä laatutaso olisi asetettu. Käyttöiän voisi lähtökohtaisesti asettaa 100 vuoteen, minkä perusteena olisi näin ollen joko esimerkiksi sijainti tai vaihtoehtoisesti järjestelmien tämän luonnostaan mahdollistaminen. Lyhyemmät käyttöiät jäisivät poikkeuksiksi, joita käytetään ainoastaan, kun kaksi ehtoa toteutuu yhtä aikaa: kadun merkitys on vähäinen ja järjestelmät eivät olosuhteiden vuoksi pidempää käyttöikää salli.

Maankäyttö- ja rakennuslain uudistukseen on näillä näkymin sisällymässä vaatimus uusien rakennusten pitkäikäisyydestä, muunneltavuudesta, korjattavuudesta sekä purettavuudesta. Tämä lakimuutos voi hyvin pidentää uusien rakennusten käyttöikää, jolloin olisi myös järkevää tähdätä rakennuksia palvelevan infran pitkäikäisyyteen ja yhtenäistää sitä rakennuksien vastaavaksi. Jo rakennettujen rakennusten käyttöikä viittaa siihen, että katujen käyttöikä voisi olla pidempi, kuin 50 vuotta. Liitteessä 6 on esitetty vakituisesti asuttujen omakoti-, pari-, rivi- ja kerrostalojen lukumäärät Lappeenrannassa rakennusvuoden mukaan. Liitteen kuvioista huomataan, että n. 45 % kerrostaloasunnoista, 25 % rivitaloasunnoista ja 55 % omakotitaloista ja paritaloasunnoista ovat jo yli 50 vuotta vanhoja. Muut rakennukset vakinaisesti asutut rakennukset mukaan luettuna, yli 50 vuotta sitten rakennettuja asuntoja on yhteensä lähes puolet.

Lappeenrantaa pidetään Suomen ilmastopääkaupunkina, jossa on tehty useita linjauksia kestävyuden puolesta. Lappeenrannan kaupungin tahtotila strategiansa (2021) mukaan on haastaa olemassa olevia toimintamalleja ja toimia ekologisen kestävyuden edelläkävijänä. Näin ollen kunnallistekniikan rakentamisen kuuluisi olla linjassa Lappeenrannan kunnianhimoisten ilmastotavoitteiden kanssa. Nykyistä pidemmän käyttöikävaatimuksen asettaminen olisi sikäli näiden tavoitteiden mukaista, sillä se olisi kiertotaloustoimi (käyttöiän maksimointi), päästövähennystoimi (päästöt jakautuvat pidemmälle ajalle) että kustannustehokkuustoimi (elinkaarikustannukset). Nyt rakennetut kohteet tulevat altistumaan ilmastonmuutoksen tuleville vaikutuksille, joten käyttöiän huomioiminen on tärkeää jo nykyään.

Käyttöikäsuunnittelun haasteina lienee tällä hetkellä totutuista toimintatapojen muuttaminen. Olosuhteiden tulevaisuuden kehityksen huomioiminen katujen suunnittelussa vaatii kaikilta rakennushankkeen osapuolilta joistakin toimintatavoista luopumista ja uuden oppimista. Useista haastatteluista ilmeni, että yksin tilaajan tai suunnittelijan vaikutusmahdollisuudet rakenteiden käyttöikään ovat rajalliset, minkä vuoksi molempien osapuolien sitoutuminen yhdessä asetettuihin tavoitteisiin on välttämätöntä. Pitkien käyttöikäen toteuttamisen

esteenä nähdään ymmärtääkseni toisinaan kustannuskysymykset. Tiedetään, että laatutason nostaminen voi korottaa kustannuksia. Tämän vuoksi laatutason korottamisen kustannukset tulisi suhteuttaa elinkaarikustannuksiin. Käyttöikä voitaisiin ottaa huomioon jo hankkeiden toteutusvaihtoehtojen kustannus- ja muussa vertailussa. Vielä ei voida tarkasti tietää ilmastonmuutoksen vaikutusten voimakkuutta olosuhteisiin, mutta voidaan pohtia, onko nykyään varaa rakentaa huomioimatta tulevaisuuden sääolojen asettamia vaatimuksia.

Tilaaajan olisi hyvä antaa kaduille normaalipoikkileikkaus, jota pyritään toteuttamaan aina kun mahdollista. Tämän myötä yksittäisten rakenteiden kestoiät voisivat pidentyä sekä vähennetään ns. erikoisratkaisujen tarvetta. Näin kaduille jäisi myös eri tekniikkalajeille omat tilavaraukset. Tämä olisi tärkeää etenkin silloin, kun eri tekniikkalajeja on monia samalla kadulla.

### **3. Käyttöikävaatimuksen mukainen suunnittelu**

Kolmas edellytys oli käyttöikävaatimusten mukainen suunnittelu. Eräästä haastattelusta nousi huomio, että suunnittelijan on työssään hankalaa tähdätä mihinkään tiettyyn kestoiäkkään, vaan asiaa lähdetään lähestymään ennemminkin sitä kautta, että kuinka saadaan pitkäikäisintä. Tämän opinnäytetyön tekemisen myötä muotoilisin asian niin, että suunnittelussa käyttöiän arviointi tehdään tuotevalmistajien antamien käyttöikäjen ja niiden edellytyksenä annettujen käyttöolosuhteiden poikkeamisen perusteella. Tästäkin syystä olosuhteilla on suuri vaikutus käyttöikäin.

Monissa haastatteluissa nousi esiin kaavoituksen ja yleissuunnittelun tärkeys. Mitä aiemmassa vaiheessa päätöksiä tehdään, sitä vaikuttavampia ja helpommin toteutettavissa ne ovat. Huolellinen varhaisten vaiheiden suunnittelu mahdollistane ajallisesti lähtötietojen huolellisen selvittämisen ja erilaisten määrittävien tekijöiden huomioimisen suunnittelussa. Koska suunnittelun laatu muodostaa perustan rakentamisen laadulle, on huolellinen lähtötietojen selvittäminen kestävänn kunnallistekniikan suunnittelun perusedellytys.

Käyttöiän huomioiminen suunnittelussa on sikäli haastavaa, että toisinaan on vaikeaa erottaa toisistaan minimiarvoja paremmin toteuttaminen ja ylimitoitus. Monessa lähteessä viitataan InfraRYL määräyksiin, mutta InfraRYL mukaisesti suunnittelu ja rakentaminen ei ole laadukkaan rakentamisen osoitus, vaan ainoastaan minimivaatimus, jota huonommin ei saa tehdä. RYL-julkaisussa ei myöskään ole lueteltu kaikkia hyvän rakennustavan ratkaisuja, joten erilaista tukevaa kirjallisuutta ja muiden osaamista on syytä käyttää apuna. Suunnittelija ei voi valita aina lähtötietoja ja erilaisia parametrejä liiallisen varman päälle, sillä tällöin ylimitoitus on mahdollista, minkä myös voi nähdä energian ja resurssien hukkaamisena.

Ilmastonmuutos aiheuttaa epävarmuutta käytettäviin lähtötietoihin ja mitoitusparametreihin, sillä toistaiseksi olosuhteiden muutoksia on pystytty ainoastaan arvioimaan. Tässäkään valossa yli- tai alimitoitusta on vaikeaa arvioida. Suunnittelijan tehtävä on kommunikoida tilaajalle erilaisten valintojen seuraukset pitkäaikaiskestävyyden kannalta. Haasteena suunnittelijoille on paremman laatutason perusteleminen tilaajille käyttöikä tietoisuuden puuttuessa esimerkiksi päällysrakenteen.

Toki käyttöikä ei ole ainoa kriteeri materiaalin kestävyydelle, vaan kestävyyttä pitää tarkastella paitsi energiatehokkuuden, kustannusten, päästöjen ja kierrätettävyyden, myös käyttökohteeseen soveltuvuuden kannalta. Aina nämä kriteerit eivät ole keskenään linjassa, jolloin materiaalivalintaa voisi pohtia kohdekohtaisten prioriteettien tai pienimmän ilmastovaiikutuksen kannalta. Suunnittelu ei saa perustua mahdolliselle kestoiälle, koska muuttujia on niin paljon, että niitä kaikkia ei voi suunnitteluvaiheessa hallita. Käyttöiät ovat normien ja tuotevalmistajien määrittämiä vähimmäismääriä, kun olosuhteet ovat normaalit. Kestoiät voivat olla myös lyhyempiä kuin käyttöiät. Infrarakentamisessa on paljon osa-alueita, joiden virheet huomataan vasta jonkin ajan kuluttua, mutta käyttöiän kannalta liian pian. Jos jokin rakenne tai tuote joudutaan uusimaan nopeasti suhteessa kyseisen rakenteen käyttöikänsä, jää tuotteen käyttöikä suurimmalta osin hyödyntämättä, jolloin energia-, resurssi- ja kustannustehokkuus kärsii.

Tämän työn perusteella selvisi, kuinka lähes kaikkien kunnallistekniikan rakenteiden suunnittelussa maaperäolosuhteiden huolellinen selvittäminen osoittautui elintärkeäksi. Usein maaperäolosuhteita selvitetään ainakin kairauksien, maanäytteiden ja pohjavesiolosuhteiden avulla. Edellä mainitut menetelmät antavat tietoa maaperän geoteknisestä käyttäytymisestä. Maaperän aggressiivisuuden selvittäminen nousi monen tuotteen kohdalla tärkeäksi ja sen huomioiminen jäänee vähäisemmäksi. Aggressiivisuutta voitaisiin lähteä selvittämällä aluksi sen todennäköisyyttä esimerkiksi maalajin tai historiatiedon mukaan ennen mahdollisin mittauksin selvittämistä. Aggressiivisuus voi olla tietyissä hankkeissa erittäin määrittävä tekijä tuotevalintojen kannalta.

Kiertotalousajattelun toteuttaminen kunnallistekniikan rakentamisessa perustunee tällä hetkellä lähinnä vapaaehtoisuuteen. Kiertotalouden mukaisesti tuotteen pitämistä kierrossa mahdollisimman pitkään, ts. käyttöiän maksimointia voitaisiin toteuttaa tunnistamalla hankkeen alussa uudelleenkäytettävissä olevat materiaalit ja suunnitteleamalla niiden uusiokäyttö. Uusiokäyttömahdollisuuksien suunnitelmallisuus tekee materiaalien käytöstä tarkoituksenmukaista ja luo lisäarvoa. Jos materiaaleja hyödynnetään jossain muualla kuin syntypaikalla, tarvitaan tietoa mahdollisista välivarastoista. Maamassojen uudelleen käyttöä, muiden hyötyjen ohella, voisi tehostaa alueellinen massakoordinointi.

Vesihuollon suunnittelusta nousi joitakin yksittäisiä huomioita kaivoihin, viettokaltevuuksiin ja kunnossapitoon. Muovisten räätälikaivojen käyttö on suunnittelijan kannalta helppo vaihtoehto, mutta huomioitavaa on, ettei räätälikaivoilla ole NPM-merkkiä. Sen vuoksi ne voivat muodostavat viettoviemäriin heikon kohdan. Näin ollen voisi olla järkevää käyttää valmiskaivoja ns. helpoissa paikoissa.

Kun rakennetut viettoviemäriinjat ovat ajan myötä painuneet, viettokaltevuudet ovat pienentyneet. Saneerauskohteissa saatetaan joutua tästä syystä suunnittelemaan linjat minimikaltevuuksin, jolloin mahdolliset uudet painumat muodostavat riskin niiden toimivuudelle käyttöänsä aikana. Pahimmassa tilanteessa kohteen kunnossapitotarve ylittää normaalin. Tällaisissa tilanteissa lienee hyvä pohtia olisiko esimerkiksi pumppaamon rakentaminen järkevämpää kokonaistaloudellisesti. Tämän työn perusteella minimikaltevuuksilla viettoviemäreitä suunniteltaessa on tunnistettava linjojen painumariskit sekä huomioitava InfraRYL sallimat mahdolliset kaltevuuspoikkeamat toleranssina, mikäli mahdollista. Suunnittelijalle olisi hyödyllistä tietoa eri järjestelmien kunnossapitomenetelmät ja sen tilaajakohtainen taso. Tällöin suunnitteluvaiheessa kunnossapito voidaan huomioida valitsemalla sellaisia ratkaisuja, esimerkiksi hulevesijärjestelmiä, joiden kunnossapitovaatimukset ovat linjassa kunnossapitäjän resursseihin. Tällöin valitaan ainoastaan järjestelmiä, joiden voidaan luottaa toimivan suunnitellusti koko vaaditun käyttöänsä. Kunnossapidettävyyden nousee esiin lähes jokaisen materiaalin ja rakenteen kohdalla, mutta aihetta ei kirjallisuudessa eritellä yleensä tarkemmin, mitä se tarkoittaa suunnittelun kannalta käytännössä eri rakenteille.

#### **4. Käyttöikien mukaisten laatuvaatimusten saattaminen urakka-asiakirjoihin**

Neljäs edellytys oli käyttöikien mukaisten laatuvaatimusten saattaminen urakka-asiakirjoihin. Suunnittelijan rooli käyttöikäsuunnittelun tässä vaiheessa on käyttöikänsä vaikuttavien ratkaisujen saattaminen selkeästi suunnitelmiin, jotta suunnitellut asiat lähtevät myös toteutukseen. Suunnittelijat voivat hyvin rajallisesti vaikuttaa työmaatoimintaan ja asennustapoihin, mitkä myös vaikuttavat merkittävästi käyttöikien pituuteen. Suunnittelija ja tilaaja voivat kuitenkin velvoittaa urakka-asiakirjoissa käyttämään tuotevalmistajan hyväksymiä työtapoja, jolloin tuotevalmistajan antama käyttöikä muiden ehtojen täytyessä pätee.

Eräissä haastattelussa nousi esiin, että tarvittavien laadunvalvontakokeiden kirjoittaminen auki työselostukseen pelkästään ohjeistuksiin viittaamisen sijaan on hyvä käytäntö, sillä niin laadunvalvonnan ja vaatimusten pitäisi olla selkeintä niin urakoitsijalle, kuin rakennuttajallekin. Työselostuksessa voitaisiin terävöittää kohteen kestävyttä lisäävä työtapoja. Toisaalta liiallinen työtapojen auki kirjoittaminen voi kasvattaa kirjallisia dokumentteja liian pitkiksi.

## 5. Käyttöiän konkretisointi hankinnoissa

Viides edellytys oli käyttöiän konkretisointi hankinnoissa. Nykyisin työselostuksessa veloitetaan käyttämään CE-merkittyjä tuotteita, mutta hankinnoissa on huomioitava, että CE-merkintä ei vielä kerro tuotteen soveltuvuudesta kohteeseen mitään. Olisi hyödyllistä pohtia muiden laatumerkintöjen edellyttämistä tuotekohtaisesti. Joitakin tällaisia on jo käytössä, kuten Nordic Poly Mark. Tuotteiden tuotannonaikaisen laadunvalvonnan, kuten laadunvaihtelun määrän, arvioiminen laatumerkkien puuttuessa voi myös osoittautua hyödylliseksi. Kokonaishintaurakassa urakoitsija hankkii rakennustuotteet ja rakennuttajan on varmistettava niiden soveltuvuudesta, tarvittaessa suunnittelijan avulla. Erään haastattelun mukaan tilaajalla on parempi mahdollisuus valvoa rakennustarvikkeiden laatua hankkimalla niitä itse. Näin suunnittelijan työ elinkaaren ja käyttöiän suhteen välittyy valmiiseen rakenteeseen varmasti, eikä urakoitsija pääse vaihtamaan suunniteltua tuotetta halvempaan ja pahimmillaan epäsopivaan.

## 6. Käyttöikien konkretisointi rakennusvaiheessa

Kuudes edellytys oli käyttöikien konkretisointi rakennusvaiheessa. Kuten jo todettu, tilaajalla ja rakennuttajalla on suuri rooli laadunvalvonnan tason määrittämisessä, sillä laadunvalvonnan määrä on myös kustannuskysymys. Tämän vuoksi laadunvalvonnan hyötyjen tunnistaminen kunnallistekniikan käyttöille olisi tärkeää. Haastatteluiden mukaan työmaalla huomattuja parannuskohteita tai suunnitteluvirheitä ei välttämättä saateta suunnittelijan tietoon, koska ei nähdä vuorovaikutuksen hyötyjä.

Kuten tässä opinnäytetyössä on useasti jo todettu, maaperäolosuhteilla on suuri merkitys rakenteiden käyttöille. Suunnittelijalla on käytössään muutaman pisteen maaperätiedot, joiden perusteella erilaiset mitoitukset tehdään. Tämän vuoksi mitoituksien perusteet olisi hyvä todentaa myös työmaalla tarkkailemalla pohjamaata. Mikäli suunnitelmista poikkeavista pohjaolosuhteista ei ilmoiteta suunnittelijalle, on mahdollista, että rakennetaan virheellisten parametrien mukaisesti. Tämä on erityisen haitallista, mikäli pohjaolosuhteet ovat huonommat kuin on pohjatutkimuksista ilmennyt. Alusrakenteen maalajia on mahdotonta arvioida silmämääräisesti tarkasti. Esimerkkinä sora-moreeni voi pesuseulonnan hienoainepitoisuutensa puolesta olla useassa eri alusrakenneluokassa Tierakenteen suunnittelu - ohjeen mukaan (Liikennevirasto 2018, 21), jolloin on mahdollista, että alusrakenteen E-moduuli on arvioitu virheellisesti. Lähtötietojen poiketessa suunnittelijat voisivat tarvittaessa päivittää suunnitelmia ja saataisiin kestävin mahdollinen lopputulos. Kattavien lähtötietojen merkitys kasvaa sitä suuremmaksi, mikä merkittävämmästä kadusta ja vaativammista olosuhteista on kyse. Pohjamaata voitaisiin tutkia rakennusvaiheessa maanäytein

parametrien oikeellisuuden varmistamiseksi. Lisätutkimuksin tehtävä laadunvalvonta saatetaan nähdä kustannuseränä, mutta parhaimmillaan sillä voitaisiin saavuttaa kestävämpiä ja pitkäikäisempiä rakenteita.

## Lähteet

Aalto-yliopisto. 2021. Johdatus vähähiiliseen rakentamiseen-2. Elinkaariajattelu ja 3. Elinkaariajattelu rakentamisessa. Video. Viitattu 30.11.2022. Saatavissa <https://www.aalto.fi/fi/media/192561>

Betoniteollisuus ry. 2022. Betonin käyttö ympäristörakentamisessa. Viitattu 13.12.2022. Saatavissa [https://issuu.com/kivirakentaminen/docs/betonin\\_kaytto\\_ymparistorakentamisessa](https://issuu.com/kivirakentaminen/docs/betonin_kaytto_ymparistorakentamisessa)

DNA. Elisa. Finnet. Telia. Maanrakennustyöt ja teleoperaattoreiden tietoliikennelaitteet. Viitattu 8.11.2022. Saatavissa [https://verkkoselvitys.fi/wp-content/uploads/sites/15/2020/05/Kaivuohje\\_pitk%C3%A4.pdf](https://verkkoselvitys.fi/wp-content/uploads/sites/15/2020/05/Kaivuohje_pitk%C3%A4.pdf)

Ehrola, E. 1996. Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Forsman, j. 2020. Pohjarakennussuunnittelu. SKTY. Katu2020. Viitattu 19.12.2022. Saatavissa <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/pohjarakennussuunnittelu/>

Energiateollisuus ry. 2013. Kaukolämpöjohtojen suunnittelu- ja rakennusohjeet. Suositus L11/2013. Viitattu 1.11.2022. Saatavissa [https://energia.fi/files/2353/SuositusL11\\_2013\\_KI-johtojen\\_suunnittelu-\\_ja\\_rakentamisohjeet\\_paivitetty\\_20180130.pdf](https://energia.fi/files/2353/SuositusL11_2013_KI-johtojen_suunnittelu-_ja_rakentamisohjeet_paivitetty_20180130.pdf)

Energiateollisuus ry. 2018. Kaukolämpöverkon kunnossapito. Suositus KK2/2018. Viitattu 7.11.2022. Saatavissa [https://energia.fi/files/2323/Suositus\\_KK2\\_2018\\_Kaukolammon\\_kunnossapito.pdf](https://energia.fi/files/2323/Suositus_KK2_2018_Kaukolammon_kunnossapito.pdf)

Energiateollisuus ry. Kaukolämpöverkot: Kaukolämpöverkkoja yli 15 000 km. Viitattu 7.11.2022. Saatavissa <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>

Energiateollisuus ry. 2020. Kiinnivaahdotetut kaukolämpöjohdot. Suositus L1/2020. Viitattu 7.11.2022. Saatavissa [https://energia.fi/files/593/20200831\\_SuositusL1\\_Kiinnivaahdotetut\\_kaukolampojohdot\\_2020.pdf](https://energia.fi/files/593/20200831_SuositusL1_Kiinnivaahdotetut_kaukolampojohdot_2020.pdf)

Energiateollisuus ry. Sähköverkot: Sähköverkkojen rakenne. Viitattu 7.11.2022. Saatavissa <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkoverkot>

Helsingin kaupunki. 2016. Kaupunkitilaohje. 25.11.2022. Saatavissa [https://kaupunkitilaohje.hel.fi/haku/?kto\\_card\\_category%5B%5D=rakenteet](https://kaupunkitilaohje.hel.fi/haku/?kto_card_category%5B%5D=rakenteet)

hEN Helpdesk. CE-merkintä. Viitattu 7.12.2022. Saatavissa <https://www.henhelpdesk.fi/ce-merkinta.html>

Häkkinen, T., Vares, S. & Siltanen, P. 2004. Tuotteiden käyttöikäinformaatio ja sen käyttö rakennushankkeessa. VTT tiedotteita 2231. Espoo: VTT. Viitattu 25.10.2022. Saatavissa <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2004/T2231.pdf>

Ilmasto-opas.fi. Keskeiset sopeutumishaasteet Suomessa. Viitattu 10.12.2022. Saatavissa <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/keskeiset-sopeutumishaasteet-suomessa>

Ilmasto-opas.fi. 2017. Sademäärät kasvavat ja rankkasateet voimistuvat. Viitattu 17.12.2022. Saatavissa <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/sademaarat-kasvavat>

Junttila, U., Koivistoinen, M., Waris, J., Häkkinen, I. & Kauppinen, M. 2011. Katuympäristön suunnitteluopas. Päivitetty painos. Tampere: Suomen Kuntatekniikan Yhdistys.

Jyväskylän kaupunki. 2017. Ulkovalaistuksen suunnitteluohje. Viitattu 16.9.2022. Saatavissa [https://valonkaupunki.jyvaskyla.fi/sites/default/files/atoms/files/uv\\_suunnitteluohje\\_jkl.pdf](https://valonkaupunki.jyvaskyla.fi/sites/default/files/atoms/files/uv_suunnitteluohje_jkl.pdf)

Kekki, T., Kaunisto, T., Keinänen-Toivola, M. & Luntamo, M. 2008. Vesijohtomateriaalien vauriot ja käyttöikä Suomessa. Rauma: Vesi-instituutti/Prizztech Oy. Viitattu 13.7.2022. Saatavissa <https://www.samk.fi/wp-content/uploads/2016/06/Vesijohtomateriaalien-vauriot-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6ik%C3%A4-Suomessa.pdf>

Kivikoski, H. & Saarelainen, S. 2009. Katujen ja pihojen routasuojaus EPS-routaeristeillä. Muoviteollisuus ry -EPS-rakennuseristeteollisuus & VTT. Viitattu 20.12.2022. Saatavissa <https://docplayer.fi/6941407-Katujen-ja-pihojen-routasuojaus-eps-routaeristeilla.html>

Kiviteollisuusliitto ry. 2006a. Luonnonkivirakenteiden suunnitteluohje 2006 luku 2 Luonnonkiven materiaalitieto. Viitattu 23.11.2022. Saatavissa <https://docplayer.fi/25792007-Luonnonkivirakenteiden-suunnitteluohje-2006-luku-2-luonnonkiven-materiaalitieto.html>

Kiviteollisuusliitto ry. 2006b. Luonnonkivirakenteiden suunnitteluohje 2006 luku 5 Ulkotilojen luonnonkivirakenteet. Viitattu 16.7.2022. Saatavissa [http://www.suomalainenkivi.fi/vanha/wp-content/uploads/2016/03/luonnonkivirakenteiden\\_suunnitteluohje\\_osa5.pdf](http://www.suomalainenkivi.fi/vanha/wp-content/uploads/2016/03/luonnonkivirakenteiden_suunnitteluohje_osa5.pdf)

Kolehmainen, L. 2010. Katujen ylläpitokustannuksia lisäävät ratkaisut. Helsingin kaupungin rakennusvirasto. Viitattu 16.7.2022. Saatavissa [https://www.hel.fi/hel2/Hkr/julkaisut/2010/katujen\\_yllapitokustannuksia\\_2010\\_9.pdf](https://www.hel.fi/hel2/Hkr/julkaisut/2010/katujen_yllapitokustannuksia_2010_9.pdf)

Korpela, T. 2015. Kaapelisuojausputkitusten suunnittelu, rakentaminen ja käyttö. Opinnäytetyö, liite 1. Viitattu 5.12.2022. Saatavissa <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201504275146>

Kuntaliitto. 2012. Hulevesiopas. Helsinki: Suomen Kuntaliitto. Viitattu 11.12.2022. Saatavissa <https://www.kuntaliitto.fi/yhdyskunnat-ja-ymparisto/tekniikka/hulevesien-hallinta/hulevesiopas-1>

Kuula, P. 2015. Tien ja radan sitomattomissa rakennekerroksissa käytettävien kiviainesten lujuuden ja hienontumisen tutkiminen. Kirjallisuusselvitys. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 68.2015. Viitattu 21.12.2022. Saatavissa [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121669/lts\\_2015-68\\_978-952-317-181-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121669/lts_2015-68_978-952-317-181-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta. 669/1978.

Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta. 682/2014.

Lappeenrannan Energiaverkot Oy. 2015. Vesihuoltoverkostot, materiaalihje. Taulukko.

Lappeenrannan kaupunki. 2020. Ilmasto-ohjelma 2021–2030. Viitattu 14.6.2022. Saatavissa <https://www.greenreality.fi/sites/default/files/lappeenrantailmasto-ohjelma2021-2030.pdf>

Lappeenrannan kaupunki. 2021. Lappeenranta 2037-strategia. Viitattu 30.11.2022. Saatavissa <https://www.lappeenranta.fi/loader.aspx?id=32077bfe-7d91-4a39-afd8-16cbf28b3147>

Leskinen, A. & Ävist, P. 2020. Pintamateriaalin valinta. SKTY. Katu 2020 suunnitteluopas. Viitattu 4.5.2022. Saatavissa <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/pintamateriaalin-valinta/>

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2020. Infran yhteiskäyttö viestintäverkkojen rakentamisessa vähäistä: isot säästöt mahdollisia Suomessa. Valtioneuvosto. Viitattu 10.12.2022. Saatavissa <https://valtioneuvosto.fi/-/infran-yhteiskaytto-viestintaverkkojen-rakentamisessa-va-haista-isot-saastot-mahdollisia-suomessa>

Liikennevirasto. 2012. Geolujitetut maarakenteet. Tiegeotekniikan käsikirja. Viitattu 9.12.2022. Saatavissa [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/120991/lop\\_2012-02\\_geolujitetut\\_maarakenteet\\_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/120991/lop_2012-02_geolujitetut_maarakenteet_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Liikennevirasto. 2017. Eurokoodin soveltamisohje- Geotekninen suunnittelu- NCCI 7. Siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Viitattu 9.12.2022. Saatavissa [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134574/lo\\_2017-13\\_ncci7\\_web.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134574/lo_2017-13_ncci7_web.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Liikennevirasto. 2013. Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu. Viitattu 14.11.2022. Saatavissa [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121630/lo\\_2013-05\\_978-952-255-250-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121630/lo_2013-05_978-952-255-250-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Liikennevirasto. 2015a. Tiemerkintöjen teettäminen. Viitattu 13.11.2022. Saatavissa [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2015-05\\_tiemerkintojen\\_teettaminen\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2015-05_tiemerkintojen_teettaminen_web.pdf)

Liikennevirasto. 2015b. Tiemerkintöjen laatuvaatimukset. Viitattu 24.5.2022. Saatavissa [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2015-38\\_tiemerkintojen\\_laatuvaatimukset\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2015-38_tiemerkintojen_laatuvaatimukset_web.pdf)

Liikennevirasto. 2018. Tierakenteen suunnittelu. Viitattu 24.10.2022. Saatavissa <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-632-4>

Lylykangas, K., Kuismanen, K., Le Roux, S., Mikola, V., Jylhä, K., Hartonen, S., Puurunen, E., Riekkinen, T., Tyynilä, S., Viinanen, J., Hautamäki, R., Niiranen, S. & Hänninen, P. RT 103169 Ilmasto. Perustietoa suunnittelijalle. Rakennustieto Oy. Viitattu 8.7.2022. Saatavissa rajoitetusti [https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103169?external\\_system=Juha&page=1](https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103169?external_system=Juha&page=1)

Maankäyttö- ja rakennuslaki. 132/1999.

Muoviteollisuus ry. 2012. Paineputkijärjestelmät polyeteenistä (PE). Viitattu 2.12.2022. Saatavissa [https://www.plastics.fi/julkaisut/muoviteollisuus\\_ryn\\_julkaisut/](https://www.plastics.fi/julkaisut/muoviteollisuus_ryn_julkaisut/)

Mäkelä, V. & Tuunanen, J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Viitattu 7.11.2022. Saatavissa <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/UR-NISBN9789515885074.pdf?sequence=1>

Mörönen, L., Pitkänen, P. & Salparanta, L. 2001. Ulkotilojen luonnonkivinen tasokiveys-Päällysteen suunnittelu- ja laatuohje. RTE37-IR-13/2001 osa 2/3. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Viitattu 22.11.2022. Saatavissa <http://www.suomalainenkivi.fi/vanha/wp-content/uploads/2014/09/suunnitteluohjed.pdf>

Nordic Poly Mark. Etusivu. Viitattu 3.12.2022. Saatavissa <http://nordicpolymark.com/fi-start/>

Nuotio, A., Karilainen, J., Rainio, J., Ruotsi, M., Syrjä, T. & Laine, K. 2015. RT 89-11175 Muurit ja tukimuurit. Rakennustieto Oy. Viitattu 26.5.2022. Saatavissa rajoitetusti <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2089-11175>

Nyberg, J. 2020. Liikenteen ohjaus ja viitoitus. SKTY. Katu 2020 suunnitteluopas. Viitattu 19.4.2022. Saatavissa <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/liikenteen-ohjaus-ja-viitoitus/>

- Oittinen, M. 2020. Ympäristövaatimukset. SKTY. Katu 2020 suunnitteluopas. Viitattu 8.4.2022. Saatavissa <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/ymparistovaatimukset/>
- Petrow, S., Heikkinen, M., Forsman, J. & Pirinen, M. 2017. Betoniset viemäri- ja hulevesijärjestelmät -suunnittelu ja toteutus. Betoniteollisuus ry. Viitattu 11.7.2022. Saatavissa [https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/04/Betoniset\\_viemari\\_ja\\_hulevesijarjestelmat.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/04/Betoniset_viemari_ja_hulevesijarjestelmat.pdf)
- Pipelife Finland Oy. Muovi raaka-aineena. Viitattu 12.12.2022. Saatavissa <https://www.pipelife.fi/tietoa-meista/vastuullisuus/raaka-aine.html>
- Rakennusteollisuus RT ry. 2006. Betonituotteet ympäristörakenteena. Rakennusteollisuus RT ry Betoniteollisuustoimiala. Viitattu 13.12.2022. Saatavissa [https://issuu.com/kivirakentaminen/docs/kivikirja\\_2006-5](https://issuu.com/kivirakentaminen/docs/kivikirja_2006-5)
- Rakennustieto. 2018. RT 103006. Hulevesirakenteet. Viitattu 11.12.2022. Saatavissa rajoitetusti <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103006>
- Rakennustieto. 2022a. InfraRYL. Tietoa InfraRYListä. Viitattu 7.12.2022. Saatavissa rajoitetusti [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2022\\_1/](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2022_1/)
- Rakennustieto. 2022b. InfraRYL. 31100.3.3 Paineviemäriin purkukaivon rakentaminen. Viitattu 12.12.2022. Saatavissa rajoitetusti [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2022\\_1/31000.html#TL31100id2384355](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2022_1/31000.html#TL31100id2384355)
- Rakennustieto. 2022c. InfraRYL. 32630 Tiemerkinnot. Viitattu 13.11.2022. Saatavissa rajoitetusti [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2022\\_1/32630.html](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2022_1/32630.html)
- Rakennustieto. 2022d. InfraRYL. Liite 3 Kadun normaalipäällysrakenteet ja kantavuusvaatimukset kerroksittain. (2015/1 asti Liite 01). Viitattu 21.12.2022. Saatavissa rajoitetusti [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2022\\_1/Liite\\_3\\_Kadun\\_kantavuusvaatimukset\\_1d1cfbed-6185-42a6-88a6-7f4e3dcba9e7.html](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2022_1/Liite_3_Kadun_kantavuusvaatimukset_1d1cfbed-6185-42a6-88a6-7f4e3dcba9e7.html)
- Rakennustieto. 2022e. InfraRYL. 21210 Jakavat kerrokset. Viitattu 23.12.2022. Saatavissa rajoitetusti [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2022\\_2/21210.html#TL21210id1770675](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2022_2/21210.html#TL21210id1770675)
- Rakennustieto. 2011. RT 39-11037. Sinkitys. Viitattu 10.11.2022. Saatavissa rajoitetusti <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2039-11037>
- Ramboll Finland Oy. 2021. Lappeenrannan kaupungin hulevesien hallinnan ohjelma. Viitattu 14.12.2022. Saatavissa <https://www.lappeenranta.fi/loader.aspx?id=e50e87ef-be92-4d41-bc33-e060b088287c>

Rudus Oy. 2021. Tukimurielementit. Viitattu 25.11.2022. Saatavissa <https://www.rudus.fi/ohjeet/infraelementtien-ohjeet/tukimuurien-mitoitus-ja-asennusohjeet>

ROADX Network E-Learning. 5. Kuivatusongelmat ja kuinka niitä voidaan välttää. Viitattu 14.11.2022. Saatavissa <https://www.roadex.org/fi/e-learning/kurssit/teiden-kuivatus/5-kuivatusongelmat-ja-kuinka-niita-voidaan-valttaa/>

Saarelainen, S. 2001. Routimiskertoimen määrittäminen. TPPT 7. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Viitattu 20.12.2022. Saatavissa <https://docplayer.fi/48990568-Routimiskertoimen-maaritys.html>

Saint-Gobain Pipe Systems Oy. NATURAL Uuden sukupolven SG-valurautaputki. Viitattu 5.12.2022. Saatavissa <https://docplayer.fi/23430020-Natural-uuden-sukupolven-sg-valurauta-putki-dn.html>

Siikaluoma, T. 2020. Katusuunnittelu. SKTY. Katu 2020 suunnitteluopas. Viitattu 30.11.2022. Saatavissa <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/katusuunnittelu/>

Sikiö, J. 2020. Kadun rakennekerrokset ja materiaalit. SKTY. Katu2020. Viitattu 19.12.2022. Saatavissa <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/kadun-rakennekerrokset-ja-materiaalit/>

Sitra. 2018. Näin rakennamme kiertotaloutta. Julkaisu. Viitattu 18.5.2022. Saatavissa [https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2018/05/GBC\\_Kiertotalous-KIRA-alalla-7tavoi-tetta-210518.pdf](https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2018/05/GBC_Kiertotalous-KIRA-alalla-7tavoi-tetta-210518.pdf)

Skantti Oy. Upotettavat reunakivet. Viitattu 15.12.2022. Saatavissa <https://skantti.fi/upotettavat-reunakivet/>

Suomela, S. 2019. Elinkaarinäkökulman huomioiminen infra-alan hankkeiden hankinnassa. Diplomityö. Viitattu 5.12.2022. Saatavissa [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/38912/master\\_Suomela\\_Susanna\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/38912/master_Suomela_Susanna_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Suomen Betoniyhdistys ry. 2016. by 65. Betoninormit. 2. painos. Helsinki: BY-koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2018. by 201 Betoniteknikan oppikirja. 7. painos. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Kuntaliitto. 2006. Kaduilla ja muilla yleisillä alueilla tehtävien töiden ohjaaminen. Helsinki: Suomen Kuntaliitto.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2013a. RIL 77-2013 Maahan ja veteen asennettavat kestumoviputket. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2013b. RIL 261-2013. Routasuojaus -rakennukset ja infrarakenteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2010a. RIL 237-1-2010. Vesihuotoverkkojen suunnittelu -perusteet ja toiminnallisuus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2010b. RIL 237-2-2010 Vesihuoltoverkkojen suunnittelu -mitoitus ja suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

SFS-EN 1338 + AC. 2003. Betoniset päällystekivet. Vaatimukset ja testausmenetelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN-ISO 12944-1:2017 Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 1: Yleistä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN-ISO 12944-2:2017 Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 12201-1:2012 Muoviputkijärjestelmät veden johtamiseen ja paineviemärointiin. Polyeteeni (PE). Osa 1: Yleistä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 12201-2:2012 Muoviputkijärjestelmät veden johtamiseen ja paineviemärointiin. Polyeteeni (PE). Osa 2: Putket. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1074–1:en. 2001. Valves for water supply. Fitness for purpose requirements and verification tests. Part 1: General requirements. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS Suomen standardisoimisliitto. Mikä on standardi? Viitattu 7.12.2022. Saatavissa <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>

SFS Suomen standardisoimisliitto. CE-merkintä. Viitattu 7.12.2022. Saatavissa <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/ce-merkinta/>

Sähkö-Jokinen Oy. SJ-jalustat. Viitattu 9.12.2022. Saatavissa <https://sahkojokinen.fi/jalustat/sj-jalustat/>

Tahkokorpi, M. 2013. Kivirakennusten värjäymät ovat sitkeä riesa. Yle. Viitattu 9.12.2022. Saatavissa <https://yle.fi/a/3-6587324>

TEPPFA. 2019. Position paper. 100 years lifetime of Polyethylene pressure pipe systems buried in the ground for water and natural gas supply. Viitattu 3.12.2022. Saatavissa <https://www.teppfa.eu/media/position-papers/a-position-100-years-lifetime-of-polyethylene-pipe/>

Tielaitos. 1997. Reunatuet. Väylävirasto. Viitattu 24.11.2022. Saatavissa [https://ava.vayla-pilvi.fi/ava/Julkaisut/Tiehallinto/pdf2/teiden\\_suunnittelu\\_v5\\_reunatuet.pdf](https://ava.vayla-pilvi.fi/ava/Julkaisut/Tiehallinto/pdf2/teiden_suunnittelu_v5_reunatuet.pdf)

Tielaitos. 1997. Taajamapäällysteet ja reunatuet. Väylävirasto. Viitattu 16.7.2022. Saatavissa <https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf2/2140010taajamapaallysteet.pdf>

Tilastokeskus. 2021. Asunnot talotyyppin, käytössäolon ja rakennusvuoden mukaan. Tilasto. Viitattu 13.11.2022. Saatavissa [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_asas/statfin\\_asas\\_pxt\\_116f.px/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_asas/statfin_asas_pxt_116f.px/)

Uponor Suomi Oy. 2009. Uponor-yhdyskuntatekniikan käsikirja.

Vesihuoltolaki. 119/2001.

Väylävirasto. 2019. Päälystettyjen teiden kuivatuksen kunnossapidon toimintalinjat. Väyläviraston julkaisu 16/2019. Viitattu 17.11.2022. Saatavissa [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/168423/vj\\_2019-16\\_978-952-317-657-7.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/168423/vj_2019-16_978-952-317-657-7.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

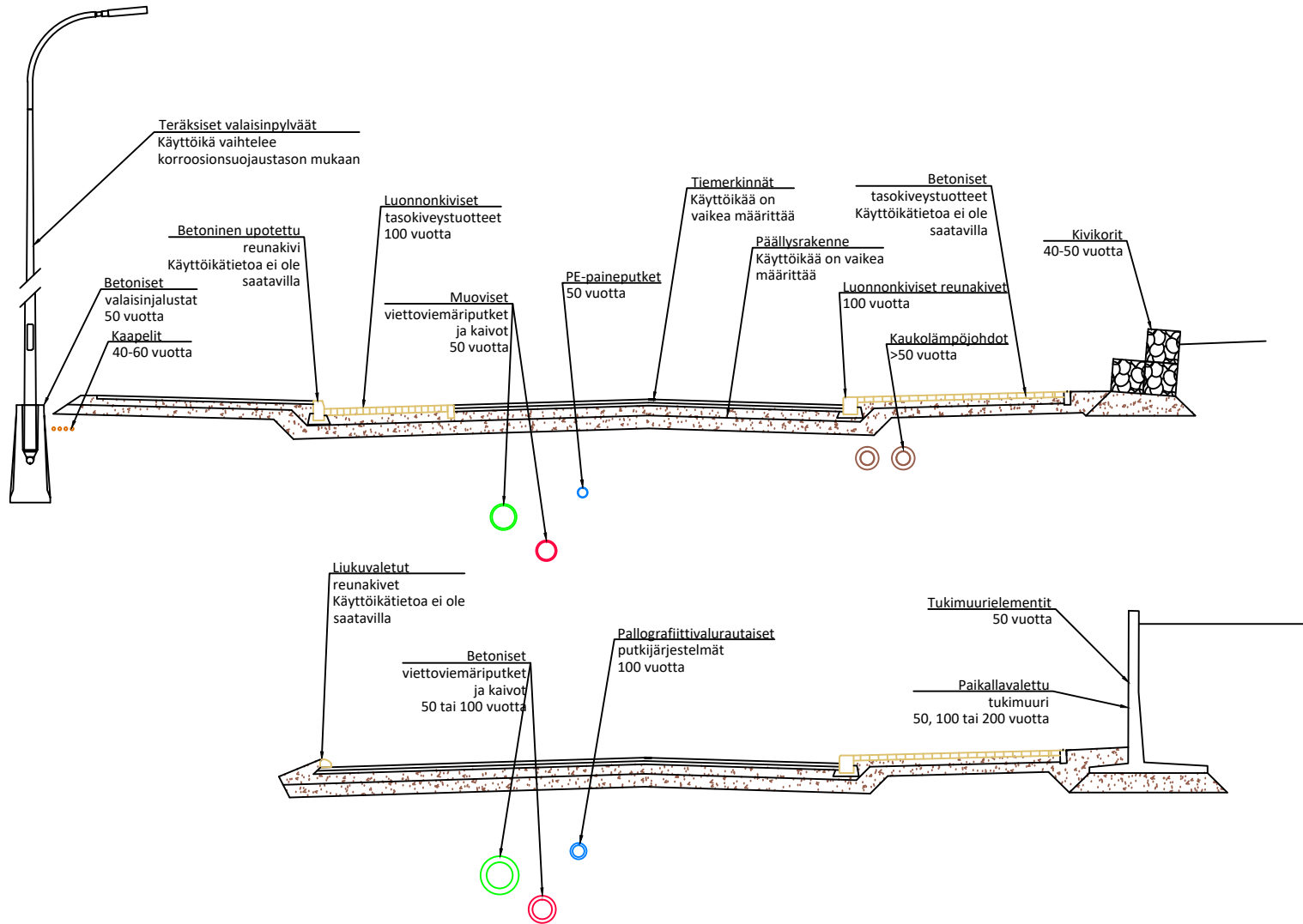
Väylävirasto. 2020. Tiemerlintöjen suunnittelu. Viitattu 27.5.2022. Saatavissa [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2020-30\\_tiemerkintojen\\_suunnittelu\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-30_tiemerkintojen_suunnittelu_web.pdf)

Väylävirasto. 2022. Tien valaisinpylväiden ja jalustojen laatuvaatimukset 23k/2022. Viitattu 25.11.2022. Saatavissa [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_23k-2022\\_tien\\_valaisinpylvaiden\\_17.6.2022.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_23k-2022_tien_valaisinpylvaiden_17.6.2022.pdf)

Väätäinen, J. 2020. Teknisen suunnittelun tavoitteet. SKTY. Katu 2020 suunnitteluopas. Viitattu 19.4.2022. Saatavissa <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/teknisen-suunnittelun-tavoitteet/>

Ympäristöministeriö. CE-merkintä. Viitattu 7.12.2022. Saatavissa <https://ym.fi/ce-merkinta>

# Liite 1 Katualueen rakenteiden käyttöiät



Liite 2. Betonisten ja muovisten viettoviemäriputkien taulukoita

<b>Putken sisähalkaisija (mm)</b>	<b>Pienin suositeltava kaltevuus ‰<sup>1)</sup></b>	<b>Minimikaltevuus ‰<sup>1)</sup></b>	<b>Suurin sallittu kaltevuus<sup>2)</sup> ‰</b>	<b>Vastaava virtaama<sup>2)</sup> dm<sup>3</sup>/s</b>
225	7,0	4,5	280	260
300	6,0	3,0	160	420
400	5,0	2,5	120	770
500	4,0	2,0	90	1200
600	3,0	1,6	70	1710
800	2,0	1,3	50	3080
> 800	1,5	1,0	50	-

1) RIL 237-2-2010

2) Kriteerinä maks.virtausnopeus betoniputkelle 6 m/s

Taulukko 1 Betonisten viettoviemäriputkien kaltevuuksien minimi- ja maksimiarvot (Petrow ym. 2017, 60)

<b>Sisähalkaisija DN (mm)</b>	Pyöreä tai jalallinen betoniputki Raudoittamaton (B)	Liikennealueella vaadittavat tuotetyypit			
		Pyöreä tai jalallinen betoniputki Normaali raudoitus, (Br)	(romahdus) murtolujuus	Pyöreä tai jalallinen betoniputki Normaali raudoitus, (Dr)	(romahdus) murtolujuus
		Hyväksymis- rajakuorma F <sub>c0,3</sub>	(romahdus) murtolujuus F <sub>u</sub>	Hyväksymis- rajakuorma F <sub>c0,3</sub>	(romahdus) murtolujuus F <sub>u</sub>
<b>CE-merkityt putket, SFS-EN 1916</b>					
225	168	142	227	218	347
300	146	130	207	190	303
400	135	128	205	170	273
500	118	118	192	148	240
600	105	95	180	135	225
800	88	87	156	120	198
1000	80	84	142	112	182
1200	-	82	140	108	180
1400	-	81	136	106	177
1600	-	81	136	105	176
<b>FI-merkityt putket</b>					
1800	-	79	135	104	176
2000	-	79	135	104	177
2500	-	80	136	105	178
3000	-	82	139	107	182

Lujuusvaatimuksena oleva kuorman yksikkö ilmoitetaan standardin SFS-EN 1916 mukaisesti. Kuorman yksikkö ilmoitetaan putken laella vaikuttava viivakuorma kN/m jaettuna putken halkaisijalla DN yksikkönä (m). Viivakuorman arvo saadaan siten kertomalla taulukossa oleva lukuarvo putken vastaavalla halkaisijalla, jolloin viivakuorman yksikkö on kN/m.

Taulukko 2 Pyöreiden betoniputkien lujuusvaatimukset raudoitusluokittain (Petrow ym. 2017, 88)

Rasitustekijä	Testausmenetelmä	Rasitusluokka SFS-EN 206		
		XA1	XA2	XA3
<b>Pohjavesi</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	SFS-EN 196-2	≥ 200 ja ≤ 600	> 600 ja ≤ 3000	> 3000 ja ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 ja ≥ 5,5	< 5,5 ja ≥ 4,5	< 4,5 ja ≥ 4,0
CO <sub>2</sub> mg/l aggressiivinen	SFS-EN 13577	≥ 15 ja ≤ 40	> 40 ja ≤ 100	> 100 kyllästymiseen asti
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	ISO 7150-1	≥ 15 ja ≤ 30	> 30 ja ≤ 60	> 60 ja ≤ 100
Mg <sup>2+</sup> mg/l	ISO 7980	≥ 300 ja ≤ 1000	> 1000 ja ≤ 3000	> 3000 kyllästymiseen asti
<b>Maaperä</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/kg kokonaismäärä <sup>1)</sup>	SFS-EN 196-2 <sup>2)</sup>	≥ 2000 ja ≤ 3000 <sup>3)</sup>	>3000 <sup>3)</sup> ja ≤ 12000	> 12000 ja ≤ 24000
Happamuus ml/kg Bauman Gullyn mukaisesti	prEN 16502	> 200 Baumann Gully	Ei esiinny käytännössä	Ei esiinny käytännössä
<b>Betonille asetettavat vaatimukset, käyttöikä 100 vuotta</b>				
Vesi-sementtisuhde		0,50	0,45	0,40
Lujuus		C30/37	C35/45	C40/50
Sementtimäärä kg/m <sup>3</sup>		300	320	360
Sementtilaatu, kun rasitus johtuu sulfaateista		ei vaatimusta	SR-sementti	SR-sementti

Yksittäisen kemiallisen ominaisuuden suurimman rasituksen arvo määrittää rasitusluokan (ks. SFS-EN 206)  
Jos kaksi tai useampi aggressiivista ominaisuutta johtaa samaan luokkaan, ympäristö luokitellaan seuraavaan korkeampaan luokkaan, ellei erityisesti tätä varten suoritetulla selvityksellä osoiteta, ettei se ole tarpeen.

<sup>1)</sup> Savimaat, joiden läpäisevyys on pienempi kuin 10<sup>-5</sup> m/s, voidaan luokitella alempaan luokkaan.

<sup>2)</sup> Testausmenetelmän periaate on uuttaa SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> suolahapolla. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää vesiuttoa, jos betonin käyttöaikalla on siitä kokemusta.

<sup>3)</sup> Raja-arvo 3000 mg/kg lasketaan arvoon 2000 mg/kg, jos betonin toistuva kuivuminen ja kastuminen tai kapillaarinen kastuminen aiheuttaa betonin sulfaatti-ionien kasaantumisriskin.

Taulukko 3 Maaperän ja pohjaveden kemialliset rasitukset ja betonin vaatimukset 100 vuoden käyttöiällä (Petrov ym. 2017, 109)

<b>Viemäriverkolle haitallisten aineiden raja-arvoja</b>			
Alkuaineet	Mg/l	Kemialliset yhdisteet	mg/l
Arseeni (As)	0,1	Sulfidi	5,0
Elohopea (Hg)	0,01	Ammoniakki, ammonium	40
Hopea (Ag)	0,1...0,2	Sulfaatti, tiosulfaatin ja sulfiitin summa-arvo	400
Kadmium (Cd)	0,01	Magnesium	300
Kokonaiskromi (Cr)	0,5...1,0	Rasva	150
Kromi (VI) (Cr <sup>6+</sup> )	0,1	Kokonaishiilivetyypitoisuus (C <sub>10</sub> – C <sub>40</sub> ), max.	100
Kupari (Cu)	2,0	Kloorivapaat VOC yhdisteet (esim. tolueni ksyleeni), max.	3
Lyijy (Pb)	0,5	Muu ominaisuus	
Nikkeli (Ni)	0,5	pH min	6,0
Sinkki (Zn)	3,0	pH max.	11,0
Kokonaissyaniidi (CN)	0,5	Lämpötila T <sub>max</sub> °C	40
Tina (Sn)	2,0		
Seleen (Se)	1,0		

Taulukko 4 Betoniselle viemäriverkolle haitallisten aineiden raja-arvoja Suomen suurimmissa kunnissa (Petrov ym. 2017, 107)

<b>Ominaisuus</b>	<b>Tiivistemateriaali</b>		
	<b>SBR</b>	<b>EPDM</b>	<b>NBR</b>
<b>Kovuus</b>			
• kovuusalue	38...65 <sup>0</sup>	38...70 <sup>0</sup>	45...50 <sup>0</sup>
• mahdollinen kovuusalue	30...80 <sup>0</sup>	30...80 <sup>0</sup>	30...60 <sup>0</sup>
<b>Mekaaniset ominaisuudet</b>			
• vetolujuus	+++	++(+)	+++
• murtovenymä	+++	+++	++
• iskukimmoisuus	+++	+++	++
• repäisylujuus	++	++	++
• kulutuskestävyys	+++	++(+)	+++
• puristuspainuma	++	++	++
<b>Kestävyys</b>			
• ikääntyminen	++	++++	++
• sää	+(+)	++++	+
• otsoni	+(+)	++++	+
• bensiini	-	-	++++
• öljy	-	-	++++
• hapot	++	++++	+
• lipeä	++	+++	++
• ph-arvo	2...12	2...12	2...12
• Terminen käyttäytyminen			
• joustavuus kylmässä	++	+++	++
• lämpötila, käyttöalue	-50...100 °C	-50...150 °C	-40...110 °C

++++ (erittäin hyvä), +++ (hyvä), ++ (tydyttävä), + (välttävä), - (ei sovellu)

Taulukko 5 Betoniputkien tiivistemateriaalien välisiä eroja (Petrow ym. 2017, 121)

<b>Sisähalkaisija DN (mm)</b>	<b>Betonirengas, raudoitettu, Br-luokka</b>		<b>Betonirengas, raudoitettu, Cr-luokka<sup>2)</sup></b>	
	Hyväksymisraja- kuorma <sup>1)</sup> F <sub>cd,30</sub>	(romahdus)murto- lujuus <sup>1)</sup> F <sub>u</sub>	Hyväksymisraja- kuorma <sup>1)</sup> F <sub>cd,30</sub>	(romahdus)murto- lujuus <sup>1)</sup> F <sub>u</sub>
<b>CE-merkityt tuotteet</b>				
600	25	14	36	54
800	23	12	33	48
1000	21	11	31	44
1200	20	11	30	41
<b>FI-merkityt tuotteet</b>				
1500	19	10	28	37
1600	17	9	26	34
2000	16	9	25	30
2500	14	7	24	26
3000	13	7	22	22

<sup>1)</sup> Hyväksymisraja-kuorma F<sub>cd,30</sub> ja (romahdus)murtolujuus F<sub>u</sub> ilmoitetaan SFS-EN 1917 mukaisesti siten, että kuorma pituusyksikköä kohti (kN/m) jaetaan renkaan sisähalkaisijalla (m).

<sup>2)</sup> Liikennealueilla vaaditaan renkaita luokka Cr.

Taulukko 6 Betonirenkaiden lujuusvaatimukset (Petrow ym. 2017, 89)

Putkiluokka	Alkutäyttö			
	Tiivistetty		Ei tiivistetty	
	Maksimi, m	Minimi, m	Maksimi, m	Minimi, m
B	5,00	0,60	4,00	1,00
Br	8,00	0,40	5,00	0,60
Dr	13,00	0,20	7,50	0,40

Taulukko 7 Betoniputkien peitesyvyydet (RIL ry 2010b, 105)

Alueen käyttötarkoitus	Peitesyvyys putken laesta (m) Alkutäyttömateriaali tiivistetty Hk, Sr, M	Jäykkyydsuokka
Kevyen liikenteen väylät ja vastaavat pihat	0,8...6,0 > 6	SN 4 SN 8
Kadut ja vastaavat, yleiset paikoitusalueet, tavara-liikenteen kentät	1,0...6,0 > 6	SN 8 SN 16 tai vastaava paineputki

Taulukko 8 Kestomuovisten viettoviemäriputkien jäykkyydsuokat (RIL ry 2010b, 103)

#### Kemiallinen kestävyys

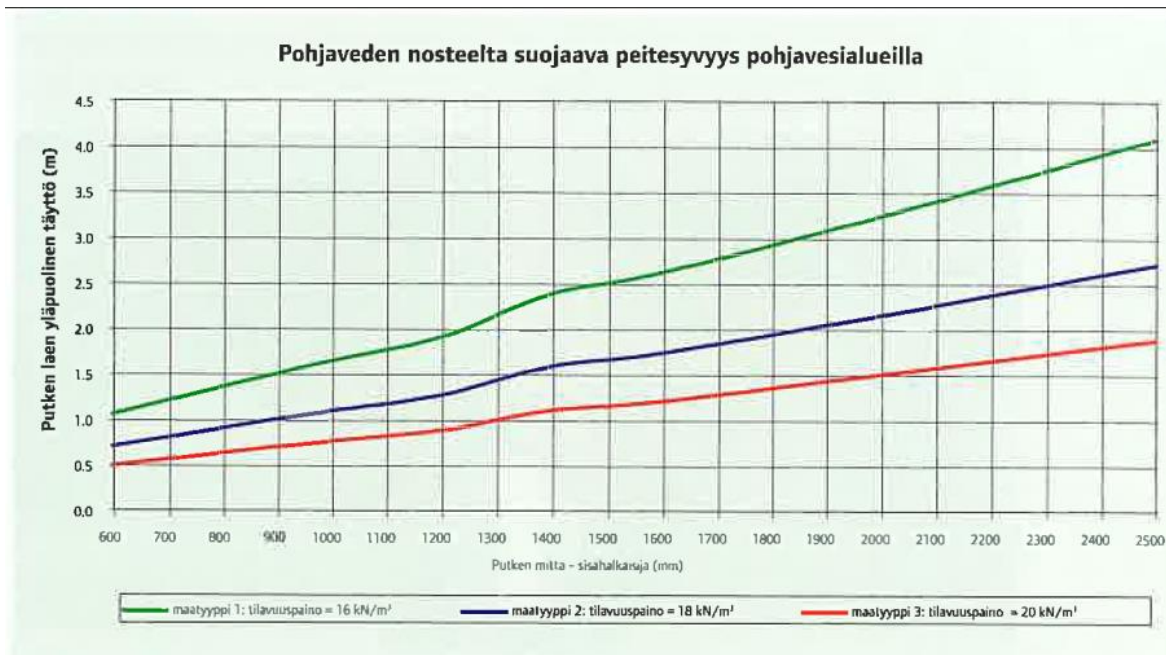
	Laimet hapot		Vahvat hapot		Laimet emäkset		Vahvat emäkset		Bensiini		Öljy		Asetoni		Sokeriliuos	
	20 °C	60 °C	20 °C	60 °C	20 °C	60 °C	20 °C	60 °C	20 °C	60 °C	20 °C	60 °C	20 °C	60 °C	20 °C	60 °C
<b>Putket</b>																
PVC	++	+	++	+	++	++	++	+	++	++	++	++	-	-	++	++
PP	++	++	++	+	++	++	++	++	++	-	++	++	++	++	++	++
PE	++	++	++	+	++	++	++	++	++	+	++	+	++	++	++	++
<b>Tiivisteet</b>																
NBR	++	+	+	-	++	++	++	++	++	+	++	+	-	-	++	++
SBR	++	+	+	-	++	++	++	+	-	-	-	-	-	-	++	++
TPE	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-	++	-	+	+	++	++
EPDM	++	+	+	-	++	++	++	+	-	-	-	-	++	-	++	++

++ = Kestää

+ = Kestää rajoitetusti

- = Ei kestä

Taulukko 9 Muoviputkien ja tiivisteiden kemiallinen kestävyys (Uponor Suomi Oy 2009, 24)



Kuvio 1 Pohjaveden nosteelta suojaava peitesyvyys muoviputkilla eri maalajien tilavuuspainoilla (Uponor Suomi Oy 2009, 107)

#### Lähteet

Petrow, S., Heikkinen, M., Forsman, J. & Pirinen, M. 2017. Betoniset viemäri- ja hulevesijärjestelmät -suunnittelu ja toteutus. Betoniteollisuus ry. Viitattu 11.7.2022. Saatavissa [https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/04/Betoniset\\_viemari\\_ja\\_hulevesijarjestelmat.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/04/Betoniset_viemari_ja_hulevesijarjestelmat.pdf)

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2010b. RIL 237-2-2010 Vesihuoltoverkkojen suunnittelu -mitoitus ja suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Uponor Suomi Oy. 2009. Uponor-yhdyskuntatekniikan käsikirja.

# Liite 3 Valokuvia eri ikäisistä reunakivistä Lappeenrannassa

Nro	Katutyyppi	vuosi	Nro	Katutyyppi	vuosi
01	Keskustakatu	2011	14	Tonttikatu	1974
01.1	Keskustakatu	2005	15	Tonttikatu	1974
02	Tonttikatu	2007	16	Tonttikatu	2017
03	Tonttikatu	2002	17	Tonttikatu	1990
04	Kävelykatu	1978	18	Tonttikatu	2010
05	Kokoojakatu	1979	19	Kokoojakatu	2007
06	Tonttikatu	1995	20	Tonttikatu	2007
07	Tonttikatu	1981	21	Tonttikatu	1974
08	Tonttikatu	2002	22	Tonttikatu	1988
09	Keskustakatu	1996	23	Tonttikatu	2009
10	Kokoojakatu	1970	24	Tonttikatu	1991
11	Kokoojakatu	1984	25	Tonttikatu	1991
12	Tonttikatu	1989	26	Tonttikatu	1990
13	Tonttikatu	1983	27	Tonttikatu	1979

# Upotetut betoniset reunatuet



# Upotetut betoniset reunatuet



# Upotetut betoniset reunatuet



# Upotetut betoniset reunatuet



# Upotetut betoniset reunatuet



# Upotetut betoniset reunatuet



# Upotetut betoniset reunatuet



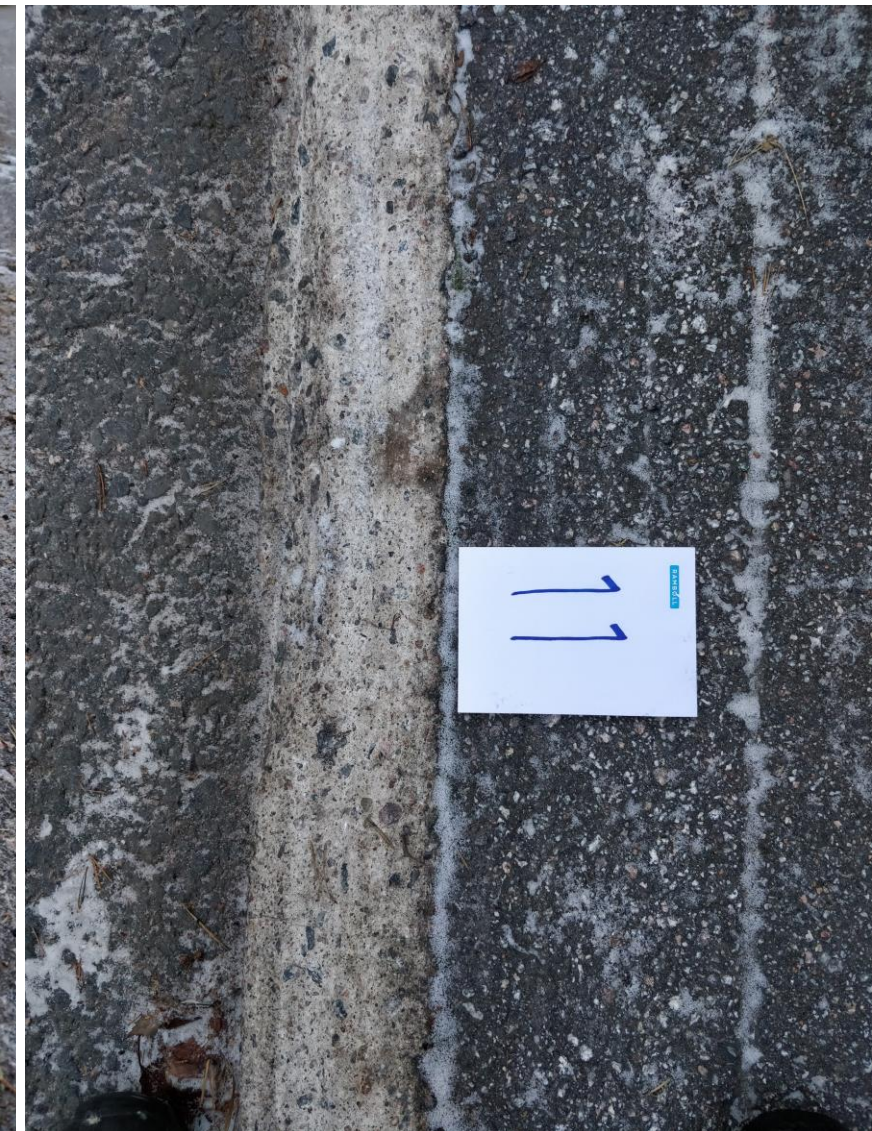
# Upotetut betoniset reunatuet



# Upotetut betoniset reunatuet



# Upotetut betoniset reunatuet



# Upotetut betoniset reunatuet



# Upotetut betoniset reunatuet



# Liukuvaletut betoniset reunatuet



# Liukuvaletut betoniset reunatuet



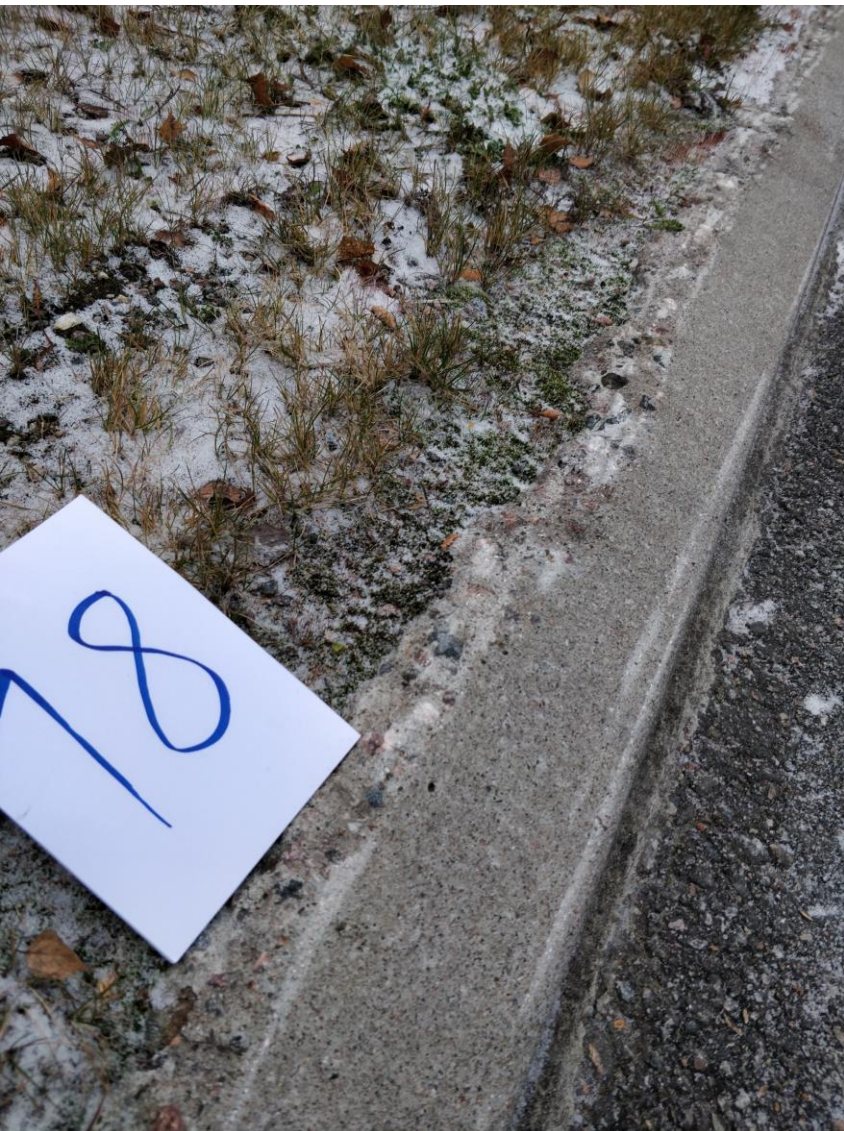
# Liukuvaletut betoniset reunatuet



# Liukuvaletut betoniset reunatuet



# Liukuvaletut betoniset reunatuet



# Liukuvaletut betoniset reunatuet



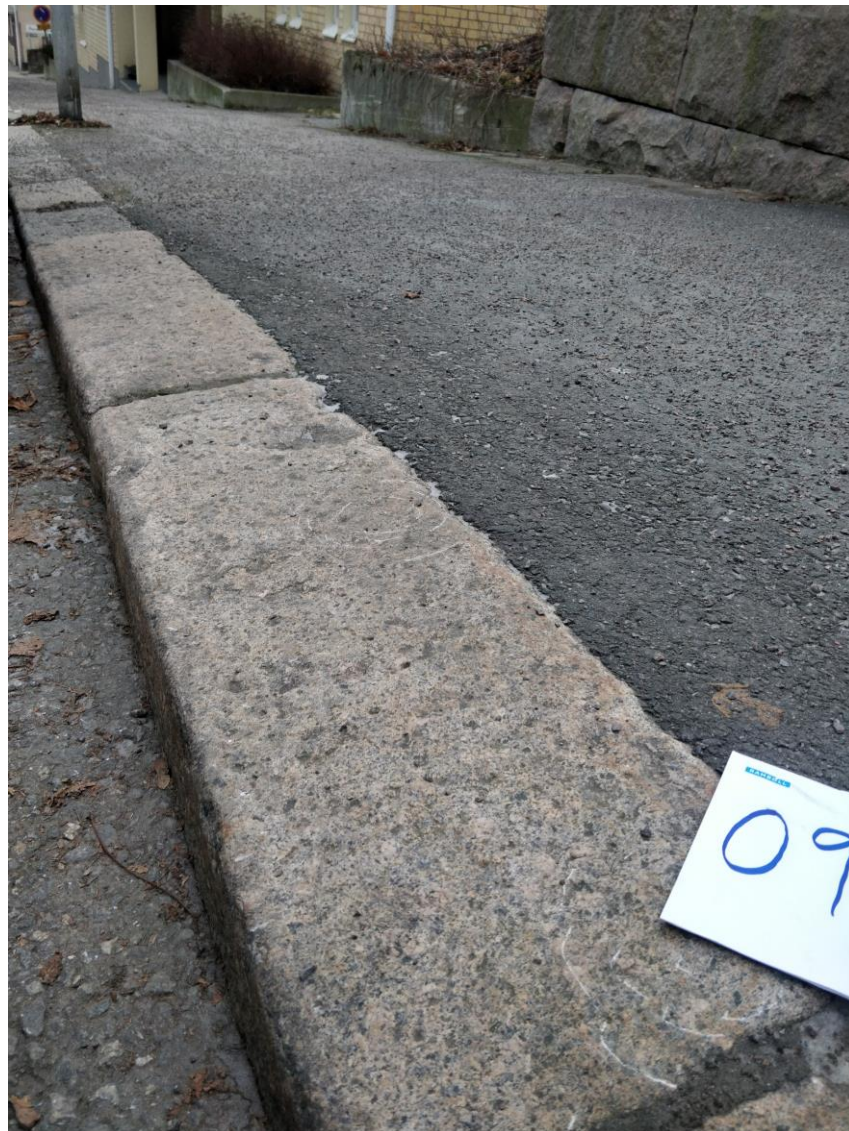
# Liukuvaletut betoniset reunatuet



# Graniitti reunatuet



# Graniitti reunatuet



# Graniitti reunatuet



# Graniitti reunatuet



# Liimatut betoniset reunatuet



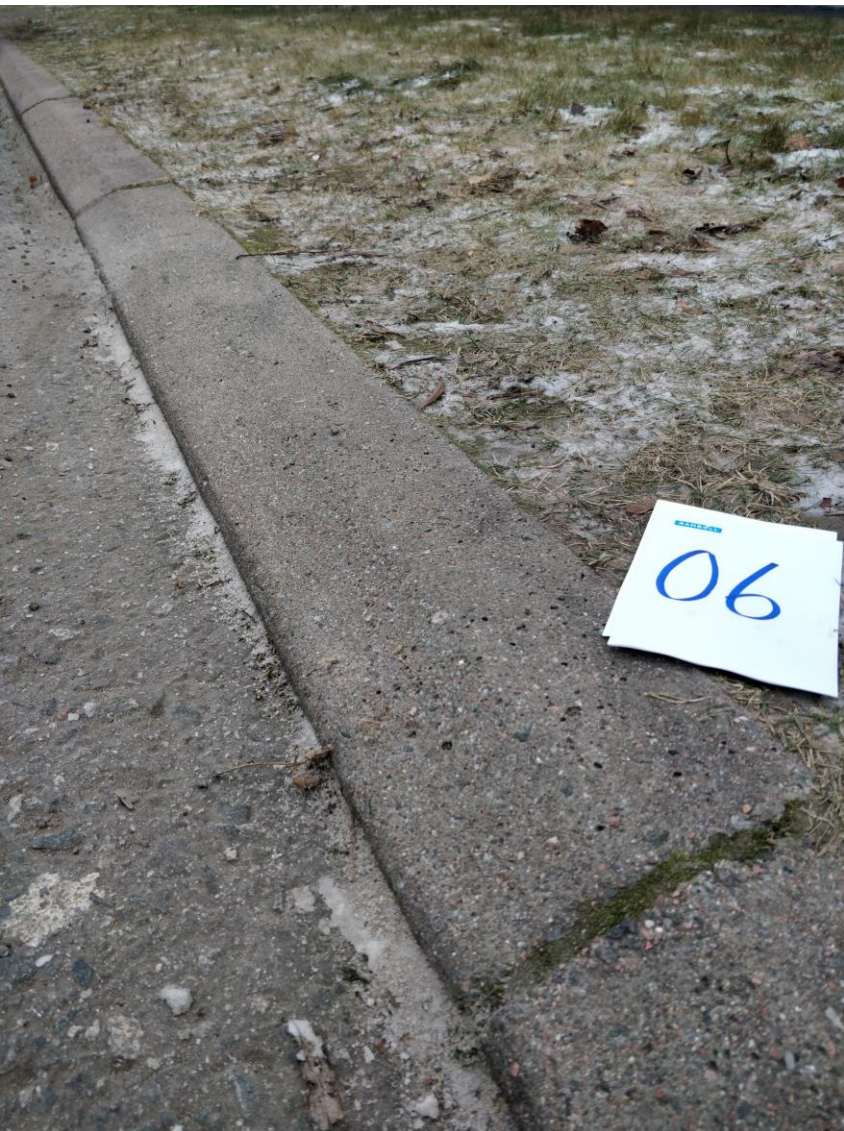
# Liimatut betoniset reunatuet



# Liimatut betoniset reunatuet



# Liimatut betoniset reunatuet



## Liite 4. Katupuiden tilavaatimukset

### MITTATAULUKKO *(yhteenveto kirjassa esitetyistä mitoitusohjeista):*

#### KATUPUIDEN ELINTILA MAAN PÄÄLLÄ:

Katupuun ja rakennuksen julkisivun välinen etäisyys	Etäisyys vähintään (m)
Leveälatsuksinen puulaji .....	6,0
Pienilatsuksinen puulaji .....	4,0
Pylväsmuotoinen puulaji .....	3,0 – 4,0

Katupuiden väliset keskinäiset etäisyydet	Etäisyys (m)
Suurikasvuiset puulajit .....	8,0 – 14,0 (yl. 10,0)
Keskikokoiset puulajit .....	6,0 – 12,0 (yl. 7,0)
Pienikasvuiset puulajit .....	5,0 – 8,0 (yl. 5,0)
Pylväsmuotoiset puulajit .....	> 3,0

Esteetön alue	Etäisyys (m)
Reunakiven ja rungon keskikohdan välinen etäisyys .....	1,5
Raitiovaunun ja rungon keskikohdan välinen etäisyys .....	6,0

Vapaa korkeus (ajoneuvoasetus No: 1257/92)	Etäisyys vähintään (m)
Ajoradan yläpuolella .....	4,8
Jalankulku- ja pyöriteiden yläpuolella .....	3,0
Raitiovaunun virroitteeseen .....	6,5

Katupuiden elintila maan alla:	Tilavuus vähintään (m <sup>3</sup> )
Kasvualusta muun kasvillisuuden yhteydessä, ei kantava .....	7,2
Katupuun kantavan kasvialustan laajuus	
Suurikasvuiselle puulajille .....	25,0
Pienikasvuiselle puulajille .....	15,0

Kasvialustakaistan mitoitukset	Mitoitukset (m)
Kasvialustakaistan leveys vähintään .....	3,0
Kasvialustakaistan syvyys .....	1,0 – 1,1

Katupuiden ja kunnallisteknisten verkostojen väliset etäisyydet:	Etäisyys vähintään (m)
Etäisyys mitattuna kaivannon reunaan	
Sähkökaapelit .....	2,5
Puhelinkaapelit .....	2,5
Jätevesiviemärit .....	2,5
Kaasu- ja vesijohdot .....	2,5
Kaukolämpöjohdot .....	2,5
Maakaasujohdot .....	2,0 – 10,0

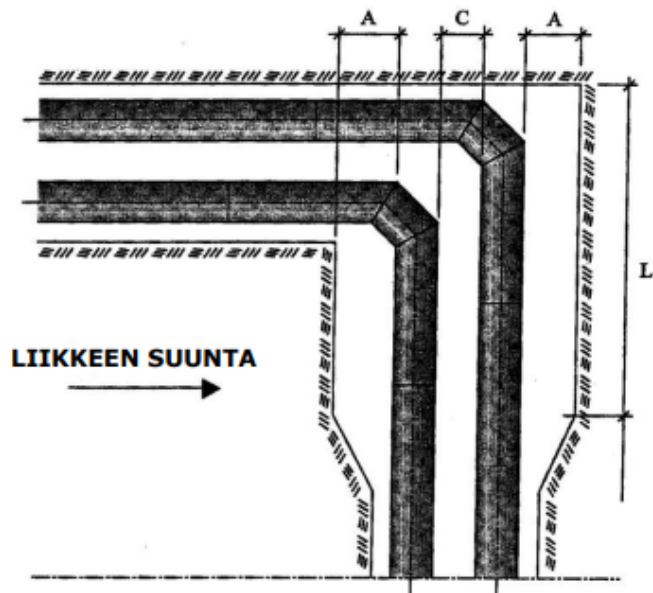
Katualueiden pensasryhmien suunnittelu:	Mitta (m) tai suhde
Pensasryhmien mitoitukset	
Istutettavan kaistan leveys .....	3,0
Ajoradan ja pensasrivin välinen etäisyys .....	0,7
Pysäköintialueilla pensasrivin ja ruenatuen välinen etäisyys .....	1,0
Luisikan kaltevuus .....	1 : 2,5

Katualueiden nurmikoiden suunnittelu:	Mitta (m) tai suhde
Nurmikkoalueiden mitoitukset	
Nurmikkokaistaleen leveys .....	1,5 (yl. 2,0)
Nurmikkokaistaleen leveys (pylväitä tmv. esteitä) .....	3,0
Luisikan kaltevuus .....	1 : 3
Luisikan yläreunan pyörityssäde .....	5,0
Nurmikkoalueiden katupuiden keskinäinen etäisyys .....	2,5

Lähde: Junttila, U., Koivistoinen, M., Waris, J., Häkkinen, I. & Kauppinen, M. 2011. Katuympäristön suunnitteluopas. Päivitetty painos. Tampere: Suomen Kuntatekniikan Yhdistys. s. 170

Liite 5. Kaukolämpökaivannon mitat

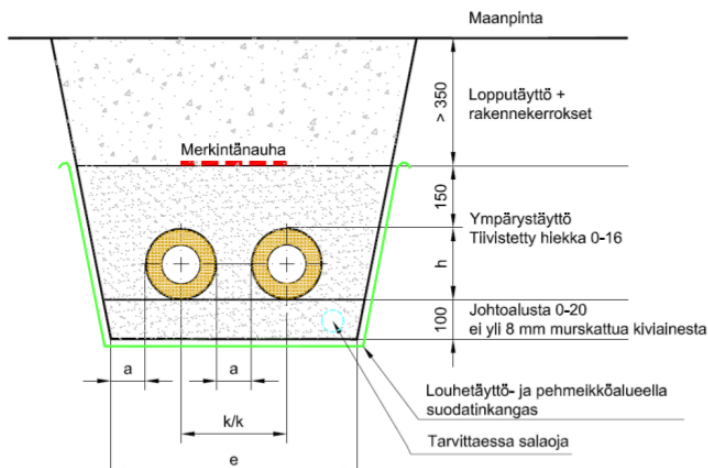
**KAIVANNON MITAT PAISUNTAKULMISSA**



PE-putki D (mm)	Kaivuleveys kulmakohdassa		Levitetyn osan pituus L (m)
	Leveys A (mm)	Leveys C (mm)	
125	250	150	1,3
140	300	150	1,4
160	300	150	1,6
180	350	150	1,8
200	400	200	2,0
250	500	200	2,5
280	550	200	2,8
315	650	200	3,2
400	800	200	4,0
450	900	200	4,5
500	1000	200	5,0
630	1250	200	6,3
710	1400	200	7,1
800	1600	200	8,0
1000	2000	200	10,0

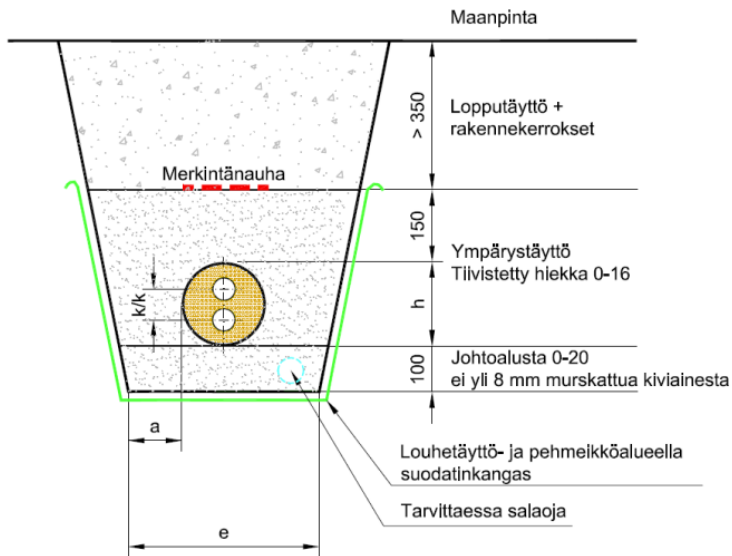
Taulukko 1 Kaukolämpökaivannon mitat paisuntakulmissa (Energiateollisuus ry 2013, 44)

## 2MPUK-JOHTO. TYYPPIPIIRUSTUS. KANAVAN POIKKILEIKKAUS



Kuva 1 2MpuK-kanavan tyypipiirustus (Energiateollisuus ry 2013, 45)

## MPUK-JOHTO. TYYPPIPIIRUSTUS. KANAVAN POIKKILEIKKAUS

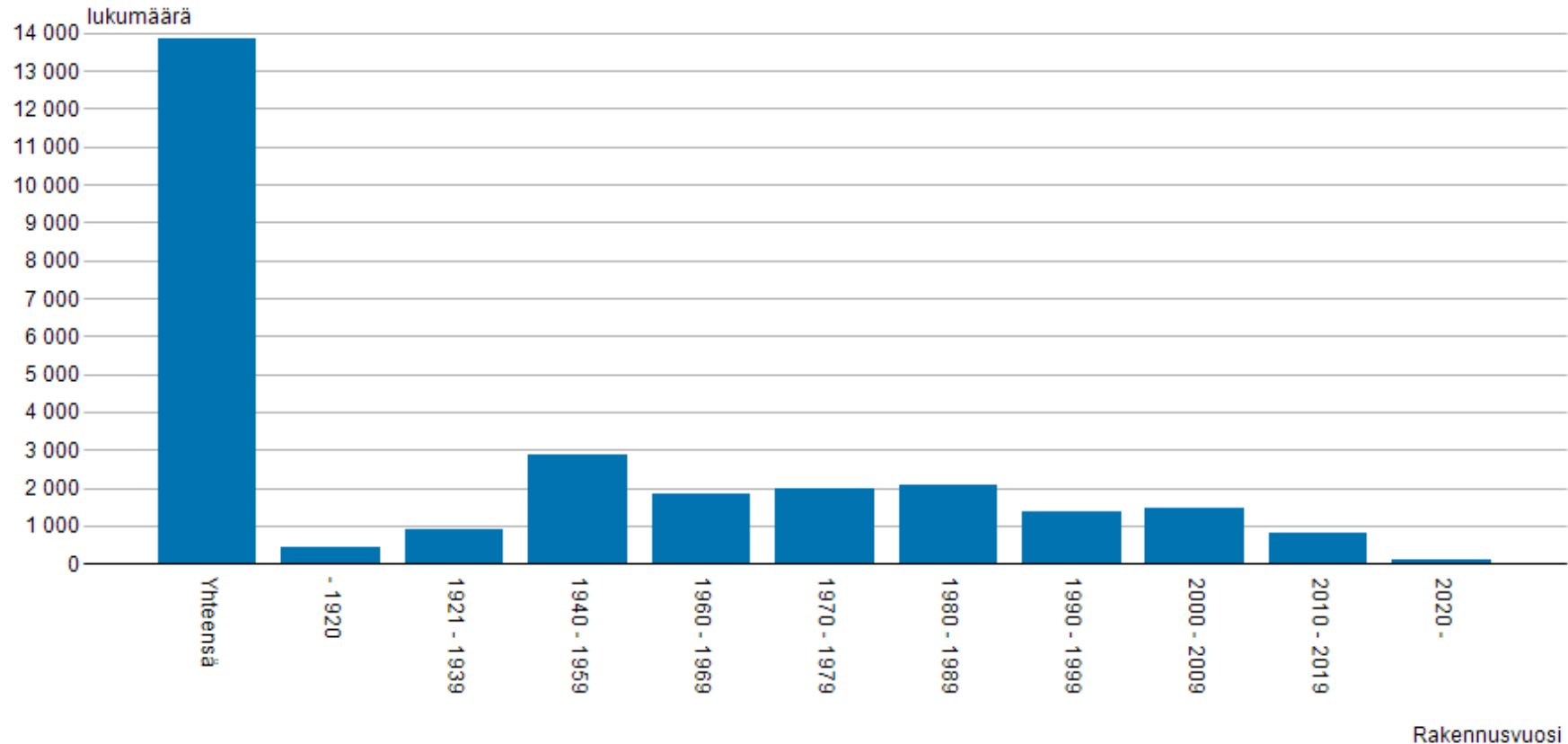


Kuva 2 MpuK-kanavan tyypipiirustus (Energiateollisuus ry 2013, 46)

Lähde

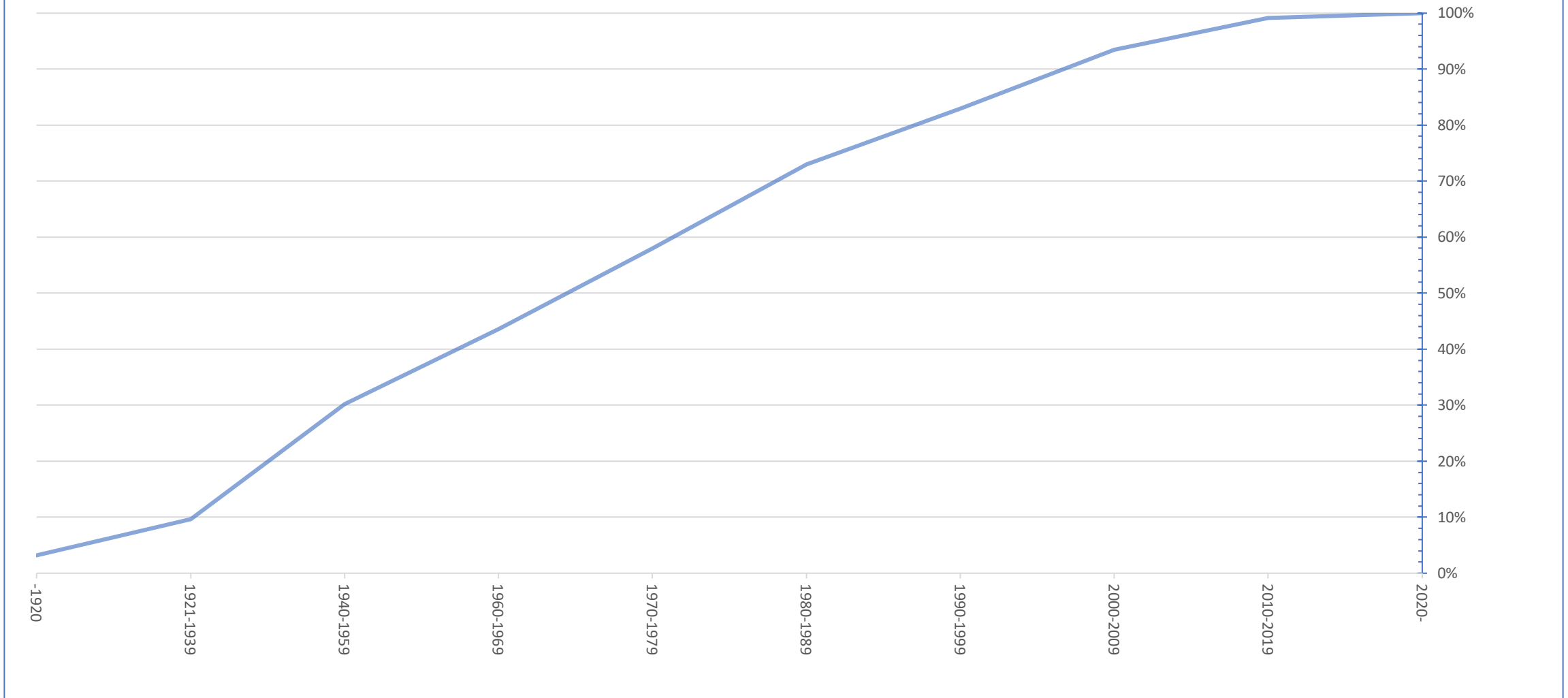
Energiateollisuus ry. 2013. Kaukolämpöjohtojen suunnittelu- ja rakennusohjeet. Suositus L11/2013. Viitattu 1.11.2022. Saatavissa [https://energia.fi/files/2353/SuositusL11\\_2013\\_Kl-johtojen\\_suunnittelu-\\_ja\\_rakentamisohjeet\\_paivitetty\\_20180130.pdf](https://energia.fi/files/2353/SuositusL11_2013_Kl-johtojen_suunnittelu-_ja_rakentamisohjeet_paivitetty_20180130.pdf)

# Vakinaisesti asuttujen omakotitalojen ja paritaloasuntojen lukumäärä Lappeenrannassa rakennusvuoden mukaan (Tilastokeskus 2021)

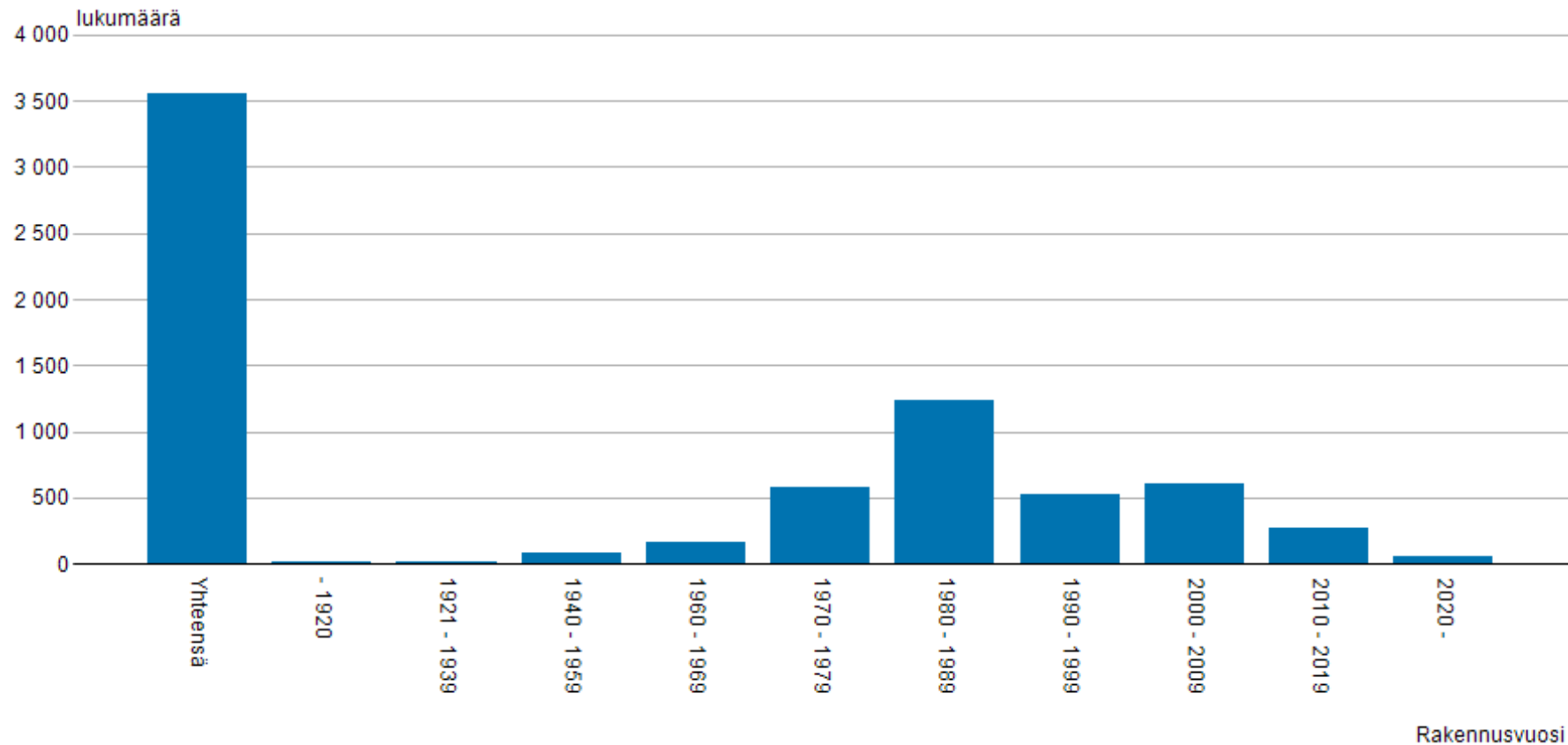


# Liite 6

Vakinaisesti asuttujen omakotitalojen ja paritaloasuntojen Lappeenrannassa rakennusvuoden mukaan

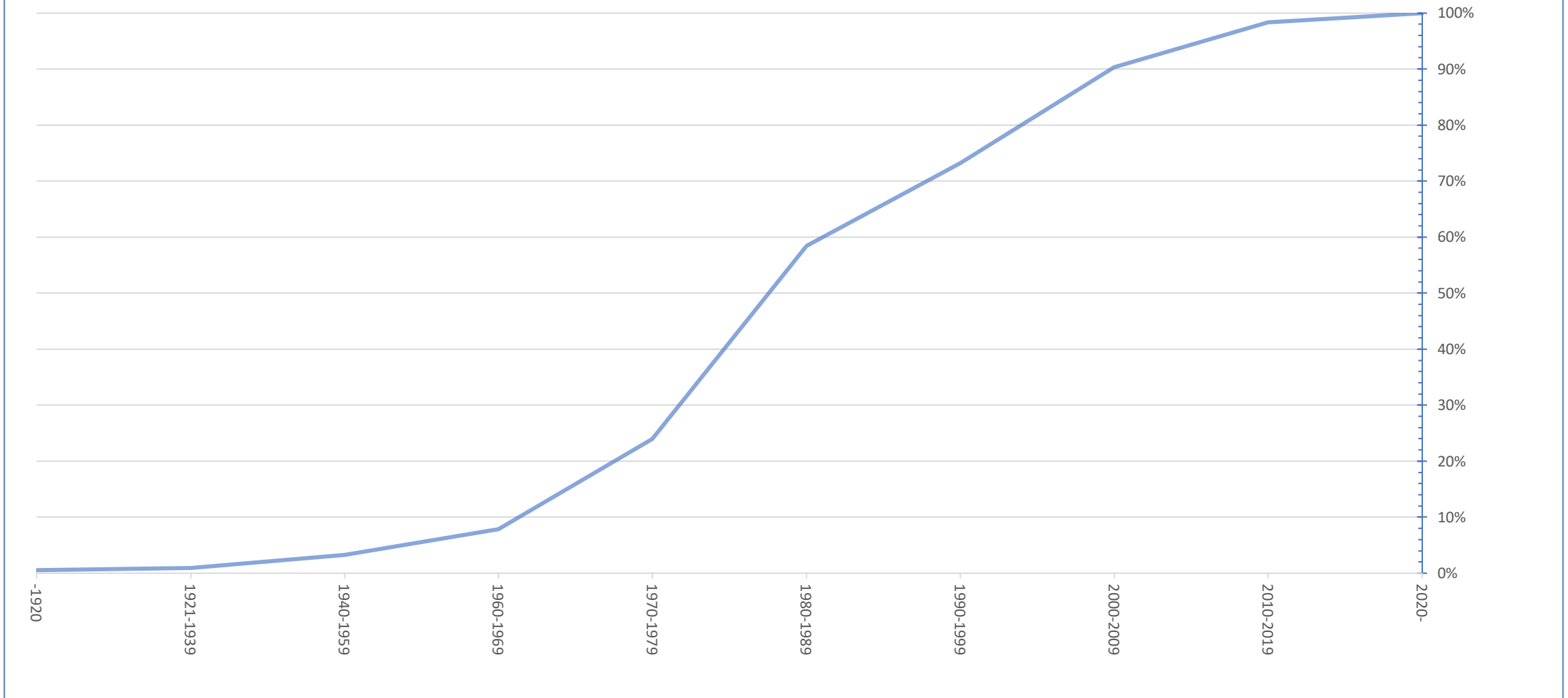


# Vakinaisesti asuttujen rivitaloasuntojen lukumäärä Lappeenrannassa rakennusvuoden mukaan (Tilastokeskus 2021)

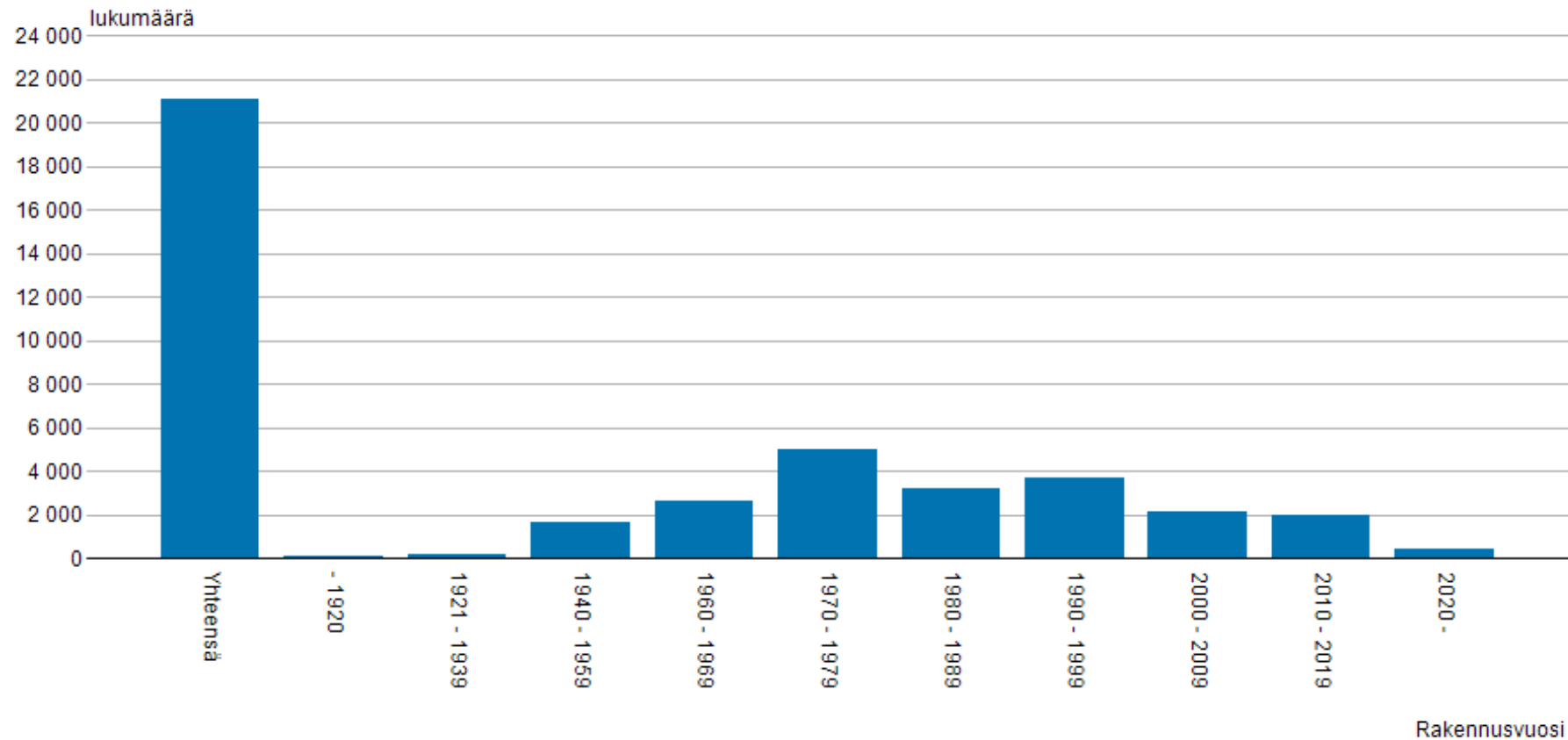


# Liite 6

Vakinaisesti asuttujen rivitaloasuntojen lukumäärä Lappeenrannassa rakennusvuoden mukaan

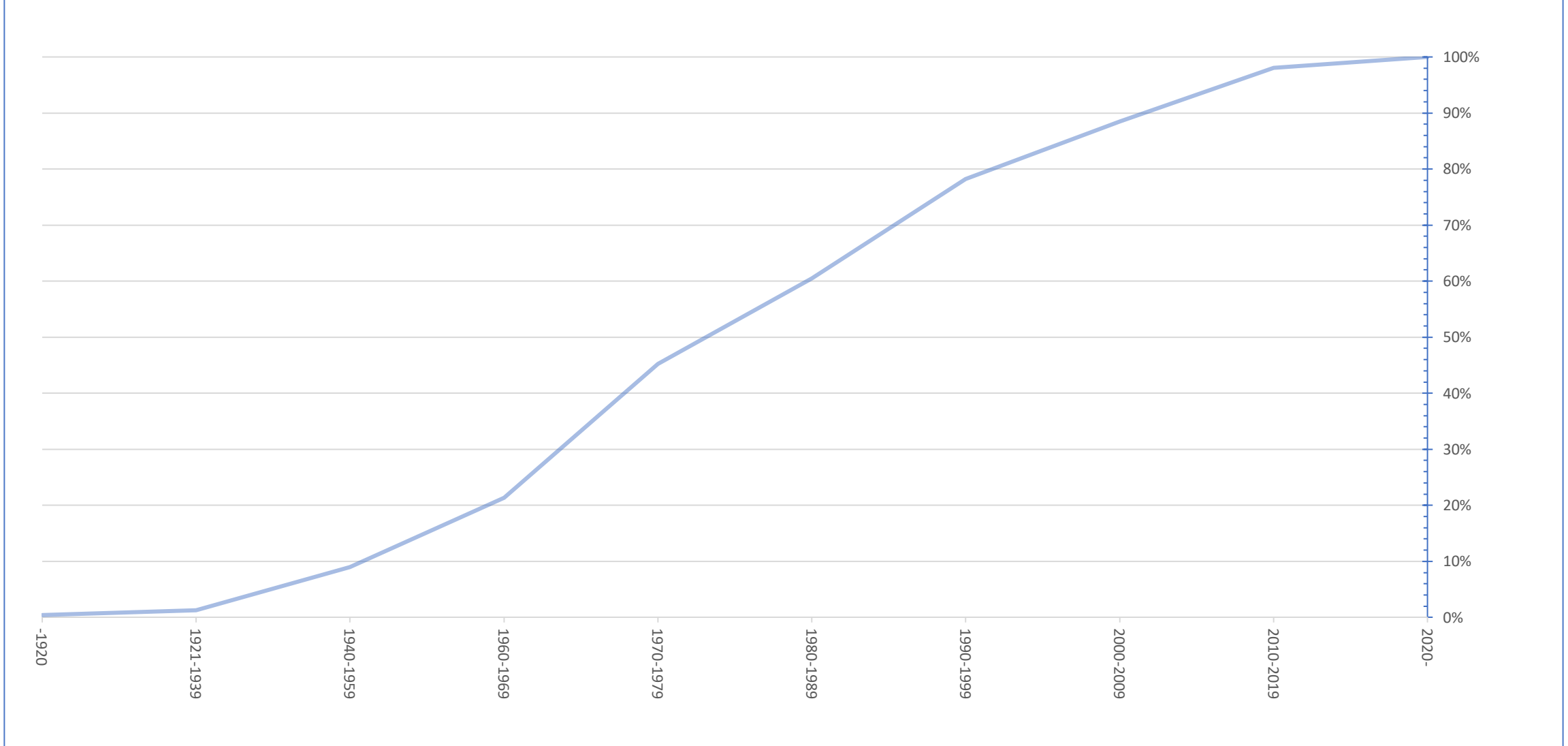


# Vakinaisesti asuttujen kerrostaloasuntojen lukumäärä Lappeenrannassa rakennusvuoden mukaan (Tilastokeskus 2021)



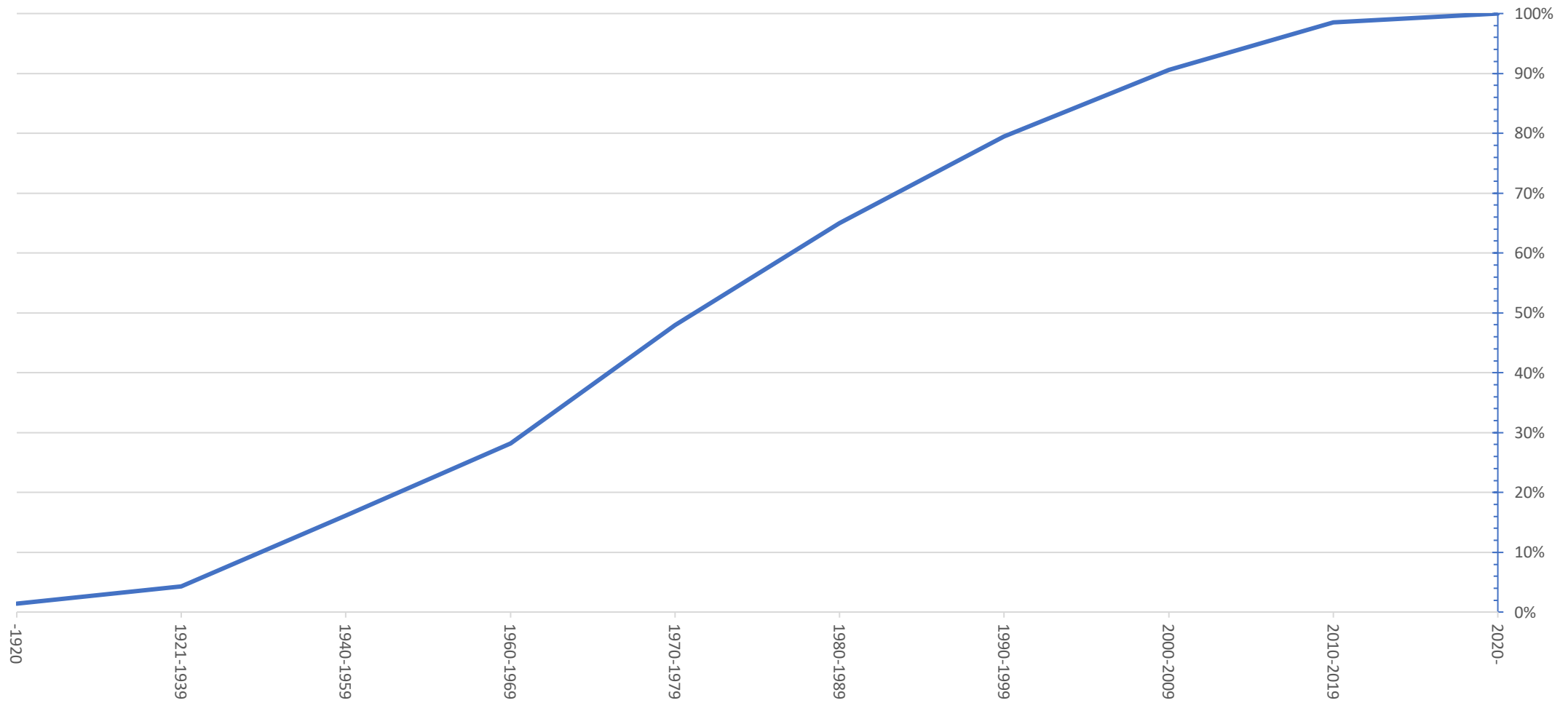
# Liite 6

Vakinaisesti asuttujen kerrostaloasuntojen lukumäärä Lappeenrannassa rakennusvuoden mukaan



# Liite 6

Vakinaisesti asutut asunnot Lappeenrannassa rakennusvuoden mukaan



## Lähde

Tilastokeskus. 2021. Asunnot talotyyppin, käytössäolon ja rakennusvuoden mukaan.

Tilasto. Viitattu 13.11.2022. Saatavissa

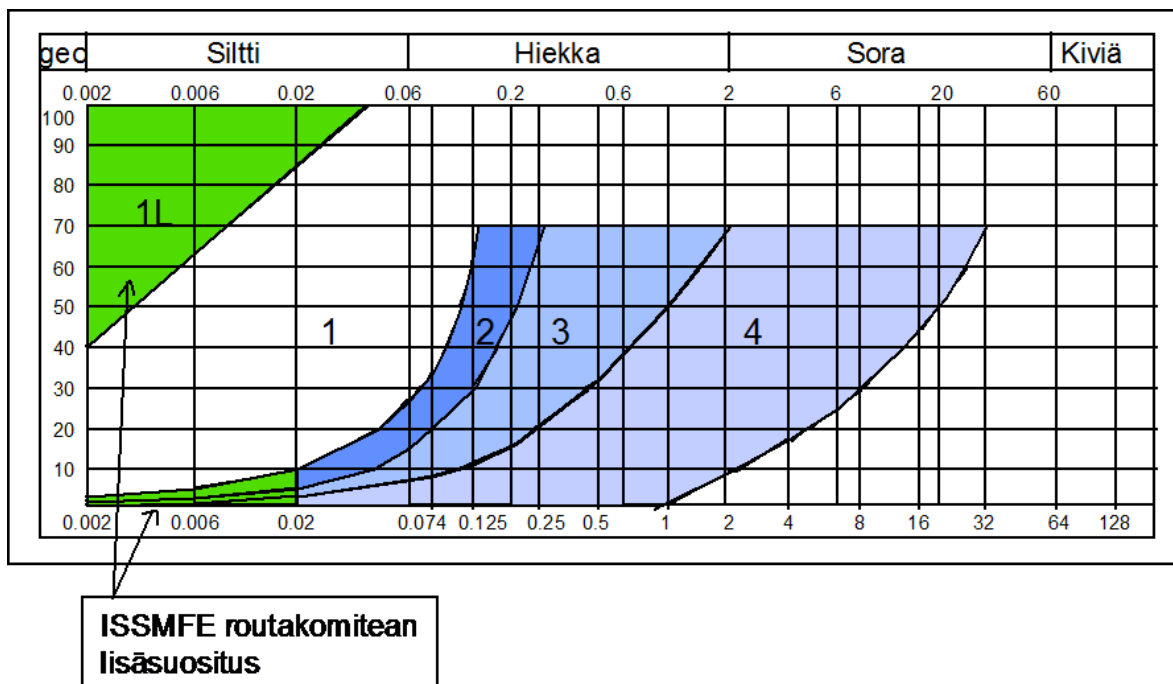
[https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_asas/statfin\\_asas\\_pxt\\_116f.px/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_asas/statfin_asas_pxt_116f.px/)

Liite 7 Taulukoita päällysrakenteen suunnitteluun

Selvitettävä asia	Rakennukset			Putkijohtolinjat			Piha- ja liikennealue		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Maalajit	●	●	●	●	●	●	●	○	○
Kerrosrajat	●	●	●	●	○	○	◎	○	
Humus/turvekerr. paksuus	●	●	●	●	○	○	●	●	●
Kuivakuorikerr. paksuus	●			●			●		
Pohjavedenpinta	●	●	◎	●	●		○	◎	
Maakerrosten tiivys	●	●	●	●	○	○	○	○	○
Maakerr. kokoonpurist.om.	●	◎	◎	●			◎		
Maakerroksen lujuusomin.	●	●	◎	●			◎		
Maakerr. routivuus	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Maakerr. vedenläpäisevyys	◎	◎	◎	◎	◎			◎	
Kallionpinnan sijainti	◎	◎	●	◎		●			◎
Kallion laatu	◎	◎	◎						

I Hienorakeisten ja eloperäisten maakerrosten alue (savi, siltti, lieju, turve)  
 II Karkearakeisten maakerrosten alue (hiekkä, sora, moreeni)  
 III Kallioinen alue, kallion pinta lähellä perustamissyvyyttä  
 ● Selvitys aina  
 ○ Selvitys joskus tarpeen  
 ◎ Likimääräinen selvitys

Taulukko 1 Pohjatutkimuksilla selvitettävät asiat rakenteen ja maaperän mukaan (SGY ry 1983, Forsman 2020 mukaan)



Kuvio 1 Routivuusluokituksen ohjekäyrät (Forsman 2020)

Katuluokka	Kuvaus	Liikennemäärä (ajon. / vrk)
1	Erittäin raskaasti liikennöity pääkatu (ajokaistoja 2+2)	> 30 000
2	Raskaasti liikennöity pääkatu (ajokaistoja 2+2)	10 ... 30 000
3	Pääkatu, kokooja- tai vilkasliikenteinen kerrostaloalueen asuntokatu (ajokaistoja 1+1)	2500 ... 10 000
4	Asuntokatu tai pientaloalueen kokoojakatu, raskaiden ajoneuvojen pysäköintialueet	500 ... 2 500
5	Pientaloalueen asuntokatu tai huoltoliikenteen väylät, henkilöautojen pysäköintialueet	10 ... 500
6	Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet; ei ajoneuvoliikennettä	

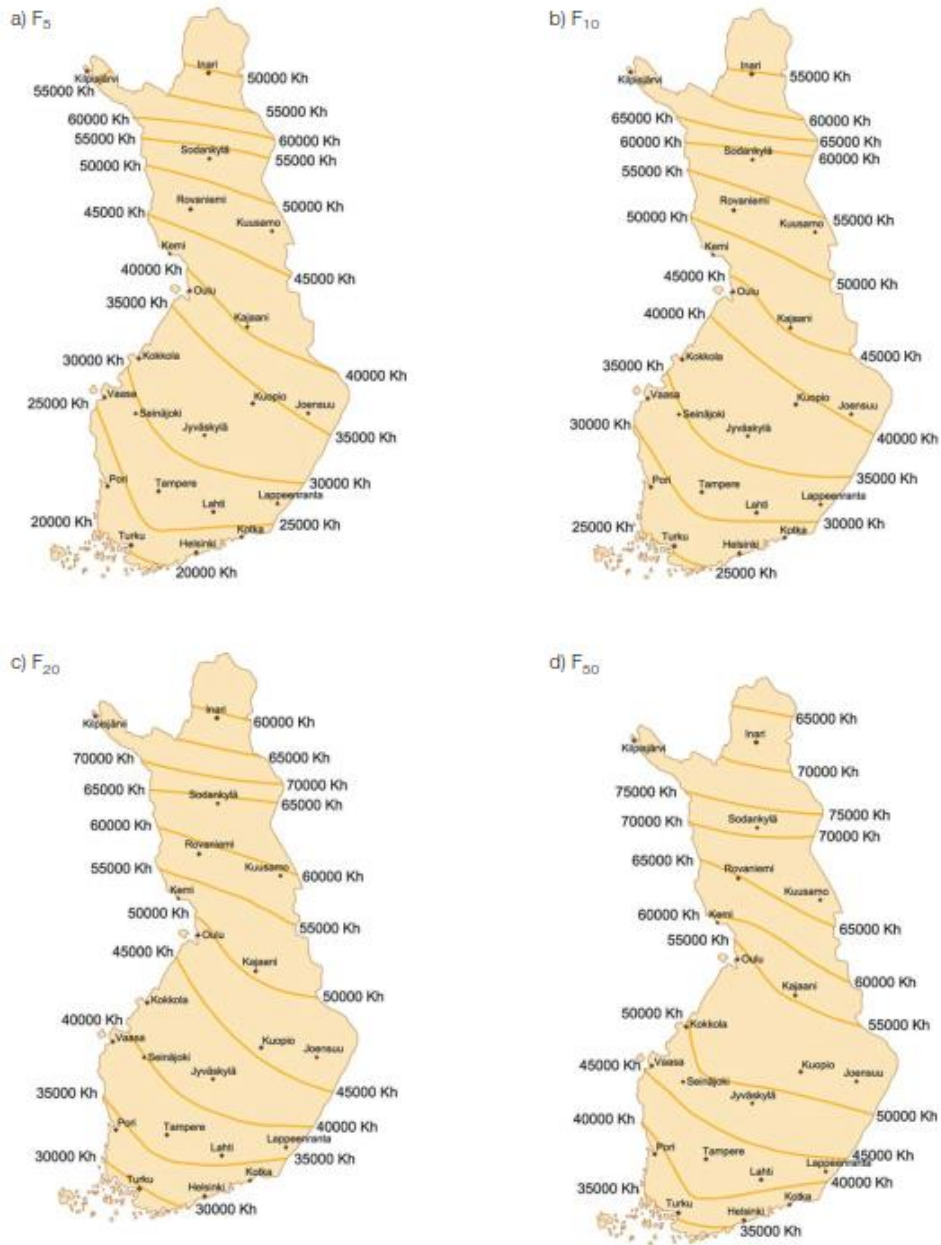
Taulukko 2 Katuluokitus liikennemäärien ja liikenneteknisen merkityksen mukaan (Sikiö 2020)

Routivuusluokka	Plastisuuskartta		*)		*)		Segregaatio- potentiaali SP <sub>0</sub> [mm <sup>2</sup> /Kh]	Routanousu- nopeus lab.kokeessa [mm/d]
	Maalaji USCS-luokitus	Plastisuus-luku, I <sub>p</sub> , Juoksuraja, W <sub>L</sub> [%]	Kapillaarinen nousukorkeus h <sub>c</sub> [m]	Juoksevuus-indeksi I <sub>L</sub> , W <sub>L</sub> , W <sub>F</sub> [%]	Hienoustekijä R <sub>f</sub> [%] £ 0,074 mm			
Routimaton (e <sub>r</sub> = 0 %)	<b>GW, GP</b> <b>SW, SP</b>	I <sub>p</sub> < 1	< 1	£ 0	ollessa £ 20 % < 2,5	< 0,5	< 0,5	
Lievästi routiva (e <sub>r</sub> =5 %)	<b>CH</b>	I <sub>p</sub> <sup>3</sup> 7; W <sub>L</sub> > 50	1,0 – 1,5	0 – 0,25	2,5 – 5	0,5 – 1,5	0,5 – 2	
Keskinkertaisesti routiva (e <sub>r</sub> = 10 %)	<b>CL</b> A-linjan yläpuolella <b>OH, MH</b> A-linjan alapuolella	I <sub>p</sub> <sup>3</sup> 7; W <sub>L</sub> = 35 – 50 I <sub>p</sub> <sup>3</sup> 7; W <sub>L</sub> > 50	1,5 – 2,0	0,25 – 0,5	5 – 10	1,5 – 3,0	2 – 4	
Erittäin routiva (e <sub>r</sub> = 20 %)	<b>CL</b> A-linjan yläpuolella	I <sub>p</sub> <sup>3</sup> 7; W <sub>L</sub> < 35	> 2,0	> 0,5	> 10	> 3,0	> 4	
	<b>ML</b> A-linjan alapuolella	I <sub>p</sub> £ 4; W <sub>L</sub> > 50						
	<b>OL</b> A-linjan alapuolella	I <sub>p</sub> <sup>3</sup> 7; W <sub>L</sub> = 35 – 50						

A-linjan yläpuoliset maalajit, joiden plastisuusluku I<sub>p</sub> on välillä 4-7, ovat rajatapauksia ja vaativat lisätutkimuksia

\*) Suurilla kapillaarisen nousukorkeuden (>10 m) ja hienoustekijän (>30) arvoilla maan routivuus lievenee pienen vedenläpäisevyyden vuoksi

Taulukko 3 Maalajien routivuuden määrittämissä kriteereitä (Forsman 2020)



Kuva 2.

a) kerran 5 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä  $F_5$ , Kh  
b) kerran 10 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä  $F_{10}$ , Kh

c) kerran 20 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä  $F_{20}$ , Kh  
d) kerran 50 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä  $F_{50}$ , Kh

Kohde	Mitoitusroutanousu, mm			Kaltevuuden muutos, %	
	Kerran 5 vuodessa	Kerran 10 vuodessa	Kerran 20 vuodessa	Sivu- kaltevuus	Pituus- kaltevuus
Pää- ja paikallisväylät					
- asfaltti	75	100	120	0,4	1,1
- raitiotie	50	65	75	0,3	1,0
Hidas- ja pihakadut					
- asfaltti	100	130	150	0,5	1,3
- sora	120	150	175	0,8	1,6
- kiveys	75	100	120	0,5	1,3
Torit					
- asfaltti	100	130	150	0,4	1,1
- kiveys	75	90	100	0,3	1,0

Taulukko 4 Mitoitusroutanousu eri päällysteillä (RIL ry 2013, 164)

Katuluokka	Katurakenteelta vaadittava kantavuus	Päällystepaksuus (asfalttipäällyste)	Vähimmäiskantavuus päällysteen alapuolelta
Katuluokka 1	500 MN/m <sup>2</sup>	160-220 mm	154 MN/m <sup>2</sup>
Katuluokka 2	420 MN/m <sup>2</sup>	140-190 mm	142 MN/m <sup>2</sup>
Katuluokka 3	350 MN/m <sup>2</sup>	90-160 mm	137 MN/m <sup>2</sup>
Katuluokka 4	250 MN/m <sup>2</sup>	50-90 mm	145 MN/m <sup>2</sup>
Katuluokka 5	200 MN/m <sup>2</sup>	50-90 mm	111 MN/m <sup>2</sup>
Katuluokka 6	175 MN/m <sup>2</sup>	30-40 mm	145 MN/m <sup>2</sup>

Taulukko 5 Vaaditut kantavuusarvot (Sikiö 2020)

Läpäisy- % pesuseulonnassa			Kelpoisuus- luokka	Moduuli E (MPa) Alusrakenneluokka Routaturpoama t (%)		Informatiivisia tietoja	
0,063 mm	2 mm	Kuiva		Märkä	Soveltuvuus 1)	Kuvaus	
				E = 280 <b>A</b>	t = 0	Louhe- rakenne	Irtilouhittu kallio tai louhe
				E = 200 <b>B</b>	t = 0	Kantava Jakava	Murske- tai soratäyttöalue
	< 7	< 70	S1	E = 100 <b>C</b>	t = 0	Jakava	Sr, srHk (SrMr, srHkMr)
2)	7-15	< 70	S2	E = 70 <b>D</b> t = 0	E = 50 <b>E</b> t = 3	Penger kuivana	SrMr, srHkMr
	16-30	< 70	S3	E = 50 <b>E</b> t = 3	E = 35 <b>F</b> t = 6	Penger kuivana	SrMr, srHkMr
	31-50	< 70	S4	E = 35 <b>F</b> t = 6	E = 20 <b>H</b> t = 12	Penger kuivana	siSrMr, sisrHkMr
	< 7	> 70	H1	E = 70 <b>D</b>	t = 0	Suodatin	Hk, (HkMr)
	7-15	> 70	H2	E = 50 <b>E</b>	t = 3	Suodatin Penger kuiv.	Hk, HkMr
	16-30	> 70	H3	E = 35 <b>F</b> t = 6	E = 20 <b>H</b> t = 12	Penger kuivana	Hk, HkMr
	31-50	> 70	H4	E = 35 <b>F</b> t = 6	E = 20 <b>H</b> t = 12	Penger kuivana	siHk, siHkMr
<b>0,002 mm</b>	<b>0,063 mm</b>	<b>Leikkaus- lujuus</b>					
< 30	≥ 50		U1	E = 20 <b>H</b> t = 12	E = 20 <b>J</b> t = 16		Si, SiMr, 3) kerrallinen Sa/Si
≥ 30	≥ 50	≥ 40 kPa	U2		E = 35 <b>F</b> t = 6		Jäykkä Sa
≥ 30	≥ 50	< 40 kPa	U3		E = 10 <b>G</b> t = 6		Pehmeä Sa
			U4		E = 10 <b>G</b> t = 6		Lj

- 1) Kuvaa mahdollista soveltuvuutta. Soveltuvuus päällysrakenteeseen on varmistettava tarkemmillä tutkimuksilla. Kerrosmateriaalien rakeisuuden laatuvaatimukset on esitetty tarkemmin **InfraRYL**:ssä.
- 2) Kuuluu luokkaan s1, jos läpäisyprosentti 0,02 mm kohdalla on alle 3
- 3) Kerrallinen savi/siltti (Sa/Si) on maata, jossa saven joukossa on ainakin paikoin silttikerroksia tai sitäkin karkeampia (vettä johtavia) kerroksia
- 4) Läpäisyprosentit pyöristetään lähimpään kokonaislukuun

Taulukko 6 Alusrakenneluokat ja niiden E-moduulit (Liikennevirasto 2018, 21)

## Lähteet

Forsman, J. 2020. Pohjarakennussuunnittelu. SKTY. Katu2020. Viitattu 19.12.2022. Saatavissa <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/pohjarakennussuunnittelu/>

Kivikoski, H. & Saarelainen, S. 2009. Katujen ja pihojen routasuojaus EPS-routaeristeillä. Muoviteollisuus ry -EPS-rakennuseristeteollisuus & VTT. Viitattu 20.12.2022. Saatavissa <https://docplayer.fi/6941407-Katujen-ja-pihojen-routasuojaus-eps-routaeristeilla.html>

Liikennevirasto. 2018. Tierakenteen suunnittelu. Viitattu 24.10.2022. Saatavissa <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-632-4>

Sikiö, J. 2020. Kadun rakennekerrokset ja materiaalit. SKTY. Katu2020. Viitattu 19.12.2022. Saatavissa <https://katu2020.info/2020/2020/09/30/kadun-rakennekerrokset-ja-materiaalit/>

Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry. 2013. RIL 261-2013. Routasuojaus -rakennukset ja infrarakenteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.