

LUMEN JA SULAMISVESIEN AIHEUTTAMIEN LAADULLISTEN RISKIEN KARTOITUS



31.1.2024



Sisällys

1	Johdanto	3
	Tutkimuksen tausta	3
	Lumen ja sulamisvesien laatu Suomessa ja merkitys ympäristökuormituksessa	4
	Lumen ja sulamisvesien hallinta kotimaisessa hulevesiohjeistuksessa.....	5
	Lumen ja sulamisvesien hallinnan esimerkkejä kansainvälisessä kirjallisuudessa	6
	Lumen ja sulamisvesien laatukriteerit.....	8
2	Tutkimussuunnitelman sisältö ja toteutus.....	10
	Tutkimuskohteiden valinta ja ominaisuudet.....	10
	Näytteenotto ja kenttämittaukset.....	12
	Laboratorioanalyysit lumesta ja hulevedestä	13
	Tutkimusjakson sääolot ja tutkimukseen toteutukseen vaikuttaneet tekijät	14
3	Tutkimustulokset ja niiden tarkastelu	15
	Lumen ominaisuudet ja laatu.....	15
	Lumen määrä, tiheys ja vesiarvo	15
	Kiintoaine.....	16
	Lumen sähkönjohtavuus ja kloridipitoisuus	17
	Ravinteet.....	18
	Öljyhiilivedyt	20
	Metallit20	
	PAH-yhdisteet.....	23
	Suolistoperäiset bakteerit.....	25
	Sulamisvesien laatu.....	26
	Yksittäiset hulevesinäytteet sulamisvesistä	26
	Kokoomanäytteet passiivikeräimillä	27
4	Päätelmät ja suositukset.....	28
	Lumen ja sulamisvesien laatuun ja likaisuusasteeseen vaikuttavat tekijät	28
	Päätelmät lumesta ja sulamisvesistä pinta- ja pohjavesille aiheutuvien riskien arvioinnista.....	28
	Vedenlaaturiskejä aiheuttavat hulevesien haitta-aineet	28
	Lumen ja sulamisvesien aiheuttamien vedenlaaturiskien arviointi.....	29
	Suositukset pinta- ja pohjavesille aiheutuvien riskien hallinnan kehittämiseksi	30
	Suositukset jatkotoimenpiteiksi	31

Liite 1. Luminäytteiden tutkimustulokset yhteenvetotaulukossa

Liite 2. Hulevesinäytteiden tutkimustulokset yhteenvetotaulukossa

Liite 3. Laboratorion analyysitodistukset

Liite 4. Passiivikeräinnäytteiden yhteenvetotaulukko ja analyysitulokset

(kansikuva, Lahden kaupunki)

1 Johdanto

Tutkimuksen tausta

Lahden kaupunki ja Hollolan kunta toteuttavat vuosina 2023-2024 *Talviaikainen hulevesien hallinta, riskien tunnistaminen ja maankäytön suunnittelu* -hankkeen, joka saa rahoitusta Ympäristöministeriön vesiensuojelun tehostamishankkeesta. Hankkeessa kartoitetaan talviaikaisen hulevesien pinta- ja pohjavesille aiheuttamia riskejä, joiden ennakoitaan kasvavan muuttuvan ilmaston myötä lisääntyvän talviaikaisen sateisuuden ja sulantajaksojen yleistymisen seurauksena. Parempi ymmärrys talviaikaisiin hulevesiin liittyvistä riskitekijöistä mahdollistaa myös niihin varautumisen mm. maankäytön suunnittelun sekä lumen varastoinnin, siirron ja muun käsittelyn käytäntöjä kehittämällä.

Tässä raportissa kuvataan hankkeen ensimmäisen työpaketin tuloksia. Työpaketin sisältöön kuului taajama-alueella ja liikenneväylien varteen kertyvän lumen ja sulamisvesien tutkimuskampanjan suunnittelu, toteuttaminen ja tulosten raportointi. Tutkimuspisteiden valinnassa kiinnitettiin erityistä huomiota eri luokkudentorjunnan menetelmien vaikutuksiin auratun lumen ja hulevesien laatuun. Tutkimuskampanjan tuloksia hyödynnetään hankkeen seuraavissa työpaketeissa, joissa keskitytään maankäytön suunnitteluun ja lumen käsittelyn käytäntöjen inventoimiseen ja kehittämiseen.

Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa erityyppisiltä kaupunkialueilta kerättävän ja paikallisesti varastoitavan lumen laadullinen riski ympäristölle. Tarkempi tieto lumen ja siitä sulavan veden haitta-aineista, likaisuudesta ja laatuun vaikuttavista tekijöistä auttaa kehittämään menetelmiä laatuun liittyvien ympäristö- ja vesistökuormituksen ehkäisemiseksi. Lahden seudulla on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota myös pohjavesien suojeluun. Lisäksi lumen varastointipaikoilla ja sulamisvesien mukana kulkeutuva kiintoaine ja roskat aiheuttavat välittömiä ja välillisiä haittoja kaupunkiympäristön rakenteille, kuten hulevesiverkoston toimintaan. Tämä aiheuttaa lisäkustannuksia kunnallistekniikan ylläpidossa tai pahimmassa tilanteessa jopa paikallisen tai alueellisen tulvariskin.

Lahden ja Hollolan -alueiden lumen ja sulamisvesien aiheuttamien riskien kartoituksen on laatinut Sitowise Oy Lahden kaupungin ja Hollolan kunnan toimeksiannosta. Konsultin työryhmään ovat kuuluneet TKT Nora Sillanpää (projektipäällikkö), FM Maija Manninen, ins. (AMK) Johanna Simi-Virahsawmy, DI Elina Teuvo-Ojanen ja Onni Varjos. Laadunvarmistajana toimi DI Eeva-Riikka Rautarinta. Laboratorioanalyysit tehtiin Eurofins Environment Testing Finland Oy:n laboratoriossa.

Suunnittelutyötä on ohjannut ohjausryhmä, jonka jäseninä ovat Lahden kaupungilta toimineet hulevesi-insinööri Juhani Järveläinen (rakennus- ja ympäristövalvonta), vesiensuojelupäällikkö Ismo Malin (rakennus- ja ympäristövalvonta), yleiskaava-arkkitehti Johanna Sääksniemi (kaupunkiympäristö) ja suunnitteluinsinööri Carita Uronen (kaupunkiympäristö). Hollolan kunnasta ohjausryhmässä olivat mukana vesihuoltopäällikkö Riikka Johansson ja projektipäällikkö Ari Rinkinen.

Lumen ja sulamisvesien laatu Suomessa ja merkitys ympäristökuormituksessa

Suomessa taajama-alueiden hydrologiaa on tutkittu kattavasti jo 1970-luvulla, jolloin todettiin, että erityisesti tiiviisti rakennettujen keskusta-alueiden hulevesien heikko laatu edellyttää huomiota. Kesti kuitenkin 2000-luvulle asti, ennen kuin laajamittaisen tutkimustiedon kerääminen käynnistyi Suomessa toden teolla^{1,2,3}. Näiden tutkimusten myötä käsitys hule- ja sulamisvesien heikentyneestä laadusta ja erilaisten maankäyttömuotojen kuormituspotentiaalista kirkastui entisestään.

Kylmän ilmaston alueilla lumi tarjoaa väliaikaisen veden ja haitta-aineiden varaston, jota tutkimalla voidaan parhaimmillaan saada kattavaa tietoa lähialueilla kulkeutuvista haitta-aineista ja niiden päästölähteistä. Rakennettujen alueiden lumi sisältää useita epäpuhtauksia liikenteen päästöistä, liukkaudentorjunta-aineista sekä laskeumana ilmakehästä. Epäpuhtaudet kerääntyvät lumeen talven aikana ja vapautuvat vaihteittain lumien sulassa. Erityisesti tiiviisti rakennetuilla alueilla sulamisvesien laatu voi olla heikompaa kuin kesäaikainen hulevesien laatu^{1,8}. Väljemmin rakennetuilla alueilla sulava puhdas lumi voi puolestaan laimentaa sulamisvesien pitoisuuksia⁵. Talven sääolosuhteista riippuen sulamisjakson aikana muodostuva valunta on kuitenkin yleensä niin suurta, että talviaikainen haitta-ainekuormitus on suurta alueen maankäytöstä riippumatta.

Lumen ja sulamisvesien hallinnan kehittämällä on mahdollista vaikuttaa talviaikaisten hulevesien aiheuttamaan ympäristökuormitukseen. Liikennöidyillä alueilla epäpuhtaudet kertyvät erityisesti auraslumeen ja kadunvarsien lähialueelle. Tienvarsilumen laadun on havaittu olevan riippuvaista ajoneuvoliikenteen määrästä, mutta päästölähteet vaihtelevat kohteittain. Suomalaisten taajama- ja tiealueiden tutkimuksissa^{4,5,6} lumesta on havaittu muun muassa kiintoainetta, ravinteita, metalleja, PAH- ja PCP-yhdisteitä. Lisäksi lumesta on havaittu asfalttipäällysteistä ja tiemerkinämaaleista irronneita partikkeleita sekä paperi-, muovi- ja kumirosoa⁷.

Merkittävä lumen ja sulamisvesien laatuun vaikuttava tekijä on alueilla käytetyt liukkaudentorjunnan menetelmät. Lahdessa ja Hollolassa katujen talvihoito kuuluu kunnalle. Lahdessa ajoratojen liukkaudentorjunta hoidetaan pääasiassa formiaattipohjaisilla aineilla. Asuinkaduilla käytetään vain hiekkaa. Hollolassa kaikilla ajoradoilla ja muilla kulkuväylillä käytetään pääasiassa vain hiekoitusta. Molemmissa kunnissa sijaitsee myös Uudenmaan ELY-keskuksen hoitamia yleisiä teitä, joilla käytetään hiekoituksen lisäksi perinteistä tiesuolausta. Tiesuolaukseen liittyvä tyypillinen ongelma etenkin pohjavesialueilla on sulamisvesien mukana kulkeutuva kloridi, joka suotautuu helposti maaperässä pohjaveteen. Formiaattipohjaisia aineita pidetään ympäristöystävällisenä vaihtoehtona perinteiselle tiesuolaukselle. Formiaatit voivat kuitenkin kasvattaa pohjaveden tai vesistön hapenkulutusta. Talviaikainen hiekoitus lisää erityisesti lumen kiintoainepitoisuutta. Koska useat epäpuhtaudet sitoutuvat kiintoaineeseen ja kulkeutuvat sen

¹ Sillanpää, N., 2013. Effects of suburban development on runoff generation and water quality. Doctoral dissertation. Espoo: Aalto University.

² Valtanen, M., 2015. Effects of urbanization on seasonal runoff generation and pollutant transport under cold climate. Doctoral dissertation. Helsinki: University of Helsinki.

³ Taka, M., 2017. Key drivers of stream water quality along an urban-rural transition - a watershed-scale perspective. Doctoral dissertation. Helsinki: University of Helsinki.

⁴ Hautala, E.-L., Rekilä, R., Tarhanen, J. & Ruuskanen, J., 1995. Deposition of motor vehicle emissions and winter maintenance along roadside assessed by snow analyses. *Environmental Pollution*, 87: 45-49.

⁵ Sillanpää, N. & Koivusalo, H., 2013. Catchment-scale evaluation of pollution potential of urban snow at two residential catchments in southern Finland. *Water Science & Technology*, 68(10): 2164-2170.

⁶ Kuoppamäki, K., Setälä, H., Rantalainen, A.-L. & Kotze, D. J., 2014. Urban snow indicates pollution originating from road traffic. *Environmental Pollution*, 195: 56-63.

⁷ Pikkarainen, K., 2017. Puhdas kuin lumi? Lumi mikromuovien ja muun roskan reittinä kaupunkialueelta mereen. Pro Gradu -tutkielma. Helsinki: Helsingin yliopisto.

mukana ympäristöön, on kiintoaineen määrää pidetty perinteisesti tärkeimpänä hulevesien laadua kuvaavana haitta-aineena. Sinänsä paikkansapitävää oletusta haastaa kuitenkin tuorempi tutkimustieto, joka viittaa ainakin joidenkin metallien osalta, kuten sinkin ja kuparin, että metalleista voi ainakin ajoittain suurikin osa kulkeutua hulevesissä kloridin tavoin liukoisessa muodossa^{8,9}.

Lumen ja sulamisvesien hallinta kotimaisessa hulevesiohjeistuksessa

Suomessa ei ole yleisiä ohjeita siitä, miten kuntien tulee käsitellä lunta ympäristönäkökohdat huomioiden. Lumenvastaanottoaikat mahdollistavat lumen laadusta aiheutuvien haittavaikutuksien vähentämisen keskittämällä sulamisvedet rajatulle alueelle, jolloin sulamisvesien laadullinen hallinta voidaan järjestää ennen niiden eteenpäin johtamista. Kaikkien lumien kerääminen kaupunkialueelta ei ole mahdollista ja siitä koituisi lumen kuljetukseen liittyviä päästöjä ja merkittäviä kuluja kunnille. Tunnistamalla 'likaisimmat' alueet, voidaan kohdistaa laadullisen hallinnan toimet näille alueille tai kuljettaa lumi näiltä alueilta muualle puhdistettavaksi.

Suomessa Kuntaliiton vuonna 2012 julkaisema Hulevesiopas¹⁰ on viimeisin kansallisella tasolla julkaistu hulevesien hallintaa koskeva opas, joka käsittelee monipuolisesti hulevesien hallintaan liittyviä aihepiirejä. Oppaan päivittäminen on ollut pitkään ajankohtaista, sillä tiedon ja kokemuksen lisääntyessä oppaan sisältö ei enää täysin vastaa nykypäivän suunnittelutarpeita tai laajuudeltaan ulkomaisia vastaavia oppaita kylmän ilmaston alueella^{11,12}. Hulevesioppaasta löytyy kuitenkin jonkin verran tietoa talviolosuhteiden merkityksestä seuraavista näkökulmista:

- talvi-ilmaston vaikutus sadantaan, valuntaan ja kiintoainekuormitukseen liikenteen vaikutus huomioiden
- hulevesien laadun ja ainehuuhtouman vaihtelu sulannan eri vaiheissa
- rakenteiden suunnittelussa huomioitavia tekijöitä talviaikaisen toimintavarmuuden taakamiseksi erityisesti jäätyneen ja imeytyneen näkökulmasta.

Varsinaista lumien säilytystä oppaassa on käsitelty varsin lyhyesti eikä aihepiiriä ole käsitelty esimerkiksi maankäytön suunnittelun näkökulmasta. Lumen laatuun liittyviä haasteita on kuitenkin lyhyesti käyty läpi pohjavesialueilla tapahtuvan hulevesien hallinnan näkökulmasta. Oppaassa ehdotetaan imeyttämistä puhtaan lumen hallintaan. Puolestaan likaantuneen lumen, erityisesti lumenkaatopaikkojen, sijoittamista pohjavesialueelle suositellaan välttämään ja sulamisvesien käsittelyyn ehdotetaan joitakin menetelmävaihtoehtoja, kuten esikäsittelyn (hiekan- ja öljynerotin) jälkeistä biopidätystä tai pohjavesisuojausta yhdistettynä hulevesien poisjohtamiseen. Erilaisten liukkaudentorjunnan menetelmien valintaa ei oppaassa ole käsitelty – perinteinen tiesuola (natriumkloridi) mainitaan tunnettuna riskinä pohjavesialueilla, jolle kaliumformiaatti mainittiin lupaavana mutta oppaan julkaisuajankohtana vielä varsin uutena vaihtoehtona. Ympäristöministeriön ja Kuntaliiton yhteistyönä toteutettu selvitys taajama-alueiden hulevesien laadusta¹³ täydentää Kuntaliiton Hulevesioppasta. Selvityksessä on osio myös talviolosuhteiden vaikutuksesta hulevesien laatuun ja laadun vuodenaikaisvaihtelusta.

⁸ Valtanen, M., Sillanpää, N. & Setälä, H., 2014. The effects of urbanization on runoff pollutant concentrations, loadings and their seasonal patterns under cold climate. *Water, Air, and Soil Pollution*, 225: 1977.

⁹ Taka, M., Kokkonen, T., Kuoppamäki, K., Niemi, T., Sillanpää, N., Valtanen, M., Warsta, L. & Setälä, H., 2017. Spatio-temporal patterns of major ions in urban stormwater under cold climate. *Hydrological Processes*, 31: 1564-1577.

¹⁰ Kuntaliitto, 2012. Hulevesiopas. Saatavilla: <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2012/1481-hulevesiopas>

¹¹ Minnesota stormwater manual. Saatavilla: <https://stormwater.pca.state.mn.us/>

¹² Caraco, D., Claytor, R. 1997. Stormwater BMP Design Supplement for Cold Climates. Center for Watershed Protection, Ellicott City, MD.

¹³ Kuntaliitto ja Ympäristöministeriö, 2023. Selvitys hulevesien laadusta. Saatavilla: <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2023/2220-selvitys-hulevesien-laadusta>

Lumen ja sulamisvesien hallinnan esimerkkejä kansainvälisessä kirjallisuudessa

Erityisesti lumenhallinnan näkökulmasta kehitettyjä ohjeistuksia löytyy tutkimuskirjallisuudesta vähänlaisesti, vaikka tutkimusta Yhdysvalloissa ja Ruotsissa on kaupunkiympäristöstä olemassa jo 30 vuoden ajalta. Lumeen ja sulamisvesiin liittyvien julkaisujen rinnalla eniten lähtöaineistoa sulamisvesiin liittyen löytyy esimerkiksi ulkomaisista hulevesien hallinnan suunnittelun ohjeista, joissa sadetapahtumien hallinnan lisäksi ohjeita on täydennetty kylmän ilmaston olosuhteiden huomioimiseen liittyvillä huomioilla tai liitteillä. Tätä selvitystä varten kartoituissa esimerkeissä lumen hallintaa on kuvattu eri näkökulmista perustuen lumen likaisuuden ja ympäröivän maankäytön luokitteluun sekä hallinnan tavoitteiden painotukseen.

Reinosdotter ja Viklander¹⁴ kehittivät kaupunkilumen hoitosuosituksia perustuen alueen liikennemäärään (Taulukko 1). Yksinomaan liikennemäärään perustuvaa luokitusta voidaan perustella sillä, että kaupunkilumen likaantumistasetta on pystytty esimerkiksi ruotsalaisissa tutkimuksissa selittämään katualueen liikennemäärällä. Luokittelussa liikennemäärän ollessa alle 5000 ajoneuvoa päivässä lumen laatu oletetaan niin puhtaaksi, ettei lumi edellytä erityistä laadun hallintaa, vaan lumen voidaan antaa sulaa paikallaan tai jopa kaataa vesistöön. Toisaalta yli 10 000 ajoneuvon vuorokausiliikenne edellyttää lumien keräämistä varastointipaikkaan, josta hulevedet eivät voi suoraan päätyä viemäriin tai vesistöön.

Taulukko 1. Liikennemäärään perustuva kaupunkilumen hoitosuositus (muokattu lähteestä Reinosdotter, 2007¹⁵).

Ehdotus kaupunkilumen hoitosuosituksista liikennemäärän mukaan				
Keksimääräinen päivittäinen liikennemäärä	< 5000	5000–10 000	10 000–20 000	>20 000
Hoitosuositus	Ei edellytetä hallintatoimia. Voi sulaa kertymispaikallaan tai lumenvarastointipaikalla. Joissakin tapauksissa voidaan loppusijoittaa vesistöön	Lumi varastoidaan maalla, joko paikallisesti tai vastaanottoaikalla	Lumi kerättävä ja varastoitava paikkaan, josta sulamisvesi ei päädy suoraan hv-viemäriin tai vesistöön	Lumi kerättävä ja varastoitava paikkaan, jossa sulamisvedet voidaan laadullisesti käsitellä
Kommentit	Sopii asuinalueiden ja keskusalueiden lumille	Sopii asuinalueiden ja keskusalueiden lumille	Jos käytetään imeytystä, on otettava huomioon maaperä ja pohjavedenpinnan korkeusasema.	Laadullista käsittelymenetelmää mietittäessä tulee ottaa huomioon purkuvesistön herkkyys.

¹⁴ Reinosdotter & Viklander, 2006. Handling of urban snow with regard to snow quality. Journal of Environmental Engineering.

¹⁵ Reinosdotter, K., 2007. Doctoral thesis on Sustainable snow handling, Luleå University of Technology.

Lumen ja sulamisvesien hallinnan kehittäminen ei välttämättä edellytä lumen laadun luokittelua, vaan lumeen liittyviä lumeen ja talviolosuhteisiin liittyviä hallinnan keinoja voidaan ohjeistaa päästölähteiden ja sulamisvesien kulkeutumisen näkökulmasta yleisellä tasolla. Esimerkiksi Obertsin¹⁶ artikkelissa lumen hallintaa ei perustella liikennemäärän tai lumen likaisuuden perusteella, vaan hallinnassa keskitytään ehkäisemään haitta-aineiden päätyminen lumeen tai sulamisvesiin (Taulukko 2). Periaatteena on käyttää liukkaudentorjunnassa, katujen ja muiden alueiden talvikunnossapidossa ja lumen varastoinnissa menetelmiä, joista ei aiheudu laatuhahtaa ympäristölle. Lähestymistavan hyvänä puolena on se, ettei resursseja tarvitse käyttää epävarmaan lumen laadun luokitteluun varsinkaan, kun laatuluokitukset voivat vaihdella pienelläkin alueella merkittävästi paikallisten olosuhteiden mukaan.

Taulukko 2. Kaupunkilumien hallinnan suositukset perustuen talvikunnossapitokäytänteisiin ja sulamisvesien kulkeutumiseen (muokattu lähteestä Oberts¹⁶).

Lumen ja sulamisvesien hallinnan toimenpiteitä vesistöjen suojelemiseksi
<p>Liukkaudentorjuntakemikaalien käyttö</p> <ul style="list-style-type: none"> • Käytä vaihtoehtoisia liukkaudentorjuntakemikaaleja, kuten kalsiumkloridi ja kalsiummagnesiumasetaatti (CMA) • "Suolattomien" alueiden määrittäminen tärkeiden purojen, kosteikkojen ja luonnonvara-alueiden läheisillä tiealueilla • Liukkaudentorjunta-aineiden käyttömäärien vähentäminen kuljettajien/urakoitsijoiden koulutuksilla, laitteistojen kalibroinnilla ja kalibroimalla laitteet ja harkitulla/säästäväisellä levytyksellä • Kerääntyneen suolan ja hiekoitushiekan poisto mahdollisimman pian pintojen sulamisen jälkeen
<p>Liukkaudentorjunta-aineiden varastointi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Varastointi suojatulla alueella, vettä läpäisemättömällä pinnalla • Varastointi vähintään 30 metrin etäisyydellä avouomista/puroista ja tulva-alueista • Ohjaa varastoalueen sisäinen valunta erilliseen keräysjärjestelmään ja ohjaa ulkopuoliset virtausreitit varastoalueen ohi
<p>Lumen läjitys alueille, joille se voi imeytyä</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lumi varastoidaan tasaisille alueille vähintään 30 metrin päähän purosta tai tulva-alueesta • Suolaa kestävä maanpeitekasvillisuuden käyttö lumen vastaanottoaikoilla/läjitysalueilla • Läjitys- ja varastoalueiden puhdistaminen kiintoaineesta ja roskista joka kevät • Valitse alueet, joilla on jonkin verran maaperän suodatuskykyä
Lumen auraaminen/linkoaminen teiden reuna-alueilta vettä läpäiseville alueille
Vuodenaikojen huomioiminen hulevesialtaiden operoinnissa
Sulamisvesien tasainen valuttaminen kasvillisuusalueille rakenteellisin keinoin
Tehostettu katujen puhdistus aikaisin keväällä kiitoaineen poistamiseksi katu- ja tiepinnalta

¹⁶ Oberts, G., 1994. Influence of Snowmelt Dynamics on Stormwater Runoff Quality. Watershed Protection Techniques, 1(2): 55-61.

Aiempiin esimerkkeihin verrattuna varsin monimutkaisen sulamisvesien hallintasuosituksen ovat esittäneet Gougeon *et al.*¹⁷. Julkaisussa tutkittiin biosuodatusrakenteiden hyödyntämistä lumen sulamisvesien laadunhallinnassa mallintamisen keinoin. Tutkimuksessa pyrittiin tunnistamaan mallintamisen avulla kohteet, joissa biosuodatus olisi toimiva ratkaisu sulamisvesien käsittelylle. Suosituksissa huomioitiin hulevesien hallinnalle asetetut tavoitteet, alueen maankäyttömuoto, sekä vaikutukset eri haitta-aineisiin. Yhtenä tutkimuksen johtopäätelmänä muun muassa todettiin, että biosuodatusrakenteet soveltui parhaiten teollisuuden katu- ja pysäköintialueilla, lumen varastointialueilla sekä katualueille, joille lunta aurattiin. Julkaisussa esitetty analyysi ei sellaisenaan olisi kattava tai käytännönläheinen lähtökohta lumenhallinnan ohjeistuksen kehittämiseksi. Esimerkkinä se on kuitenkin mielenkiintoinen, sillä aikaisemmasta kahdesta muusta esimerkistä poiketen sulamisvesien hallintaa tarkastellaan maankäytön ja hulevesien (rakenteellisen) hallinnan suunnittelun näkökulmista.

Lumen ja sulamisvesien laatukriteerit

Haitta-aineiden pitoisuuksien haitallisuuden tai hallinnan tarpeen arviointi edellyttää, että arvioinnin tueksi on olemassa luotettavia ohjearvoja. Suomessa ei ole vielä asetettu kansallisella tasolla ohjearvoja hulevesien laadulle. Suomen lisäksi lumen haitta-ainepitoisuuksille ei ole olemassa laatukriteerejä kansainvälisestikään. Pitoisuuksien suuruusluokkaa voidaan kuitenkin arvioida esimerkiksi hulevesien laatukriteerien avulla, joita maantieteellisesti lähimmät löytyvät Ruotsista.

Tässä tutkimuksessa lumen ja sulamisvesien laadun tulkinnessa käytettiin vertailuarvoina Ruotsista Göteborgin kaupungin¹⁸ hulevesien pitoisuusohjearvoja sekä Sainion¹⁹ ehdottamia hulevesien ohjearvoja teollisuusalueiden hulevesien laadulle (Taulukko 3). Göteborgissa haitta-aineiden ohjearvot ovat kokonaispitoisuuksia ja koskevat kaikkia hulevesiä, jotka johdetaan ympäristöön tai jätevedenpuhdistamoille. Sainion määrittelemät ohjearvot on tarkoitettu teollisuuslaitoksilta johdettavien hulevesien akuuttien ympäristövaikutusten arvioimiseen. Ohjearvot perustuvat erilaisten vedenlaatunormien vertailuun, jossa mukana on ollut niin pintavesien laadulle tarkoitettuja ympäristönormeja kuin kansainvälisistä lähteistä löydettyjä hulevesille tarkoitettuja ohjearvoja esimerkiksi Yhdysvalloista ja Ruotsista.

¹⁷ Gougeon, G., Bouattoura, O., Formankova, E., St-Laurent, J., Doucet, S., Dorner, S., Lacroix, S., Kuller, M., Dagenais, D., Bichai, F. 2023. Impact of bioretention cells in cities with a cold climate: modeling snow management based on a case study. *Blue-Green Systems*, 5(1): 1. doi: 10.2166/bgs.2023.032

¹⁸ Göteborgs Stad, miljöförvaltningen 2020. Riktlinjer och riktvärden för utsläpp av förorenat vatten till dagvattnät och recipient.

¹⁹ Sainio, J., 2023. Pienvesiin päästettävien hulevesien haitta-aineet ja laadun tarkkailu ympäristöluovallisuuslaitoksilla. Diplomityö, Aalto-yliopisto. Saatavilla: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/122746>

Taulukko 3. Hulevesien laaturiskejä kuvaavat ohjearvot^{18,19}. Göteborgin kaupungin ohjearvot typelle ja fosforille tulee tulkita tapauskohtaisesti.

Ohjearvovertailu hulevesien haitta-aineille esitetyistä kynnysarvoista		Göteborg (2020)	Sainio (2023)
TOC	mg/l	12	
kiintoaine	mg/l	25	
pH		6,5 - 9	
typpi	µg/l	1250	
fosfori	µg/l	50	
arseeni	µg/l	16	
elohopea	µg/l	0,07	0,07
kromi	µg/l	7	25
kadmium	µg/l	0,9	0,45
kupari	µg/l	10	40
lyijy	µg/l	28	14
nikkeli	µg/l	68	34
sinkki	µg/l	30	150
öljyhiilivedyt	µg/l	100 - 1000*	
antraseeni	µg/l		0,1
fluoranteeni	µg/l		0,12
naftaleeni	µg/l		130
bentso(a)pyreeni	µg/l	0,27**	0,27
bentso(b)fluoranteeni	µg/l		0,017
bentso(g,h,i)peryleeni	µg/l		$8,2 \cdot 10^{-3}$
bentso(k)fluoranteeni	µg/l		0,017
bentseeni	µg/l	50	

* 100 µg/l lähellä raakavedenottoa, 500 µg/l Götajoen vesiensuojelualueella, muulloin 1000 µg/l

** bentso(a)pyreeniä käytetään yleisenä indikaattorina PAH-aineille

Sainion työssä hulevesien laadun tarkkailuun ei esitetty öljyhiilivedyille soveltuvaa ohjearvoa, sillä öljyhiilivedyille ei ollut olemassa ekologisesta näkökulmasta ympäristön pilaantumisen riskin aiheuttavaa pitoisuutta (Taulukko 3). Tyypillisesti Suomessa hulevesitarkkailussa noudatettu tavoitepitoisuus on ollut 5 mg/l, mikä perustuu käytännössä käytettävissä olevien perinteisten öljynerottimien erottelukykyyneen eikä varsinaiseen pitoisuuden aiheuttamaan riskiin vesiympäristössä. Göteborgissa on tästä huolimatta asetettu ohjearvo myös hiilivedyille, joka on tyypillisessä tilanteessa selvästi käyttökelpoiseen tekniikkaan perustuvaa ohjearvoa tiukempi, 1 mg/l. Herkkien vesistöjen läheisyydessä voidaan noudattaa vielä tiukempia ohjearvoja. Samoin ravinteiden pitoisuuksien tulkinnassa pyydetään ottamaan huomioon vastaanottavan vesistön ominaisuudet.

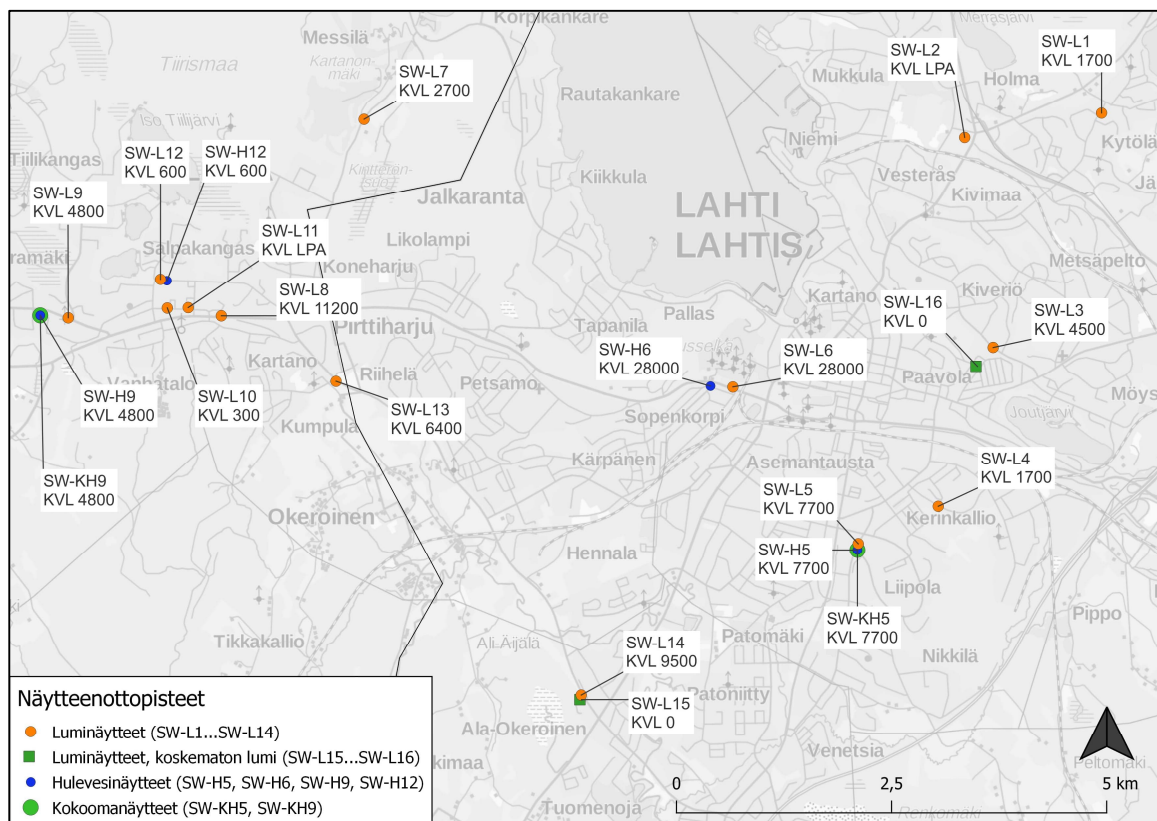
2 Tutkimussuunnitelman sisältö ja toteutus

Lumeen liittyvien laaturiskien arvioimiseksi tutkimusta varten suunniteltiin näytteenottokampanja lumen ja sulamisvesien laadusta. Näytteenotto toteutettiin sulamiskaudella maaliskuussa 2023.

Tutkimuskohteiden valinta ja ominaisuudet

Työn tavoitteisiin soveltuvat tutkimuspisteet kartoitettiin tilaajan antamalla paikkatiedoilla sekä paikkatietoanalyysin avulla. Tavoitteena oli valita joukko tutkimuspisteitä, jotka edustavat erilaisia kaupungin lumiympäristöjä. Kirjallisuustarkastelun pohjalta paikkatietoanalyysin olennaisiin aineistoihin kuuluivat teiden ja katujen liikennemäärät, maankäyttö sekä liukkaudenestokäytänteet. Aineistojen perusteella valittiin useita ominaisuuksiltaan toisiaan täydentäviä mahdollisia tutkimuskohteita, joista näytteenoton käytännön toteutettavuus vaikutti lopullisten tutkimuspisteiden valintaan.

Karttaesitys tutkimukseen valikoituneiden tutkimuspisteiden sijainneista on esitetty Kuvassa 1. Taulukko 4 sisältää tiivistetysti tutkimuspisteiden pääominaisuudet. Kokonaisuudessaan tutkimuskohteet käsittivät 16 lumen laadun tutkimuspistettä sekä neljä sulamisveden tutkimuspistettä.



Kuva 1. Kartta tutkimuspisteistä (lumi- ja sulamisvesi) Lahdessa ja Hollolassa. Tutkimuspisteiden tarkemmat ominaisuudet on esitetty Taulukossa 4.

Taulukko 4. Tutkimuspisteiden ominaispiirteet.

Sijainti	Tutkimuspiste, katu	Lumikertymän tyyppi	Maankäyttö	Liikennemäärä (KVL)	Liukkauden- torjunta
Lahden kaupunki	SW-L1 Heinlammintie	Aurauspenkka bussipysäkin vieressä	alueellinen kokoojakatu, pientaloalue	1700	Formiaatti
	SW-L2 Prisma Holma	Aurauskasa parkkipaikalla	pysäköintialue	LPA	Yksityinen hiekoitus
	SW-L3 Hirsimetsäntie	Aurauspenkka, ei leikattu	alueellinen kokoojakatu, metsäinen	4500	Formiaatti
	SW-L4 Kerinkallionkatu	Aurauspenkka risteyksessä	paikallinen kokoojakatu, kerrostaloalue	1700	Formiaatti
	SW-L5 Ajokatu	Aurauspenkka bussipysäkin vieressä	alueellinen kokoojakatu, kaupunkialue	7700	Formiaatti
	SW-L6 Hämeenlinnantie	Aurauspenkka bussipysäkin vieressä	yhdystie, kaupunkialue	28000	Formiaatti
	SW-L14 Ala-Okeroistentie	Aurauspenkka risteyksessä	seututie, esikaupunkialue	9500	ELY hiekoitus
	SW-L15 Ala-Okeroistentie (koskematon lumi 1)	Koskematon lumimetsäalueella	viheralue	0	-
	SW-L16 Huvilakatu (koskematon lumi 2)	Koskematon lumipiha-alueella	pientaloalue	0	-
Hollolan kunta	SW-L7 Messiläntie	Aurauspenkka ajoradan vieressä	alueellinen kokoojakatu, maaseutu metsäinen	2700	ELY hiekoitus, suo- lausta vähenetty
	SW-L8 Hämeenlinnantie	Aurauspenkka bussipysäkin vieressä	yhdystie, kaupunkialue	11200	Suolaus
	SW-L9 Sorämäentie	Aurauspenkka bussipysäkin vieressä	alueellinen kokoojakatu, kaupunkialue	4800	ELY hiekoitus, suo- lausta vähenetty
	SW-L10 Keskuskatu	Aurauspenkka ajoradan ja kevyenliikenteenväylän välissä	paikallinen kokoojakatu, keskusta-kortteli	300	Hiekoitus
	SW-L11 Prisma Hollola	Aurauskasa parkkipaikan reu- nassa	pysäköintialue	LPA	Hiekoitus
	SW-L12 Terveystie	Aurauspenkka ajoradan ja kevyenliikenteenväylän välissä	paikallinen kokoojakatu, keskusta-kortteli	600	Hiekoitus
	SW-L13 Ala-Okeroistentie	Aurauspenkka bussipysäkin vieressä	seututie, esikaupunkialue	6400	Hiekoitus

Näytteenotto ja kenttämittaukset

Luminäytteet otettiin 22.3.2023 siten, että lumipenkan koko syvyys oli edustettuna näytteessä. Ennen näytteenottoa tutkimuspisteen lumen tiheys määritettiin lumipuntarilla mittaamalla lumen tilavuus ja paino. Lumipuntari on ohutseinäinen teräsputki, joka on helppo painaa lumipenkkaan sitä häiritsemättä (Kuva 2). Putken pituus ja sisähalkaisija tiedetään ja näiden avulla lumipuntarin sisältämän lumen tilavuus voidaan määrittää. Kädensijat putken yläpäässä helpottavat puntarin käsittelyä. Luminäytteet kerättiin näytepistekohtaisesti omiin astioihinsa ja näytteenottovälineet puhdistettiin jokaisen näytteenoton jälkeen. Luminäytteiden annettiin sulaa huoneenlämmössä, jonka jälkeen sulanut vesi siirrettiin laboratorion näyteastioihin ja toimitettiin analysoitavaksi 23.3.2023 (Kuva 3).



Kuva 2. Hirsimetsäntien aurattua tienvarsilunta (vas.) ja koskematon lumialue Ala-Okerointientien läheisyydessä sekä lumipuntari (oik.). (Kuvat Onni Varjos/Sitowise)



Kuva 3. Sulatetut luminäytteet Kuvan 2 kohteista, Hirsimetsäntieltä (vas.) sekä koskemattomasta lumesta (oik.). (Kuvat Onni Varjos/Sitowise)

Sulamisvesien laadusta kerättiin kertainäytteet hulevesiviemäristä neljästä tutkimuspisteestä 13.4.2023. Hulevesinäytteiden ottoon käytettiin kertakäyttöistä näytteenotinta, josta vesinäyte siirrettiin laboratorion näyteastioihin. Vesinäytteet toimitettiin analysoitavaksi saman päivän aikana.

Vesinäytteenoton yhteydessä hulevesiviemäriin asennettiin passiivikeräimet laboratorion ohjeiden mukaisesti hulevesikaivojen poistoputkiin. Keräimien tila tarkistettiin viikon välein. Passiivikeräimet olivat paikoillaan kahdessa eri pisteessä (Ajokatu Lahdessa ja Soramäentie Hollolassa) yhteensä kolme viikkoa huhti-toukokuussa 2023, jonka jälkeen näytteet toimitettiin analysoitavaksi. Kahdessa kohteessa (Terveystie Hollolassa ja Hämeenlinnantie Lahden puolella) passiivikeräimet eivät valmistuneet tutkimusjakson aikana hyvästä virtaamasta huolimatta, jolloin näistä kohteista passiivikeräinnäytteitä ei saatu analysoitua.

Laboratorioanalyysit lumesta ja hulevedestä

Lumesta sulatetuista vesinäytteistä ja hulevesikaivoista kerätystä kertainäytteistä analysoitiin kaikista tutkimuspisteistä seuraavat laatuparametrit:

- sähkönjohtavuus
- pH
- kiintoaine
- orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC)
- happipitoisuus, liuennut happi (vain hulevesikaivojen kertainäytteistä)
- metallit kokonaispitoisuus ja liukoinen pitoisuus (Sb, As, Hg, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn, V)

- kokonaisfosfori
- fosfaattifosfori
- kokonaistyyppi
- nitraatti
- kloridi
- PAH-yhdisteet (EPA 16 yhdisteet)

Tämän lisäksi osassa tutkimuspisteistä luminäytteille tehtiin seuraavat analyysit:

- öljyhiilivetyjakeet C₁₀-C₄₀
- E. coli
- suolistoperäiset enterokokit

Kertänäytteet analysoitiin akkreditoidussa Eurofins Environment Testing Finland Oy:n laboratoriossa Lahdessa. Hulevesiviemäreiden passiivikeräiminä käytettiin Eurofinsin SorbiCell-keräimiä. Keräimellä saadaan aikapainotteinen keskiarvopitoisuus vedessä. Toteutuneet passiivikeräinten analyysiajat olivat 4-5 viikkoa sisältäen keräinten toimitusajan Suomen laboratorion Tanskan laboratorioon.

Tutkimuksissa käytettiin CAN- ja VOC-keräimiä. Keräimen suodattimen huokoisuus on 100 µm. Jos yhdisteitä on adsorboituneena tätä pienempiin kolloideihin, ne ovat mukana näytteessä. Yleisesti ottaen tuloksien voidaan olettaa edustavan tutkittavien laatuindikaattoreiden liukoisia pitoisuuksia. Passiivikeräimistä tehtiin seuraavat analyysit:

- CAN-keräin: metallit (Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Zn)
- CAN-keräin: nitriitti, nitraatti, fosfaatti, ammoniumtyppi, sulfaatti
- VOC-keräin: öljyt C₆-C₄₀
- VOC-keräin: PAH-yhdisteet

Tutkimusjakson sääolot ja tutkimukseen toteutukseen vaikuttaneet tekijät

Ilmatieteen laitoksen²⁰ mukaan talvi 2022-2023 oli hieman keskimääräistä lämpimämpi ja myös sateisempi vertailukauden 1991-2020 arvoihin verrattuna. Talvijakson keskilämpötila oli Lahdessa -3,3 °C ja sademäärä 161,8 mm, kun vastaavat pitkäaikaiset keskiarvot vertailukaudella olivat -4,9 °C ja 135 mm.

Tutkimusjakson aikana, maaliskuu-, huhti- ja toukokuu 2023, oli sääolosuhteilta hyvin vaihtelevaa. Lämpötilat olivat usein nollan yläpuolella, mutta tienvarsilla oli vielä lumipenikkoja, joista näytteenotto tehtiin. Luminäytteenoton tulokset eivät tällöin edusta koko talven aikaista kertymää. Hulevesinäytteenotto viivästyi hieman sään muuttuessa kevään aikana kylmemmäksi, jolloin passiivikeräimiä ei voitu asentaa suunnitellun aikataulun mukaisesti.

Passiivikeräimillä näytteenotto sujui suunnitellusti Ajokadulla ja Soramäentiellä, kun taas Terveystiellä ja Hämeenlinnantielle näytteenotossa oli ongelmia. Selkeää syytä passiivikeräimien näytteenotto-ongelmiin on vaikea osoittaa, mutta ainakin keräimen tyyppi saattoi osaltaan vaikuttaa näytteenottojen onnistumiseen.

²⁰ Sademäärä- ja lumitiedot saatavilla: <http://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>

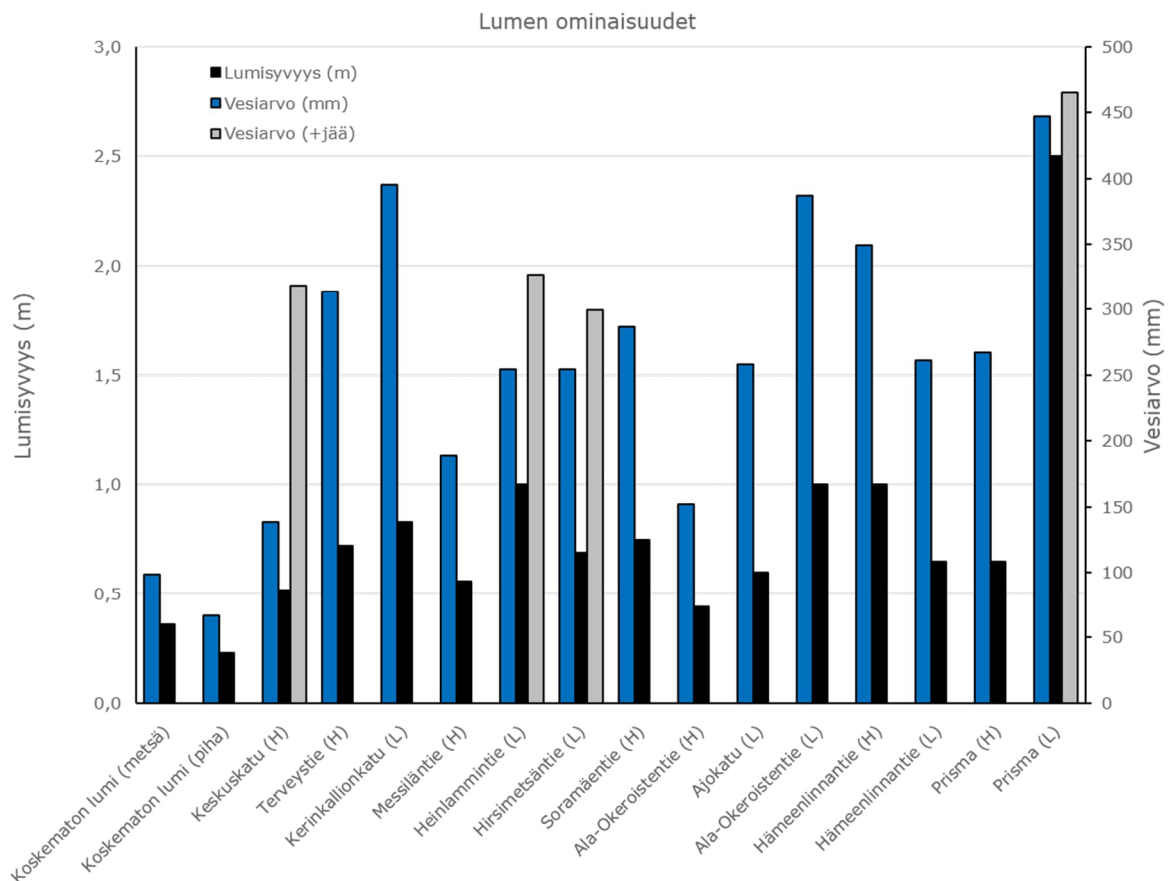
3 Tutkimustulokset ja niiden tarkastelu

Tutkimustuloksien yhteenvetotaulukot on esitetty liitteissä 1, 2 ja 4. Laboratorion analyysitulokset on koottu liitteeseen 3.

Lumen ominaisuudet ja laatu

Lumen määrä, tiheys ja vesiarvo

Lumisyyvyys eri tutkimuspisteissä vaihteli melko paljon koskemattoman lumen noin 0,3 metristä Lahdessa kauppakeskuksen pysäköintialueen noin 2,5 metrin syviseen auraslumikasaan (Kuva 4). Lumen määrään vaikutti koskemattomilla alueilla talven aikana tapahtunut sulanta ja liikennöidyillä alueilla vaihtelu lumen aurauksessa ja poiskuljetuksesta. Katualueilla auratun lumen ominaisuudet edustivat aikaisemman suomalaisen taajamalumitutkimuksen maksimitasoa¹, jonka perusteella tutkimusaineiston voi todeta vastaavan melko hyvin lumijakson loppuolosuhteita, vaikka sulamisjaksoja oli talvella esiintynyt jo ennen luminäytteenoton käynnistymistä. Koskemattoman lumen syvyys oli keskimäärin 0,30 m ($\pm 0,09$ m), tiheys 283 kg/m³ (± 12 kg/m³) ja vesiarvo 83 mm (± 22 mm). Auratun lumen vesiarvo (305 \pm 81 mm) oli keskimäärin lähes nelinkertainen koskemattomaan lumeen verrattuna johtuen auratun lumen suuremmasta syvyydestä (0,68 \pm 0,20 m) sekä tiheydestä (416 \pm 54 kg/m³).

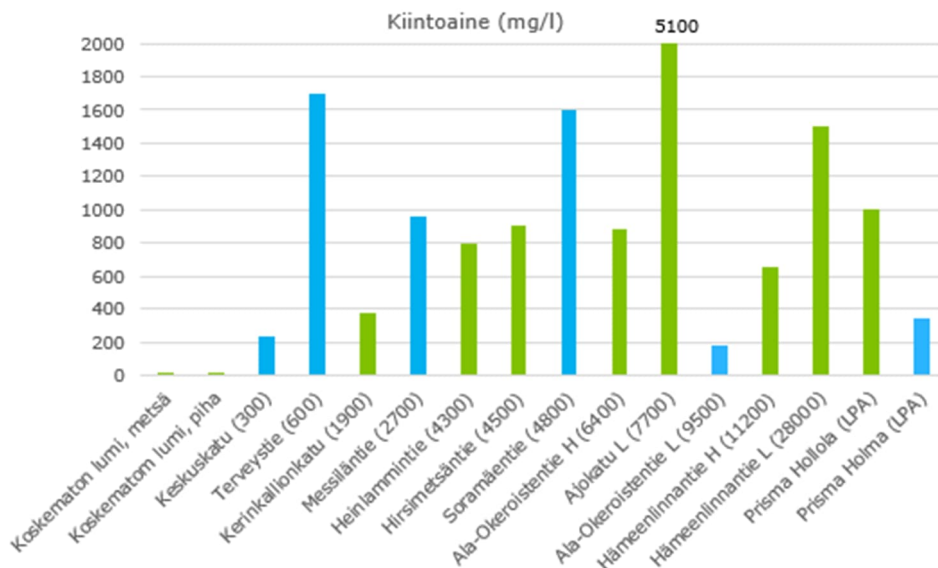


Kuva 4. Auratun ja koskemattoman lumen syvyys, tiheys ja vesiarvo eri tutkimuspisteissä.

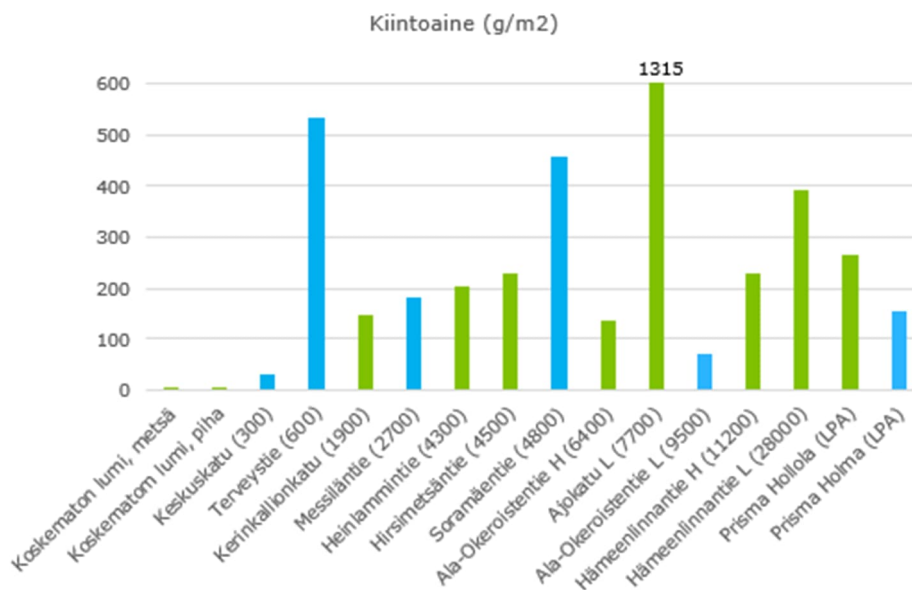
Kiintoaine

Kiintoaineen pitoisuudet vaihtelivat suuresti eri kohteissa. Koskemattoman lumen kiintoainepitoisuudet olivat < 20 mg/l ja muissa kohteissa noin 200 - 5000 mg/l. Useimmissa katukohteissa kiintoainepitoisuudet olivat vähintään 800 mg/l. Huomattavan paljon kiintoainetta oli Ajokadun näytteessä, jossa pitoisuus oli 5100 mg/l. Lahdessa yli 1400 mg/l kiintoainepitoisuuksia oli Ajokadun lisäksi Hämeenlinnantielle ja Hollolassa Soramäentiellä ja Terveystielle (Kuva 5).

Korkeimmat kiintoainepitoisuudet olivat kohteissa, joissa liukkaudentorjunta perustuu pääosin tai yksinomaan hiekoitukseen tai liikennemäärät olivat yli 4000 KVL. Yksikkökuormituksessa, kiintoainesta pinta-alaa kohden (g/m²), ei myöskään ollut osoitettavissa täysin selvää korrelaatiota liikennemäärän suhteen (Kuva 6).



Kuva 5. Kiintoainepitoisuus [mg/l]. Sinisellä on esitetty kadut, joilla liukkaudentorjunnassa käytetään kokonaan tai pääosin hiekoitusta.



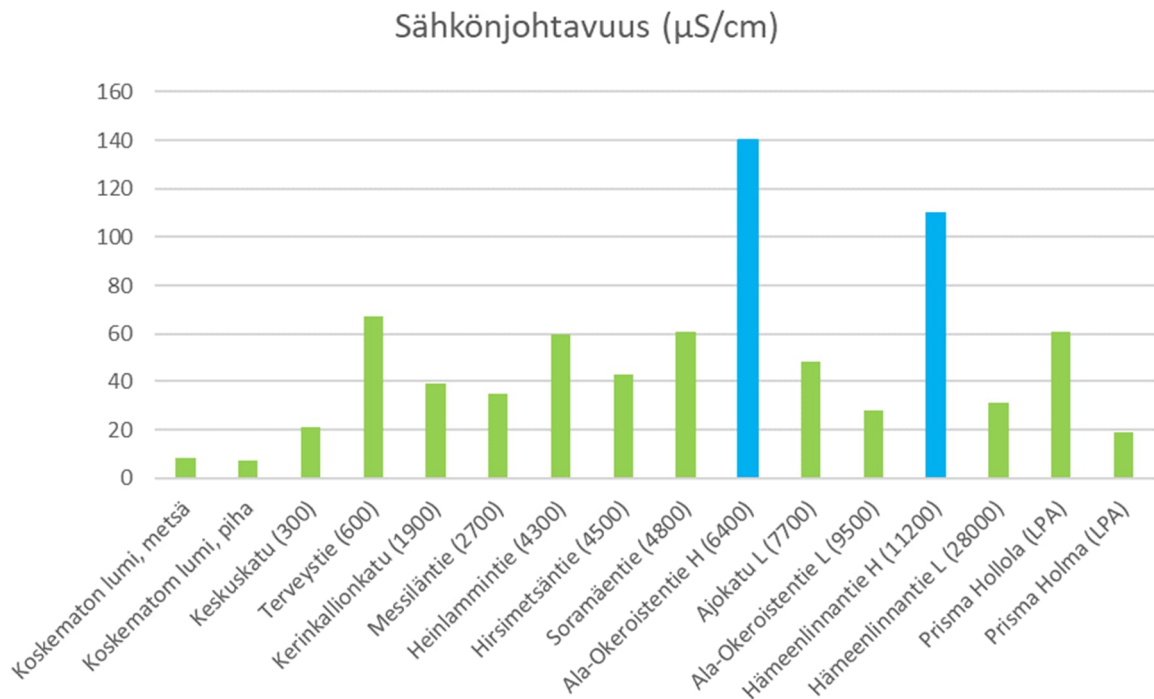
Kuva 6. Kiintoaineen yksikkökuormitus [g/m²]. Sinisellä on esitetty kadut, joilla liukkaudentorjunnassa käytetään kokonaan tai pääosin hiekoitusta.

Lumen sähkönjohtavuus ja kloridipitoisuus

Sähkönjohtavuus oli korkea ($> 100 \mu\text{S}/\text{cm}$) Hollolassa Hämeenlinnantielle ja Ala-Okeroistentielle, muutoin arvot olivat noin $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Kuva 7). Koskemattoman lumen arvot olivat $< 10 \mu\text{S}/\text{cm}$. Kloridipitoisuudet olivat myös korkeimmat samoissa pisteissä kuin sähkönjohtavuuskin ja lisäksi koholla Terveystielle ja Soramäentielle ($11 \text{ mg}/\text{l}$) (Kuva 8). Yleisesti kloridia oli alle $35 \text{ mg}/\text{l}$ kaikissa luminäytteissä.

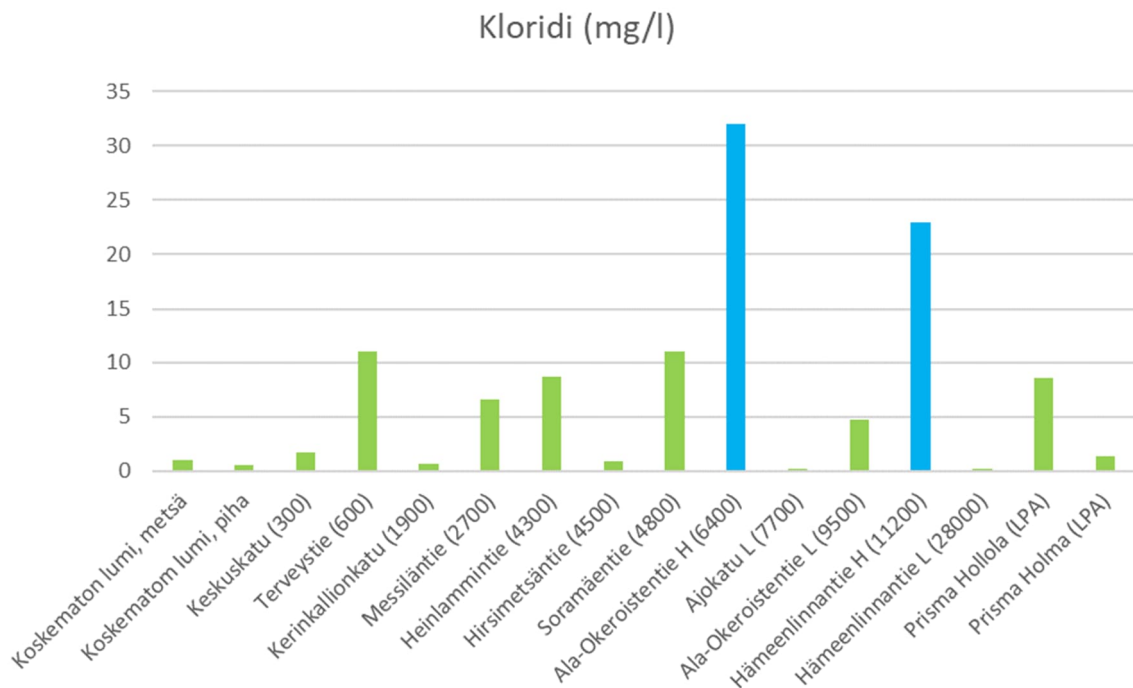
Hollolassa, Salpakankaan viemärylivuotojen selvityksessä²¹ havaittiin myös korkea sähkönjohtavuus ($900 \mu\text{S}/\text{cm}$) Kintterönsuolle johtavassa putkessa, mikä todennäköisimmin johtui Hämeenlinnantien tiesuolaa sisältävistä hulevesistä. Myös tässä selvityksessä erottuivat tiesuolauksen alueiden näytteet korkeammilla sähkönjohtavuuden arvoilla mutta erot muiden katualueiden välillä tasoittuivat, sillä sähkönjohtavuuteen vaikuttavat myös muut laatutekijät kuin pelkkä suolus.

Kloridipitoisuuksien osalta erottuivat kokoojaväylät, joilla käytetään tiesuolausta: Ala-Okeroistentie ($32 \text{ mg}/\text{l}$) ja Hämeenlinnantie ($23 \text{ mg}/\text{l}$) Hollolassa. Vastaavien teiden Lahden puoleisilla osuuksilla kloridipitoisuudet olivat alhaisia ($0,25 - 4,7 \text{ mg}/\text{l}$). Kloridipitoisuudet olivat myös matalia Hollolassa alueilla, joilla käytetään pääosin hiekoitusta sekä muilla Lahden katualueilla, joissa käytetään formiaattia liukkaudentorjunnassa (kloridipitoisuudet pääosin $< 10 \text{ mg}/\text{l}$).



Kuva 7. Sähkönjohtavuus luminäytteissä [$\mu\text{S}/\text{cm}$]. Sinisellä merkitty korkeimmat pitoisuudet perinteisen tiesuolauksen osuuksilla.

²¹ Salpakankaan viemärylivuotohanke, Hollolan kunta. Sitowise, 2023.



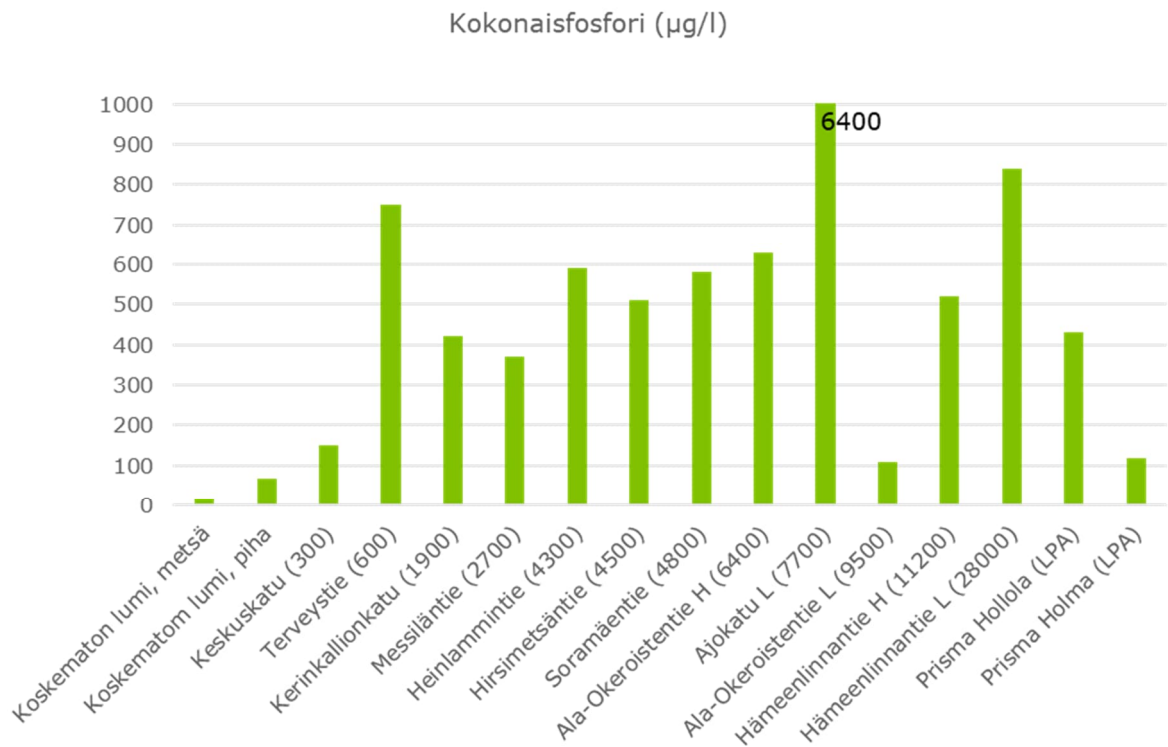
Kuva 8. Kloridipitoisuus luminäytteissä [mg/l]. Sinisellä korostettu suolattuihin liikenneväyliin liittyneet korkeimmat pitoisuudet.

Ravinteet

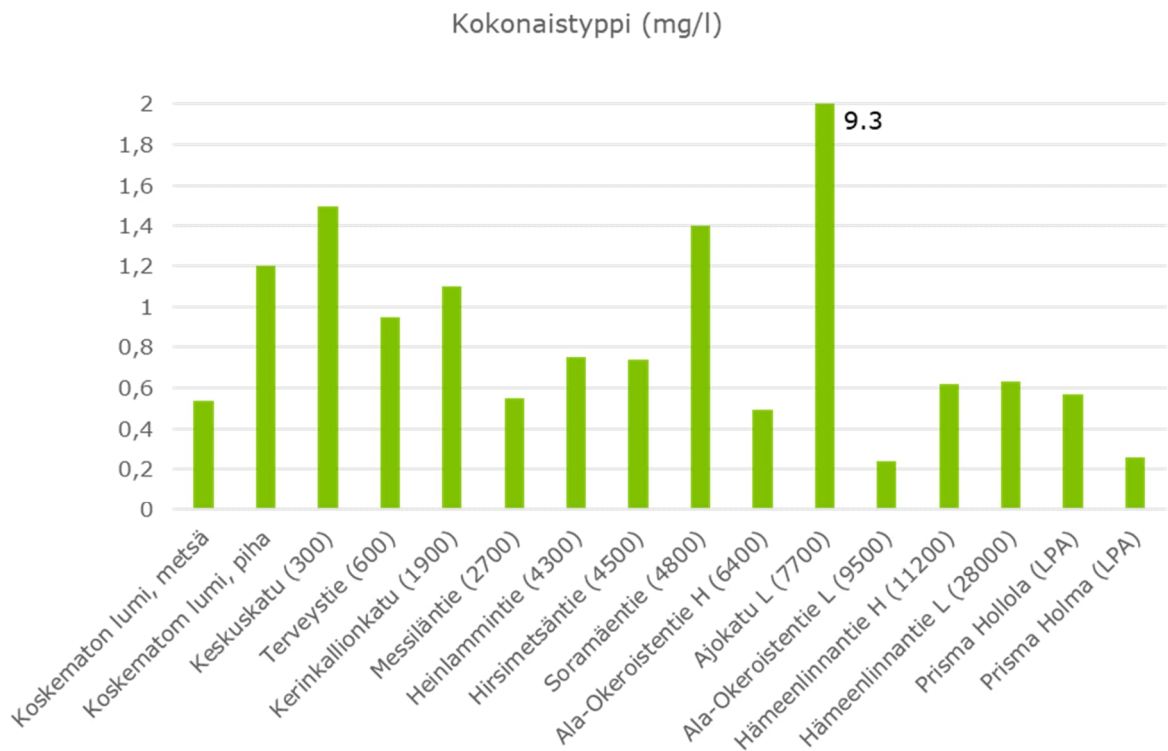
Kokonaisfosforipitoisuudet olivat otetuissa luminäytteissä korkeita, katualueilla pääosin yli 300 µg/l mutta selkeää trendiä liikennemäärän suhteen ei ollut osoitettavissa (Kuva 9). Kokonaisfosforipitoisuuksien vaihtelua selittää melko hyvin lumen kiintoainepitoisuus. Rakennettujen alueiden huleveden fosforista yli puolet on sitoutuneena kiintoaineeseen, tyypestä taas noin 10–30 %²². Lisäksi liukoisen fosfaattifosforin osuus kokonaisfosforista oli alhainen, alle 6 %, paljon kiintoainetta sisältävässä lumessa (kiintoainepitoisuus > 70 mg/l). Vastaavasti koskemattomassa lumessa, jossa kiintoainesta on vähemmän tai ei ollenkaan, liukoisen fosfaattifosforin osuus oli suurempi, 22-67 %.

Kokonaistyyppipitoisuudet olivat pääosin maltillisia vastaten tyypillistä huleveden tyyppipitoisuutta (Kuva 10). Kokonaistyyppistä liukoisessa nitraattimuodossa oli 40-94 % osuus koskemattomassa lumessa ja auratussa lumessa vain 18 % osuus (vaihtelua tosin 1-40 %). Kokonaistyyppipitoisuuksien vaihtelulla ei ollut nähtävissä selkeää yhteyttä kiintoainepitoisuuksien kanssa. Ajokadun korkeat ravinnepitoisuudet olivat muusta aineistosta poikkeavia.

²² Hämeen ELY-keskuksen raporteja 3/2020. Hulevesien hallinnan tila ympäristölupavelvollisissa laitoksissa.



Kuva 9. Kokonaisfosfori pitoisuudet luminäytteissä [$\mu\text{g/l}$]. Göteborgin kaupungin ohjearvo $50 \mu\text{g/l}$ ylittyi lähes kaikissa kohteissa.

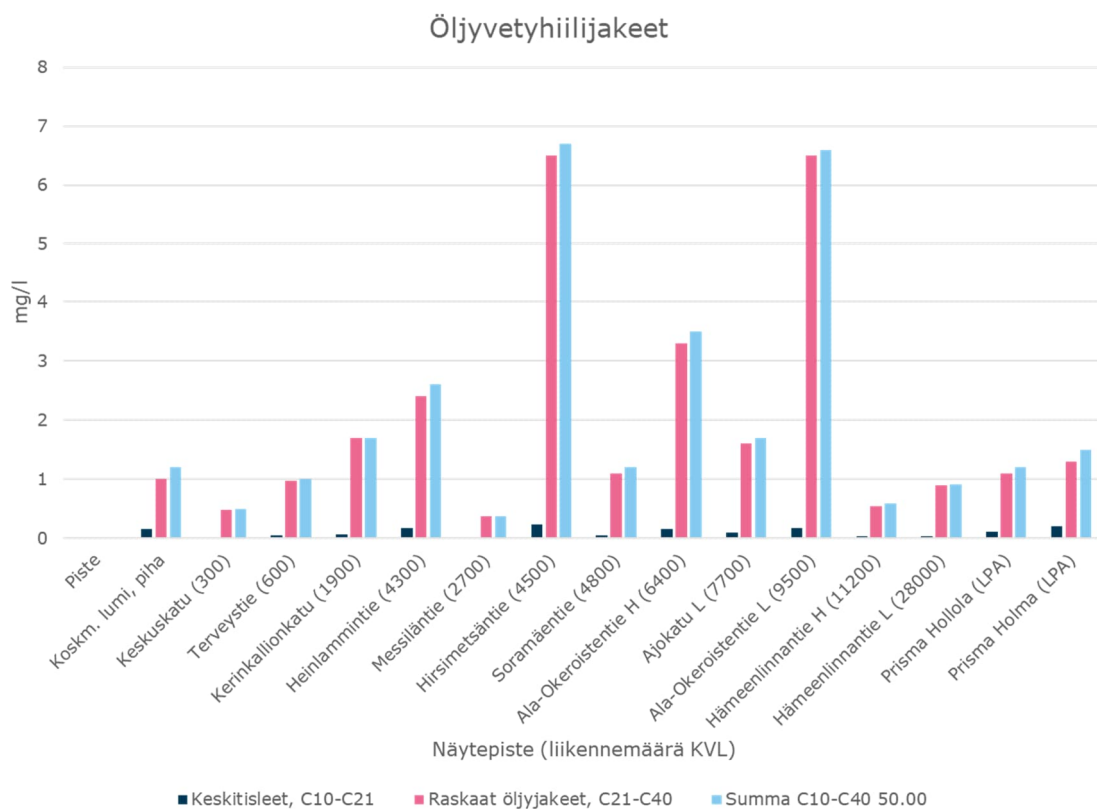


Kuva 10. Kokonaistyyppipitoisuudet luminäytteissä [mg/l].

Öljyhiilivedyt

Kaikista tutkimuspisteistä löytyi mitattavia määriä öljyhiilivetyjä (Kuva 11). Käytännössä öljyhiilivetyjakeet koostuvat raskaista öljyjakeista, mitatut keskitisleiden pitoisuudet olivat kaikkialla matalia. Öljyhiilivetyjen pitoisuuksia arvioidaan käytännössä käytettävissä olevan tekniikan öljynerottelukyvyn näkökulmasta. Valtioneuvoston asetuksen 444/2010 mukainen maastoon johdettavan veden öljyhiilivetyjen pitoisuuden raja-arvo (5000 µg/l) ylittyi Hirsimetsäntiellä ja Ala-Okeroistentiellä Lahden puolella. Verrattaessa öljyhiilivetyjen pitoisuutta tiukempiin Göteborgin hulevesien ohjearvoihin (yleinen ohjearvo 1000 µg/l, herkkä vesistö 500 µg/l ja raakavedenotamo 100 µg/l), ylittyivät nämä ohjearvoarvot kaikissa tutkimuspisteissä. Tutkituista katukohteista puolella sekä molemmilla pysäköintialueilla öljyhiilivetyjen pitoisuus oli suurempi kuin 1 mg/l. Myös tutkitussa piha-alueen koskemattomassa lumessa pitoisuus oli suurempi kuin 1 mg/l. Piha-alueelta ei voitu tunnistaa selvää lähdettä öljyhiilivedyille. Piha-alueen lähellä on ajotie.

Selkeästi korkeampia pitoisuuksia löydettiin raskaissa öljyjakeissa Heinlammintieltä, Hirsimäentieltä ja Ala-Okeroistentieltä, eli kohteista, joissa liikennemäärä on yli 4000 KVL.



Kuva 11. Öljyhiilivetyjen pitoisuudet luminäytteissä [mg/l].

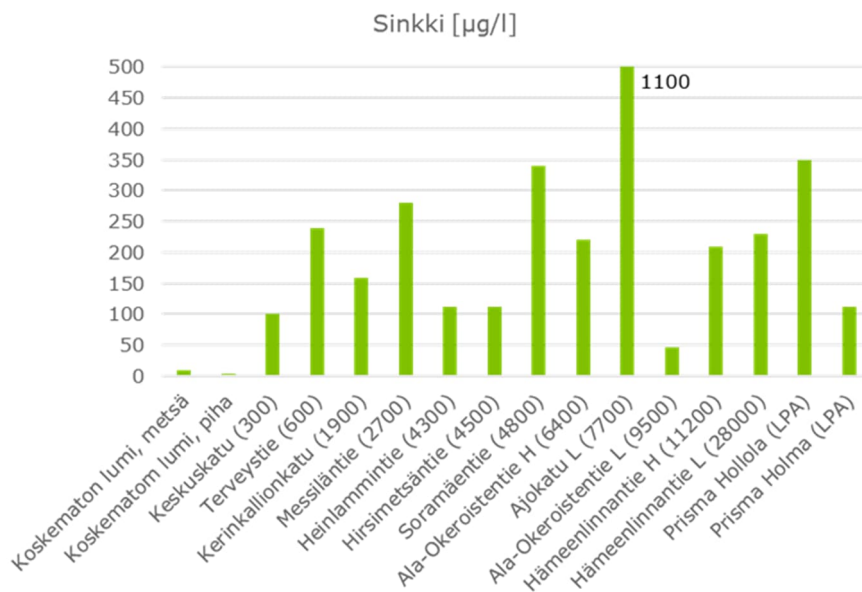
Metallit

Luminäytteiden raskasmetallipitoisuuksissa oli suurta vaihtelua tutkimuspisteiden välillä ja pitoisuudet ylittivät useissa kohteissa vertailussa käytettyjä ohjearvoja. Metallit ja puolimetallit esiintyvät hulevesissä pääasiassa kiintoaineeseen sitoutuneena ja liukoiset pitoisuudet olivat hyvin alhaisia.

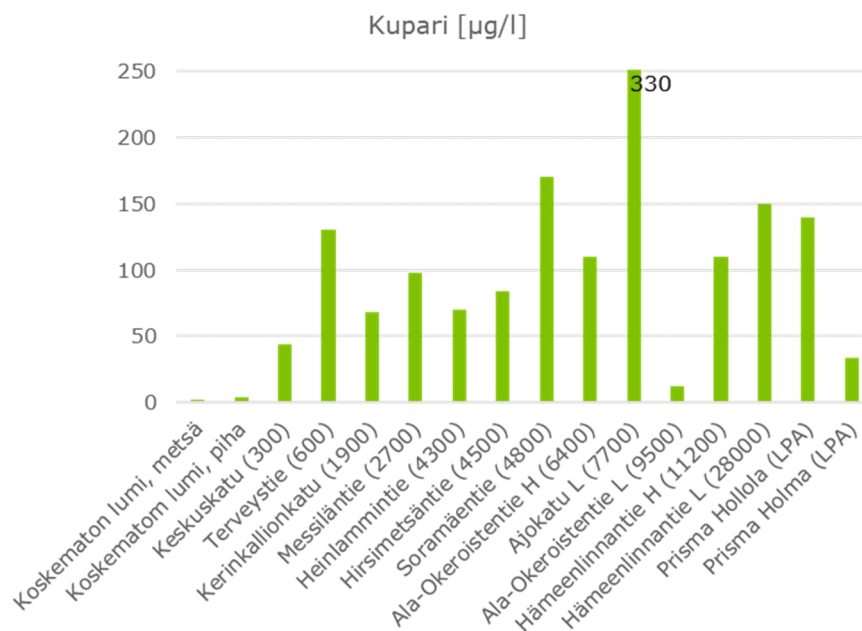
Korkeiden metallipitoisuuksien osalta merkittävät metallit olivat sinkki, kupari ja kromi (Kuvat 13, 14 ja 15). Näillä metalleilla pitoisuudet olivat korkeita käytännössä kaikilla tutkituilla katu- ja pysäköintialueilla. Myös lyijypitoisuudet olivat paikoitellen korkeita (Kuva 15).

Lahdessa Ajokadun tutkimuspisteellä lähes kaikkien raskasmetallien kokonaispitoisuudet olivat huomattavasti korkeampia muihin kohteisiin verrattuna. Esimerkiksi lyijyä oli kahdeksankertainen määrä (200 µg/l) ja nikkeliä yli kymmenkertainen määrä (120 µg/l) muihin pisteisiin verrattuna (Liite 1).

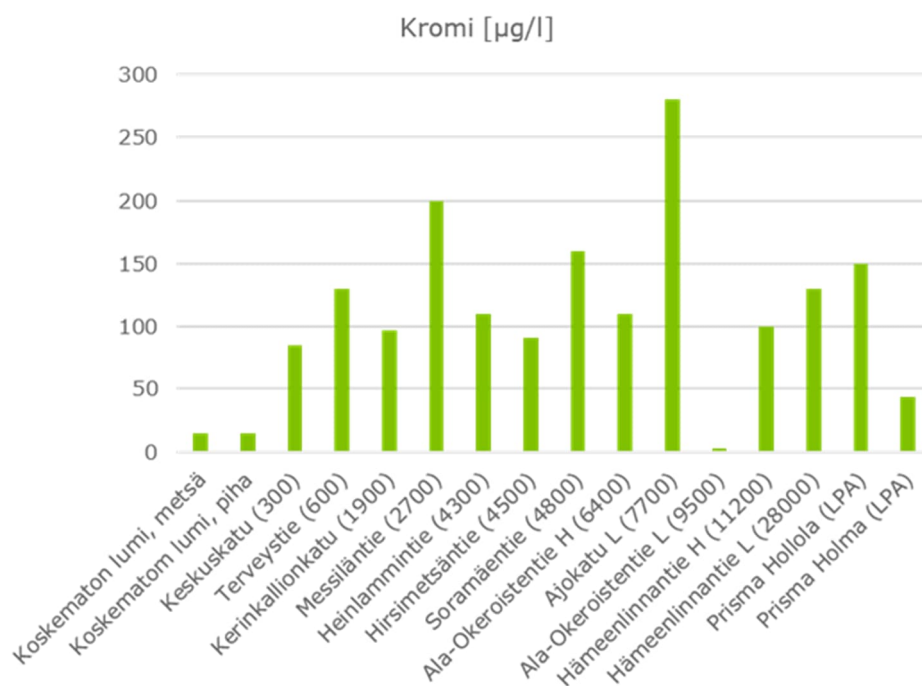
Puolimetalleista mainittakoon arseeni, jota löytyi Ajokadulta yli kaksinkertainen määrä muihin pisteisiin verrattuna (20 µg/l) sekä antimoni, jota myös oli korkeampia pitoisuuksia Ajokadun lisäksi (> 7 µg/l) Hämeenlinnantiellä sekä Lahden että Hollolan tutkimuspisteissä, Soramäentiellä sekä Terveystiellä (Liite 1).



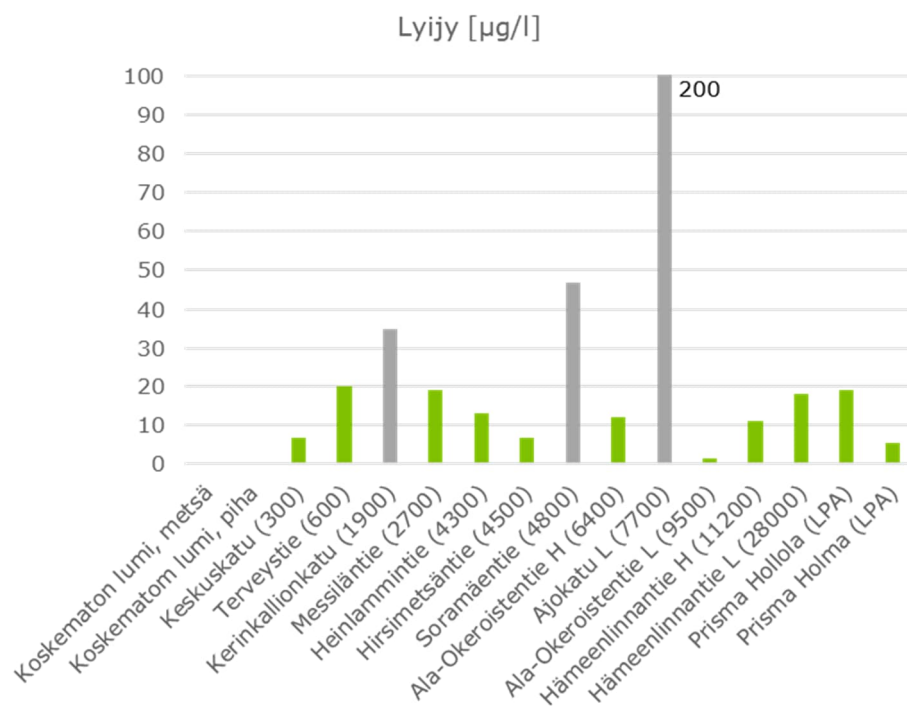
Kuva 12. Sinkkipitoisuudet luminäytteissä [µg/l]. Lähes kaikissa kohteissa pitoisuudet olivat yli Göteborgin kaupungin⁷ ja Sainion⁸ ohjearvoja (> 30-150 µg/l).



Kuva 13. Kuparipitoisuudet luminäytteissä [µg/l]. Useimmissa kohteissa pitoisuudet olivat yli molempien verrattujen ohjearvojen (> 10-40 µg/l).



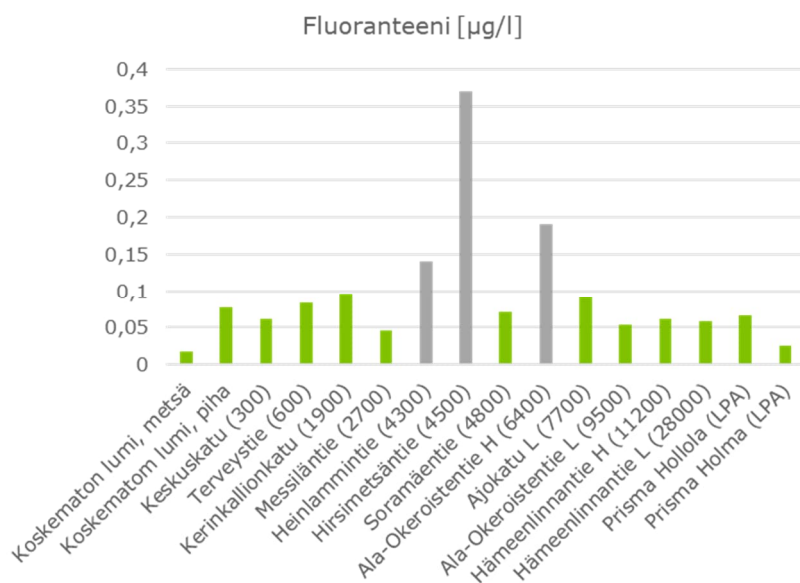
Kuva 14. Kromipitoisuudet luminäytteissä [$\mu\text{g/l}$]. Lähes kaikissa kohteissa pitoisuudet olivat yli molempien verrattujen ohjerajojen ($> 7 - 25 \mu\text{g/l}$).



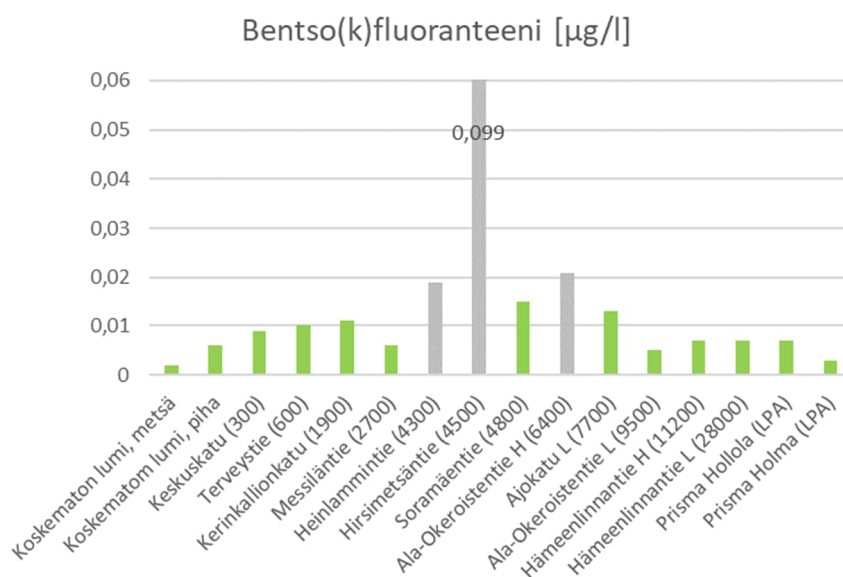
Kuva 15. Lyijypitoisuudet luminäytteissä [$\mu\text{g/l}$]. Harmaalla Göteborgin ohjearvot ylittävät pitoisuudet ($> 28 \mu\text{g/l}$).

PAH-yhdisteet

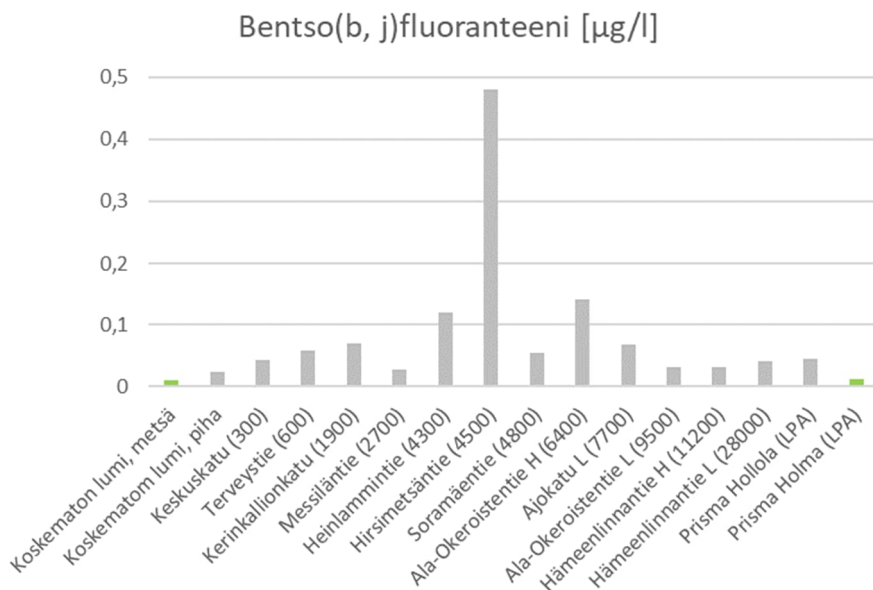
Erilaisia PAH-yhdisteitä havaittiin kaikista luminäytteistä mutta korkeiden pitoisuuksien osalta merkittävät yhdisteet olivat fluoranteeni ja bentso(k)fluoranteeni, joita esiintyi erityisesti kohteissa, joissa KVL oli 4000-6500, Lahdessa Heinlammintiellä ja Hirsimäentiellä sekä Hollolan Ala-Okeroistentiellä (Kuvat 17 ja 18). Lisäksi PAH-yhdisteistä huomiota herätti bentso(b,j)fluoranteeni, jota esiintyi kohonneissa pitoisuuksissa ($> 0,017 \mu\text{g/l}$) kaikissa kohteissa lukuun ottamatta metsäisen alueen koskemattoman lumen ja Holman Prisman pysäköintialueelta otetuista näytteistä (Kuva 18). Bentso(g,h,i)peryleeniä esiintyi myös kaikissa näytteissä ja pitoisuudet ylittivät ohjearvon $8,2 \cdot 10^{-3} \mu\text{g/l}$ kaikkialla, lukuun ottamatta metsäisen alueen koskemattoman lumen näytettä (Kuva 19).



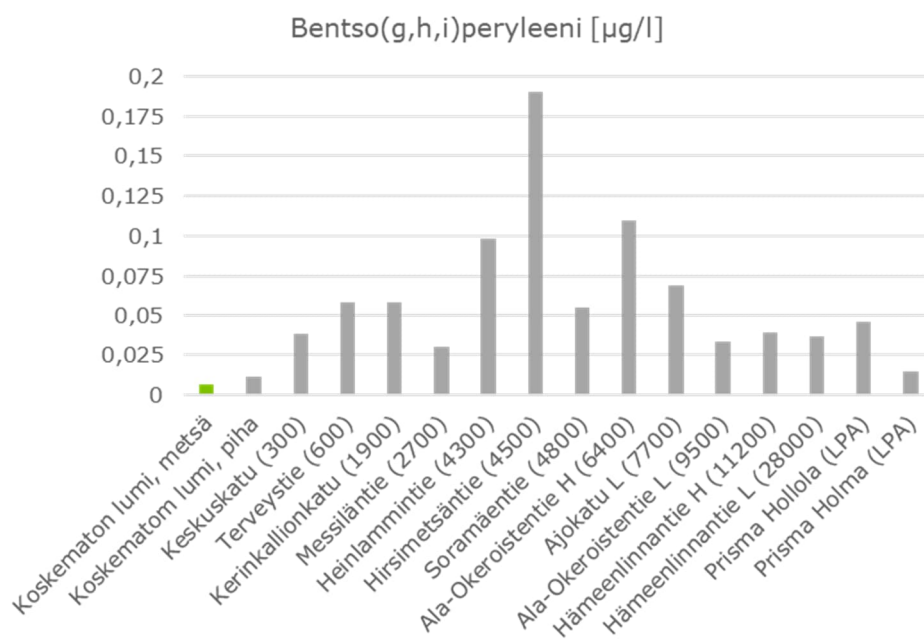
Kuva 16. Fluoranteenipitoisuudet luminäytteissä [µg/l]. Harmaalla Sainion (2023) ohjearvot ylittävät pitoisuudet ($> 0,12 \mu\text{g/l}$).



Kuva 17. Bentso(k)fluoranteenipitoisuudet luminäytteissä [µg/l]. Harmaalla Sainion (2023) ohjearvot ylittävät pitoisuudet ($> 0,017 \mu\text{g/l}$).



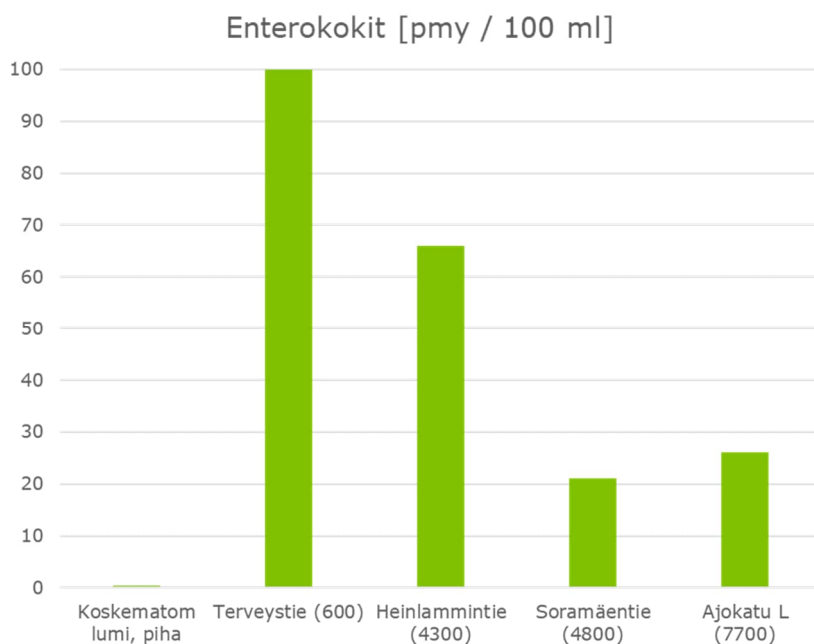
Kuva 18. Bentso(b, j)fluoranteenipitoisuudet luminäytteissä [$\mu\text{g}/\text{l}$]. Harmaalla Sainion (2023) ohjearvot ylittävät pitoisuudet ($> 0,017 \mu\text{g}/\text{l}$).



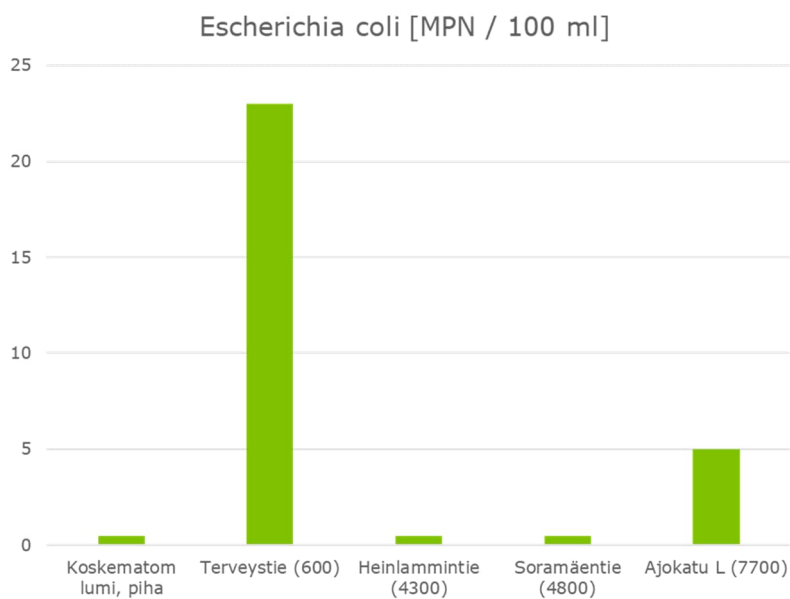
Kuva 19. Bentso(g,h,i)peryleenipitoisuudet luminäytteissä [$\mu\text{g}/\text{l}$]. Harmaalla Sainion (2023) ohjearvot ylittävät pitoisuudet ($> 0,0082 \mu\text{g}/\text{l}$).

Suolistoperäiset bakteerit

Luminäytteiden hygieenistä laatua selvitettiin analysoimalla *Escherichia coli* -bakteerin ja enterokokkien määriä. Näitä ulosteperäisiä bakteereita esiintyi odotetusti kaikissa tutkituissa luminäytteissä (Kuvat 21 ja 22). Todennäköinen syy esimerkiksi Terveystien ja Soramäentien väliseen eroon bakteereissa vaikuttaa se, että Terveystien tutkimuspisteen lähellä on myös jalkakäytävä, jolla kulkee koirien ulkoiluttajia, kun taas Soramäentiellä kevyenliikenteen väylä ei sijaitse aivan ajoradan vieressä.



Kuva 20. Enterokokkien määrät luminäytteissä.



Kuva 21. *Escherichia coli*.

Sulamisvesien laatu

Yksittäiset hulevesinäytteet sulamisvesistä

Huhtikuussa hulevesiviemäreistä kerättyjen hulevesinäytteiden pitoisuudet olivat pääasiassa hyvin maltillisia verrattuna luminäytteiden pitoisuuksiin (Taulukko 5). Poikkeavia tuloksia mitattiin vain yhdessä kohteessa, Terveystiellä Hollolassa, jossa korkeita pitoisuuksia oli seuraavissa haitta-aineissa: elohopea (1,1 µg/l), kupari (170 µg/l) ja sinkki (210 µg/l). Lisäksi Terveystien perusparametreista fosfori (liukoinen ja kokonaispitoisuus) ja kokonaistyyppi olivat huomattavasti korkeampia muihin kohteisiin verrattuna (Taulukko 5). Terveystiellä analyysituloksissa on todennäköisesti virhettä ja tästä on oltu yhteydessä laboratorioon.

Sulamisvesissä metalleja oli selvästi enemmän liukoisessa muodossa kuin lumessa. Esimerkiksi kuparista liukoisessa muodossa oli keskimäärin 52 % ja sinkistä 54 %. Ravinteista fosforista liukoisen fosfaattifosforin osuus vaihteli välillä 4 - 22 %, kun taas typen liukoisen nitraatin osuus oli yllättävän pieni, vain alle 1 %.

Hulevesiviemäreistä kerättyjen kertaluonteisten vesinäytteiden kaikki analyysitulokset on esitetty yhteenvetotaulukossa liitteessä 2 ja laboratorion analyysitodistukset liitteessä 3. Esimerkiksi PAH-yhdisteitä ei havaittu vesinäytteistä määritysrajan ylittäviä pitoisuuksia. Fenantreeniä oli Terveystiellä 0,009 µg/l, mutta tälle ei ole määritetty ohjearvoa (Liite 2).

Sulamisvesinäytteet olivat yksittäisiä näytteitä eikä niiden pohjalta voida arvioida huleveden laatua edustavasti.

Taulukko 5. Kertaluonteisten hulevesinäytteiden peruslaatuparametrien ja metallien pitoisuudet. Punnaisella merkityt arvot ylittävät Göteborgin kaupungin (2020) ohjearvot kokonaispitoisuuksille. Ravinteita tulkitaan kohdekohtaisesti. Terveystien erittäin korkeat pitoisuudet esimerkiksi kokonaisravinteiden osalta voivat viitata virheellisiin analyysituloksiin.

		Ajokatu Lahti	Hämeenlinnantie Lahti	Soramäentie Hollola	Terveystie Hollola
Liikennemäärä		7700	28000	4800	600
Liukkaudentorjunta		formiaatti	formiaatti	hiekoitus	hiekoitus
pH		7.1	7.5	6.8	8.2
Sähkönjohtavuus	µS/cm	180	180	340	870
Kiintoaine	mg/l	3.4	140	57	120
Kokonaisfosfori (P)	µg/l	67	140	62	27000
Kokonaistyyppi (N)	µg/l	2600	870	4000	190000
Nitraatti (NO ₃)	mg/l	9.3	2.6	15	2.9
Fosfaattifosfori (PO ₄ ^{-P})	µg/l	15	24	2.2	11000
TOC	mg/l	8	4.1	2.5	220
Kloridi (Cl ⁻)	mg/l	12	15	63	100
Elohopea	µg/l	<0.020	<0.020	<0.020	2.4
Elohopea liukoinen	µg/l	<0.020	<0.020	<0.020	1.1
Kadmium	µg/l	<0.030	0.034	0.062	<0.030
Kadmium Liukoinen	µg/l	<0.030	<0.030	0.044	<0.030
Kromi	µg/l	3.6	2.1	0.54	<0.50
Kromi Liukoinen	µg/l	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
Kupari	µg/l	16	14	3.7	170
Kupari Liukoinen	µg/l	9.2	5.2	1.4	130
Lyijy	µg/l	2.1	2.9	0.36	2.5
Lyijy Liukoinen	µg/l	0.19	0.15	<0.10	0.92
Nikkeli	µg/l	3.6	1.9	4.3	19
Nikkeli Liukoinen	µg/l	1.3	0.64	3.9	18
Sinkki	µg/l	18	23	35	210
Sinkki Liukoinen	µg/l	6.7	5.5	31	140
Vanadiini	µg/l	4.4	3.3	0.98	0.31
Vanadiini Liukoinen	µg/l	0.69	1.1	0.2	<0.20

Kokoomanäytteet passiivikeräimillä

Passiivikeräimistä analysoitujen parametrien pitoisuudet olivat pääosin maltillisia (Taulukko 6). Esimerkiksi PAH-yhdisteitä ei havaittu määrittämissä ylittävissä pitoisuuksissa, mikä johtuu PAH-yhdisteiden herkästä sitoutumisesta kiintoaineeseen. Koska passiivikeräintulokset edustavat yhdisteiden liukoisia pitoisuuksia, eivät näiden perusteella saadut tulokset anna kokonaiskuva hulevesien mukana kulkeutuvasta kokonaiskuormituksesta.

Passiivikeräinnäytteiden kaikki analyysitulokset ovat koottuna Liitteessä 4. Passiivikeräimien käytännön toimivuudessa oli tutkimusjaksolla haasteita, jonka vuoksi kerätty havaintoaineisto jäi toivottua pienemmäksi. Lisäksi tulosten tulkintaa hankaloitti myös tyypin ja sen fraktioiden korkeaksi jääneet määrittämissä rajat.

Taulukko 6. Passiivikeräimillä koottujen hulevesinäytteiden pitoisuudet analysoiduille aineille. Punaisella merkitty kuparipitoisuus (liukoinen) ylittää Göteborgin kaupungin (2020) ohjearvon kuparin kokonaispitoisuudelle.

		Ajokatu Lahti	Soramäentie Hollola
Liikennemäärä		7700	4800
Liukkaudentorjunta		formiaatti	hiekoitus
Ammonia+ammonium-N	µg/l	< 90	< 100
Nitriitti+nitraatti-N	µg/l	< 3000	< 5000
Fosfaattifosfori (PO ₄ -P)	µg/l	< 10	< 10
Sulphate	µg/l	< 100000	< 100000
Lyijy (Pb)	µg/l	0,23	0,21
Kadmium (Cd)	µg/l	0,057	0,062
Kromi (Cr)	µg/l	< 1	3,1
Kupari (Cu)	µg/l	16	9,3
Elohopea (Hg)	µg/l	0,032	< 0,008
Nikkeli (Ni)	µg/l	< 0,5	2,1
Sinkki (Zn)	µg/l	16	25
Naftaleeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Asenaftaleeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Asenaftyleeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Fluoreeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Fenantreeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Antraseeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Fluoranteeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Pyreeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Bentso(a)antraseeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Kryseeni/Triphenylene	µg/l	< 0,01	< 0,01
Bentso(b,j,k)fluoranteeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Bentso(a)pyreeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Indeno(1,2,3-c,d)pyreeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Dibentso(a,h)antraseeni	µg/l	< 0,01	< 0,01
Bentso(g,h,i)peryleeni	µg/l	< 0,01	< 0,01

4 Päätelmät ja suositukset

Lumen ja sulamisvesien laatuun ja likaisuusasteeseen vaikuttavat tekijät

Lumessa havaitut haitta-aineet sekä pitoisuuksien vertailu koskemattoman ja auratun lumen välillä antavat erinomaista tietoa liikennöidyillä alueilla ympäristöön kulkeutuvista päästöistä. Sama tieto lisää ymmärrystä myös lämpimämpien vuodenaikojen hulevesien haitta-aineista.

Tutkimusaineiston perusteella voidaan tehdä seuraavia johtopäätelmiä lumen ja sulamisvesien laatuun ja likaisuusasteeseen Lahdessa ja Hollolassa vaikuttavista tekijöistä:

- Liikennöidyiltä alueilta aurattu lumi on pääsääntöisesti likaista liikennemäärästä riippumatta. Lumen laatua heikentävä ensisijainen tekijä on sen sijainti liikennöidyn alueen välittömässä läheisyydessä (aurattu lumi).
- Pysäköintialueiden lumi ei ollut erityisen likaista verrattuna muihin katualueiden lumiin
- Liukkaudentorjunnan käytänteet (hiekoitus, tiesuola, formiaatti) ja niiden paikalliset painotukset vaikuttavat merkittävästi lumen ja sulamisveden laatuun (kiintoaine- ja kloridipitoisuudet).
- Lumen haitta-ainepitoisuudet eivät sellaisenaan kuvaa alueella muodostuvan huleveden laatua.
- Haitta-aineiden olomuoto sulamisvedessä poikkeaa lumen ominaisuuksista. Lumessa haitta-aineet ovat pitkälti sitoutuneina kiintoaineeseen, mutta sulamisvedessä myös liukoinen osuus kasvaa.
- Lumessa esiintyvät pitoisuudet eivät sellaisenaan edusta sulamisveden tai huleveden pitoisuuksia, sillä pitoisuudet laimenevat sulamisprosessin myötä ja edelleen veden jatkaessa matkaa muihin verkostoihin.

Selkeiden, liikennemäärään sidoksissa olevien korrelaatioiden puuttuminen lumenlaatuaineistosta voi selittyä sillä, että kaikkein vilkkaimpien väylien ajorataa lähinnä oleva likaisin lumi oli todennäköisesti jo ennen mittauksia aurattu pois alueelta ja jäljelle jääneestä lumesta määritetyt pitoisuudet eivät kuvanneet koko talvenaikaista kertymää. Tämän pohjalta voidaan myös päätellä, että kaikkein liikennöidyimmillä väylillä lumen poiskuljetuksella voidaan mahdollisesti merkittävästikin vähentää lumeen varastoituneiden haitta-aineiden määrää ja siten sulamisvesien mukana ympäristöön päätyvien haitta-aineiden kuormitusta.

Tutkimuspisteissä lumen laatuun saattoi vaikuttaa myös monia muita tekijöitä, joiden merkitystä ei voida havaintoaineiston perusteella arvioida, kuten sulannan eteneminen, lumen altistumisaika liikenteelle, raskaan liikenteen osuus, ajonopeudet tai lumikerroksen paikallinen ja alueellinen heterogeisuus.

Päätelmät lumesta ja sulamisvesistä pinta- ja pohjavesille aiheutuvien riskien arvioinnista

Vedenlaaturiskejä aiheuttavat hulevesien haitta-aineet

Lahden ja Hollolan tutkimustulosten perusteella sulamisvesien laaturiskit liittyvät erityisesti seuraaviin haitta-aineisiin:

- kiintoaine
- kokonaisfosfori
- metalleista sinkki, kupari, kromi
- PAH-yhdisteistä fluoranteeni ja bentso(k)fluoranteeni
- öljyhiilivedyt
- kloridi perinteisen tiesuolauksen alueilla

Metalleista myös lyijyä voi esiintyä paikoin kohonneina pitoisuuksina. Lisäksi erityisesti jalkakäytävien yhteydessä lumeen varastoituu ulosteperäisiä bakteereja, joilla on ainakin tilapäinen hygieenistä laatua alentava vaikutus sulamisvesiin. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin mitä

Suomessa on aiemmin todettu hulevesien laatua koskevissa tutkimuksissa^{8,9,23} esimerkiksi kiintoaineen, fosforin ja metallien osalta. PAH-yhdisteiden ja öljyhiilivetyjen pitoisuuksia on tutkittu vähemmän tavanomaisessa kaupunkiympäristössä.

Yllä listattujen haitta-aineiden lisäksi PAH-yhdisteistä bentso(b,j)fluoranteenia ja bentso(g,h,i)peryleenia esiintyi yleisesti luminäytteissä. Kohonneiden pitoisuuksien aiheuttamaa riskiä ympäristölle on kuitenkin vaikea arvioida laajemman tutkimustiedon puuttuessa. Vaikka PAH-yhdisteistä bentso(a)pyreeniä on yleisimmin käytetty edustamaan hulevesien laatua, ei se tämän tutkimuksen valossa kuvannut lumeen ja sulamisveteen kulkeutuvia PAH-yhdisteitä. Tältä osin tulokset tukevat Sainion¹⁹ aikaisempia johtopäätelmiä suomalaisten lupavelvollisten laitosten hulevesien laatua kuvaavista mittareista. Esimerkiksi Göteborgin kaupungin¹⁸ hulevesien ohjearvoissa bentso(a)pyreenin pitoisuus on ainoa PAH-yhdisteitä kuvaava mittari.

Alueilla, joilla formiaattia käytettiin liukkaudentorjunnassa, lumen kloridipitoisuudet olivat hyvin alhaisia verrattuna tiesuolauksen alueisiin. Liukkaudentorjunnan vaikutuksia vedenlaatuun kuvasi parhaiten kloridipitoisuus tiesuolauksen alueilla. Vaikka sähkönjohtavuutta voidaan käyttää kloridipitoisuuden epäsuorana mittarina, sähkönjohtavuuteen vaikuttavat myös muut lumeen ja sulamisveteen liuenneet aineet, mikä osaltaan peittää pelkästä liukkaudentorjunnasta aiheutuvia eroja alueiden välillä.

Lumen ja sulamisvesien aiheuttamien vedenlaaturiskien arviointi

Laaturiskin merkittävyyden tulkinta edellyttää paikallisten olosuhteiden arviointia valuma-alueenäkökulma huomioiden. Lumeen ja sulamisvesiin liittyvän laaturiskin tunnistaminen edellyttää ainakin seuraavien kysymysten pohdintaa:

- mitkä ovat kohteen kriittiset haitta-aineet?
 - maankäyttö, liikennemäärä, liukkaudentorjunnan käytänteet
 - haitta-aineen runsaus lumessa ja sulamisvesissä, vaikutukset ympäristössä, haitta-aineen olomuoto ja kulkeutumisherkyys
- kuinka herkkä on sulamisvesiä vastaanottava ympäristö?
 - pohjavesialue
 - pintavesi (noro, puro, joki, järvi)
 - maaperä

Lumitutkimuksen tulosten pohjalta katu- ja tiealueiden lumen laatuun on syytä kiinnittää huomioita riippumatta alueen liikennemäärästä. Lumen haitta-ainepitoisuudet olivat korkeita ja ylittivät hulevesille tarkoitettuja ohjearvoja useissa tutkimuspisteissä. Laatuun liittyvät riskit kasvavat, mitä liikennöidymmästä alueesta on kyse. Tutkimustulosten perusteella ainakin osalla haitta-aineista erityisen suuret haitta-ainepitoisuudet liittyivät kohteisiin, joissa keskimääräinen vuorokausiliikenne KVL on yli 4000 ajoneuvoa vuorokaudessa.

Liukkaudentorjunnassa käytetyt menetelmät, erityisesti hiekoitus ja tiesuolaus (natriumkloridi), vaikuttavat lumen laatuun merkittävästi. Tutkimusaineisto ei kuitenkaan ollut riittävän laaja formiaatin käyttöön liittyvien mahdollisten riskien arvioimiseksi.

Lumeen ja sulamisvesiin liittyvien laaturiskien arviointia vaikeuttaa useiden kaupunkiperäisten haitta-aineiden osalta luotettavan tutkimustiedon puute, jota tarvitaan pitoisuuskriteerien muodostamiseen. Pitoisuuksien vertailussa käytetyt julkaisut^{18,19} valittiin hulevesien laadun ohjearvoja kuvaavaksi tausta-aineistoksi siksi, että ne edustavat melko tuoreita selvityksiä ja koskevat laajaa valikoimaa haitta-aineita. Molempien lähteiden taustalla on myös pyrkimys arvioida hulevesien laatuvaikutuksia vesiympäristön ekologialle aiheutuvien haittojen näkökulmasta.

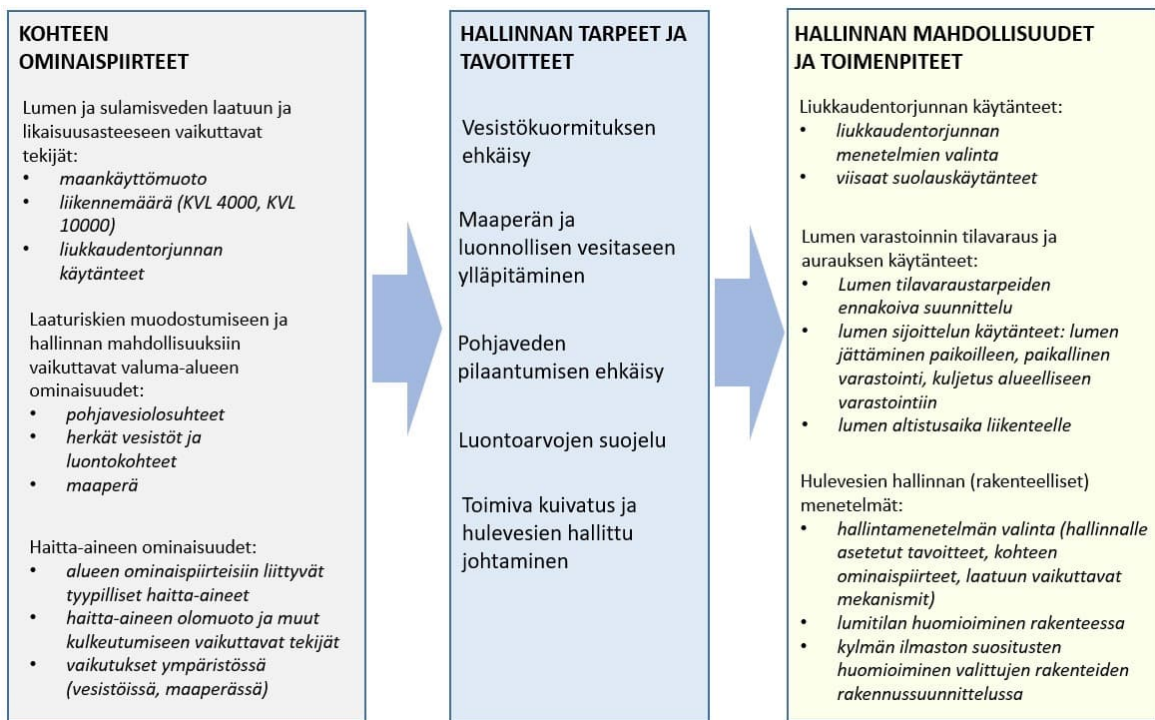
²³ Stormwater-hankkeen loppuraportti, toim. Sänkiaho & Sillanpää. Aalto-yliopiston julkaisusarja Tiede + Teknologia 4/2012.

Kumpaakaan lähdettä ei ole kuitenkaan tarkoitettu lumen haitta-ainepitoisuuksien arvioimiseen. Lisäksi esimerkiksi öljyhiilivedyistä ja monista PAH-yhdisteistä ei vaikuta olevan riittävästi tutkimustietoa kriittisten pitoisuustasojen määrittämiseen.

Suosituksukset pinta- ja pohjavesille aiheutuvien riskien hallinnan kehittämiseksi

Lahdessa ja Hollolassa lumen ja sulamisvesien hallinnan lähtökohta on, että mahdollisuuksien mukaan lumi säilytetään ja annetaan sulaa lähivaluma-alueellaan, ja lunta kuljetetaan pois vain tarvittaessa tai kun sen laatu sitä edellyttää. Optimaalisessa tilanteessa lumi saa sulaa kasvipeitteisellä, vettäläpäisevällä alueella, jolloin sulamisvedet ylläpitävät maaperän luonnollista vesitasetta ja haitta-aineet pidättyvät maaperän pintakerrokseen.

Johdannossa esiteltiin kirjallisuuden avulla erilaisista näkökulmista laadittuja lumen ja sulamisvesien hallintaa ohjeistavia esimerkkejä. Esimerkeistä yksikään ei sellaiseen suoraan tarjoa paikallisiin olosuhteisiin soveltuvaa mallia talviaikaisten laaturiskien hallintaan. Sen sijaan yhdistelemällä tässä tutkimuksessa kerättyjä tuloksia ja hallinnan esimerkeissä esitettyjä asioita voidaan muodostaa kaavio lumen ja sulamisvesien hallinnan kokonaisuudelle (Kuva 22).



Kuva 22. Lumen ja sulamisvesien laatuvaikutusten hallinnan kaavio.

Pelkkään liikennemäärään perustuva lumiluokittelu ei ole suositeltava, sillä on vaikeaa osoittaa selkeitä liikennemäärään sidottuja ohjeita siitä, milloin lumi on riittävän puhdasta ja milloin liian liikaista paikalliseen varastointiin tai hallintaan. Liikennemäärä on kuitenkin yksi käyttökelpoinen indikaattori hallinnan tarpeiden tunnistamisessa. Kuvassa 22 on liikennemäärään liittyvinä ohjeistuksina mainittu 4000 ja 10000 ajoneuvon vuorokausiliikenne.

Kuvan 22 kaavio toimii raamina lumen ja sulamisvesien hallinnan kokonaisuuden kehittämiseksi ja suunnittelulle. Vaiheet mukailevat maankäytön ja hulevesien hallinnan suunnittelulle tyypillistä prosessia. Lumen hallinnan pääperiaatteiden ja varastoinnin tilavaraustarpeiden määrittely on hyvä aloittaa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa maankäytön suunnittelua.

Hallinnan suunnittelu käynnistyy kohteen ominaispiirteiden ja näistä aiheutuvien laaturiskien tunnistamisella, tämän jälkeen määritetään ominaispiirteistä johdettavat hallinnan tarpeet ja tavoitteet sekä lopulta määritetään kohteen ominaispiirteisiin ja hallinnan tavoitteisiin soveltuvat toimenpiteet.

Lumeen ja sulamisvesien laaturiskeihin vaikutetaan parhaiten seuraaviin osa-alueisiin liittyvillä toimenpiteillä ja ohjeilla:

- liukkaudentorjunnassa käytettävien menetelmien optimointi
- lumen tilavarauksien, aurauksen, varastoinnin (paikallinen/alueellinen) ja poiskuljetuksen suunnittelu
- katujen ja teiden puhtaanapidon optimointi
- sulamisvesien hallinnan (käsittely ja johtaminen) suunnittelu

Suosituksat jatkotoimenpiteiksi

Lumiolosuhteiden huomioimisesta käsitellään vaihtelevasti kansallisissa suunnitteluohjeissa ja ohjeiden päivittäminen on ajankohtaista. Tutkimuksessa esitetyt tulokset lumen yleisesti heikosta laadusta alleviivaavat käynnissä olevan tutkimushankkeen tärkeyttä ja ajankohtaisuutta. Tulosten hyödyntäminen edellyttää tulosten ja päätelmien jatkokehittämistä hankkeen seuraavissa työpaketeissa. Työpaketissa 2 keskitytään talviaikaisten hulevesien laaturiskit huomioivan maankäytön suunnitteluprosessin kehittämiseen erikseen valitussa asemakaavatason pilttikohdeissa. Työpaketissa 3 inventoidaan paikkatietona lumen varastointi- ja vastaanotto- paikkoja sekä kehitetään lumen kuljetuksen ja varastoinnin käytäntöjä. Jatkosuunnittelussa tulee ottaa huomioon alueellisten hulevesiohjelmien asettamat tavoitteet hulevesien hallinnalle ja Lahden ja Hollolan taajama-alueisiin liittyvät, lumen varastoinnin ja hallinnan kannalta olennaiset erityispiirteet, kuten herkäät vesistöt ja pohjaveden muodostumisalueet.

Suosituksia jatkotoimenpiteiksi aihealueittain:

- Suomessa lumen ja sulamisvesien huomioiminen maankäytön ja hulevesien hallinnan suunnittelussa on hyvin vähäisessä roolissa. Esimerkiksi Kuvan 22 kaltaisen hallinnan suunnitteluprosessin ja tätä täydentävän ohjeistuksen kehittäminen edistäisi lumen ja sulamisvesien hallintaa myös kansallisella tasolla. Ohjeistus edistäisi oikea-aikaista talviolosuhteiden huomioimista eri vaiheissa maankäytön suunnittelua, sekä parantaisi suunnitelluosaamista.
- Lumen hallinnan kehittämiseksi on hyvä, että hankkeen jatkotoimenpiteissä tullaan selvittämään nykyisiä lumen varastointi ja -kuljetuskäytänteitä. Hallinnan kehittämiseksi lumen tilavarauksia varten tulisi laatia ohje sekä laajemman alueen mittakaavassa sekä pienimuotoisemman alueen suunnittelua varten (esimerkiksi lumitilan varaaminen pienellä katu- tai asuinalueella, lumitilan varaaminen yksittäisestä hulevesirakenteesta). Samalla voidaan esittää kriteerit lumen varastointialueiden sijoitteluun pohjavesialueella sekä hulevesiverkostojen ja herkkien vesistöjen läheisyydessä.
- Paikalliset hiekoitukseen ja formiaattiin pohjautuvat liukkaudentorjunnan käytänteet vaikuttivat tuloksien pohjalta lupaavilta tiesuolaukseen liittyvien haittojen vähentämisessä. Jatkossa voidaan vielä tunnistaa, onko vielä olemassa katualueita, joiden liukkaudentorjunnan menetelmiä voidaan muuttaa tai tehostaa. Lisäksi on hyvä selvittää, onko katualueiden puhtaanapidon käytänteillä merkitystä vedenlaadun kannalta.
- Lumen ja sulamisvesien hallintaan liittyvää ohjeistusta voi kehittää omina dokumentteina. Aihepiiri liittyy kuitenkin läheisesti hulevesien hallintaan, joten lumen ja sulamisvesien hallinnan prosessi ja ohjeistus voidaan yhdistää luontevasti osaksi hulevesien hallinnan ohjeistusta. Sulamisvesien hallinnan kehittämiseksi tulisi lisäksi ainakin kriittisillä valuma- tai pohjavesialueilla kartoittaa hule- ja sulamisvesien käsittelyn kehittämismahdollisuuksia nykyisillä katu- ja tiealueilla.

- Talviaikainen hulevesien hallinta muodostaa yllättävän monitahoisen kokonaisuuden, joka koskettaa useita eri sidosryhmiä ja aihekokonaisuuksia. Hallinnan käytänteillä on tärkeä merkitys vedenlaadun lisäksi myös yleisen viihtyvyyden, turvallisuuden ja kunnossapidon näkökulmista. Lumen ja sulamisvesien hallinnan kehittämisessä tulee huomioida myös muiden aiheeseen liittyvien sidosryhmien tarpeet.