

Tellijä: Maanteeamet

Töö nr: 11097

KURNA LIIKLUSSÕLME SADEMEVEE LAHENDUSE EKSPERTIIS

Vastutav täitja:
Madis Metsur

Juhatuse liige:
Indrek Tamm

Tallinn, oktoober 2011

Sisukord

1	Sissejuhatus.....	2
2	Projektiala kirjeldus.....	2
2.1	Projekti ülevaade.....	2
2.2	Valgala kirjeldus.....	2
2.3	Geoloogilised tingimused.....	3
2.4	Sademevee lahendus teeprojektis nr P0-154.....	6
3	Sademevee iseloomustus.....	9
3.1	Sademevee kvaliteet.....	9
3.2	Kurna liiklussõlme sademevee kogused.....	12
4	Sademevee käitlemise nõuded.....	16
4.1	Veeseadus ja alamaktid.....	16
4.2	Projekteerimismid, KMH ja kooskõlastused.....	18
5	Sademevee käitlemise võimalused Kurna oja valgala.....	22
6	Järeldused ja kokkuvõte.....	24
7	Kasutatud materjalide loetelu.....	26

Aruande elektroonilised lisad

Lisa Joonis 1 Projektiala teeprojektist P0-154

Lisa Joonis 2 Ringtee tüüpristprofiilid Teeprojekt nr P0-154 joonis 1.05.01-01

Ettekanded 18 oktoobri sademevee seminaril

Aruande skeemid, joonised, fotod ja tabelid

Skeem 1	Pikettide 135-138 vahemikus on võimalik põhjavee juurdevool	4
Skeem 2	Pikettide 145-148 vahemikus on võimalik põhjavee juurdevool	4
Skeem 3	Kraavide põhjad pikettide 143-146 vahemikus avavad lubjakivi	5
Skeem 4	Kraavide põhjad pikettide 147-157 vahemikus avavad lubjakivi	5
Joonis 1	Vabaduse pst valgala, 4.13 ha [10].....	10
Joonis 2	Rocca-al-Mare valgala, 120.1 ha, haljastuse osa 1-2% [10].....	10
Joonis 3	Reoainete vähenemine johtuvalt seisuaajast [13].....	14
Joonis 4	Settebasseinide SB-5 ja SB-2 valgala veekogused ja vee seisuaeg.....	15
Joonis 5	Ülemiste järve põhjaveevoolu valgala [4] ja heitveelasud seisuga 2011.....	19
Joonis 6	Settebassein SB-5 on suurima arvutusliku koormusega, kõrval on koht loduks.....	23
Foto 1	Jõhvi teeristis sademeveesüsteemi suure basseini sissevool liiva-õlipüüdurist (11.10.2011).....	7
Foto 2	Jõhvi teeristis oleva sademeveesüsteemi suurem bassein (11.10.2011).....	8
Tabel 1	Keskmised kontsentratsioonid Vabaduse puistee äravoolus (Olevi tn väljalask)[10].....	9
Tabel 2	Keskmised kontsentratsioonid Rocca-al-Mare valgala äravoolus [10].....	11
Tabel 3	Kurna liiklussõlme sademevee rajatiste ligikaudsed valgala.....	12
Tabel 4	Kurna liiklussõlme settebasseinide seisuajad.....	13
Tabel 5	Erinevate pinnaseosakeste teoreetiline laskumiskiirus vees (Tabel 7 Maatalouden monivaikutteisten kostekkojensuunnittelu ja mitoitus, Suomen Ympäristö 21/2007).....	14
Tabel 6	Sademevees enamlevinud ohtlike ainete sisalduse heitvee piirväärtused veekogusse juhtimisel.....	17
Tabel 7	Vabariigi Valitsuse 31. juuli 2001. a määruse nr 269 «Heitvee veekogusse või pinnasesse juhtimise kord» lisa 3.....	18
Tabel 8	Väljavõtte eri puhastusviiside efektiivsusest (Urban Drainage Design Manual, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration).....	22

1 Sissejuhatus

Töö eesmärgiks on sademevee alaste probleemide välja selgitamine ja võimalike lahenduste leidmine 2010. aastal valminud 2002/EE/16/P/PA/009 Kurna eritasandilise ristmiku tehnilise projekti osas, arvestades nii tekkivate sademetevete koostist ja mõju keskkonnale ning erinevaid kogumis- ka puhastamisvõimalusi. Käesolev eksperthinnang on koostatud Maanteeameti tellimusel, tellija esindajaks on Maanteeameti planeeringute osakonna peaspetsialist Rein Kallas. Töö tehti AS Mavesse poolt koostatud ekspertgrupi poolt koosseisus Madis Metsur, Indrek Tamm, Ain Lääne ja Kalev Raadla (PB Maa ja Vesi).

2 Projektiala kirjeldus

2.1 Projekti ülevaade

Tallinna ringteele T11 planeeritav Kurna liiklussõlm asub Harju maakonnas, Kiili ja Rae valdade territooriumil. Vaadeldav teelõik (11.8 – 16.2km) kulgeb Tallinn-Tartu mnt Jüri ringristmikut kuni Vaela külani. Kurna eritasandiline ristmik paikneb ringtee kilomeetril 15.65. Ööpäeva keskmine liiklussagedus oli 2010 aastal 11000 autot. Liiklussageduse prognoosi järgi 2030. aastaks kasutab seda lõiku kuni 19550 autot ööpäevas [5].

Projektiala (Teeprojekt nr P0-154) koos sademeveelahendustega on esitatud ekspertiisi elektroonilises lisas joonisel 1. Kavandatava ringtee projekti tüüpristprofiilid (AS Teede Tehnokeskus Teeprojekt nr P0-154 joonis 1.05.01-01) on esitatud ekspertiisi elektroonilises lisas joonisel 2.

2.2 Valgala kirjeldus

Projektiala idapoolne (Kurna-Mõisküla peakraavist ida pool paiknev) osa asub mullakaardi põhjal liigniiskel alal, mis on kuivendatud maaparandusregistris olevate maaparandusobjektidega (Kurna I I, Kurna 1-2 I). Ringteel olemasoleva ristmiku (Kurna-Tuhala (Kiili)) ja uue planeeritava ristmiku alal ning ringteelõigu läänepoolses osas mullakaardi järgi liigniiskust ei esine.

Kavandatava ringteelõigu pinnavee äravool (v.a. läänepoolseima osa 300 m lõik) on kavas teekraavide, olemasoleva kraavituse ja vooluveekogude abil juhtida Kurna ojasse. Kurna oja ei kuulu Tallinna linna pinnaveesüsteemi joogiveehaardesse kuuluvate veekogude nimekirja¹ kuid oja suubub Ülemiste järve ringteest 7.7 km kaugusel. Kurna oja valgala on 51.8 km², arvutuslikud vooluhulgad: $Q_{aasta\ max} 5\% 9.6\ m^3/s$; $- Q_{aasta\ keskm} 0.41\ m^3/s$; $Q_{aasta\ min} 95\% 0.03\ m^3/s$ [4]. Lääne-Eesti veemajanduskavas on Kurna oja (tugevalt muudetud veekogum) ökoloogiline seisundiklass hinnatud kesiseks, keemiline seisundiklass on hea [9].

Kurna oja looduslikust liigniiskest suudmealast kujundati Ülemiste järve kaldale aastal 2002 tehismärgala (nn biolodu). Selleks, et tehismärgala vesi ei pääseks otse järve on Kurna oja looduslik suue suletud muldpiirdetammiga mille luhapoolsele küljele kaevatud kraavi valgub biolodu läbinud vesi. Kraavist suunatakse vesi Ülemiste järve muldtammi ehitatud regulaatori kaudu. Truupregulaator (2 x 1500 mm), on rajatud muldpiirdetammi 1200 m kaugusel Kurna oja algsest suudmest. Regulaatori lodupoolne suue on uputatud ja väljavooluotsak on varustatud sandooripaasidega, et Ülemiste järve madala veeseisu korral saaks puitsandooride

¹ Tallinna linna pinnaveesüsteemi joogiveehaardesse kuuluvate veekogude nimekirja kinnitamine. Keskkonnaministri määrus RTL 2001, 22, 309 <https://www.riigiteataja.ee/akt/84600>

ette asetamisega hoida lodu veepinda tasemel 36.60 ...36.80 [4]. Seda Ülemiste järve sanitaarkaitsealasse kuuluvat biolodu hooldab AS Tallinna Vesi. Tehismärgala eesmärk on puhastada Kurna oja vett eutrofeerumist põhjustavatest toiteainetest ja regulaatori abil ära hoida veest kergemate reoainete (eelkõige õli) sattumine Ülemiste järve õnnetusjuhtumite korral Kurna oja valgalal.

2.3 Geoloogilised tingimused

Ringtee uuritava ala reljeef on nõrgalt lainjas, üldise tõusuga edela suunas. Suurimad absoluutkõrgused on Kurna-Tuhala tee olemasoleval ristumiskohal, jäädes 52 m piiresse. Reljeefi madalamad osad on teetrassi kirdeosas, Kurna-Mõisaküla peakraavi ümbruses, jäädes 41-42 m vahemikku.

Geoloogilised uuringud Tallinna ringteel ja ringteega seotud rajatistele (viaduktid, tunnel ja truubid) tegi IPT Projektijuhtimine OÜ, Kurna-Tuhala teele ja kogujateede võrgule Reaalprojekt OÜ. Alljärgnevalt esitame teeprojekt nr P0-154-s toodud lühiülevaate geoloogilisest situatsioonist olulisemate rajatiste juures.

Ringtee uus ristumine Kurna-Tuhala teega

Ringtee ristumiskoht Kurna-Tuhala teega on projekteeritud uude asukohta (PK148+21) lähendusega, kus kõrvaltee ületab ringtee viaduktiga. Ringtee süvendis olevat lõiku on võrreldes eelprojektiga tõstetud (kuni 1.7m), et tagada vee äravool süvendist ilma vee väljapumpamiseta[1].

Murenemata lubjakivi pealispind on 0.75-2.2 m sügavusel, absoluutkõrgusel 45.40-46.55 m. Veetase enamikes puuraukudes 2.05-2.85 m sügavusel, absoluutkõrgusel 44.45-45.45 m. Sesonst võib moreeni ja lubjakivi pealispinnale koguneda ajutise iseloomuga ülavesi [1].

Jalakäijate viadukt, pk 151+85, vanal Kurna-Tuhala tee ristmikul

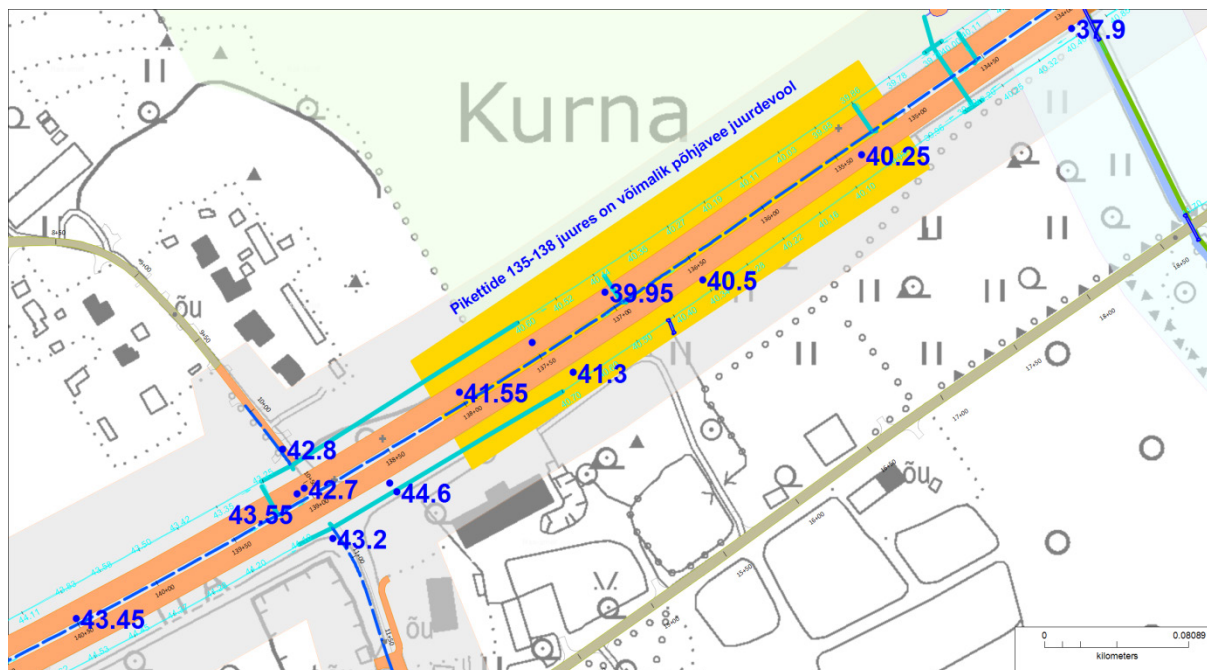
Maapinna absoluutkõrgused on sõidutee muldkeha ümbritseval alal 51-52 m piires. Murenemata aluspõhjalise lubjakivi pealispind on maapinnast 2.4-3.2 m sügavusel, absoluutkõrgusel 48.70-49.6 m. Vett välitööde ajal (17-18.11. 2010.a.) puurimissügavusse (6.5 m) ei ilmunud[1].

Jalgtee tunnel, pk 138+99

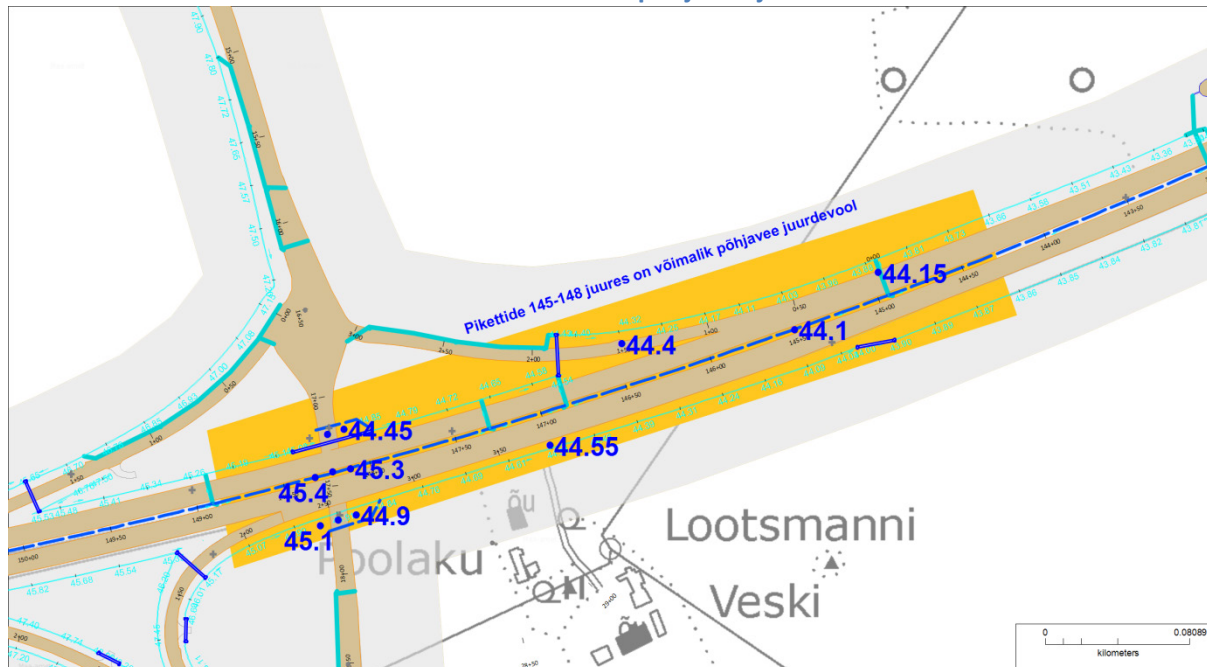
Maapinna absoluutkõrgused on sõidutee muldkeha ümbritseval alal 45,3-46 m piires. Ringtee alt läbiminev tunnel tehakse veetihe, uurimisaegne põhjaveetase oli absoluutkõrgusel 42.7-43.2. Lubjakivi pealispind on maapinnast 4.2-4.5 m sügavusel absoluutkõrgusel 40.9-41.45 m. Sesonst võib moreeni pealispinnale lühiajaliselt koguneda ajutise iseloomuga ülavesi[1].

Mõõdetud põhjavee tasemed on IPT Projektijuhtimine OÜ geoloogilises aruandes hinnatud miinimumilähedasteks. Reaalprojekt aruandes (põhiliselt kogujateede kohta) öeldakse: *Sademeterikast aastaaega arvestades on tegemist ülaveeläätsedega. Püsiv põhjaveehorisont paikneb sügavamal lubjakivis. Kõrge pinnaseveetase piirkonnas probleemiks ei ole, samas oleks soovitatav teede kõrvale rajada kuivenduskraavid sademeterikkamal perioodil moreeni peale tekkiva ülavee ärajuhtimiseks. Selleks sobilikuks eesvooluks on olemasolevad kuivenduskraavid.*

Kavandatava ringtee teekatte pealispind osutub olemasolevast maapinnast madalamaks pikettide 145-158 vahel jäädes ca 3 m sügavusele 250 m lõigul pikettide 150-153 vahel. Ringteed ääristavad teekraavid on seejuures omakorda ligi 2 m sügavamal. Põhjavee juurdevool teekraavidesse on võimalik ringtee trassi pikettide 135-138 ja 145-148 vahemikus (skeem 1 ja 2).

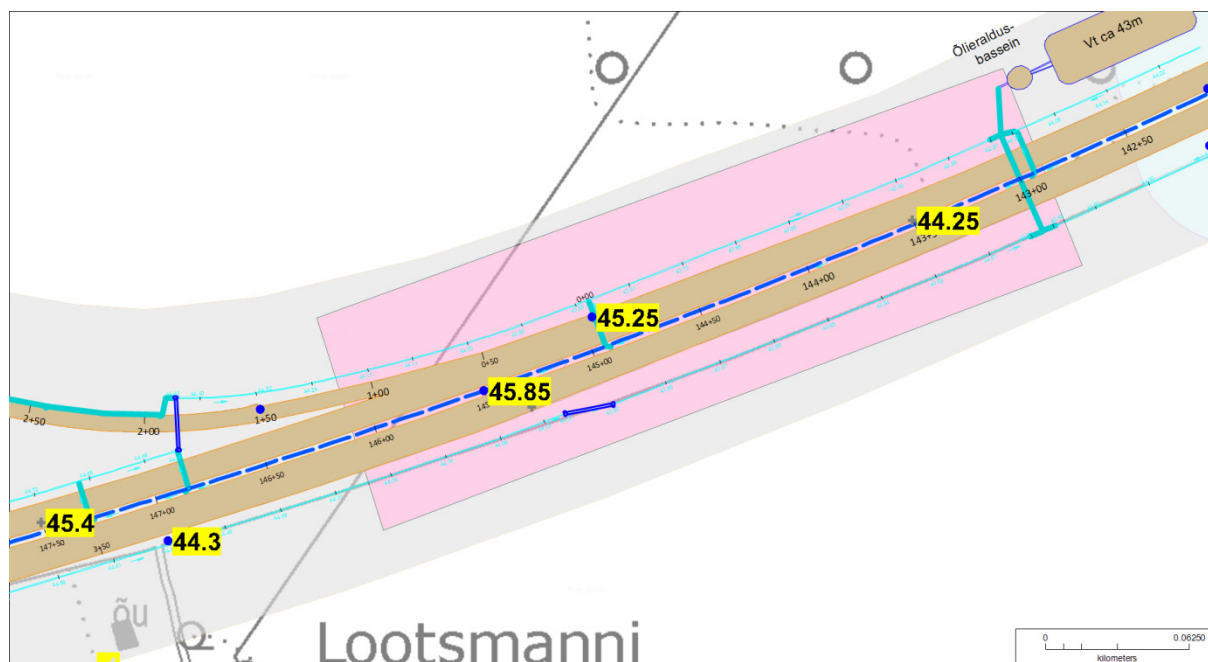


Skeem 1 Pikettide 135-138 vahemikus on võimalik põhjavee juurdevool

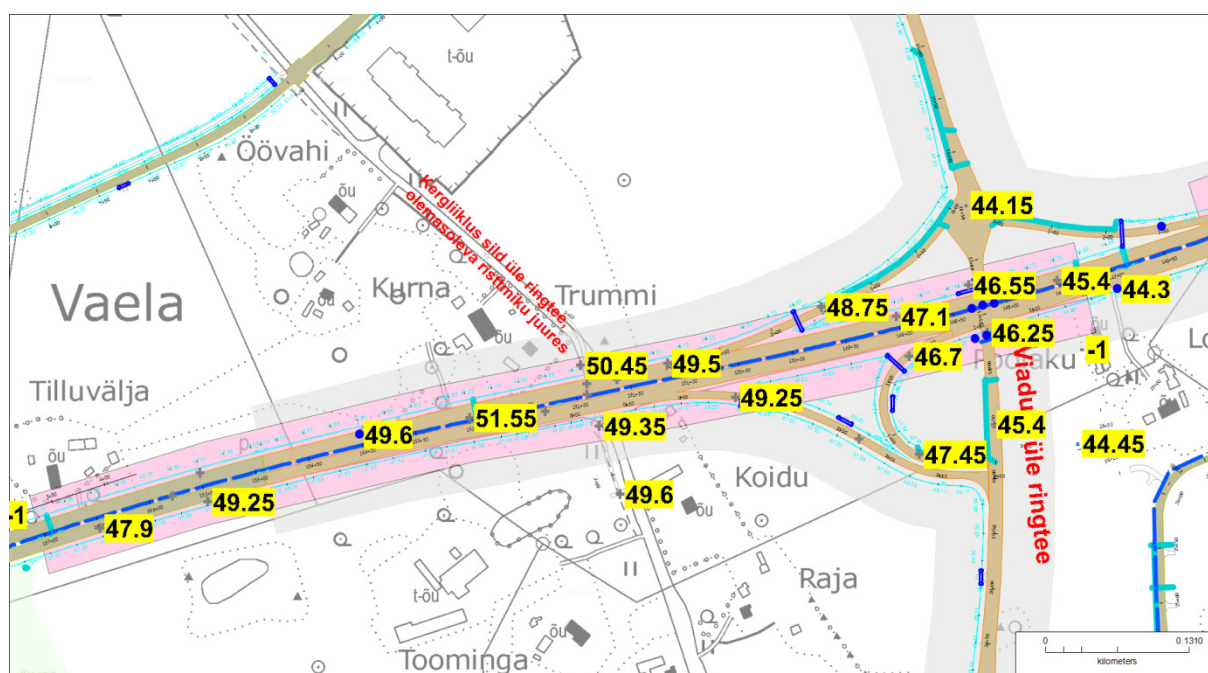


Skeem 2 Pikettide 145-148 vahemikus on võimalik põhjavee juurdevool

Arvestades projekteeritud kraavide sügavusi on kraavide põhjad pikettide 143-146 ja 147-157 vahemikus lubjakivis, ka teepind on pikettide 150-153 juures allpool lubjakivi pealispinda (skeem 3 ja 4).



Skeem 3 Kraavide põhjad pikettide 143-146 vahemikus avavad lubjakivi



Skeem 4 Kraavide põhjad pikettide 147-157 vahemikus avavad lubjakivi

2.4 Sademevee lahendus teeprojekti nr P0-154

Projekteeritud sademeveebasseinidesse juhitakse ringtee sademevesi, kogujateede sademevesi juhitakse kraavidesse ilma sademeveebasseine läbimata.

Vältimaks ringtee trassilt tuleva sademevee sattumist otse olemasolevatesse kraavidesse ja Kurna ojasse ja sealt Ülemiste järve, on teeprojekti nr P0-154 ette nähtud ehitada 5 settebasseini sademevee puhastamiseks (vaata elektrooniline lisa joonisel 1).

Maanteedelt valgub sademevesi mõlemal pool teed paiknevatesse maanteekraavidesse. Kogunev sajuvesi juhitakse mööda maanteekraave settebasseinidesse ja sealt olemasolevatesse vooluveekogudesse.

Neljarealise ringtee keskel oleva eraldusriba sademeveed kogutakse keskele profileeritud vettapidava kattepinna all restkaevude ja drenaaži abil ning juhitakse seejärel põiktorudega muldkeha alt välja ringtee külakraavi. Neljarealise ringtee keskel eraldusribal kokkukogutud sademevesi (v.a. läänepoolseima osa 300 m lõik) juhitakse settebasseinidesse.

Läänepoolseima 300 m pikkuse vaadeldava ringteetrassilõigu sademevesi (piketid 155-158) juhitakse olemasolevasse kraavitusse järgmise ringteelõigu valmimiseni. Kokku kasutatakse vaadeldava teelõigul projekti nr P0-154 materjalispetsifikatsiooni järgi 6.4 km drenitorusid (110-160 mm diameetriga, sellest 4.7 km eraldusribal) ja 4.2 km sadevee plastiktorusid (160-900 mm diameetriga).

Settebasseinide suuruseks on võetud ligikaudu 2.5% basseini haardealas olevast asfaltkatte pinnast [1]. Settebasseinid koosnevad kahest järjestikusest tiigist. Esimene tiik on projekteeritud liiva/õlipüüdurina. Teises tiigis settib peenem materjal. Esimene tiik on kogu aeg veega osaliselt täidetud. Kahte tiiki ühendavad torud on esimeses tiigis veepiirist allpool ning on paigaldatud kaldega esimese tiigi suunas. Seetõttu ei pääse vees lahustumatu ja veest kergem saasteaine teise tiiki.

Tiigid on betoneeritud (I tiik) või muudetud veekindlaks (II tiik) savikangaga, mis on paigaldatud killustikukihi alla. Basseini sissevoolu nõlv on kindlustatud betooniga, väljavoolunõlv muinakivi või graniitkividega sillutisega. Mõlemad basseinid on varustatud puhastamise vajadusest tulenevalt betoonrepiga [1]. Arvestades esimese tiigi (liiva/õlipüüdur) settivaid mineraalosiakesi tuleb puhastustööd teha siiski mehhanismidega, trepp võimaldab ainult käsitsi puhastamist.

Projektilal on sademevee immutamise võimalused piiratud, selleks sobivate alade (vettjuhtiv pinnakatte pinnas ja sügaval asuv põhjaveetase) puudumise tõttu trassiala idaosas.

Settebassein 5 projekteeritud veetase on 43 m, uurimisaegne põhjaveetase 43.3 m. Settebassein 4 projekteeritud veetase on 39.3 m, uurimisaegne põhjaveetase 39.5 m. Settebassein 3 projekteeritud veetase 39.5 m, uurimisaegne põhjaveetase 39.55 m. Settebassein 2 projekteeritud veetase on 40 m, uurimisaegne põhjaveetase 39.5-40.5 m. Settebassein 1 projekteeritud veetase on 39.5 m, uurimisaegne põhjaveetase 39.5-40.1 m.

Teeprojekti nr P0-154 on vastavalt lähteülesandele esitatud keskkonnajuhtimiskava. Keskkonnajuhtimiskava eesmärgiks on tagada, et Kurna eritasandilise ristmiku ehitamise (kasutatava ehitustehnoloogia) ja tee kasutamise võimalikud negatiivsed mõjud keskkonnale oleksid võimalikult väikesed. Keskkonnajuhtimiskava esitatakse ehituse Töövõtjale pakkumisdokumentide ühe osana. Teeprojekti nr P0-154 esitatud keskkonnajuhtimiskava pole korrektne kuna kirjeldab aurumis-imblahendus basseini mis on vettpidava põhjaga. Eestis ületab sa-

demete hulk aurumise ja teeprojektis nr P0-154 pole ka sama projekti keskkonnajuhtimiskavas kirjeldatud pinnasfiltersüsteeme².

Põhjavee ja sademetejärgse ülavee juurdevool kavandatud sademeveesüsteemi. Kraavide sügavust ja geoloogiliste uurimistööde puuraukudes määratud veetasemeid arvestades on põhjavee juurdevool teekraavidesse võimalik ringtee trassi pikettide 135-138 ja 145-148 vahemikes (skeemid 1 ja 2). Arvestades uurimistööde aegset miinimumilähedast veetaset, võib teekraavidesse lisanduda põhja- ja ülavett ka suuremalt alalt. Olemasoleva ringtee ääres teekraavid valdavalt puuduvad ja nende uute kraavide rajamisel lisandub teeäärsest alalt pinnavett mis seni jäi sajujärgselt maapinnale või koguti maaparandussüsteemiga.

Seega on periooditi tõenäoline mõningane põhjavee lisandumine ringtee sademeveesüsteemi (eriti arvestades uurimistööaegsest kõrgemaid veetasemeid lumesulamisjärgselt). Samuti on võimalik sajujärgse pinnavee sattumine sademeveesüsteemi aladelt kus puudub pinnavee kiire äravooluvõimalus ja rajatav kraav on lähim. Vaadeldava teelõigu kirdepoolses otsas maanteekraavi praegu suunatud ka osa Jüri aleviku Pildikülalt kogutavast sademeveest (joonis 5).

Teeprojektis nr P0-154 kavandatud sademeveebasseinid on välimuselt sarnased Kukruse-Jõhvi teelõigule rajatutega, erinevus on selles, et on teisest settebasseinist on väljavool vee kogusse.



Foto 1 Jõhvi teeristis sademeveesüsteemi suure basseini sissevool liiva-õlipüüdurist (11.10.2011)

² Teelt ärajuhitavate sajuvete sattumine Ülemiste järve on projektlahenduse kohaselt välistatud. Arvestatud on KMH aruandes välja toodud ettepanekutega sajuvete juhtimisel ja kasutada kogumissüsteemina aurumismblahendus basseine, sh on lahendatud vettpidava põhjaga settebasseinid ja sademete juhtimine kraavidesse. Teelt kraavidesse sattuv reostus on võimalik kokku korjata basseinide abil, vajadusel on võimalik reostuse edasi liikumine sulgeda. Lähtudes KMH soovitusel ilmestada teeäärset maastikku tiikidega, on settebasseinid vettpidava põhjaga. Suuremate sajuperioodide korral tekkiv ülevool juhitakse pinnasfiltersüsteemi või kohtades, kus tekib muldkehas üleniiskumise oht – eesvooluks sobivatesse kraavidesse.



Foto 2 Jõhvi teeristis oleva sademeveesüsteemi suurem bassein (11.10.2011)

Kukruse-Jõhvi teelõigu sademeveesüsteemi korralisel läbipesul (11.10.2011) võis näha heljuvaine ja mineraalosakeste settimist liiva-õlipüüduris, sademeveesüsteemi suuremad basseinid on välimuse järgi enamuse ajast kuivad ja töötavad seega ka sademeveemahutina.

3 Sademevee iseloomustus

3.1 Sademevee kvaliteet

Sademevee koostis sõltub peamiselt liiklussagedusest. Liiklusummikute ja paljude pidurdustega alalt tekib sademevette rohkem saasteaineid kui ühtlasel liiklusel. Sademevee saasteainete sisaldust mõjutab sademetele eelnenud kuivaperioodi pikkus. Mida suurem see on olnud seda enam võib saasteaineid esineda. Linnasisestel teedel tekkiva sademevee saasteainete sisaldus on otseselt seotud linna heakorra tasemega (tänavate puhastamisega). Enim suureneb saasteainete sisaldus sademevees kevadtalvel lumesulamisvees naelrehvide³ ja jääsulatamisvahendite kasutamise tõttu (sisaldus võib ületada mitmeid kordi suviseid näitajaid). Sademevee saasteainete sisaldust mõjutab ka kogumis ja ärajuhtimislahendused (dreenid, rohupinnad). Maanteede puhul avaldab mõju ka väljapoolt teemaad tuleva sademevesi (eriti lumesulavesi).

Teedelt ja tänavatelt ärajuhitav sademevesi sisaldab suures koguses heljumiit ning vähem naftaprodukte ja ohtlikke aineid (peamiselt raskmetallid). Raskmetallidest olulisemad Cd, Cu, Ni, Cr, Zn, Pb on reeglina seotud heljumi külge. Raskmetallide lahustuvus sademevees ja transport keskkonnas sõltub sademevee ja keskkonna pH-st. Naftasaadused kerkivad vees reeglina veepinnale, nende lahustumine on väike. Lahustunud naftasaadused lahjenevad sademevees ning lagunevad hapniku ja valguse mõjul. Raskemad fraktsioonid seotakse pinna-seosakeste külge.

Sademevee mõju veekogule sõltub sademevee kogusest ja koostisest, veekogumi seisundist ja eesvoolu tundlikkusest. Väikesed veekogud on reeglina tundlikumad. Erilist tähelepanu väärivad kaitstavad veekogud ja elupaigad (joogiveeallikad, kaitstavad elupaigad).

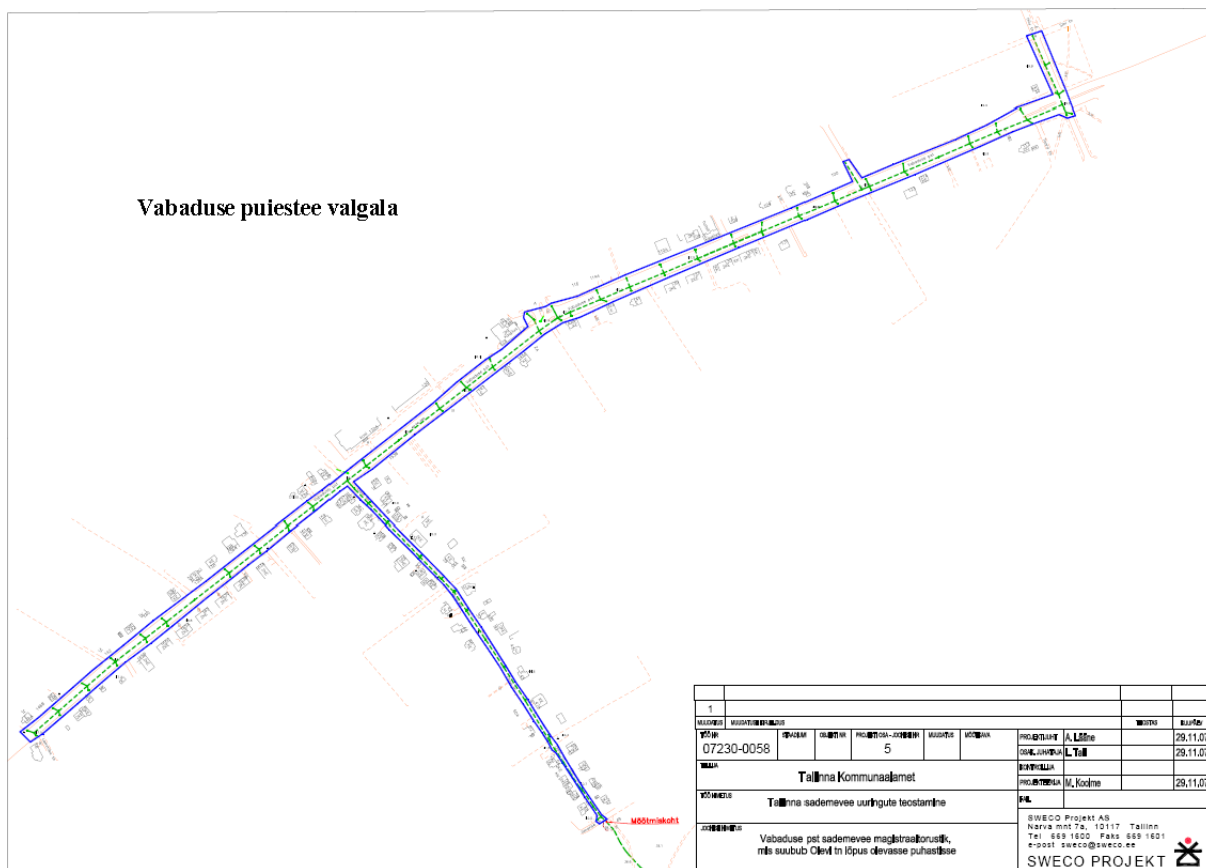
Eestis on teedelt ja tänavatelt koguneva sademevee koostisest enim teavet Tallinna linnast. Kommunaalameti tellimusel viidi 2006-2007 läbi sademevee uuring kuuel erineva liiklustihedusega ja heakorraastmega valgalal [10]. Alljärgnevalt esitame sademevee iseloomustamiseks Tallinna sademevee uuringust Vabaduse puistee ja Rocca-al-Mare valgala tulemused.

Tabel 1 Keskmised kontsentratsioonid Vabaduse puistee äravoolus (Olevi tn väljalask)[10]

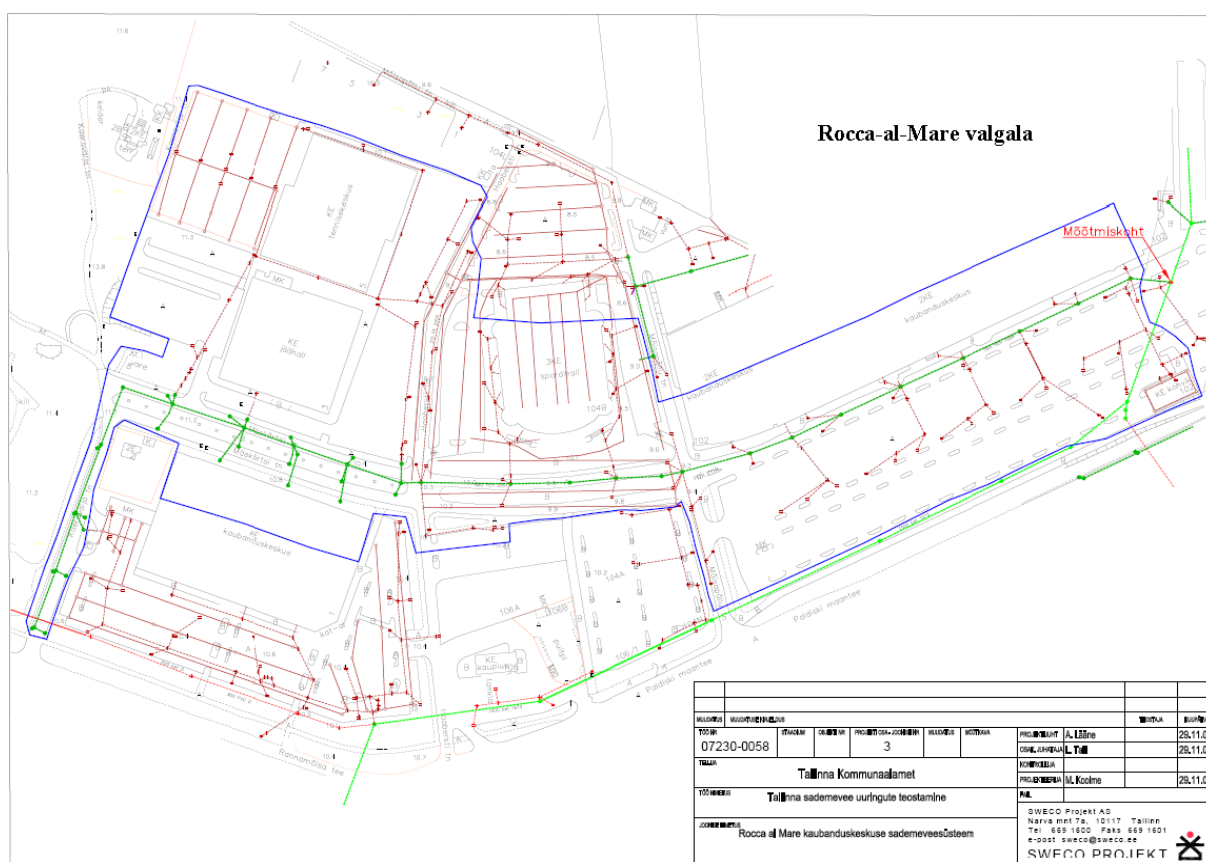
Valgala Vabaduse pst	Heljum mg/l	BHT mgO/l	Vask mg/l	pH	P _{tot} mg/l	N _{tot} mg/l	Tsink mg/l	Nafta mg/l
Norm	40	15	2	6-9	1	15	2	5
Märts	2140	17	0.308	7.97	2.3	9.7	1.11	4.34
Juuni	132	34	0.023	5.56	0.23	3.6	0.057	0
August	90	14	<0.02	7.26	0.46	4	0.104	1.5
Sept	148	10	0.069	7.64	0.88	4.8	0.261	0.15

Teedelt ja tänavatelt ärajuhitav sademevesi sisaldab heljumiit (tänavatel on enamuse mineeraalne aine), orgaanilisi ühendeid (naftaproduktid, PAH, 1-alfenoolid, kloroform, triklorometaan jne), raskmetalle, jäätõrjeaineid ja toiteaineid. Raskmetallidest on olulisemad Zn ja Cu. Kaadmium Ni, Pb, Hg, Cr on reeglina üksikutes proovides [10].

³ Naastrehvidega sõiduauto kulutab teepinda 5 g km kohta ja see materjal transporditakse ära sademeveega. Kummi kulu on 0.1 g sõiduautol ja veoautol kuni 0.4 g kilomeetri kohta.



Joonis 1 Vabaduse pst valgala, 4.13 ha [10]



Joonis 2 Rocca-al-Mare valgala, 120.1 ha, haljastuse osa 1-2% [10]

Tabel 2 Keskmised kontsentratsioonid Rocca-al-Mare valgala äravoolus [10]

Valgala Rocca-al-Mare	Heljum mg/l	BHT mgO/l	Vask mg/l	pH	P _{tot} mg/l	N _{tot} mg/l	Tsink mg/l	Nafta mg/l
Norm	40	15	2	6-9	1	15	2	5
Märts	108	11	0.064	7.66	0.31	4.4	0.169	0.88
Juuni	312	70	0.093	7.22	2	15	0.129	0.06
August	60	7.7	<0.02	6.57	0.21	3.3	0.075	0.185
Sept	8?	6.2	0.067	7.5	0.17	4.2	<0.1	0.21

Tallinna sademevee uuringu järeldused on kokkuvõtvalt esitatud alljärgnevalt:

- 1 Reeglina vastab intensiivse liiklusega linna magistraalteedel tekkiv puhastamata sademevesi keskkonda juhtimise nõuetele;
- 2 Erandiks on heljumi sisaldus. Enamikul mõõdetud äravooludest ületas ühendproovi keskmine heljumi sisaldus lubatud (40 mg/l) keskmist kontsentratsiooni. Heljumi sisaldus nii üksikproovides kui ka ühendproovides muutub suurtes piirides nii ühe vihma, eri valgala kui ka aastaaegade lõikes. Mida pikem on sajuperioodide vahe seda kõrgem oli ühendproovi keskmine heljumi sisaldus;
- 3 Naftaproduktide mõõdetud keskmised kontsentratsioonid valgalaades olid alla 1 mg/l, kordagi ei ületanud keskmist (keskmise määramistingimused on normides defineerimata⁴) kontsentratsiooni 5 mg/l. Vaid Vabaduse puistee Olevi tänava märtsikuise mõõtmise käigus saadud kaalutud keskmine naftaproduktide kontsentratsioon oli 4.3 mg/l;
- 4 Ühegi mõõdetud⁵ ohtliku aine kontsentratsioon sademevees ei ületanud Vabariigi Valitsuse määrusega nr 269 (Heitvee veekogusse või pinnasesse juhtimise kord¹) kehtestatud piirväärtusi. Ohtlike ainete kontsentratsioonid on samas suurusjärgus Soome analoogsete näitajatega ja ühegi normeeritud näitaja osas ei ületanud kehtestatud keskmist piirväärtust. Reeglina olid mõõdetud kontsentratsioonid suurusjärgu võrra väiksemad määruses lubatud piirväärtustest.
- 5 Tallinna tänavatelt sademevee poolt veekogudesse transporditav heljum koosneb 70 % ulatuses mineraalsest ainest, selle eemaldamiseks sobivad hästi liivapüünised (kiiresti settivate tahkete ainete eraldamiseks).

Kavandatava Kurna liiklussõlme sademevesi on eeldatavasti koostiselt võrreldav Tallinna linna tänavatelt sademeveega. Kurna liiklussõlme sademevesi koguneb settebasseinidesse valdavalt rohupinnasega kaetud alalt (sh kraavid) ja võiks seetõttu Tallinna linnatänavate veest puhtam olla, kuid teisalt puhastatakse linnas tänavaid, see mõjutab oluliselt ärajuhitava sademevee kvaliteeti.

Muude koormusallikate võrreldes pole teeprojekti elluviimise järel Kurna oja valgala biogeennide (P, N) koormuse muutus mõõdetav.

⁴ Seni, kuni seadusandja pole defineerinud õigusaktis, millise **keskmise** kontsentratsiooniga võib sademevett juhtida veekogusse, on raske projekteerida vajalikke settebasseine. Vee viibimise aeg ja heljuvaine eraldamise efektiivsus määratakse lubatud keskmisest väljundkontsentratsioonist, mille määramise meetodikat ei ole defineeritud.

⁵ Uuritud ained olid: naftaproduktid, polütsükliiliste aromaatsete süsivesinike (PAH) summa, 1-aluselised fenoolid, 2-aluselised fenoolid, PCB summa, triklorometaan, tetraklorometaan, heksaklorobenseen, heksaklorobutadieen, aldriin, dieldriin, endriin, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, a-heksaklorotsükloheksaan, g-heksaklorotsükloheksaan, 1,2-dikloroetaan, trikloroeteen, tetrakloroeteen, Sb, As, Hg, Ag, Cd, Cr, Ni, Pb, Sn, Zn, Cu.

Väidetavalt on Tallinna linnas olnud probleeme liivapüüniste regulaarse puhastamisega, mistõttu on esinenud neisse kogunenud õli sademeveega väljauhamist veekogudesse.

Maanteel moodustuva sademevee ohtlike ainete sisaldus vastab Tallinna sademevee uuringu järgi ka veekogusse juhitava heitvee ohtlike ainete piirväärtustele (Heitvee veekogusse või pinnasesse juhtimise kord¹, lisa 1).

Pinnaveekogusse juhtimise asemel imbsüsteemide kasutamisel oleks Tallinna sademevee näitel raskusi polütsükliliste aromaatsete süsivesinike (PAH) kohta sätestatud nõude täitmisega immutamisel on PAH-ide piirväärtus on 100 korda rangem (määrus nr 269 „Heitvee veekogusse või pinnasesse juhtimise kord¹ lisa 3).

3.2 Kurna liiklussõlme sademevee kogused

Sademevee ärajuhtimisel muutuvad veebilansi mitmed koostisosad sõltuvalt kaetud pindade osakaalust, maapinna kallakus mõjutab sademevee teket vähem. Maanteede ja linnaväliste liiklussõlmede mõju eesvooluks oleva valgala kogubilansile on väike. Kurna liiklussõlmest lähtuva sademevee puhastamiseks on projekteeritud 5 settebasseini, koos liiva ja õlipüüduritega.

Alljärgnevast tabelist 3 on näha, et settebasseinide projekteerimisel on täidetud teeprojekti lähteülesandes [2] olnud nõue, et basseini pindala oleks vähemalt 2.5% kõvakattega tee pinnakohta.

Tabel 3 Kurna liiklussõlme sademevee rajatiste ligikaudsed valgala

Arvestuslik maksimaalne settebasseini valgala (tee+teekaitsevöönd) ha		Teekate ha	Liiva-õli püüdur m ²	Settebassein m ²	Basseinide ala % teekattest
SP-5 Saire pkr.	28.08	5.25	86	1482	3.0%
SP-4 Kurna-Mõisküla pkr	10.57	1.96	86	786	4.4%
SP-3 Kurna-Mõisküla pkr	5.26	0.95	86	530	6.5%
SP-2 Kurna oja	9.59	2.06	86	795	4.3%
SP-1 Kurna oja	11.48	2.17	86	818	4.2%

Kurna liiklussõlme puhul on mitmed asjaolud, mis võivad muuta settebasseini suunatavaid sademevee koguseid.

Johtuvalt ala põhjavee tasemest võib projekteeritud sademeveesüsteemi põhjavett lisanduda veetasemete kõrgperioodil, põhjaveetaseme miinimumperioodil osa sademevett imendub kuivas pinnases. Prognooselt maksimaalset põhjaveetaset geoloogia uuringuaruannetes pole esitatud.

Suurim on sademeveesüsteemi koormus kevadise lumesulamise ajal. Arvestades rajatavate teekraavide sügavusi, väljastpoolt teeala lisanduda võivat sademevett ja põhjavee juurdevoolu (uurimistööde aegne põhjaveetasemete miinimum, maaparandusobjektid) võeti käesolevas ekspertiisi arvutustes maksimaalseks settebasseini valgalaaks tee + teekaitsevöönd (vaata elektrooniline lisa joonis 1).

Vastavalt settebasseinide projekteeritud mahtudele ja nendega ühenduses oleva arvestusliku valgala on alljärgnevas tabelis 4 esitatud basseinides vee seisuaeg ja arvutuslik voolukiirus basseinides.

Arvutusliku vooluhulga leidmiseks on kasutatud Soome sademevee juhendit „Hulevesiopas“ lk 87 tabelis 11-1 toodud vihma intensiivsusi vastavalt saju kestusele [11]. Vihma kordumiseks on võetud 1 kord ühe aasta jooksul.

Aluseks on võetud projekteeritud basseinide mahud ja vastavalt sellele on leitud basseini juurdevoolu maht valemiga:

$$W = A \cdot \psi \cdot q \cdot t \cdot 3,6 \quad (\text{m}^3)$$

Kus A – valgala pindala (ha)

ψ – kaalkeskmine äravoolutegur

q – vihma intensiivsus vastavalt seisuaajale (l/s ha)

t – arvutuslik seisuage basseinis (tund)

3.6 – üleminekutegur l/s>m³/h

Kuna eesmärgiks sademevee puhastamisel võib olla seisuage basseinis 12 tundi (vaata joonis 3), siis tabelis 4 on toodud ka vajalikud basseinide mahud 12 tunnisele seisuaajale.

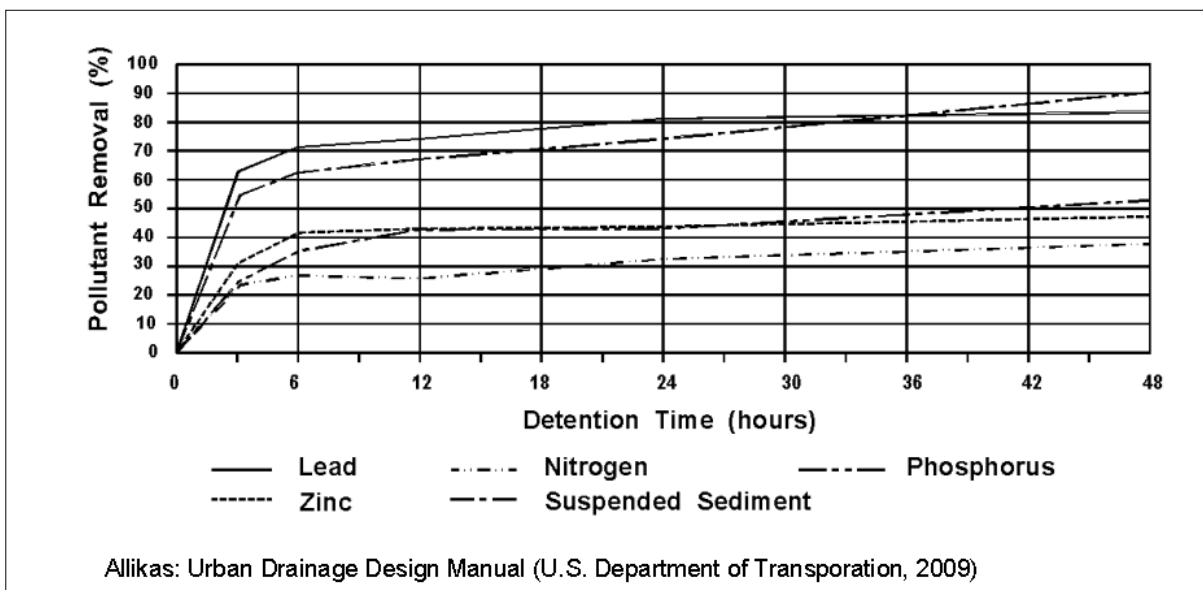
Tabel 4 Kurna liiklussõlme settebasseinide seisuajad

Näitaja	SP-5 Saire pkr.	SP-4 Kurna- Mõisküla pkr	SB-3 Kurna- Mõisküla pkr	SB-2 Kurna oja	SB-1 Kurna oja
Settebasseini tinglik valgala, ha	28.08	10.57	5.26	9.59	11.48
sh teekatte %	18.6	18.5	18.0	21.5	18.9
Kaalkeskmine äravoolutegur ψ	0.31	0.31	0.31	0.33	0.31
Settebasseini maht (h=1,0 m), m ³	1267	644	413	648	664
Basseini pikkus, m	60.9	43.2	35.3	41	42
q l/s·ha, sademete intensiivsus (12 h)	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
Vajalik basseini maht 12 h seisuaajale	2 595	977	486	943	1 061
Tegelik seisuage, h	1.2	3.0	6.0	3.0	2.5
q l/s·ha, vastavalt seisuaajale	31	18	11	18	20
Seisuaaja järgi mahu arvutus	1 166	637	387	615	641
Qarv (vastavalt seisuaajale), m ³ /s	0.270	0.059	0.018	0.057	0.071

Kavandatud settebasseinide puhul on suurima koormusega settebassein SB-5 Saire peakraavi juures. Samas on Saire peakraavi settebasseini ehitusjärgne tegelik sademevee valgala on kõige raskemini määratletav arvestades miinimumiajal mõõdetud põhjaveetasest ja rajatavate kraavide suurt sügavust.

Ülaltoodud tabelist 4 on näha, et kavandatud seisuajad on tunduvalt väiksemad kui 12 tundi. Keskmised voolukiirused on ca 1 cm/s, mida võib lugeda praktiliselt seisvaks veeks.

Ka suurimate vooluhulkade korral settivad teeprojektis kavandatud settebasseinides nr 1, 2, 3 ja 4 seisuaaja järgi tolmuosakesed läbimõõduga 0.01-0.005 mm. Väiksemate vooluhulkade korral settib settebasseinis enam ka saviosakesi.



Joonis 3 Reoainete vähenemine johtuvalt seisuajast [13]

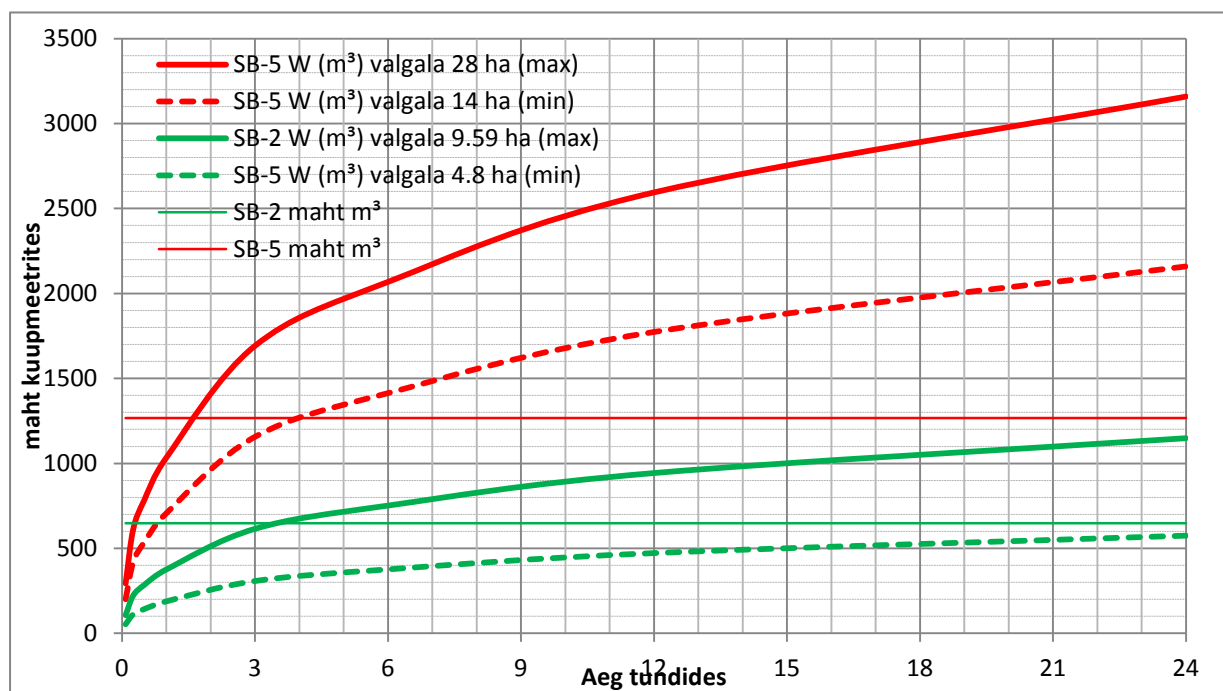
Tabel 5 Erinevate pinnaseosakest teoreetiline laskumiskiirus vees (Tabel 7 Maatalouden monivai-
kutteisten kosteikkojensuunnittelu ja mitoitus, Suomen Ympäristö 21/2007)

Osakeste läbimõõt mm	Laskumiskiirus mm/s	Laskumisaeg 1 m kohta
0.6	85	11 sek
0.2	25	40 sek
0.06	3	5 min
0.02	0.28	1 tund
0.006	0.065	4 tundi
0.002	0.0062	45 tundi
0.0015	0.0035	3 ööpäeva
0.0001	0.000015	750 ööpäeva

Settebasseinide täpsemaks dimensioneerimiseks on vajalik lisainformatsioon puhastatava heljumi koostise (osakeste suuruse ja iseloomu) osas.

Joonisel 4 on esitatud on esitatud settebasseinide SB-5 (Saire pkr) ja SB-2 (Kurna oja) arvutuste tulemused graafikuna settebasseinide tinglike arvestusvalgalade maksimum- ja miinimumsuurustel. Settebasseini 5 suurus pole piisav ka minimaalse valgalaga (pool maksimaalsest) tehtud arvestuste korral.

Kurna oja settebasseini 1 puhul tuleb täpsustada Jüri alevi Pildiküla sademevee lisandumist settebasseini 1 kogumissüsteemi (vaata joonis 5). Praegu juhitakse vesi tee alt truubiga läbi, teeprojektis see truup likvideeritakse.



Joonis 4 Settebasseinide SB-5 ja SB-2 valgala veekogused ja vee seisuaeg



Joonis Settebassein SB-1 süsteemi võib lisanduda sademevett Pildikülast

4 Sademevee käitlemise nõuded

4.1 Veeseadus ja alamaktid

Veeseadus⁶ sätestab järgmised nõuded sademevee veekogusse juhtimiseks.

§ 2. Kasutatavad terminid

31) sademevesi – sademetena langenud ning ehitiste, sealhulgas kraavide kaudu kogutav ja ärajuhitav vesi;

§ 24. Vee kaitsmine reo- ja heitveega reostamise eest

(2) Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise nõuded ja piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed kehtestab Vabariigi Valitsus määrusega.

Heitvee veekogusse või pinnasesse juhtimise kord⁷:

§ 7. Saastatud sademevee veekogusse juhtimise nõuded

(1) Saastatud sademevett peab enne suublasse juhtimist puhastama nii, et see ei halvendaks suubla seisundit.

(2) Saastatud sademevee tekke vältimiseks või selles reoainete koguse vähendamiseks peab reoveekogumisalade teid, väljakuid ja muid alasid, millelt sademevett ära juhitakse, regulaarselt kuivalt puhastama.

(3) Sademeveelaskme kaudu tohib veekogusse, kuid mitte lähemale kui 200 m supelranna või supluskoha välispiirist, juhtida sademevett, mille keskmised reostusnäitajad ei ületa lisaks lisas 1 loetletud ohtlike ainete sisalduse piirväärtustele heljuvainesisaldust 40 mg/l ja naftasaaduste sisaldust 5 mg/l.

§ 10. Heitvee hajutatult pinnasesse immutamise nõuded

(5) Sademevett, mis vastab §-s 7 ja lisas 3 esitatud nõuetele, tohib immutada pinnasesse, kuid mitte veehaarde sanitaarkaitsealal ja mitte lähemal kui 50 m selle välispiirist.

Veeseaduse üldine eesmärk on vee saastamise vältimine, sealjuures lähtutakse erinevate veekeskonna osade tähtsusest veekasutuses (näiteks Ülemiste järv on joogivee allikas) ja kaitset vajavate veelupaikade kaitse nõuetest (antud juhul Kurnas puuduvad).

Vee saastamine on määratletud keskkonnakvaliteedi standardite kaudu⁸. Näiteks naftasaaduste (C10–C40 süsivesinikud) piirväärtus pinnavees on 10 µg/l. Seega ei tohi neid Kurna ojas ja Ülemiste järves rohkem olla. Polütsükilisi aromaatsed süsivesinike (PAH) ei tohi joogiveeallikas olla üle 1 µg/l⁹.

Veeseaduse alusel koostatud Lääne-Eesti veemajanduskava [9] alusel tuleb piirata **Ülemiste järve** koormuse suurenemist, seda eelkõige biogeenide osas. Ülemiste järv on veemajandus-

⁶ Veeseadus RT I 1994, 40, 655 <https://www.riigiteataja.ee/akt/12769937?leiaKehtiv>

⁷ Heitvee veekogusse või pinnasesse juhtimise kord RT I 2001, 69, 424 <https://www.riigiteataja.ee/akt/13290813>

⁸ Pinnavee keskkonna kvaliteedi piirväärtused ja nende kohaldamise meetodid ning keskkonna kvaliteedi piirväärtused vee-elustikus RT I, 04.08.2011, 4 <https://www.riigiteataja.ee/akt/13357637?leiaKehtiv>

⁹ Joogivee tootmiseks kasutatava või kasutada kavatsetava pinna- ja põhjavee kvaliteedi- ja kontrollinõuded RTL 2003, 9, 100 <https://www.riigiteataja.ee/akt/237268?leiaKehtiv>

kavas hinnatud kesiseks, hea seisundi saavutamise eesmärk on edasi lükatud kuni aastani 2021.

Kurna oja (tugevasti muudetud veekogum) seisund on veemajanduskavas hinnatud kesiseks, selle põhjuseks on loetud põllumajanduskoormus ja kanaliseerimata elanikkond. Sealjuures seisundiklassi hindamiseks vajalikud seireandmed veemajanduskava koostamisel ajal puudusid ning seisund on hinnatud eksperthinnanguga.

2009 aasta elustiku seire andmetel kalastiku järgi Kurna oja keskjooksul Innas leiti katsepüükidel ainult luukaritsat ning kalastiku põhjal oja seisundit hinnata ei saa. Aastaks 2015 on eesmärgiks saavutada Kurna oja veekogumi hea seisund. Eesmärk loodetakse saavutada kanaliseerimata elanikkonnast ja põllumajandustootmisest tuleneva koormuse vähenemise abil.

Seega on Kurna oja eesmärgid täpsemalt määratlemata (milline ökoloogiline potentsiaal on võimalik saavutada) ning lähtuda tuleb eelkõige Ülemiste järve kui Tallinna joogiveeallika kaitsest:

- Vältida Ülemiste järve kui joogiveeallika vee kvaliteedi halvenemist (õlireostust põhjustavate avariide ohu vähendamine, saasteainete koormuse piiramine);
- Piirata ohtlike ainete heidet Ülemiste valgalal.

Tabel 6 Sademevees enamlevinud ohtlike ainete sisalduse heitvee piirväärtused veekogusse juhtimisel

Aine lubatud sisaldus	Eesti (µg/l) „Heitvee veekogusse või pinna-sesse juhtimise kord ¹ “, lisa 1	Rootsis Stockholmi piirkonnas sätestatud nõuded (µg/l)
Kaadmium	200	< 0,2
Kroom	200	< 50
Vask	2000	< 50
Plii	500	< 50
Tsink	2000	< 100
Naftasaadused	5000	<5000
PAH	10	< 1

Põhjavesi

Veeseaduse üldise loogika järgi on põhjavee reostamine keelatud. Sealjuures tähendab vee reostamine vee kasutamise piiramist põhjustav vee omaduste halvendamist reostusallika poolt. Peamiseks praktiliseks nõudeks on keskkonna reostusavariide vältimine ja kiire likvideerimine.

Maapinnalähedase põhjaveekihi säilitamine joogiveeallikana Kurna liiklussõlme maa-alal pole reaalne arvestades teetrassi ja kraavide pae sisse minekut. Üksiktarbijate madalatel kaevudel baseeruv veevarustus liiklussõlmede läheduses (50-100 m) kaitsmata põhjaveega aladel tuleb asendada muude veeallikatega.

Tabel 7 Vabariigi Valitsuse 31. juuli 2001. a määruse nr 269 «Heitvee veekogusse või pinnasesse juhtimise kord» lisa 3

Reostusnäitaja	Mõõtühik	Piirväärtus
Vesinikioonide minimaalne sisaldus vees (pH _{min})	pH-ühik	6
Vesinikioonide maksimaalne sisaldus vees (pH _{max})	pH-ühik	9
Hõbeda sisaldus	mg/l	0.2
Üldkroomi sisaldus	mg/l	0.5
Kroomiühendite sisaldus Cr(VI)	mg/l	0.1
Vase sisaldus	mg/l	2
Plii sisaldus	mg/l	0.5
Nikli sisaldus	mg/l	1
Tsingi sisaldus	mg/l	2
Tina sisaldus	mg/l	0.5
Antimoni sisaldus	mg/l	0.5
Fluori sisaldus	mg/l	3
Arseeni sisaldus	mg/l	0.2
Polütsükliiliste aromaatsete süsivesinike (PAH) sisaldus kokku	µg/l	0.1

Teemaal tuleb vältida pinnase ja põhjavee saastumist lähtudes ohtlike ainete sisalduse piir-arvudest pinnases¹⁰ ja põhjavees¹¹.

4.2 Projekteerimismid, KMH ja kooskõlastused

Kehtivad Maanteede projekteerimismid teelalt kokkukoguva sademevee puhastamise nõuet teatud liikluskogumuse künnisväärtusest ei sisalda, küll on aga sisaldab vastavat ettepanekut (15000 autot ööpäevas) Tallinna Tehnikaülikooli Teedeinstituudi töö „Maanteede projekteerimismid ja sellega seotud määruste korrektuur“ (leping 506L)¹² [8]. Seda TTÜ ettepanekut tuleb edaspidi täpsustada.

Tõenäoliselt piisaks kui puhastamata sademevee keeld hõlmaks (looduslikeks) pinnaveeko-gumiteks eraldatud veekogude osi. Võimalusel tuleks tiike, kraave ja muid väiksemaid sobi-vaid väheväärtuslikke veekogusid kohandada looduslähedasteks järelpuhastiteks, kus heljum settiks. Teehoolduse kuludes peab olema siis ka nende sademevee rajatiste, tiikide, kraavide, lodude hooldus. Põhjavee kaitse nõudest tulenevad täpsed tingimused immutussüsteemide rakendamiseks sõltuvad ka põhjavee kasutamishuvist vaadeldavas piirkonnas.

Sademeveelahenduste nõuded vaadeldava tehnilise projekti jaoks (teeprojekt nr P0-154) on toodud selle tehnilise projekti lähteülesandes [2]: *Sademevete ärajuhtimissüsteemide ja pi-kikraavide vee ärajuhtimise projekteerimisel välistada vete juhtimine otse oja- ja kraavi- desse ja jõgedesse. Vete puhastamiseks projekteerida settetiigid/basseinid või tehismärgalad enne suublat. Basseini projekteerimisel arvestada, et basseini pindala peaks olema 2-3% sa-*

¹⁰ Ohtlike ainete sisalduse piirväärtused pinnases RTI, 18.08.2010, 57, 373
<https://www.riigiteataja.ee/akt/13348997>

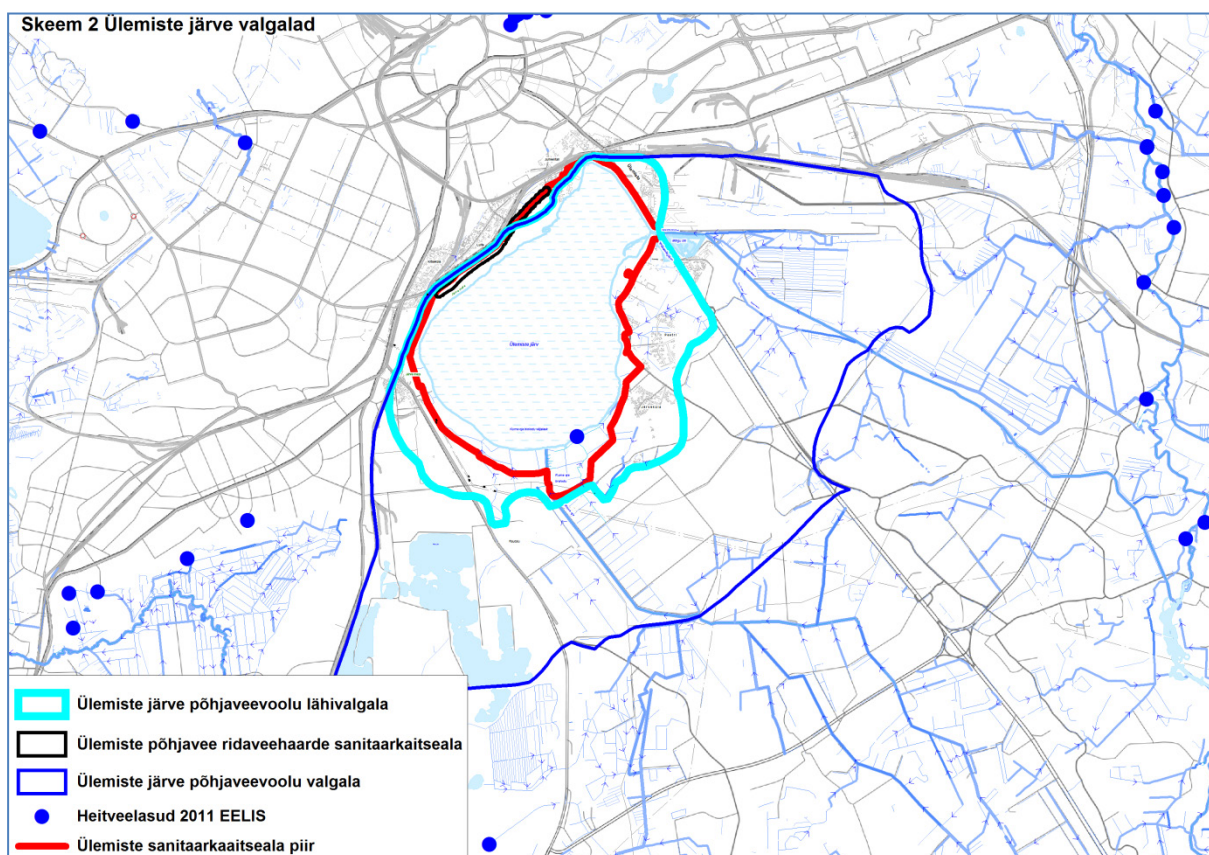
¹¹ Ohtlike ainete põhjavee kvaliteedi piirväärtused RTI, 18.08.2010, 57, 374
<https://www.riigiteataja.ee/akt/13349010>

¹² Aasta keskmise ööpäevase liikluskogumuse puhul üle 15 000 auto/öö ei tohi maantee kül- ega põikkraavi suunata vahetult veekogusse jõkke, magistraalkraavi, järve, tiiki jne, vaid vesi tuleb hajutada kas looduslikule või poollooduslikule luhale. Võimaluse korral tuleks tee külakraavi vesi suunata veekokku puhastusseadme kaudu. Kui külakraavist võib vesi valguda põhjavette, tuleb kavandada seda tõkestav konstruktsioon.

demevee kogumisala pinnast, mis vastaks 250 m² ühe hektari kõvakattega tee pinna kohta [2]¹³.

Vaadeldava teelõigu eelprojekti keskkonnamõju hinnangus [5] kasutatakse Tallinna Tehnikaülikooli Teedeinstituudi töö [8] soovitatud liiklussagedust 15000 autot ööpäevas juba kui kehtivat normi¹⁴. Käesoleva ekspertiisi käigus vaadeldava sademeveesüsteemi settebasseinid SB-1 ja SB-2 on käsitletud Keskkonnamõju hindamise esimese lõigu aruandes [5], settebasseinid 3-5 KMH teise lõigu aruandes.

Vaadeldav ringtee trassilõik ja eritasandiline ristmik paiknevad Ülemiste järve pinnaveehaarde valgalas. Ülemiste järve veehaarde sanitaarkaitseala projekt [4] ütleb, et Ülemiste järve pinnaveehaarde valgalas on oluline järgida ettevaatuse ja vältimise põhimõtet.



Joonis 5 Ülemiste järve põhjaveevoolu valgalad [4] ja heitveelasud seisuga 2011

Kavandatavate uute või rekonstrueeritavate transpordiprojektide (nii maantee, kui raudtee) keskkonnamõju hindamised peavad käsitlema keskkonnamõju ja riske Ülemiste järve veequaliteedile ning tooma välja vastavad kaitsemeetmed võimalike ohtude vähendamiseks [4].

Reaalne keskkonnaohht Ülemiste järvele on liiklusõnnetuse tagajärjel mahavalgunud vedelkütuse või kemikaali sattumine Ülemiste järve.

¹³ Selles nõudes on samas ebamäärasust kuna sademevee kogumisala (sisuliselt sademeveesüsteemi valgala) ja kõvakattega tee pind pole kokkulangevad suurused

¹⁴ KMH tekst: Tee projekteerimismõjud näevad ette, et kui tee liikluskoormus on suurem kui 15 000 sõidukit ööpäevas, ei tohi teeäärsetesse paralleelkraavidesse kogutud vett juhtida otse veekogusse – vesi tuleb eelnevalt puhastada või juhtida hajutatult niitudele. Toitainete, setete ja erinevate reoainete levimist mööda kraave eesvooludesse takistaks oluliselt tehismärgalade loomine eesvoolu ja kraavi vahele, st. kogutud pinnavesi ei jõuaks otse eesvoolu, vaid peab läbima märgala, mis toimiks puhastina ja settetiigina [5 üldkaust].

Sademevee heljumi koormuse suurenemise risk Kurna oja kaudu ei pruugi Ülemiste vee kvaliteedi halvenemisenä realiseeruda ka praeguse sademevee käitluse jätkumisel (sademevesi ei läbi settebasseini). Kuid kuna selline keskkonnamõju eksisteerib tuleb seda mõistlike kulumistega vähendada.

Ülemiste järve veehaarde sanitaarkaitseala projekt (AS Maves, 2009) peatükis **4 Sademevee ärajuhtimine arenduspiirkondades** öeldakse: Ülemiste järve lähivalgalal¹⁵ Rae valla Peetri ja Järvekülast tuleb sademe- ja heitvesi kokku koguda ja ära juhtida väljapoole Ülemiste valgala. Ülemiste järve veevarude täiendamiseks välja ehitatud pinnaveehaarde süsteemi valgala tervikuna tuleb vältida nõuetekohaselt puhastamata reovee sattumist valgala paiknevatesse jõgedesse ja ojaadesse, kraavidesse, eelkõige aga Pirita jõkke. Selleks tuleb keskkonnamõuetega vastavusse viia kõik valgala paiknevad puhastusseadmed.

Ülemiste järve veehaarde sanitaarkaitseala projekt piirdub transpordist tulenevate riskide osas nõudega: Et ennetada maismaatranspordi liiklusõnnetustest tulenevaid ohte, tuleb piirata teede alt läbiminevaid truupe ka suurema liikluskoormusega teede ja Kurna oja ristumistel (Tallinna ringtee)[4]. Kavandatavate uute või rekonstrueeritavate transpordiprojektide (nii maantee, kui raudtee) keskkonnamõju hindamised peavad käsitlema mõju ja ohte Ülemiste järve veekvaliteedile ja tooma välja vastavad kaitsemeetmed võimalike ohtude vähendamiseks[4].

AS Tallinna Vee kirjaga 26.10.2007 nr. 4/0735724-2 on Tallinna ringtee KMH-le esitatud järgmised seisukohad [5]:

Vastavalt Ülemiste järve sanitaarkaitseala projektile tuleb Ülemiste järve valgala sademe- ja heitvesi kokku koguda ja ära juhtida väljapoole Ülemiste valgala ning suuremate maanteed rekonstrueerimisel näha ette silde suurendamine olenevalt liiklusintensiivsusest.

Oleme seisukohal, et sajuvete juhtimine teemaalt Vaskjala-Ülemiste kanalisse ja Ülemiste järve valgala asuvasse kraavidesse on lubamatu, isegi settebasseinide kasutamisel. Ringtee ristumisel Vaskjala-Ülemiste kanaliga ja Kurna ojaga näha ette nn puhverala ehk silla laius peaks ulatuma 50 m kaugusele sõidutee servast mõlemal pool (nii on lahendatud ka kanali ristumine Tartu maanteega).

Ilma Ülemiste järve sanitaarkaitseala projektiga tutvumata (Ülemiste sanitaarkaitseala projekt pole KMH kasutatud materjalide ja kirjanduse loetelus) on KMH eksperdil Tallinna Vee kirjas toodu laienenud sisuliselt kogu Ülemiste järve valgala (Ülemiste järve valgala koos pinnaveehaarde süsteemiga moodustab kokku 1772 km²).

Eelpoolmainitud Tallinna ringtee KMH-s pakutakse välja (eelistatud variandina, millest tuleb projekteerimisel ka lähtuda) sajuvee kogumissüsteem rajada aurumis-imblahendusena, arvestades pinnakatte paksusest tulenevaid erisusi. Märgitakse et sajuvee ärajuhtimise täpne tehniline lahendus iga konkreetse koha jaoks antakse tee rekonstrueerimise tehnilises projektis [5]¹⁶.

¹⁵ Joonisel 6 esitatud on esitatud põhjaveevoolu valgala

¹⁶ Osa vaadeldavast teelõigust (km 12,6...15) jääb Ülemiste järvega seotud Tallinna pinnaveehaardesüsteemi valgala. Teelt ärajuhitavate sajuvete sattumine Ülemiste järve tuleb vältida. Selleks lahendada sajuvete kogumissüsteem sellel lõigul eelistatult aurumis-imblahendusena, sh võib ette näha vettpeidava põhjase settebasseinid. Km 13,4 ja 14,2 kavandatud settebasseinide kavandatavas asukohas tuleb pinnakatte paksus täpselt välja selgitada ja sellest lähtuvalt valida sobilik lahendus. Lähtudes soovitusel ilmestada teeäärset maas-

Keskkonnaamet on kirjaga nr 6-7/21831-5 (08. 09.2009) KMH heakskiitmisest (Tallinna ringtee lõigul km 0.6-12.6) esitanud tingimused lähtudes keskkonnamõju aruandes toodust. *Teelt ärajuhitud sadevesi ei tohi sattuda Ülemiste- Vaskjala kanalisse ega Kurna oja. Sadevete kogumissüsteem lahendada aurumis-ja imblahendusega, välja arvatud kohtades, kus võib tekkida soostumise oht või see ei taga tee muldkeha kaitset üleniiskumise eest. Settebasseinide asukohtades peab pinnakatte paksus olema suurem kui 0.5 m* [6].

Harjumaa Keskkonnateenistus on kirjaga nr 30-11-3/13692-4 (21.10.2008) KMH heakskiitmisest (Tallinna ringtee lõigul km 12.6 – km 29.0) esitanud tingimused lähtudes keskkonnamõju aruandes [5] toodust. *Peab olema välistatud sademevee sattumine Ülemiste-Vaskjala kanalisse ja Kurna oja isegi juhul, kui see läbib settebasseinid. Maantee sademevee kogumis- ja juhtimissüsteem lahendada eelistatult aurumis- ja imbsüsteemide abil* [3].

Sel moel on ettevaatusprintsipi „järjestikuline“ rakendamine (ilma nõuete täitmiseks rakendavate meetmete sisulise analüüsita) toonud kaasa väga rangete keskkonnanõuete püstitamise sademevee ärajuhtimisele. Samas võib Keskkonnaameti kooskõlastustes märgata ka soovi mitte püstitada ebaproportsionaalseid nõudeid.

Seega lähtudes Keskkonnaameti ja selle eellase Harjumaa Keskkonnateenistuse tingimustest sademevee osas, on settebasseinide SB-1 ja SB-2 puhul võimalikuks peetud ka sademevee juhtimist peale settebasseinide läbimist Kurna ojasse kui „immutamisvõimalus puudub ja see tekib soostumise oht või ei ole tagatud tee muldkeha kaitset üleniiskumise eest“. Settebasseinide SB-3, SB-4 ja SB-5 osas on lahenduseks „eelistatult“ aurumis- ja imbsüsteemid.

Settebasseinide 1-4 juures immutamiseks looduslikud tingimused puuduvad, settebasseini 5 juures oleks võimalik immutamine lubjakividesse, mis on omakorda põhjaveekihti keelatud selle saastumise ohu tõttu.

Meie kliimas ei ole võimalik sademete vett täielikult ära aurutada, vesi tuleks lihtsalt pumpata naabervalgalasse. See on aga põhjendamatult kulukas ning seda tuleks rakendada ainult niisuguse lahenduse vajalikkust kinnitavate uuringute alusel.

Seega võib keskkonnamõju heakskiitmise otsuseid antud juhul käsitleda ka nii, et kui immutada ei saa võib puhastatud sademevee ka Kurna valgalale juhtida.

tikku tiikidega, võib settebasseinid rajada vettapidava põhjaga. Eelistatud lahenduseks teelt ärajuhitud sajuvete käitlemiseks on aurumis-imbsüsteemide rajamine, milles ei teki vooluvett. Suuremate sajuperioodide korral tekkiv ülevool juhitakse pinnasefiltersüsteemi või kohtades, kus tekib muldkehas üleniiskumise oht – eesvooluks sobivatesse kraavidesse. Saire kraavi piirkonnas (km 14,2) on võimalikuks alternatiiviks sajuvee juhtimine Sausti kraavi, mis suubub Väana jõkke[5].

5 Sademevee käitlemise võimalused Kurna oja valgalal

Naaberriikide kogemuste põhjal tuleb liikluskoormusega kaasneva keskkonnariski vähendamiseks sademeveet käidelda alates liikluskoormusest 30000 autot ööpäevas. Käitlemise vajadust tuleb analüüsida alates 15000 autost ööpäevas. Kuna teelõigu projekteeritud koormus läheneb 20000 autole ööpäevas ja ala asub mitte kaugel Ülemiste järvest (sinna suubuvate veekogude valgalas) on teeprojekti sademevee käitlemise nõue põhjendatud. Küll ei ole piisavalt põhjendatud sademevee Kurna ojas sattumise keeld juhul kui sademevesi on läbinud puhastuse settebasseinides.

Tabel 8 Väljavõtte eri puhastusviiside efektiivsusest (Urban Drainage Design Manual, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration)

Table 10-2. Pollutant removal comparison for various urban BMP designs. ⁽⁵⁸⁾

BMP/design		Pollutant removal efficiency (%)						Overall Removal Capability
		Suspended Sediment	Total Phosphorus	Total Nitrogen	Oxygen Demand	Trace Metals	Bacteria	
Extended detention pond	Design 1	60 - 80	20 - 40	20 - 40	20 - 40	40 - 60	Unknown	Moderate
	Design 2	80 - 100	40 - 60	20 - 40	40 - 60	60 - 80	Unknown	Moderate
	Design 3	80 - 100	60 - 80	40 - 60	40 - 60	60 - 80	Unknown	High
Wet pond	Design 4	60 - 80	40 - 60	20 - 40	20 - 40	20 - 40	Unknown	Moderate
	Design 5	60 - 80	40 - 60	20 - 40	20 - 40	60 - 80	Unknown	Moderate
	Design 6	80 - 100	60 - 80	40 - 60	40 - 60	60 - 80	Unknown	High
Infiltration trench	Design 7	60 - 80	40 - 60	40 - 60	60 - 80	60 - 80	60 - 80	Moderate
	Design 8	80 - 100	40 - 60	40 - 60	60 - 80	80 - 100	60 - 80	High
	Design 9	80 - 100	60 - 80	60 - 80	80 - 100	80 - 100	80 - 100	High
Infiltration basin	Design 7	60 - 80	40 - 60	40 - 60	60 - 80	40 - 60	60 - 80	Moderate
	Design 8	80 - 100	40 - 60	40 - 60	60 - 80	80 - 100	60 - 80	High
	Design 9	80 - 100	60 - 80	60 - 80	80 - 100	80 - 100	80 - 100	High
Porous pavement	Design 7	40 - 60	60 - 80	40 - 60	60 - 80	40 - 60	60 - 80	Moderate
	Design 8	80 - 100	60 - 80	60 - 80	60 - 80	80 - 100	80 - 100	High
	Design 9	80 - 100	60 - 80	60 - 80	80 - 100	80 - 100	80 - 100	High
Water quality inlet	Design 10	0 - 20	Unknown	Unknown	Unknown	Unknown	Unknown	Low
Filter strip	Design 11	20 - 40	0 - 20	0 - 20	0 - 20	20 - 40	Unknown	Low
	Design 12	80 - 100	40 - 60	40 - 60	40 - 60	80 - 100	Unknown	Moderate
Grassed swale	Design 13	0 - 20	0 - 20	0 - 20	0 - 20	0 - 20	Unknown	Low
	Design 14	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40	0 - 20	Unknown	Low

Design 1: First-flush runoff volume detained for 6-12 h. **Design 2:** Runoff volume produced by 25 mm (1.0 in), detained 24 h. **Design 3:** As in Design 2, but with shallow marsh in bottom stage. **Design 4:** Permanent pool equal to 13 mm (0.5 in) storage per impervious hectare (acre). **Design 5:** Permanent pool equal to 2.5 (V_r); where V_r = mean storm runoff. **Design 6:** Permanent pool equal to 4.0 (V_r); approx. 2 weeks retention. **Design 7:** Facility exfiltrates first-flush; 13 mm (0.5 in) runoff/imper. hectare (acre). **Design 8:** Facility exfiltrates 25-mm (1-in) runoff volume per imper. hectare (acre). **Design 9:** Facility exfiltrates all runoff, up to the 2-yr design storm. **Design 10:** 11 m³ (400 ft³) wet storage per imper. hectare (acre). **Design 11:** 6-m (20-ft) wide turf strip. **Design 12:** 30-m (100-ft) wide forested strip, with level spreader. **Design 13:** High-slope swales with no check dams. **Design 14:** Low-gradient swales with check dams.

Kuna enamus maanteedelt tulevates sademevetes olevatest ainetest on seotud tahkete osiste külge, saab seda vett reeglina küllalt efektiivselt puhastada settebasseinides, linnas kasutada liivapüüniseid [10].

Teeprojekti projekteeritud kogumissüsteemide ja settebasseinide veepindade järgi välis- tab kõrge põhjaveetase võimaluse settebasseinide nr 1, 2, 3, 4 ja 5 asukohas nende kasutamise imbbasseinidena.

Vaid settebasseini 5 projekteeritud veepinda annaks tõsta (immutamise võimaluseks) 0.7 meetrit ilma pumpamist rakendamata. Selle basseini poolt kokkukogutav sademeveehulk on

valgala järgi suurim ja puuraukude kirjelduse põhjal jääks basseini põhi lubjakivisse. Settebasseini 5 lahendus lubjakivisse immutusbasseinina nõuab vastavat uuringut ja lahenduse mõju hinnangut põhjaveele ning veetarbijatele. Selline konstruktsioon antud asukohas ei pruugi anda tulemust ka isevoolse süsteemi väikese veetasemete erinevuse tõttu immutamiseks.

Võimalik on settebassein 5 asemel või järelpuhastuseks tehislodu rajamine (ca 2 ha). Kaaluda võib ka teiste settebasseinide nihutamist võimaliku järelpuhastusala tegemiseks võimaluse jätmiseks kui basseinide väljavoolude veenäitajad on kehvad.



Joonis 6 Settebassein SB-5 on suurima arvutusliku koormusega, kõrval on koht loduks

Olemasolevate uuringute põhjal kavandatud settebasseinide asukohtades immutusvõimalus puudub, sademevesi tuleks pumbata reljeefis kõrgemale ja rajada seal basseinidele sobivast pinnasest põhi kuna looduslikud pinnased selleks ei sobi. Probleemiks on ka immutamiseks sobivate maatükkide leidmine ning pumbajaamade ja trasside rajamine väljaspool teemaad.

Tõenäoliselt ei saa praeguses teeprojektis ega teistes Ülemiste järve pinnaveehaardesüsteemi valgala ehitusprojektides välistada puhastatud sademevee sattumist läbi valgala Ülemiste järve. Vastasel juhul tuleks sademevesi lihtsalt pumbata naabervalgalasse. Sellist lahendust saab soovitada kinnitust leidnud keskkonnaohu korral Ülemiste järve vee kvaliteedile. Ebamäärase keskkonnariski vältimiseks tehtud kulutused peavad olema mõistliku maksumusega.

Võimalikud alternatiivid on

- Sademevee hajutamine kus võimalik
- Tehismärgalade rajamine
- Settebasseinide eesvooludest eemale nihutamise ja nende otsa tehislodukraavi rajamine;
- Kogu teekraavi projekteerimine puhastusloduna;
- Basseinidesse kokku kogutud vee ärापumpamine kuhugi kaugemale ja seal tehismärgala rajamine. Vee ärापumpamine eeldab maapealset või maa-alust puhvermahutit;
- Imbpeerde rajamine;

- Pikikraavide asemel drenkollektori rajamine, mis on kaetud vett läbilaskva pinnasega.

Nende alternatiivide puuduseks on suuremad uurimis-projekteerimiskulud, sageli ka püsikulude suurenemine ning ebaselge töökindlus.

Rekonstrueeritava ringteelõigu liiklussagedus oli 2010 aastal 11000 autot ööpäevas. Arvestades majanduskeskkonna tingimustest johtuvat aeglustunud liiklussageduse kasvu jõuab enne vaadeldaval teelõigul liiklussageduse suurenemist üle 15000 auto ööpäevas teha nii käesoleva teeprojekti alal kui ka teistes analoogse lahendusega Eesti maantee teealalt kokkukogutava sademevee ja settebasseinides käideldud sademevee keskkonnoahtlikkuse uuringuid.

Kurna oja oma tehismärgalaga (bioloduga) alamjooksul enne suubumist Ülemiste järve võib olla piisav sademevee järelpuhastuseks nendeks veekogustele ja reostuskoormusteks mis ringteele rajatud settebasseinidest tuleb. Praeguses situatsiooniga võrreldes (sademevett ei puhastata settebasseinides, see valgub üle rohupinna ja kraavide Kurna ojas) suureneb asfalteeritud pinna osa projektlahenduse elluviimisel veidi enam kui kaks korda. Seega on tõenäoline sademevee koguste hetkkoormuste suurenemine peale vaadeldava teelõigu rekonstrueerimist, saasteainete kontsentratsioonid suurenevad aeglaselt kuna liiklusintensiivsus suureneb prognoosi järgi kahekordseks kahekümne aasta jooksul. Viimastel aastatel liiklusintensiivsuse kasv on märgatavalt aeglustunud võrreldes viie aasta taguste prognoosidega.

Kavandatud projektlahenduse mõju selgitamiseks Ülemiste veehaardele tuleb rajataval teelõigul selle ehitusetappide valmimisel teha sademevee Kurna ojas juhtimisest lisanduva saasteainete koormuse uuring.

Uuringutulemuste põhjal saab rakendada vajadusel täiendavad meetmed saasteainete koormuse vähendamiseks Ülemiste järvele suurendades näiteks Kurna oja biolodu efektiivsust.

Uuring võimaldab täpsustada sademetevee rajamise nõudeid maantee projekteerimismõõtkes, praegu on vähe informatsiooni millise kvaliteediga on see vesi mida tuleb puhastama hakata.

6 Järeldused ja kokkuvõte

Teeprojekti ala paikneb Kurna oja valgalal. Kurna oja suubub Ülemiste järve, mis vajab erilist kaitset kui Tallinna joogiveeallikas. Vältida tuleb Ülemiste järve kui joogiveeallika vee kvaliteedi halvenemist (avariide mõju, koormus). Piirata tuleb ohtlike ainete heidet Ülemiste järve valgalale. Biogeenide osas maanteelt tulev koormuse osatähtsus Kurna oja valgalas oluline ei ole.

Et ennetada maismaatranspordi liiklusõnnetustest tulenevaid ohte Ülemiste järve pinnaveehaardele on soovitatud pikendada teede alt läbiminevaid truube Kurna oja, Kurna-Mõisküla peakraavi ja Saire peakraavi juures. Esitatud projektlahenduse põhjal on nendes kohtades tee alt truube pikendatud teeservast 11-15 m kaugusele. Arvestades ühtlustunud liiklusvoo ja tee ja ristmiku rekonstrueerimisega kaasnevat liiklusõnnetuste riski vähenemist võib see olla piisav.

Kurna liiklussõlmes moodustuva sademevee koostis on tõenäoliselt lähedane Tallinna linnas moodustuva sademeveega mis vastavalt Tallinna sademevee uuringule [10] vajab puhasta-

mist eelkõige heljumi osas (ohtlike ainete sisaldused on väikesed). Teede sademevee saasteained (va lahustuvad ühendid jäätõrjevahendid jne) on suurel määral seotud heljumi mineraalosakeste külge.

Arvestades teiste maade kogemust on settetiikide või märgalade kasutamine Ülemiste järve kui Tallinna joogiveeallika kaitseks Kurna ojas suunatavas sademevee puhul liikluskoormusel üle 15000 auto ööpäevas põhjendatud. Samas ei pruugi sellist liikluskoormust tekkida niipea. Basseinid või osa neist on mittevajalikud kui liikluskoormus ei suurene.

Kurna liiklussõlmes kavandatud settebasseinide lahendus vähendab riski õlireostuse kandumiseks Ülemiste järve pinnaveehaardesse.

Kuna Kurna oja ise ei ole väärtuslik veekogu, siis sellesse käideldud sademevee suunamise keeld ilma reostuskoormuse ja Kurna oja vee kvaliteedi uuringuteta põhineb joogiveehaarde ettevaatusprintsibil ja on nõrgalt põhjendatud.

Kavandatud settebassein SB-5 maht ei ole pruugi olla piisav heljumi sadestamiseks projekteeritud liikluskoormuse puhul. Siin võib vajadusel bassini mahtu suurendada, ka on võimalik lisada järelpuhastuseks lodu. Selle võimaluse säilitamiseks tuleb settebassein vastavalt nihutada, vajalik on lodu maa-ala reserveerimine.

Optimaalseks lahenduseks oleks sademevee puhastuse järk-järguline rakendamine vastavalt seire tulemustele ja liikluskoormuse kasvule. Projekti lahendused ja kavandatavad meetmed: uuring, maa ala reserveerimine sademeveepuhastuse rajatiste (basseinid, lodud) tuleks Keskkonnaametiga läbi arutada.

Arvestades rekonstrueerida kavandatavate teelõikude sademeveelahenduste keerukust, projekteeritud konkreetsete lahenduste toimimise kogemuse vähesust ja hilisema hoolduse vajadust on esimese sammuna vajalik teeprojektide sademeveelahenduste saasteainete koormuse (kvaliteet ja kogus) uuring. Uuring võimaldab täpsustada sademevee rajamise nõudeid maanteede projekteerimismäärustes. Uuringu esimene etapp peaks käsitlema olemasolevaid rajatud maanteede sademeveesüsteeme ja teine etapp Kurna ning Vao ristmikel järk-järgult väljaehitatud lahendusi.

Rajatiste süvistamine lubjakivisse suurendab põhjavee reostumise riski ja võib osutada vajalikuks maapinnalähedasest veekihist toituvate kaevudel põhineva veevarustuse asendamine ühisveevärgi või sügavamate kaevudega.

Üldjuhul on soovitatav esimese lahendusena uurida sademevee hajutamise ja immutamise võimalusi, kus teega piirnev maakasutus, pinnased ja põhjavee kaitse nõuded seda võimaldavad.

7 Kasutatud materjalide loetelu

1. Kurna eritasandilise ristmiku tehnilise projekti koostamine. Teeprojekt PROJEKT nr P0-154. AS Teede tehnokeskus, Tallinn detsember 2010
2. Kurna eritasandilise ristmiku tehnilise projekti koostamine LISA II TEHNILINE KIRJELDUS
3. Projekti "Tehniline abi Tallinna ringtee ja Tallinn-Paldiski maantee rekonstrueerimiseks" keskkonnamõju hindamise aruande "Tallinna ringtee lõigul km 12,6-29,0" heakskiitmine. Harjumaa Keskkonnateenistuse kiri nr 30-11-3/13692-4 (21.10.2008)
4. Ülemiste järve veehaarde sanitaarkaitseala projekt, AS Maves, 2009
5. Tehniline abi Tallinna Ringtee ja Tallinn- Paldiski maantee rekonstrueerimiseks. Keskkonnamõju hindamine. Keskkonnamõju hindamise aruanne rekonstrueerimise eelprojektile: 1 Kaust – Üldosa, 2. Kaust (Tallinna ringtee lõik km 0,6 – km 12,6), 3. Kaust (Tallinna ringtee lõigul km 12,6 – km 29,0). OÜ Hendrikson & Ko, 2008
6. Ühtekuuluvusfondi projekti "Tehniline abi T 11 Tallinna ümbersõidu ja T 8 Tallinn-Paldiski maantee rekonstrueerimiseks" eelprojekti keskkonnamõju hindamise aruande" Tallinna ringtee lõigul 0,6- 12,6" heakskiitmine. Keskkonnaameti kiri nr 6-7/21831-5 (08. 09.2009).
7. Maanteiden huleveden laatu. Kirjallisuusselvitys Herkko Jokela. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 81/2008
8. Maanteede projekteerimismõnide ja sellega seotud määruste korrektuur, Tallinna Tehnikaülikooli Teedekstituudi töö (leping 506L) Tallinn, mai 2005
9. Lääne-Eesti veemajanduskava. Keskkonnaministeerium, 2010
10. Tallinna sademevee uuringute teostamine, töö nr 07230-0058, AS SWECO Projekt, Tallinn 2008
11. Hulevesiopas, Kuntaliito 2011
http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/tyt/tekntoimi/hulevesien_hallinta/Documents/Hulevesiopas%2016711.pdf
12. Maatalouden monivaikutteisten kosteikkojen suunnittelu ja mitoitus, Suomen Ympäristö 21/2007
13. Urban Drainage Design Manual, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration 2009