



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

TYÖNAIKAISTEN SILTOJEN AUKKOMITOITUS

Jussi Tiainen

YMPÄRISTÖTEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Diplomityö

Maaliskuu 2023

TIIVISTELMÄ

Työnaikaisten siltojen aukkomitoitus

Jussi Tiainen

Oulun yliopisto, Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Diplomityö 2023, 43 s.

Työn ohjaaja ELY-keskuksella: Miikka Annunen

Työn valvoja yliopistolla: Hannu Marttila

Tämän työn tavoitteena on tehdä selvitys työnaikaisten siltojen aukkomitoituksesta kirjallisuuskatsauksen ja kyselytutkimuksen avulla. Työssä perehdytään Suomessa käytettävään varasiltakalustoon, jota käytetään yleensä väliaikaisena siltana varsinaisen sillan rakentamisen tai sen korjauksen aikana, tilapäisratkaisujen rakenteisiin sekä luonnossa tapahtuviin erikoistilanteisiin, kuten jääpatoihin sekä hydytulviin. Työn keskivaiheilla avataan aukkomitoituksen periaatteet, ongelmat sekä yleisimmät mitoitusmenetelmät. Työn lopussa esitetään johtopäätökset ja suositukset tulevaa tutkimusta varten.

Työnaikaisen sillan aukkomitoituksen määrittelyyn vaikuttaa monia eri tekijöitä. Näitä ovat ympäristötekijät, rakenteelliset ratkaisut sekä ilmastonmuutoksen aiheuttamat ääriolosuhteet. Ympäristötekijät sisältävät vesistön luonteen, kuten alttiuden tulville, mutta myös suppojään esiintymisen. Rakenteelliset ratkaisut ja päätökset vaikuttavat rakentamisen aikana, esimerkiksi kuinka tukirakenteet ja siltaosat suunnataan kohti pysyvää siltaa. Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa ääriolosuhteita, jotka johtavat muutoksiin rankkasateiden ja kuivien jaksojen esiintymiseen.

Sähköpostikysely työtä varten tehtiin lokakuussa 2022. Sähköposti lähetettiin yhteensä seitsemälle henkilölle, jotka työskentelevät työnaikaisten siltojen parissa, joko suunnittelijoina tai rakennuttajina. Monet vastanneista vastasivat kollegoiden kanssa yhdessä, jolloin vastauksia tuli lopulta yhdeksältä henkilöltä. Kyselyn avulla kartoitettiin työnaikaisen sillan suunnittelun ja rakentamisen ongelmakohdat sekä tarve mahdolliselle ohjeistukselle. Kyselyn tulosten analyysimenetelmänä toimi sisällönanalyysi.

Kyselyn perusteella valtaosa henkilöistä on tietoisia tärkeimmistä tekijöistä ja ongelmakohdista työnaikaisten siltojen suunnittelussa hydrologian ja hydraulisen puolen näkökulmista. Samalla selvisi, että työnaikaisen sillan aukkomitoitukseen ei ole Suomessa riittävää ohjeistusta tai opasta. Ohjeistuksen uupuessa lähtötietoja ja menetelmiä joudutaan arvaamaan ja soveltamaan, jolloin aukkomitoituksessa virheen mahdollisuus on suuri.

Asiasanat: aukkomitoitus, väliaikainen silta, sillan rakentaminen, siltojen suunnittelu

ABSTRACT

Gap sizing of temporary bridges

Jussi Tiainen

University of Oulu, Degree Programme of Environmental Engineering

Master's thesis 2023, 43 pp

Supervisor at ELY center: Miikka Annunen

Supervisor at the university: Hannu Marttila

The aim of this work is to investigate the gap sizing of temporary bridges through a literature review and a questionnaire survey. The work examines the emergency bridge equipment used in Finland. Emergency bridges are usually used as temporary solutions during the construction or mending of the main permanent bridge. They are also used as temporary structures, and during some special natural phenomena, e.g., ice jams and slush floods. In the middle section of the work the principles, problems and most common sizing methods of gap sizing are explained. Conclusions and recommendations for future research are presented at the end of the work.

There is a plethora of factors that affect the gap sizing of bridges. These include environmental factors, structural decisions, and extreme weather conditions caused by climate change. Environmental factors include the nature of the body of water such as its susceptibility to flooding, and the occurrence of frazil ice. Structural decisions and solutions have an impact during construction, an example being how the supports and bridge span are directed to the permanent bridge. Global warming causes extreme weather conditions, which result in changes in the occurrence of heavy rain and droughts.

An e-mail questionnaire for the work was conducted in October 2022. The e-mail was sent to a total of seven people, who work with temporary bridges as either designers or contractors. Many of the respondents wrote their responses with their colleagues, which meant that in total nine people responded. The questionnaire was used to define the problem areas in the design and construction of temporary bridges, as well as the need for possible guidelines. Content analysis was used as the analysis method for the results of the questionnaire.

Based on the questionnaire, the majority of people are aware of the major factors and problem areas in designing temporary bridges, from the hydrologic and hydraulic perspectives. At the same time, it was found that the gap sizing of temporary bridges does not have adequate guidelines or instructions in Finland. In the absence of an overall guide, the initial information must be guessed, and methods adapted. This causes a major chance of error in gap sizing.

Keywords: gap sizing, temporary bridge, bridge construction, bridge designing

ALKUSANAT

Tämän diplomityön tarkoitus on selvittää työnaikaisten siltojen aukkomitoituksessa huomioitavat tekijät. Työn toimeksiantajana toimi Pohjois-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Diplomityön tuloksia voidaan hyödyntää työnaikaisen sillan aukkomitoituksen suunnittelun ja kehityksen tukena. Työ on toteutettu vuosina 2022 – 2023.

Haluan kiittää diplomityön valvojaa apulaisprofessori Hannu Marttilaa Oulun yliopistosta. Kiitos myös ELY:n ohjaajille Miikka Annuselle, Timo Hampiselle ja Riku Eskeliselle sekä esimiehelleni Tero Väisäselle. Kiitos puolisololleni Julialle ja ystävilleni tuesta yliopisto-opintojeni aikana sekä diplomityön teossa.

Oulu, 15.03.2023

Jussi Tiainen
Jussi Tiainen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	8
2 Sillat	9
2.1 Sillat liikenteen ja vesistöjen kannalta	9
2.2 Erityiskysymykset varasiltojen ja työnaikaisten siltojen osalta	10
2.3 Siltojen ja tilapäisratkaisujen rakenteet.....	12
2.4 Ilmastonmuutoksen vaikutukset hydrologiaan Suomessa.....	16
2.5 Ilmastonmuutoksen vaikutukset virtaamiin	18
3 Siltojen hydraulinen ja hydrologinen mitoitus ja työnaikaisten siltojen erityiskysymykset.....	20
3.1 Paikallisessa hydrologisessa mitoituksessa huomioon otettavat tekijät.....	20
3.1.1 Valunnan muodostuminen	20
3.1.2 Tulvat ja ylivirtaama.....	21
3.1.3 Jääpadot, hyydetulvat ja jokijäät.....	25
3.2 Työnaikaisten siltojen hydraulinen mitoitus	26
3.2.1 Aukkomitoitus	26
3.2.2 Yleistä mitoitusmenetelmistä.....	28
3.2.3 Yleisimmät mitoitusmenetelmät.....	29
3.2.4 Virtausmallinnus ja ohjelmistot.....	30
4 Kysely työnaikaisten siltojen parissa työskenteleville.....	32
4.1 Tutkimusmenetelmät.....	32
4.2 Analysointimenetelmät	32
4.3 Kyselyn toteutus.....	33
5 Kyselyn tulokset.....	35
6 Johtopäätökset ja suositukset	37
LÄHDELUETTELO.....	40

1 JOHDANTO

Tämä diplomityö käsittelee työnaikaisia siltoja ja niiden suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa huomioitavia tekijöitä. Työssä selvitetään, mitkä tekijät vaikuttavat työnaikaisten siltojen aukkomitoitukseen. Tutkimuksen tavoitteena on toimia tukena työnaikaisten siltojen suunnittelussa eli kertoa millaisia asioita olisi syytä ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. Jatkossa siltojen aukkomitoituksen parissa työskentelevät voisivat käyttää tätä diplomityötä oman työnsä tukena.

Tässä työssä etsitään vastauksia, miten ilmastonmuutoksen vaikutuksia pitää huomioida nyt ja tulevaisuudessa siltojen suunnittelussa, millaisia varasiltakalustoja suomessa on käytössä ja kuinka eri aukkomitoitusmenetelmät eroavat toisistaan. Työn toimeksiantajana toimii Pohjois-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

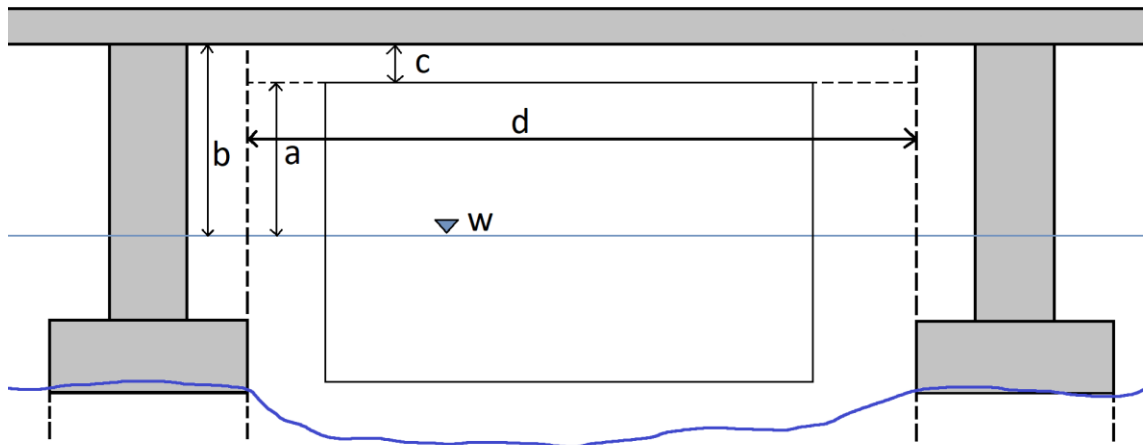
Diplomityö koostuu teoriaosuudesta, jossa käsitellään yleisimpiä siltojen aukkoon vaikuttavia tekijöitä ja teorioita, sähköpostikyselyn tuloksien avaamisesta ja lopussa työ on vedetty yhteen vuokaavion avulla. Tärkeimpinä lähteinä työssä ovat toimineet siltojen asiantuntijat sekä erilaiset valmiit oppaat ja tutkimukset. Ilmastollisten sekä geologisten olosuhteiden takia työ on rajattu koskemaan Suomea. Tutkimus kohdistuu jokien tulviin sekä erityisesti vesistötulviin. Muut tulvat, kuten merivesi- ja hulevesitulva käsitellään lyhyesti.

2 SILLAT

2.1 Sillat liikenteen ja vesistöjen kannalta

Rakennetta, joka johtaa materiaalin tai liikenteen esteen ylitse kutsutaan sillaksi. Suomen Liikenneviraston käytänteen mukaan rummuksi kutsutaan siltaa, jonka vapaa-aukko on pienempi kuin kaksi metriä. Kun vapaa-aukko on suurempi kuin kaksi metriä, sitä kutsutaan sillaksi. Vesistön ylittävän sillan alikulkukorkeuteen liittyviä keskeisiä käsitteitä ovat: sillan alikulkukorkeus, silta-aukon vapaa korkeus, silta-aukon vapaa leveys, turvaväli ja alikulkukorkeuden vertaustaso. Hahmottamista helpottamaan on lisätty kuva 1, jonka avulla on seuraavaksi avattu silta-aukkoon läheisistä liittyviä käsitteitä. (Liikennevirasto 2017b, s. 10)

Suurinta sillan alittavan aluksen korkeutta mitataan yleisimmin maston korkeudesta. Tästä voidaan muodostaa sillan alikulkukorkeus (a), joka siis tarkoittaa kuinka korkea sillan alittavan aluksen masto voi korkeimmillaan olla, jotta alitus voidaan toteuttaa turvallisesti. Tämä mitta otetaan veden pinnasta maston päähän. Etäisyyttä alikulkukorkeudesta silta-aukon vapaaseen korkeuteen (b), eli sillan päällysrakenteen alapinnan ja alikulkukorkeuden vertaustason etäisyyttä, kutsutaan turvaväliksi (c). Turvaväliä tarvitaan varmistamaan, että alitus on turvallinen myös aaltoilun tai aluksen keinumisen vuoksi johtuvasta veden liikkeestä huolimatta. (Liikennevirasto 2017b, s. 10.) Pystysuunnan lisäksi silta-aukon koossa on otettava huomioon silta-aukon vapaa leveys (d). Tämä tarkoittaa silta-aukon leveyttä väylän pohjatasossa, jota rajoittavat sillan rakenteet, pengerkeilat sekä johteet. (Tie- ja vesirakennushallitus 1984, s. 30–31.) Alikulkukorkeuden ilmoittamiseen tarvitaan alikulkukorkeuden vertaustaso (W) eli määräävä vedenkorkeustaso. Tämä taso vaihtelee eri vesistöjen välillä. Merialueilla määräävä vedenkorkeustaso on keskivedentaso järviolueilla purjehduskauden ylin vedenkorkeustaso ja järvi- ja jokialueilla keskiylivesi. (Liikennevirasto 2017b, s. 10)



Kuva 1. Vesistö sillan silta-aukkoon liittyvät keskeiset käsitteet (mukaillen Liikennevirasto 2017b, s. 11).

2.2 Erityiskysymykset varasiltojen ja työnaikaisten siltojen osalta

Varasilta, eli väliaikainen silta yleensä rakennetaan, kun silta on rakennettava nopeasti tai tarve on lyhytaikainen. Muita syitä varasillan rakentamiselle ovat esimerkiksi työmaan sisäinen liikenne sekä lyhyemmät massojen kuljetusmatkat työmaan sisällä. Tieliikenteen takia väliaikainen silta rakennetaan varsinaisen sillan rakentamisen tai korjauksen ajaksi. Kiertotievaihtoehto ei aina ole mahdollinen joko sillan rakenteiden tai pitkän välimatkan takia. Väliaikainen silta voidaan rakentaa puuelementeistä, siltakalustoelementeistä tai teräspalkeista. Varasilta voidaan rakentaa käyttämällä varasiltakalustoa. Varasiltaa voidaan käyttää kuin pysyvää siltaa vähäliikenteisillä teillä tai kevyen liikenteen väylille, kunhan kaksi ehtoa täyttyvät: varasiltakalusto on pystyttävä siirtämään toiseen paikkaan tuottamatta kohtuutonta haittaa ja ympäristölliset vaatimukset ovat täyttyvät. Suomessa varasiltakalustoja on useita: (Liikennevirasto 2015, s. 6)

- Bailey
- Acrow Panel
- Universal
- VS 6-24 (VS-18)
- Ponttonikalustot
- Apusiltakalustot

Edellä mainituista Bailey, Acrow Panel ja Universal ovat ristikkopalkkikalustoa, kun taas VS 6-24 on palkkisiltakalusto. Ponttonikalustoja voidaan hyödyntää uivina tukina tai

siltana, ja apusiltakalusto liittyy rautatieliikenteen hyödyntämään väliaikaiseen siltaan. (Liikennevirasto 2015, s. 6)

Varasiltojen rakenne muodostuu kehistä, niskoista ja kansielementeistä. Kehien tehtävä on toimia varasillan pääkannattajina, kun niskat toimivat poikkikannattajina. Niskojen päälle asennetaan kansielementit. Varasiltakaluston mallista riippuen rakenteeseen voi kuulua erilaisia rakenteen jäykkyyteen vaikuttavia osia, kuten siteitä, tukia ja laakereita. (Liikennevirasto 2015, s. 7)

Sijoittamalla kehiä päällekkäin tai rinnakkain voidaan saavuttaa lisää kantavuutta sekä jännemittaa. Rakennetyypeille on käytössä englanninkieliset lyhenteet, joissa ensimmäinen kirjain kuvaa rinnakkain asennettujen kehien määrää ja toinen kirjain päällekkäin asennettujen kehien määrää. Esimerkiksi TS on rakenne, jossa on kolme kehää vierekkäin yhdessä kerroksessa. (Liikennevirasto 2015, s. 7)

Taulukko 1. Varasiltakalustojen kerrosrakennetyypit (Liikennevirasto 2015, s. 7).

SS	Single Single	ykkös-yksikerroksinen
DS	Double Single	kakkos-yksikerroksinen
TS	Triple Single	kolmos-yksikerroksinen
QS	Quadruple Single	nelos-yksikerroksinen
DD	Double Double	kakkos-kaksikerroksinen
TD	Triple Double	kolmos-kaksikerroksinen
QD	Quadruple Double	nelos-kaksikerroksinen
R	Reinforced	paarrevahvistettu pääkannatin

Siltojen mitoituksessa ja suunnittelussa ovat käytössä myös lisänimikkeet kevyt ja raskas, jotka kuvaavat niskojen ja kansilevyjen kuormankantokykyä. Niskojen pituuden mukaan määräytyy sillan leveys. Sillan leveysmerkintöinä on käytössä taulukon 2 mukaiset nimitykset. (Liikennevirasto 2015, s. 7)

Taulukko 2. Siltojen leveysmerkinnät ja niiden nimitykset (Liikennevirasto 2015, s. 7).

STD	Standard
EW	Extra Wide
UW	Ultra Wide
DW	Double Wide

2.3 Siltojen ja tilapäisratkaisujen rakenteet

Universal-rakenne valitaan sillan tai varasillan rakenteeksi silloin, kun tarvitaan pidempiä jännevälejä tai tarvitaan sellainen silta, joka kestää Acrow- tai Bailey-siltarakenteita suurempaa liikennekuormaa. Koska Universal-sillassa on näitä kahta muuta siltarakennetta korkeampi pääkannattimien kehien rakennekorkeus ja pidemmät kehät, se mahdollistaa kohtuullisella pääkannatinmäärällä kaksikaistaisen sillan rakentamisen. Siltatyypin vaatii kuitenkin painavien kehien vuoksi nosturin niin kuorma-, purku- kuin asennustyössä. Sen rakenne ja rakentamisperiaate ovat kuitenkin samantapaiset näiden kahden muun siltarakenteen kanssa, mutta eroja löytyy esimerkiksi asennusnokan rakenteesta. Universal-sillan suunnittelua ja rakennusta varten on olemassa Universal käyttöopas. Malli Universal-rakenteesta on nähtävillä kuvassa 2. (Liikennevirasto 2015, s. 9)

Acrow Panel -varasiltakalustoa (kuten kuvassa 3) käytetään, kun tarvitaan rakenne, joka kestää rasiusta esimerkiksi suurempien liikennekuormien vuoksi kuin mitä Bailey varasiltakalusto kestää. Myös tämä silta on mahdollista rakentaa kaksikaistaisena. Acrow Panel -kalusto on kehitetty Bailey -kalustosta, mikä nähdään esimerkiksi siinä, että molemmissa kalustoissa pääkannattimien mitat ovat yhtä pitkät. Tälle siltatyypille on mahdollista valita sopivimmat niskat ja kansilevyt useista vaihtoehdoista. Kevyimmät vaihtoehdot sopivat normaaleille liikennekuormille, kun taas raskaammat vaihtoehdot tulee valita, jos sillalla tulee liikkumaan raskaampia ajoneuvoja. Myös tämä siltarakenne vastaa rakenne- ja rakentamisperiaatteiltaan Bailey- ja Universal rakennetyyppejä. Silta tarvitsee kuitenkin asennusvaiheessa nosturin painavien niskoja vuoksi. Suunnittelussa ja rakentamisessa apuna toimii Acrow Panel -käsikirja. (Liikennevirasto 2015, s. 8–9)

Bailey-varasiltakalusto on yleisesti tieliikenteessä käytetty varasilta. Tätä kalustotyyppiä on käytetty monien tämän jälkeen kehitettyjen varasiltatyypien esikuva. Bailey-sillan rakentaminen pystytään suorittamaan miesvoimin, mutta sitä voidaan nopeuttaa käyttämällä nosturia. Esimerkki tästä varasiltakalustosta nähdään kuvassa 4. Suomessa kehitetty ja valmistettu, teräspalkkeihin perustuva varasiltakalusto VS18 tai VS 6-24. Esimerkki tästä varasiltakalustosta on nähtävillä kuvassa 5. (Liikennevirasto 2015, s. 7–8)

Ponttonikalustoa voidaan käyttää varasiltojen uivina välitukina, aputukena asennus- ja purkulohkojen siirtämisessä, työlauttana tai ponttonisiltoina. Teräsponttonikalustoja ovat esimerkiksi Uniflote, TVH-Float-, Pioneer- tai TIEL-ponttoni. Näihin kalustoihin kuuluu laatikkomainen keskiponttoni, kolmiomaiset keula- ja peräponttonit sekä rampit. Rampit tarvitaan ponttoneille pääsemiseksi. Esimerkkikuva ponttonikalustosta on kuvassa 6. (Liikennevirasto 2015, s. 10)

Apusiltojen tarkoitus on toimia väliaikaisina siltoina uuden sillan rakennuksessa tai vanhan sillan korjauksessa. Apusilta rakennetaan useimmiten vanhan sillan yläpuolelle, jolloin uusi silta voidaan rakentaa sen alapuolelle. Kuvassa 7 nähdään rata-apusilta. Tähän kalustoon kuuluu puupelkka- tai teräspäruksukset, jotka perustetaan ratapenkan varaan. Tarvittaessa voidaan käyttää yksityiskohtaisesti suunniteltuja paaluperustuksia. Yleensä perustusten taakse on tarpeen laittaa tukiseinä, joka voidaan rakentaa ratapölkkyistä. (Liikennevirasto 2015, s. 10)



Kuva 2. Universal-varasilta (Lehtinen 2023).



Kuva 3. Varasiltakalusto Acrow Panel (Lehtinen 2023).



Kuva 4. Varasiltakalusto Bailey (Lehtinen 2023).



Kuva 5. Varasiltakalusto VS 6-24 (VS-18) (Lehtinen 2023).



Kuva 6. Ponttonikalusto (Lehtinen 2023).



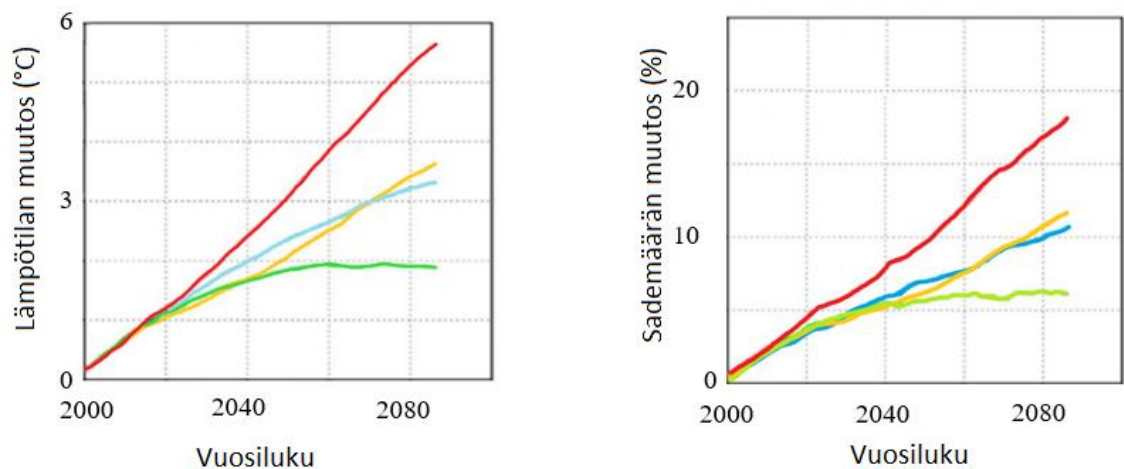
Kuva 7. Rata-apusilta (Lehtinen 2023).

2.4 Ilmastonmuutoksen vaikutukset hydrologiaan Suomessa

Ilmastonmuutoksen myötä sademäärä, lumen kertyminen sekä lämpötila tulevat muuttumaan. Edellä mainitut tekijät määräävät valtaosin tulvan voimakkuuden sekä esiintymisen ajankohdan. Samanaikaisesti tulevaisuudessa sääolosuhteet vaihtelevat vuosien välillä mikä lisää epävarmuutta tulvien ennustettavuuteen. (Mäkelä ym. 2018, s. 3.) Vuodesta 2000 vuoteen 2100 lämpötilan nousua tapahtuu hieman RCP-skenaarioiden mukaan noin kahdesta asteesta jopa 5.5 asteeseen. Samaisella ajanjaksolla sademäärä tulee lisääntymään RCP-skenaarioiden mukaan noin kuudesta prosenttiyksiköstä noin 15 prosenttiyksikköön verrattuna vuoden 2000 tilanteeseen. (Tuomenvirta ym. 2018, s.7.)

Ilmastonmuutos vaikuttaa monin eri tavoin luontoon, yhteiskuntaan, talouteen sekä ihmisiin. Se tulee lisäämään äärimmäisten ja poikkeavien sääilmiöiden esiintymistä sekä esiintymisajankohtaa. (Tuomenvirta ym. 2018, s. 1.) Luontoon ja rakennettuun ympäristöön vaikuttavat ilmastonmuutoksesta johtuvat hitaasti kehittyvät ilmasto-olojen muutokset (Tuomenvirta ym. 2018, s. 6). Ilmastonmuutosta voidaan ennustaa ja siitä voidaan nähdä, että tulevaisuudessa kuivuus tulee lisääntymään (Tuomenvirta ym. 2018, s. 24). Ennustamista voidaan tehdä esimerkiksi Representative Concentration Pathways

eli RCP-skenaarioilla, jotka kuvaavat kasvihuonekaasujen- ja hiukkaspäästöjen kertymistä ilmakehään. Pitoisuuksilla viitataan kasvihuonekaasu- ja hiukkaspäästöjen kertymiseen ilmakehään. RCP-skenaarioita on neljä, joista optimistisimman kuvan antaa RCP2.6 ja pessimistisimmän RCP8.5. Kaksi muuta skenaariota ovat RCP4.5 ja RCP6.0. Nämä skenaariot sijoittuvat RCP2.6 ja RCP8.5 välille. (Tuomenvirta ym. 2018, s. 6.) Optimistisimmalla RCP2.6 skenaariolla tarkoitetaan sellaista ilmastoa, jossa sademäärä ja lämpötila lisääntyvät kaikista vähiten nykyiseen tilanteeseen verrattuna. Muilla skenaarioilla sademäärä ja lämpötila tulevat lisääntymään enemmän, kuin RCP2.6 skenaariolla, kuten kuvissa 8 ja 9 näkyy. (Tuomenvirta ym. 2018, s. 7)



Kuva 8 ja 9. Lämpötilan vuosikeskiarvon ja sademäärän vuosikeskiarvon kuvaajat vuosilta 2000–2100. Punainen viiva kuvastaa RCP8.5 skenaariota, keltainen RCP6.0 skenaariota, sininen RCP4.5 skenaariota ja vihreä RCP2.6 skenaariota (mukaillen Tuomenvirta ym. 2018, s. 7).

Kuvassa 8 näkyy lämpötilan vuosikeskiarvo Suomessa vuodesta 2000 vuoteen 2100. Ensimmäiset 20 vuotta kaikissa skenaarioissa lämpötilan vuosikeskiarvo nousee samaa vauhtia. RCP8.5 skenaariossa lämpötilan nousu on kaikista suurinta ja jyrkintä, kun taas RCP2.6 skenaariossa lämpötila nousee ensin n. 20 vuotta kuten muutkin skenaariot, mutta alkaa sitten kohota muita varovaisemmin ja tasoittuu lopulta. (Tuomenvirta ym. 2018, s. 7)

Kuvassa 9 on kuvattu sademäärän vuosikeskiarvo Suomessa samalla aikavälillä. Vaaka-akselilla on kuvattu vuodet 2000–2100 ja pystyakselilla sademäärän muutos prosentteina. Kaikki skenaariot nousevat samansuuntaisesti noin vuoteen 2020 asti, kunnes RCP8.5 skenaario lähtee jyrkkään nousuun. Jälleen skenaario RCP2.6 on selvästi muita skenaarioita maltillisempi ja hyvin tasainen. Skenaariot RCP6.0 ja RCP4.5 kulkevat

hyvin samansuuntaisesti RCP8.5 ja RCP2.6 skenaarioiden keskellä. (Tuomenvirta ym. 2018, s. 7)

Suomessa ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan lähellä oleviin merialueisiin, joita ovat Itämeri, Suomenlahti ja Pohjanlahti. Näillä alueilla jäätön aika tulee olemaan pidempi kuin aikaisemmin. (Luomaranta 2020, s. 13–14.) Kuvasta 9. voidaan nähdä, että eri RCP-skenaarioiden mukaan sademäärät tulevat kasvamaan muutamista prosenteista jopa kymmeneen prosenttiin. Ilmaston lämpenemisen myötä rankimmat sateet voimistuvat kaikkina vuoden aikoina, ja yhä suurempi osuus sateesta saadaan vetenä, jolloin lumisateen kokonaismäärä pienenee. Saman aikaisesti kesän sateet muuttuvat entistä epävakaimmiksi sekä poutajaksot muuttuvat pidemmiksi. Lumisateen kokonaismäärän pienentyminen vähentää ja pienentää kevättulvia, jotka johtuvat lumen sulamisesta. Kuitenkin voimistuvat rankkasateet kasvattavat ja lisäävät jokien virtaamia ja tulvien esiintymistä. Vesistöalueen sijainti sekä sen hydrologiset ja ilmastolliset ominaisuudet vaikuttavat kuinka ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät. Suuntana kuitenkin Suomessa on, että talvitulvat tulevat yleistymään, kun kevättulvat pienenevät. (Lehtonen ym. 2020, s. 18–23)

2.5 Ilmastonmuutoksen vaikutukset virtaamiin

Taulukosta 3 voidaan huomata, kuinka ilmastonmuutos vaikuttaa kerran 100 vuodessa toistuviin vesistötulvien suuruuteen. Seuraavan 80 vuoden aikana vesistötulva tapahtuisi suuremmalla vesimäärällä, mutta yhtä usein kuin nykyään Järvi-Suomen suurilla keskusjärvillä ja niiden laskujoissa kuin aikaisemmin. Kuitenkaan muissa vesistötyypeissä selkeää huomiota ei voi tehdä. Vuosisadan lopulla vesistötulvat ovat pienempiä pienillä latvajärvillä Järvi-Suomessa, Lapin ja Kainuun joissa sekä rannikon joissa Pohjanmaalla. (Parjanne ja Huokuna 2014, s. 39)

Taulukko 3. Kerran 100 vuodessa tapahtuvien vesistötulvien suuruuden muutos ilmastonmuutoksen vaikutuksesta verrattuna vertailujaksoon 1971–2000. ”+” merkki tarkoittaa tulvan kasvua, ”-” merkki tulvan pienenemistä ja ”±” ei muutosta tai poikkeavat tulokset. (mukaillen Parjanne ja Huokuna 2014, s. 39).

Vesistötyyppi	2010-2039	2070-2099
Järvi-Suomen suuret keskusjärvet ja niiden laskujoet	+	+
Rannikon joet Etelä- ja Lounais-Suomessa	±	±
Lapin ja Kainuun joet	±	-
Pienet latvajärvet Järvi-Suomessa	± / -	-
Rannikon joet Pohjanmaalla	± / -	-

Eri RCP-skenaarioilla on erilainen vaikutus keskiylivirtaaman voimakkuuteen tulevaisuudessa. Taulukosta 4 katsoessa esimerkiksi kerran 100 vuodessa tapahtuva meritulva vuosisadan lopulla esiintyisi -19 % pienemmin RCP 2.6 skenaariolla. RCP 8.5 skenaariolla samalla aikajaksolla virtaama olisi 18 % suurempi, kuin vertailuvuosijaksolla 1971–2000. (Parjanne ym. 2018, s. 22)

Taulukko 4. Eri RCP-skenaarioiden vaikutukset tulvan taustavoimien muutoksiin eri ajanjaksoilla. Keskiylivirtaaman vertailujaksona on 1971–2000, merivesitulvan 2011, sadannan 1981–2010 sekä vuosivalunnan 1971–2000 (mukaillen Parjanne ym. 2018, s. 22)

Taustavoima	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
	2010 2039	2040 2069	2070 2099	2010 2039	2040 2069	2070 2099	2010 2039	2040 2069	2070 2099
Ajanjakso	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Keskiyli- virtaama	-9%	-9%	-3%	-9%	-7%	-8%	-80%	-80%	-80%
1/100a merivesitulva	-5%	-12%	-19%	-3%	-5%	-2%	-1%	5%	18%
Lämpötila	27%	32%	32%	31%	42%	56%	36%	59%	95%
Sadanta	5%	6%	6%	5%	7%	11%	7%	11%	18%
Suurin valunta	-24%	-23%	-18%	-22%	-22%	-26%	-33%	-35%	-39%

3 SILTOJEN HYDRAULINEN JA HYDROLOGINEN MITOITUS JA TYÖNAIKAISTEN SILTOJEN ERITYISKYSYMYKSET

3.1 Paikallisessa hydrologisessa mitoituksessa huomioon otettavat tekijät

3.1.1 Valunnan muodostuminen

Valuntaoloilla tarkoitetaan veden purkautumista tietyltä alueelta, jonka seuraamista voidaan kuvata ajallisena funktiona. Valuntaoloihin katsotaan vaikuttavan kaikista merkittävimmin aluetekijät ja ilmastolliset tekijät. (Korhonen 2007, s. 16). Aluetekijöillä tarkoitetaan geomorfologiaa, eli eroosiota sekä maanpinnan muutoksia (Unacademy 2023). Ilmastolliset tekijät, kuten sadanta, lämpötila ja haihdunta, ovat myös tärkeitä vaikuttavia tekijöitä valuntaoloissa (Korhonen 2007, s. 16)

Valunnalla tarkoitetaan veden määrää, joka poistuu maasta tai maan pinnalta tietyn alueen pinta-alan ja ajan suhteen. Tämä poistuva vesimäärä voi olla pintavaluntaa, joka kulkeutuu jokien tai muiden vesiväylien kautta, tai pohjavesivaluntaa, joka poistuu maan pinnan alla olevien pohjavesivirtojen kautta. Virtaama puolestaan kuvaa veden kuljettamista uomissa, kuten joissa, puroissa ja kanavissa. (Leppäranta ym. 2017, s. 57.) Valuma-alueen koko, maaperä, uoman muoto, kasvillisuus ja sääolot vaikuttavat virtaaman vaihteluun. (Korhonen 2007, s. 17).

Valuntaoloja laajemmin voidaan puhua myös virtaamaoloista. Virtaamaoloihin vaikuttaa edellisten lisäksi myös ihmisten vaikutus virtaamiin esimerkiksi säännöstely ja ruoppaus. Virtaamaoloja seurataan tavallisimmin keskimääräisenä vuosikäyränä, jossa seurataan minimi-, maksimi- ja keskiarvokäyriä. (Korhonen 2007, s. 16)

Suomessa vedenkorkeuden ja virtaaman vuodenaikaiseen vaihteluun vaikuttavat merkittävästi sateen ja veden varastoituminen maaperään ja vesistöön, lumen sulaminen, sadannan vuotuinen vaihtelu ja lumipeite. Osaltaan myös järvisyys sekä valuma-alueen koko vaikuttavat. Hyvin usein vuodenaikaisvaihteluun kuuluu kaksi maksimia ja kaksi minimiä. Yleensä vuosiminimi saavutetaan keväällä juuri ennen lumen sulamista. Lumen kertyminen valuma-alueelle, ja tämän lumimäärän sulaminen keväällä aiheuttaa vuosimaksimin. (Korhonen 2007, s. 17)

3.1.2 Tulvat ja ylivirtaama

Tulvien luokittelu syntyvän perusteella sisältää kolme pääluokkaa: merivesitulvat, hulevesitulvat ja vesistötulvat. Merivesitulvat ovat verrattuna vesistötulviin huomattavasti lyhytkestoisempia, ja niiden syntymiseen vaikuttavat useat tekijät, kuten ilmanpaine-erot, vedenpinnan heilahtelut sekä kovat tuulet. Hulevesitulvat, jotka tunnetaan myös nimellä rankkasadetulvat tai taajamasadetulvat, ovat yleensä lyhytkestoisia ja rajoittuvat pienelle alueelle. Tämän tyyppiset tulvat johtuvat yleensä siitä, että avo-ojat tai viemäriverkosto eivät kykene poistamaan sadevettä tarpeeksi nopeasti. (Parjanne ja Huokuna 2014, s. 17).

Vesistötulva voi syntyä monin eri tavoin, joista yleisimmät syyt ovat rankkasade tai lumien sulaminen. Muita syitä ovat Parjanteen ja Huokunan mukaan (2014, s. 17)

- Jääpatotulva
- Suppo- eli hyydetulvat
- Vesirakenteiden toimintahäiriöt
- Virtausaukkojen tukkeutuminen

Tulvan vuotuinen todennäköisyys tai toistuvuus aika kuvaavat tulvan harvinaisuutta ja ne tarkoittavat käytännössä samaa asiaa. Nämä voidaan ilmaista myös sanallisesti, kuten taulukossa 5. Tulvan toistuvuus aika tarkoittaa ajanjaksoa, joka kuluu keskimäärin ennen kuin tietyn kokoinen tai sitä suurempi tulva esiintyy. Esimerkiksi harvinainen tulva, joka tapahtuu kerran 100 vuodessa, tapahtuu todennäköisesti noin kymmenen kertaa tuhannen vuoden aikana. Toistuvuusajat ja todennäköisyydet perustuvat usein vesistömalleihin tai tilastollisiin menetelmiin, joten ne sisältävät epävarmuustekijöitä, jotka johtuvat havaintojakson pituudesta tai mallinnuksesta. Siksi on tärkeää suhtautua toistuvuusajoihin ja todennäköisyyksiin hieman suuntaa antavina arvioina.

(Ympäristö.fi, 2020)

Taulukko 5. Tulvien toistuvuusajat ja todennäköisyydet (mukailten Ympäristö.fi 2020).

Sanallinen kuvaus	Toistuvuus aika	Todennäköisyys
Yleinen tulva	< 1/10 a	> 10 %
Melko yleinen tulva	1/20 a	5 %
Melko harvinainen tulva	1/50 a	2 %
Harvinainen tulva	1/100 a	1 %
Erittäin harvinainen tulva	≥ 1/250 a	< 0.4 %

Ylivirtaama syntyy useimmiten keväisin lumen sulamisen tai rankkasateiden seurauksena. Ylivirtaaman suuruuteen vaikuttaa monia tekijöitä, joita ovat mm. sateen intensiteetti, lumen maksimivesiarvo, kuinka kaltevaa alueen maasto on sekä valuma-alueen koko, muoto ja järvisyys, alueen puiden määrä sekä merenpinnan korkeus purkukohdassa. Jotta ylivirtaaman toistuvuutta voitaisiin havainnoida, tarvitaan riittävä havaintoaineisto. Jos havaintoaineisto ei ole riittävä, voidaan laskea keskiylivirtaama eli havaintojakson eri vuosien suurimpien virtaamien keskiarvo, josta käytetään lyhennettä MHQ. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 9)

Ylivirtaamat vaihtelevat vuodenaikojen mukaan. Keväällä ylivirtaamia esiintyy jopa kaksi kertaa useammin kuin kesäisin. Rannikkoalueet, joilla talvet ovat vähälumisia, kesätulvat voivat kuitenkin olla kevättulvia suurempia ja näillä alueilla vähäisestä haihdunnasta ja ilmastomuutoksen seurauksen myötä myös syys- ja talvitulvat voivat olla kevään tulvia suurempia. Ylivaluman arviointiin liittyy oleellisesti järvisyyden vaikutus. Järvet toimivat veden varastoaltaina ja täten tasoittavat virtaamien ja valuntojen vaihteluita. (Leppäranta ym. 2017, s. 57.) Tämä korostuu etenkin pienillä valuma-alueilla. Ylivaluma esimerkiksi pienenee 10 %, kun järvisyys on 3 %. Järvisyydellä 20 % ylivaluma pienenee 75 %. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 9.)

Tulvien ennustamiseen ja seuraamiseen voidaan käyttää erilaisia mallijärjestelmiä, joista yksi on esimerkiksi Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) operoima ja käyttämä Watershed Simulation and Forecasting System (WSFS). Ohjelmalla voidaan ennustaa ja seurata reaaliajassa hydrologisia vesitasekarttoja. Malli hyödyntää hydrologista havaintoverkkoa, lumen peittävyystietoja sekä ilmatieteenlaitoksen ennusteita ja havaintoja. (Syke.fi 2022)

Ylivaluma voidaan määrittää käyttämällä erilaisia nomogrammeja, joista varsinkin Kaiteran, Nissisen ja Kuusiston nomogrammit ovat yleisistä käytössä. Nomogrammien käyttö tulee esille, jos vertailuvesistöjä tai virtaamahavaintoja ei ole saatavilla. Nomogrammeiksi kutsutaan empiriisiä kaavoja, jotka ovat esitetty käyrästön muotoisena. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 9)

Kaiteran nomogrammia pidetään käytetyimpänä. Nomogrammin avulla voidaan määrittää kevään keskiylivaluma (MHq), kunhan tiedetään valuma-alueen suuruus, lumen vesiaron kesimääräinen vuosimaksimi sekä valuma-alueen järvisyys. Hydrologisista tilastoista saadaan selville lumen vesiaron keskimääräinen vuosimaksimi WEmax, mutta alle 120 mm arvoa ei tulisi käyttää, koska vähälumisella alueella kesän ylivaluma voi olla jopa 30 % suurempi, kuin kevään ylivaluma. Nomogrammista saadaan laskettua keskiylivirtaama (MHQ), joka on keskiylivaluman (MHq) ja valuma-alueen pinta-alan (F) tulo. Taulukon 6 kertoimien avulla saadaan haluttu ylivirtaaman toistuvuus. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 10)

Taulukko 6. Järvettömien ja järvellisten valuma-alueiden vastaavat toistumisajat (mukaiillen Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 9).

	Järvisyys 0 %	Järvisyys \geq 10 %
Hq1/20 =	1.9 x MHq	1.6 x MHq
Hq1/100 =	2.5 x MHq	2.0 x MHq
Hq1/250 =	2.9 x MHq	2.3 x MHq

Ylivirtaamia voidaan tutkia erilaisin menetelmin, joista Kuusiston menetelmällä pystytään määrittämään kevään keskiylivaluma nomogrammin avulla. Menetelmä hyödyntää järvisyyttä, valuma-alueen kokoa sekä lumen keskimääräistä vuosimaksimia. Kuusiston menetelmää voidaan hyödyntää sellaisilla valuma-alueilla, joiden koko ylittää 30 neliökilometriä. Alle 200 neliökilometrin järvettömien alueiden ylivalumia voidaan puolestaan tarkastella Seunan menetelmällä. Kyseinen menetelmä pohjautuu valuma-alueiden puiden määrään sekä purkautumiskohdan korkeuteen merenpinnasta. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 11)

Nissinen on kehittänyt kaksi nomogrammia purojen ja ojien valuma-alueita varten Kaiteran nomogrammin perusteella. Toisella voidaan määrittää järvettömän alueen ylivaluma Hq1/20. Toinen nomogrammi ottaa huomioon järvisyyden vaikutuksen, eli järvisyykkertoimen. Nissisen menetelmässä hyödynnetään valuma-alueen järvellistä ja

järvetöntä osaa ylivaluman arvioimiseen. Nomogrammeissa huomioidaan ylivalumaa pienentävä lisävaikutus, joka tapahtuu järven luusuassa, eli järven laskukohdassa. Tämä pienentävä lisävaikutus huomioidaan kertoimella, joka saadaan laskettu kaavasta $(1 - Li/100) / 2$. Kyseissä kaavassa järven%- osuus valuma-alueesta merkataan kertoimella Li. Myös peltopinta-ala, valuma-alueen muoto, läpäisemättömän alueen osuus huomioidaan ja taulukosta 7 saadaan näitä vastaavat kertoimet. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 12)

Taulukko 7. Peltoisuuden ja muotosuhteen vaikutus ylivalumaan (mukaillen Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 14).

Peltoisuus %	Kerroin	Muotosuhde l/b	Kerroin
0-40	1.0	1	1.3
60	1.2	3	1.1
80	1.5	5	1
100	1.8	10	0.9

Nissisen nomogrammeja voidaan hyödyntää jokien ylivirtaamien määrittelyssä. Huomioon täytyy ottaa järvisyyskertoimen sekä ylivaluman vähäinen pieneminen, kun valuma-alue on yli 200 km². Näin suurelle alueelle voidaan hyödyntää ja käyttää hyväksi hydrologisten havaintoasemien virtaamatietoja, kun määritetään ylivirtaamaa ja sen toistuvuutta. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 14)

Lapissa ylivirtaamien arvioiminen on vaikeaa, koska rinnepurot voivat joskus olla hyvinkin jyrkkiä. Ohuen lumipeitteen sulaessa jyrkässä maastossa saa aikaiseksi suuren virtaaman tai suuren virtausnopeuden. Nämä ovat aiheuttaneet uoman syöpymistä rummun alapuolella. Lapin toinen ongelmakohta on tunturialueiden tulvat. Maaston kaltevuus vaikuttaa kevät-, kesä- ja syksytulviin. Maasto, joka on kalteva eri suuntiin pienentää kevättulvia, koska lumi sulaa eriaikaisesti, mutta tämä lisää kesän ja syksyn tulvia. Tunturit voivat hyvin usein olla hyvinkin puuttomia, joka on syytä ottaa huomioon peltoisuuskertoimella. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 14)

Taajama-alueen vaikutus ylivirtaamiin korostuu varsinkin pienillä valuma-alueilla, joissa taajama-alueen osuus voi huomaamatta olla hyvinkin suuri. Jos taajama-alue on pientaloaluetta, ylivalumaa suurennetaan 10–20 %. Kerrostaloalueella ylivalumaa suurennetaan 30–40 %. Hetkellisten kesän rankkasateiden voimasta kertoo se, että pienillä, alle yhden neliökilometrin alueilla, niiden aiheuttamat kesäylivalumat voivat olla jopa kaksinkertaisia verrattuna kevätylivalumiin. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 14)

3.1.3 Jääpadot, hyydetulvat ja jokijäät

Jääpatojen muodostuminen on merkittävä ongelma Suomessa, erityisesti Pohjanmaalla ja Lapissa. (Korhonen 2007, s. 47). Jäätukokset joissa joet ovat jäätyneet, voivat olla haitallisempia kuin avovesitulvat, jotka tapahtuvat alueilla joilla ei ole jäätä (Lindenschmidt 2016). Jokien jäätukostulvat hankaloittavat virtaaman määrittämistä talviaikana, sillä jää padottaa virtaamaa ja aiheuttaa liian suuren lukeman purkautumiskäyrässä. Ajan kuluessa padotusvaikutus vaihtelee, joka hankaloittaa entisestään virtaaman määrittystä. (Korhonen 2007, s. 14–15)

Jääpadot varastoivat valtavan määrän vettä, joka aiheuttaa korkean vedenpinnan sekä suuren veden virtaaman. Samalla jää ja vesi leviävät nopeasti. Padon vapautuessa vedenpinta palautuu hyvinkin nopeasti alas. Jääpadotus voi tapahtua hyvinkin huomaamatta ja usein siitä aiheutuu merkittävä tulvariski. (She ja Hicks 2006.) Jäät voivat levitä ja työntyä maalle asti, jolloin vahinkoja voi aiheutua sillan rakenteisiin (Parjanne ja Huokuna 2014, s. 18). Hyvä esimerkki Suomessa tapahtuneesta jääpadosta on vuoden 1999 toukokuulta, jolloin jääpato syntyi Tenojoen Onnelansuvantoon. Kolmen vuorokauden aikana vedenpinta nousi 258 cm. Tämän jälkeen jääpato laukesi ja vedenpinta laski nopeasti kahden päivän aikana 170 cm. (Korhonen 2007, s. 47–48)

Hyydetulvat, joita kutsutaan myös suppopadoiksi, muodostuvat yleensä alkutalvesta, kun on pakkasta ja uoma on vielä avoin. Virtaavassa vedessä muodostuu jääkiteitä, jotka tarttuvat vesirakenteisiin tai uoman pohjaan, haittaavat veden kulkua ja voivat aiheuttaa tulvan. Koskipaikkojen kivet sekä siltarakenteet ovat otollisia paikkoja pohjajään syntymiseksi. (Vesi.fi 2020)

Nämä riskitekijät voivat aiheuttaa tulvia, eroosion voimistumista sekä rakenteiden rikkoutumista. Vesirakenteille kuitenkin jäänlähtö on yleisempi ongelma kuin jäätyminen. Mahdollisen haitan suuruus lisääntyy mitä nopeammin ja aiemmin jäät lähtevät, sillä silloin jäätelit ovat suurempia ja paksumpia, ja aiheuttavat herkemmin padotusta. (Elonranta ja Eloranta 2016, s. 79–80)

3.2 Työnaikaisten siltojen hydraulinen mitoitus

3.2.1 Aukkomitoitus

Silta- ja rumpurakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon niiden toimivuus ja turvallisuus. Niiden yläpuoliselle alueelle ei saa aiheutua tulvanvaaraa eivätkä ne saa olla niiden yläpuolisen alueen maankuivatuksen esteenä. On myös huolehdittava, etteivät silta tai rumpu supista uomaa, jonka seurauksena padotus aiheuttaisi eroosiota tierakenteessa tai uomassa. Vesistön käyttöä, vesiliikennettä ja kalojen kulkua ei saa estää. Näiden lisäksi on huomioitava luonnonmukaisen vesirakentamisen periaatteet, ympäristönsuojelu sekä alueen maisema. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 4)

Vesilain mukaan vesistöt voidaan jakaa virtaavan veden vesistöihin sekä muihin vesistöihin. Virtaavan veden vesistöihin kuuluvat joki ja puro, jotka on erotettu toisistaan valuma-alueen koon mukaan. Joen valuma-alueen minimirajaksi on asetettu vähintään sata neliökilometriä. Tätä pienemmät virtaavan veden vesistöt ovat puroja. Poikkeuksen tekee alle kymmenen neliökilometrin valuma-alueen vesistö, noro, jossa ei ole jatkuvaa virtausta eikä kalankulku ole mahdollinen. Muita vesistöjä ovat lampi, järvi, muu luonnollinen vesialue, kanava, tekojärvi tai muu vastaava keinotekoinen vesialue. Lupa on haettava vesilain mukaan aina, kun sillan rakentaminen tai sen uusiminen aiheuttaa kulkuväylän supistumisen. Lupaa ei tarvita, jos kyseessä on puron ylitys, josta ei aiheudu puroille tai sen käytölle haitallista muutosta. Haitallisia muutoksia ovat esimerkiksi kalankulun estyminen, uoman kunnossapidon vaikeutuminen tai maankuivatuksen hankaloituminen yläpuolisella alueella. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 5–6)

Vesiaukon mitoituksen suunnitelman täytyy sisältää tiedot rumpua tai siltaa koskevista rajoituksista, aukkomitat sekä mitoitustiedot. (Silta- ja rumpurakenteiden aukkomitoitus. S.4) Mitoituksessa tarvitaan uoman poikkileikkaustietoja silta- tai rumpupaikalta tai sen läheisyydestä. Tähän tarvitaan kaksi poikkileikkausta ylävirralta, yksi alavirralta sekä yksi silta- tai rumpupaikalta noin 50 metrin etäisyyksiltä toisistaan. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 7)

Useista vesiaukon mitoituksen kohteista on olemassa vanhaa aineistoa, jota voidaan hyödyntää. Yleensä aineisto on aiempia viranomaisten antamia aukkolausuntoja tai vanhoja asiakirjoja ojitus- ja vesistöhankeista. Riskinä käytettäessä vanhaa aineistoa on,

että tieto on vanhentunutta ja ei paikkaansa pitävää. Syytä on tarkistaa valuma-alueen maankäyttö, käytetty mitoitusvirtaama ja mitoitusvirtaaman toistuvuus. Olisi hyvä myös ilmoittaa käytetyn korkeusjärjestelmän ja N2000-korkeusjärjestelmän tasoero. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 7–8)

Muita tarvittavia tietoja ovat esimerkiksi vedenkorkeuksien ääri- ja keskiarvot, kuten NW (alivedenkorkeus), MW (keskivedenkorkeus) ja HW (ylivedenkorkeus). Yleensä tarvitaan tiedot myös vesipinnan pituuskaltevuudesta mitoituslaskentaa varten. Mitoituspadotus on riippuvainen pituuskaltevuudesta. Pituusleikkaus voidaan muodostaa mittausaineistosta, johon otetaan pisteitä uoman reunan korkeudesta, vesipinnasta sekä pohjan syvimmästä kohdasta. Leikkauksesta voidaan arvioida pituuskaltevuus. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 7–8)

Ylivirtaaman toistuvuuden valinta riippuu todella paljon tulvauhan alaisesta kohteesta, ja sillan tai rummun ylävirranpuoleisesta alueesta. Varmuutta ylivirtaamatilanteeseen saadaan, kun valitaan suurempi HQ:n toistuvuus. Pienemmissä kohteissa, kuten maa- ja metsätalousalueella voidaan valita HQ:n toistuvuudelle 1/20, joka tarkoittaa ylivirtaamaa, joka toistuu keskimäärin kerran 20 vuodessa. Rautatielle, valtatielle tai kantatielle voidaan käyttää toistuvuutta 1/100 tai jopa 1/250. HQ:n toistuvuutta 1/250 voidaan käyttää, jos tienpitäjä tai Liikennevirasto haluaa lisää varmuutta ylivirtaamatilanteessa. HQ:n toistuvuudelle käytetään sitä harvempaa toistuvuutta mitä tärkeämpi liikenneyhteys on tai mitä suuremmat mahdolliset tulvavahingot olisivat. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 8)

Taulukko 8. Ylivirtaamien toistuvuuden valinta (mukaillen Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 8).

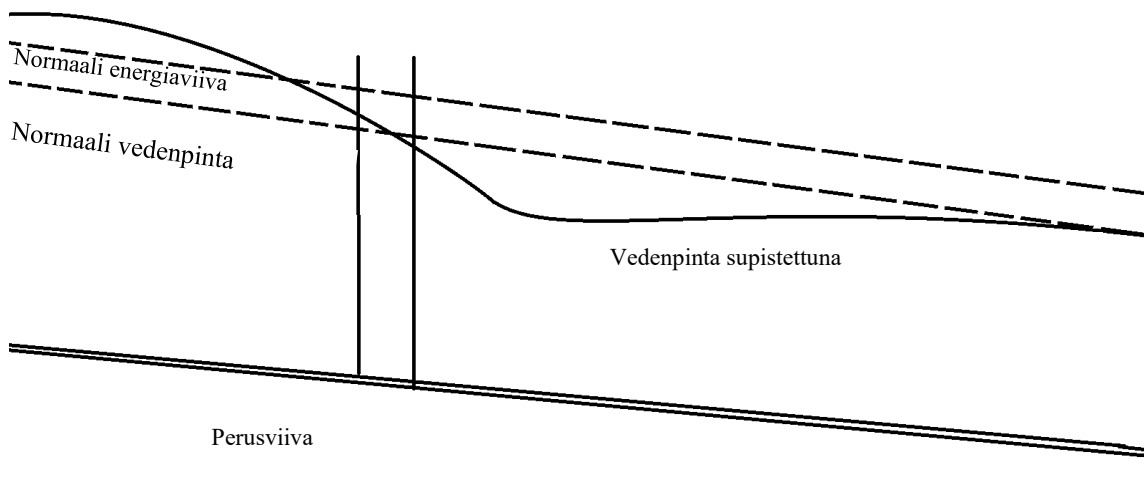
Sillan tai rummun ylävirranpuoleinen alue tai tulvauhan alainen kohde	HQ:n toistuvuus
Maa- ja metsätalousalue, luonnonniitty tai joutomaa	1/20
Taajama, merkittäviä rakennuksia tai rakentajia	1/100
Rautatie, valtatie tai kantatie	1/100 (1/250)
Erityisen tärkeä tai vaikeasti evakuoitava kohde	1/250

Kun valitaan, rakennetaanko tietylle paikalle silta vai rumpu, on huomioitava uoman koko, vesistön käyttömuoto, perustamisolosuhteet, virtaamaan suuruus sekä ympäristölliset seikat. Tavallisesti jokiin, salmiin ja jyrkkiin uomiin valitaan rakenteeksi silta, kun taas rumpu valitaan rakenteeksi ojiin tai pieniin puroihin. Puroihin valitaan

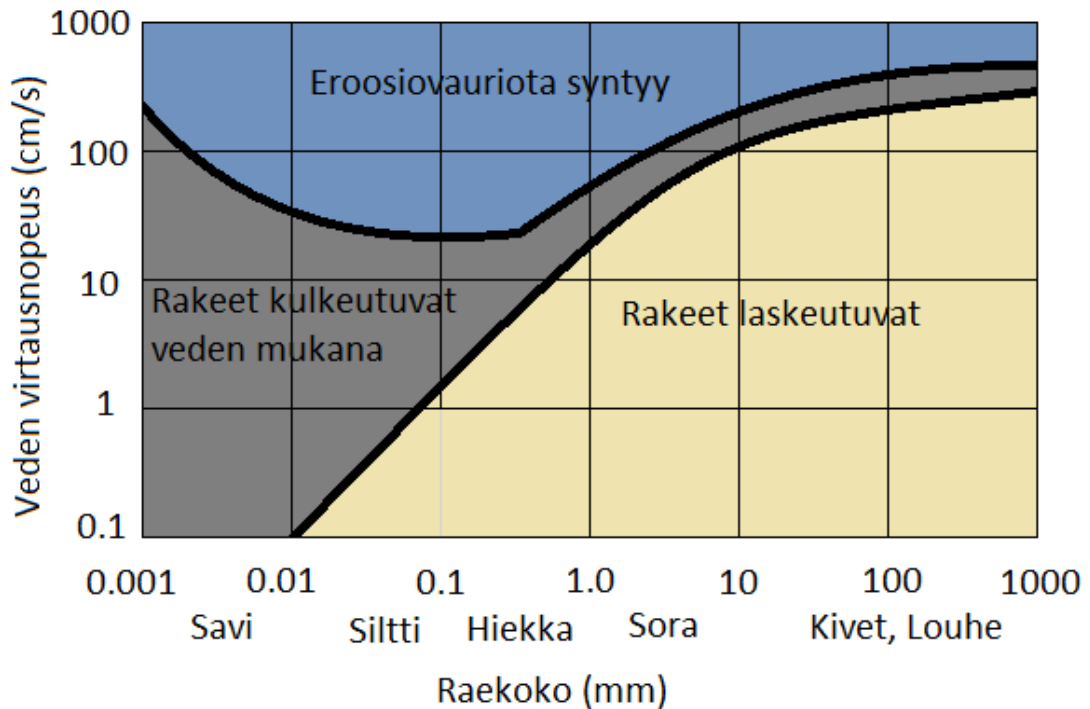
kuitenkin usein rakenteeksi silta, sillä puroissa veden mukana kulkeutuvien esineiden ja irtoaineksen vuoksi rummun vesiaukko voi tukkeutua. Tällöin vedenpinta voi haitallisesti nousta, mikä tapahtuu harvemmin siltojen kohdalla vastaavassa paikassa. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 20)

3.2.2 Yleistä mitoitusmenetelmistä

Rummun ja sillan vesiaukon vedenjohtokykyyn vaikuttaa voimakkaimmin kaksi asiaa: aukon vesipoikkileikkausala sekä padotus eli vesiaukon ylä- ja alapuolisten vesien erotus. Vesipoikkileikkauksen pinta-ala vastaa mitoitusvirtaamaa, jota käytetään vesiaukon mitoituksessa. Kuvassa 10 on havainnollistettu kuinka silta tai rumpu aiheuttavat korkeusmuutoksia. Kuvassa nähdään, kuinka silta-aukon vasemmalla puolella vedenpinta on normaali ennen supistusta ja oikealla puolella vedenpinta supistettuna. Vedenpinnan supistuminen aiheutuu silta-aukosta. Vesiaukon mitoitusta esitetään rummulle, sillalle tai tarvittaessa molemmille näistä. Vesiaukon mitoituksen voi tehdä monella eri menetelmällä, joista Seunan k-menetelmä sekä Tolkmittin menetelmä ovat yleisimmät Ympäristöhallinnon mukaan. (Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 30)



Kuva 10. Silta-aukon aiheuttama vedenmuutos (mukaihen Järvenpää ja Savolainen 2016, s. 30).



Kuva 11. Sedimenttien laskeutuminen eri veden virtausnopeuksilla (mukailten Earle 2019 s. 433).

Virtaava vesi on merkittävä osa sedimenttien kulkeutumisesta, laskeutumisesta sekä eroosiota. Pääasiassa veden virtaus muodostuu virran gradientista sekä virtauskanavan geometriasta, mutta myös sedimenttien koko virran uomassa vaikuttaa tähän. Suuremmat hiukkaset yleensä hidastavat virtausta enemmän, kuin pienet. Kuvassa 14 on esitetty kuinka veden virtausnopeus ja raekoko vaikuttavat eroosioherkkyyteen. Kuvasta huomataan, että suuremmat partikkelit vaativat suuremman virtausnopeuden. Maa-aineksen kulumisen, kuljetuksen ja laskeutumisen suhde ei kuitenkaan ole kovin suoraviivaista ja yksiselitteistä. (Earle 2019, s. 432–434.)

Siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeessa eroosio otetaan huomioon eroosiosuojauksen suunnittelun yhteydessä. Ohjeessa käytetään veden virtausnopeutena kerran 50 vuodessa esiintyvää ylivirtaamaa. (Liikennevirasto 2017a, s. 91)

3.2.3 Yleisimmät mitoitusmenetelmät

Seunan k-menetelmä on yleisimmin käytetty vesiaukon mitoituksen menetelmä ja se perustuu padotusta käsitteleviin tutkimuksiin. Yleisesti menetelmää käytetään vain siltojen mitoituksessa. Tolkmittin menetelmä on toiseksi yleisimmin käytetty menetelmä vesiaukon mitoitukseen. Tätä kaavaa voidaan soveltaa sekä siltojen että rumpujen vesiaukkojen mitoitukseen. Tolkmittin menetelmästä on kehittynyt myös yksinkertaisempi virtausnopeuden muutokseen ja virtausalan supistumiseen perustuva

Nissisen ns-menetelmä. On huomattava, että tämä menetelmä ei ota huomioon rakenteellisia yksityiskohtia tai erityistekijöitä. Tästä huolimatta menetelmä on riittävän tarkka erilaisten aukkoratkaisuiden laskelmiin. Tarvittaessa kuitenkin siltapilarien vaikutus virtausalavähennykseen on huomioitava erikseen. (Järvenpää ja Savolainen 2017, s. 31–36)

Vesiaukon mitoitukseen voidaan lisäksi käyttää Morriksen ja Wiggertin menetelmää, Bradleyn menetelmää tai Schewiorin kaavaa. Morriksen ja Wiggertin äkillisen muutoksen menetelmällä voidaan laskea likimääräisesti padotus eli tässä alavedenpinnan ja sillan yläpuolisen vedenpinnan korkeusero. Kaavaa voidaan soveltaa kuitenkin vain sellaisella vesistöllä, jossa sillan ylä- ja alapuolella olevan uoman mitoitus on sama. (Järvenpää ja Savolainen 2017, s. 37)

Yksinkertaistettua Bradleyn menetelmää voidaan soveltaa yksiauukkoisiin siltoihin. Tällöin kokonaispadotuskertoimenä voidaan valita suoraan Bradleyn käyrästä vedenjohtokyvyn ja maatukien muodon perusteella. Jos termiä K ei voida valita suoraan Bradleyn käyrästä, voidaan kokonaispadotuskerroin laskea kaavalla $M = A/F$ eli jakamalla silta-aukon virtausala uoman supistumattomalla virtausalalla. (Järvenpää ja Savolainen 2017, s. 38)

$$H = K \frac{v^2}{2g}$$

missä H = padotus [m]

v = veden virtausnopeus silta-aukossa, ylävirran puoleisessa reunassa [m/s]

K = kokonaispadotuskerroin

g = maan vetovoiman kiihtyvyys [m/s²]

3.2.4 Virtausmallinnus ja ohjelmistot

Virtausmallinnus on yksi tärkeä suunnittelutyökalu, joka antaa tarkat tiedot tulvaprofiilista eri parametrien, kuten valuman, valuma-alueen, sademäärän ja valunnan arvojen avulla (Kute ym. 2014). Virtausmallinnuksen käyttö voi kuitenkin olla haastavaa johtuen virtauksien ja sedimenttien monimutkaisista liikkeistä. Siksi erilaisia virtausmallinnusohjelmistoja on kehitetty näiden ilmiöiden tarkasteluun ja analysoimiseen. Ohjelmistoilla voidaan myös laskea siltojen ja rumpujen aiheuttamia

padotuksia. Yleisin näistä ohjelmista on ilmainen HEC-RAS (Järvenpää ja Savolainen, 2017, s. 39).

HEC-RAS-ohjelmiston avulla voidaan selvittää veden virtaamia ja jään aiheuttamia tukoksia, sekä suorittaa yksi- ja kaksiulotteisia hydraulisia laskelmia rakennetuille ja luonnollisille kanaville. Ohjelmiston avulla voidaan myös mallintaa stationaarinen ja muuttuva virtaus ja lisätä uomaan erilaisia rakenteita, kuten rumpuja ja siltoja. Yleinen käyttötarkoitus tällaiselle ohjelmalle on suunnittelutoimenpiteiden arvioiminen ja tulvien vaikutuksien arviointi vedenkorkeuksiin ja virtaamiin (Hydrologic Engineering Centre, 2023).

HEC-RAS-ohjelma käyttää Manningin kaavoja. Ohjelman antamien tietojen tarkkuuden varmistamiseksi tarvitaan tietoa poikkileikkauksista riittävän pitkältä matkalta, vesiaukon mitoista sekä mitoitusvirtaamasta ja alapuolisista reunaehdoista (Järvenpää ja Savolainen, 2017, s. 39). Lisäksi muita virtausmallinnusohjelmistoja on saatavilla, kuten iRiC, jolla voidaan mallintaa erilaisia ilmiöitä, kuten tsunamin leviämistä, irtoaineksen kulkeutumista, jokien virtaamia ja sateen valuman kehittymistä (iRiC, 2023).

4 KYSELY TYÖNAIKAISTEN SILTOJEN PARISSA TYÖSKENTELEVILLE

4.1 Tutkimusmenetelmät

Valmista ohjetta työnaikaisen sillan mitoitukseen ei ole saatavilla, mikä johtaa työnaikaisen sillan vähäiseen huomioimiseen aukkomitoituksessa. Tämän tutkimusongelman selvittämiseksi käytettiin kvalitatiivista lähestymistapaa, joka perustui kirjallisuuskatsaukseen ja alan asiantuntijoille lähetettyyn sähköpostikyselyyn. Diplomityön tarkoituksena oli löytää yleisimmät ja tärkeimmät tekijät, jotka tulisi ottaa huomioon työnaikaisten siltojen suunnittelussa hydrologian ja hydraulisen puolen näkökulmista sekä kartoittaa millaiselle oppaalle olisi tarvetta.

Sähköpostikysely lähetettiin seitsemälle henkilölle, joista viisi oli suunnittelijoita ja kaksi siltojen rakennuttajia. Suunnittelijoiden lisäksi haluttiin kysyä siltojen rakennuttajia, jotta voitaisiin selvittää suunnitelman ja mahdollisten epäkohtien vaikutus itse rakentamiseen. Monet vastaajat antoivat vastauksensa yhteistyössä kollegan tai kollegoiden kanssa, joten lopulta vastauksia tuli seitsemältä suunnittelijalta ja kahdelta rakennuttajalta. Vastanneiden titteli vaihteli, mutta useimmiten heidän roolinsa oli projekti- tai osastopäällikkö. Eri vastaajaryhmille lähetettiin erilaiset kyselyt, jotta vastaaminen olisi helpompaa. Suunnittelijoilta kysyttiin nimenomaan suunnittelussa huomioon otettavia asioita, kun taas rakennuttajilta kysyttiin heidän työhönsä liittyvästä näkökulmasta.

Kyselyyn vastanneet työskentelivät seitsemässä eri yrityksessä, pääosin Pohjois-Pohjanmaalla. Kyselyyn osallistuneet henkilöt olivat toimeksiantajan nimeämiä, mutta kukaan vastaajista ei työskennellyt toimeksiantajan yrityksessä. Vastaajille määritettiin kahden viikon vastausaika, ja heitä muistutettiin vastaamaan kyselyyn sähköpostilla 15 päivän päästä alkuperäisen kyselyn lähettämisestä.

4.2 Analysointimenetelmät

Kyselyn vastauksista kerätty aineisto käsiteltiin sisällönanalyysin keinoin. Tämä analyysikeino tarkoittaa aineiston antaman informaation esittämistä sanallisesti. Menetelmä ensin koostaa aineistosta selkeän yhteenvedon aineiston käsitteellistämisen,

kokoamisen ja hajottamisen avulla, jolloin lopussa aineistosta voidaan johtaa johtopäätökset. (Tuomi ja Sarajärvi 2017, s. 122)

Sisällönanalyysi alkoi valitsemalla, mitä aineistosta halutaan löytää eli mikä siinä kiinnostaa. Aineisto käydään läpi useasti ja sieltä valitaan ne asiat, jotka oli valittu kiinnostuksen kohteeksi ja muut asiat jätetään huomion ulkopuolelle. Kun aineisto on rajattu tällä tavalla, aletaan etsiä aineistoa yhdistäviä ja erottavia tekijöitä, toistuvia teemoja sekä muita kiinnostavia huomioita. (Tuomi ja Sarajärvi 2017, s. 104)

Kun aineistosta löydettiin kiinnostavat asiat, ne kirjoitettiin puhtaaksi ja ymmärrettäväksi analyysiä varten. Tässä vaiheessa aineistoa myös ryhmiteltiin esimerkiksi samankaltaisuuksien ja erojen mukaan. Tämän jälkeen siistitystä analyysistä kerättiin aiheita kategorioihin sen mukaan, mitä työstä haluttiin selvittää. Tässä diplomityössä haluttiin tärkeimpiä näkökulmia ja ongelmakohtia työnaikaisten siltojen suunnittelussa ja rakennuttamisessa sekä saada selville, mitä ohjeistuksia työnaikaisten siltojen parissa työskentelevät käyttävät. Rakennuttajien ja suunnittelijoiden vastauksista etsittiin niissä erikseen toistuvimpia tekijöitä, mutta myös yhdistäviä huomioita. Lopuksi kerätyistä tekijöistä etsittiin kaavoja ja suhteita aiemmin luotujen ryhmien sisällä ja ryhmien välillä esimerkiksi miettimällä kattotermejä ja tutkimalla eri tekijöiden tärkeyttä arvioimalla niiden ilmestymismäärää aineistossa. (Taylor-Powell & Jenner, s. 2003)

4.3 Kyselyn toteutus

Tutkimuksen toteutus alkoi kirjallisuuskatsauksella aiheeseen. Lähteinä olivat pääosin erilaiset julkiset verkkolähteet. Kun aiheesta oli saatu hyvä ja kokonaisvaltainen kuva, alkoi sähköpostikyselyyn valmistautuminen.

Ensimmäinen vaihe sähköpostikyselyn teossa oli kyselyrunгон tekeminen. Kyselyrunгон kysymykset jätettiin avoimiksi, jotta kyselyyn vastaajat voisivat kertoa näkemyksistään mahdollisimman vapaasti. Kyselyyn haluttiin valita muutama avoin kysymys, jotta näihin aiheisiin saataisiin mahdollisimman runsaat vastaukset. Liian pitkän kyselyn koettiin voineen vaikuttaa vastaajien määrään negatiivisesti. Kyselyyn päättyi neljä kysymystä, jotka muotoiltiin eri vastaajaryhmille. Kyselyssä kysyttiin seuraavat kysymykset:

- 1) Mitkä koet tärkeimmiksi kohdiksi työnaikaisten siltojen suunnittelussa/rakennuttamisessa hydrologian ja hydraulisen puolen näkökulmasta? Miksi?
- 2) Millaiset ovat yleisimmät ongelmakohdat työnaikaisten siltojen suunnittelussa/rakennuttamisessa yllä mainitusta näkökulmasta?
- 3) Millaisia hydrologiaan / hydrauliseen puoleen liittyviä ohjeistuksia käytätte nykyään? Kuinka sovellatte niitä?
- 4) Kuinka huomioitte työnaikaisen sillan suunnitellessanne/rakentaessanne uutta, pysyvää siltaa?

Sähköpostikyselyn ainoana ongelmana oli pitkä vastausaika. Ennen ensimmäistä muistutusta vastauksia ei ollut saatu. Sähköpostikyselyyn ei saatu vastauksia kahdella ensimmäisellä viikolla, jonka jälkeen kyselyyn osallistuville lähetettiin muistutusviesti kyselyyn vastaamisesta. Muistutuksen jälkeen vastauksia kuitenkin tuli ja lopulta neljä viidestä suunnittelijoista ja molemmat rakennuttajista vastasivat kyselyyn. Kyselyt lähetettiin juuri yleisten syyslomaviikkojen aikaan, mikä saattoi vaikuttaa vastausten pitkittymiseen. Jos vastauksia olisi saatu enemmän, se olisi voinut tuoda kattavimman suunnittelijoiden ja rakennuttajien huomioita ja ongelma-kohtia esille. Ne vastaukset jotka kyselyn kautta saatiin, olivat samassa linjassa keskenään. Vähäisellä vastaajamäärällä ei välttämättä ollut lopulta vaikutusta tuloksiin.

5 KYSELYN TULOKSET

Ensimmäiseen kysymykseen suunnittelijat katsoivat lähtötietojen olevan tärkeimmät tekijät siltarakenteiden mitoituksessa, erityisesti tiedot vedenpinnan korkeudesta, tukien sijainnista, virtausnopeudesta, vapaan uoman poikkileikkauksesta ja pituuskaltevuudesta. Rakentajat puolestaan kokivat suunnitelmien ja niihin liittyvien laskelmien olevan liian teoreettisia. Heille tärkeintä oli selkeät ja riittävät mitoitukset ja vaatimukset sekä suunnitellun rakentamisajan pituus. Viivästykset voivat johtaa rakentamiseen talvella, mikä lisää riskiä jääpadoille ja kevättulville. Rakentaminen talvella on myös hitaampaa ja kalliimpaa. Rakentajat pitivät tärkeimpänä asiana riittävän suurta mitoitusta siltojen aukoille, jotta veden määrä ei vahingoittaisi rakenteita. Tavoitteena oli, että työnaikainen silta ei padottaisi uomaan liikaa, mikä aiheuttaisi haittaa tai estäisi vesistön eläimistön kulkua uomassa tai mahdollista virkistyskäyttöä.

Toisessa kysymyksessä kysyttiin työnaikaisten siltojen suunnittelussa mahdollisia ongelmakohtia, erityisesti hydrologisesta ja hydraulisesta näkökulmasta. Suunnittelijat kokivat, että riittämättömät lähtötiedot, kuten mitoitusvirtaama, sallittu padotus, rakentamisajankohta ja -kesto hankaloittavat aukkokoona määrittämistä. Lisäksi ongelmia voivat aiheuttaa työnaikaisen sillan sovitus uomaan ja mitoitus, jos työ kestää tulva-ajan ylitse. Suunnitteluvaiheessa täytyy punnita turvallisuuden ja kustannusten välillä, jolloin turvallisuusriskin suuruus ja vaikutukset täytyy arvioida tarkasti.

Rakennuttajat puolestaan kokivat, että käytäntö ja teoria eivät aina kohtaa, ja vesiluvissa on tulkinnanvaraa aukkokoosta eri vuodenaikoina. Esimerkiksi vakinaisen sillan suunnitteluvaiheessa ei ole välttämättä huomioitu työnaikaisen sillan vaikutuksia. Joen ominaisuudet, kuten tulvaherkkyys, jäätulvariski ja mahdolliset vesivoimalat, tuovat omat haasteensa, eikä aikaa aina ole käydä kohteella tarkastamassa asiaa. Rakentamisajankohta ja aikataulutukset vaikuttavat myös kustannuksiin, ja talvella rakentaessa lisäkustannuksia voi syntyä esimerkiksi sääsuojan rakentamisesta.

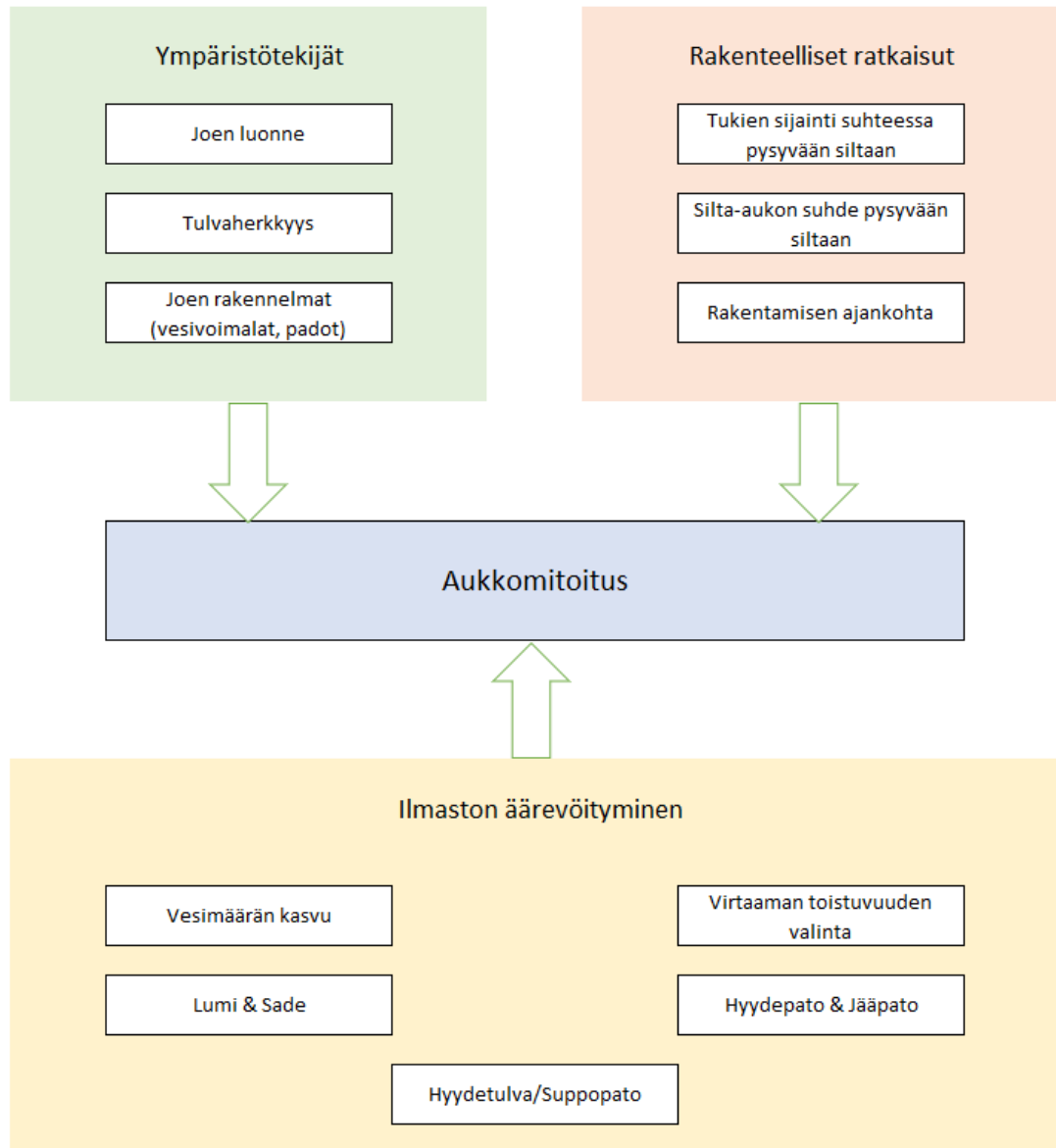
Nämä kyselyyn vastanneiden suunnittelijoiden ja rakentajien kokemukset osoittavat, että työnaikaisten siltojen suunnittelu ja rakentaminen ovat monimutkaisia prosesseja, joissa on otettava huomioon useita tekijöitä, kuten joen ominaisuudet, rakentamisajankohta ja -kesto, turvallisuusriskit ja kustannukset. Lähtötietojen riittävyys ja selkeät mitoitukset ovat tärkeitä tekijöitä, joiden avulla voidaan varmistaa siltojen turvallisuus ja toimivuus.

Kolmannessa kysymyksessä tarkasteltiin ohjeistusten ja oppaiden käyttöä siltojen suunnittelussa, mitoituksessa ja rakentamisessa. Suunnittelijat käyttävät usein Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen julkaisemaa opasta nimeltä Silta- ja rumpurakenteiden aukkomitoitus, mutta myös muita palveluita, kuten SYKEN hydrologiapalvelut, Vesi.fi, Tulvakarttapalvelu ja ELY-keskuksien Y-vastuualueita. On kuitenkin tärkeää huomata, että yleispätevää ohjetta ei ole olemassa, sillä jokainen silta on arvioitava erikseen tai sovellettava aiemmin mainittua opasta.

Rakentajat tarvitsevat rakennusvaiheessa aukkolausuntoa, joka kertoo siltojen aukkomitoituksen ja muut tarvittavat tekniset tiedot. Jos rakennuttajat havaitsevat puutteita aukkolausunnossa, kuten puutteellisesti tai ei lainkaan huomioitu työnaikaista siltaa, heidän on otettava yhteyttä valvovaan viranomaiseen. Tämä varmistaa, että siltojen suunnittelu, mitoitus ja rakentaminen tapahtuu turvallisesti ja asianmukaisesti.

Neljännessä kysymyksessä tarkasteltiin, että kuinka työnaikainen silta otetaan huomioon, kun suunnitellaan pysyvää siltaa. Esille nousi, että uusi silta on pystyttävä rakentamaan kokonaan valmiiksi työnaikaisen sillan ollessa siltapaikan vieressä. Etäisyys siltojen välillä täytyy olla riittävä, jotta esimerkiksi kaivutyöt on mahdollista toteuttaa. Huomioitava on myös työnaikaisen aukon suunta suhteessa uoman virtaussuuntaan sekä työnaikaisen sillan tukien sijainti suhteessa jo olemassa olevaan siltaan. Osa suunnittelijoista ei ota aukkolausuntoa antaessa huomioon mahdollista työnaikaisen sillan skenaariota. Rakennuttajat huomioivat rakennusvaiheessa materiaalien uusiokäyttöä esimerkiksi louheverhouksissa. Kuitenkin tilaajan kriteerit, vesiluvat ja aukkomitoitus rajoittavat ja määrittävät jonkin verran toimintaa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET



Kaavio 1. Aukkomitoituksen vaikuttavat tekijät

Aukkomitoituksen määrittelyyn vaikuttavia tekijöitä on tuotu esille kaaviossa 1. Tekijät on voitu jakaa kolmeen eri ryhmään. Ympäristötekijät, rakenteelliset ratkaisut sekä ilmaston äärevöityminen. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että ilmastonmuutoksen huomioiminen on tärkeää työnaikaisten siltojen rakentamisessa, sillä ilmastonmuutos tekee sääolosuhteiden ennustamisesta hankalampaa. Ilmastonmuutoksella on myös vaikutuksia tulvien toistuvuusaikoihin ja rankkasateiden esiintymisaikoihin. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat kuitenkin erilaisia eri vesistötyypeissä. Tutkimuksen mukaan esimerkiksi Järvi-Suomen suurissa keskusjärvissä ja niiden

laskujoissa tulvat tulevat todennäköisemmin lisääntymään seuraavan 80 vuoden aikana. Työnaikaisten siltojen aukkomitoituksen parissa työskentelevien tulisi päivittää ohjeistuksensa säännöllisesti ja huomioida ilmastonmuutoksen vaikutukset, jotta ne voitaisiin huomioida aukkomitoituksen suunnittelussa.

Kun valitaan varasiltakalustoa, on otettava huomioon sen käyttötarkoitus ja tarvittava käyttö. Eräs tärkeä tekijä, joka on huomioitava, on varasiltakaluston kyky kestää erilaisia liikennekuormia. Lisäksi kaluston valinnassa voi olla tarpeen ottaa huomioon sen pystyttämistapa. Esimerkiksi Acrow Panel -kaluston pystyttäminen vaatii nosturin käyttöä, kun taas Bailey-varasiltakalusto voidaan pystyttää manuaalisesti. Näiden tekijöiden huomioiminen voi auttaa valitsemaan sopivan varasiltakaluston tietylle käyttökohteelle.

Silta-aukkojen mitoittamiseen on käytössä useita erilaisia menetelmiä, joista yleisimmin käytetty on Seunan k-menetelmä. Tolkmittin menetelmä on toiseksi yleisin ja sitä voidaan käyttää sekä siltojen että rumpujen aukkomitoituksessa. Tolkmittin menetelmästä on johdettu Nissisen ns-menetelmä, joka ei kuitenkaan huomioi rakenteellisia yksityiskohtia tai erityistekijöitä, joten se ei sovellu kaikkiin tilanteisiin. Esimerkiksi siltapilarien vaikutus virtausalavähennykseen on huomioitava erikseen tarvittaessa. Morriksen ja Wiggertin menetelmä sopii sellaisiin vesistöihin, joissa uoman mitoitus joen sillan ylä- ja alapuolella on sama. Yksiaukkoisiin siltoihin voidaan käyttää yksinkertaistettua Bradley'n menetelmää, jossa hyödynnetään maatumien muotoa sekä vedenjohtokykyä kokonaispadotuskertoimen laskemiseksi.

On siis tärkeää valita sopiva mitoitusmenetelmä silta-aukkojen mitoittamiseen ja tarvittaessa huomioida rakenteelliset yksityiskohdat sekä erityistekijät, kuten siltapilarien vaikutus virtausalavähennykseen, jotta lopputulos olisi turvallinen ja kestävä. Tutkimus korostaa ilmastonmuutoksen huomioimisen tärkeyttä työnaikaisen sillan suunnittelussa, koska se vaikuttaa säiden ennustettavuuteen ja tulvien esiintymiseen. Lisäksi tutkimus osoittaa myös, että tarvitaan lisää tutkimusta selvittääkseen eri vesistöissä käytettyjen ohjeiden vaikutukset työnaikaisiin siltoihin ja näiden vaikutukset vesivirtauksiin. Tämän tutkimuksen tulokset ovat tärkeitä ammattilaisille, jotka ovat mukana työnaikaisten siltojen suunnittelussa ja rakentamisessa.

Tämän diplomityön aiheeseen voitaisiin jatkossa tehdä laajempaa tutkimusta toteuttamalla kysely, johon otettaisiin enemmän vastaajia eri maantieteellisiltä alueilta.

Tällä tavoin saataisiin parempi käsitys siitä, millaisia ohjeistuksia työnaikaisilla silloilla työskentelevät henkilöt käyttävät ja mitkä asiat ovat heille tärkeitä työssään. Kyselyn lisäksi haastattelut voisivat antaa vielä laajempaa tietoa tutkimusaiheesta. Toisena jatkotutkimuskohteena voitaisiin mallintaa virtausta vesistöissä, jossa on sekä pysyvä silta että työnaikainen silta. Tämä auttaisi ymmärtämään paremmin, kuinka paljon työnaikainen silta vaikuttaa vesivirtaukseen ja aiheuttaa lisäpadotusta. Tämän lisäksi voitaisiin tehdä esimerkkilaskelmia samankaltaisista tapauksista, jotta saataisiin lisää tietoa työnaikaisten siltojen vaikutuksista.

LÄHDELUETTELO

Earle S., 2019. Physical Geology. Toinen painos. Victoria, B.C.: BCcampus, 811 s.

Eloranta A. & Eloranta A., 2016. Rumpurakenteiden ympäristöongelmat, niiden ehkäisy ja korjaaminen [verkkodokumentti]. Keski-Suomen ELY-keskus. Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/120869/Rumpurakenteiden_ymparistoongelmat.pdf?sequence=2&isAllowed=y [viitattu 6.3.2023]. 190 s.

Gregow H., Lehtonen I. & Venäläinen A., 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta [verkkodokumentti]. Helsinki: Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/319348> [viitattu 8.9.2022]. 41 s.

Hicks F. & She Y., 2006. Cold Regions Science and Technology [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165232X06000668> [viitattu 15.9.2022].

Hydrologic Engineering Centre, 2023. Features [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/features.aspx> [viitattu 3.2.2023].

iRiC, 2023. About iRiC [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://i-ric.org/en/about/> [viitattu 13.02.2023].

Järvenpää L. & Savolainen M., 2016. Silta- ja rumpurakenteiden aukkomitoitus. Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus [verkkodokumentti] Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/123702/Opas%204%202016_w.pdf?sequence=5&isAllowed=y [viitattu 5.9.2022] 51 s.

Korhonen J., 2007. Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38428> [viitattu 18.9.2022] 109 s.

Kute S., 2014. Flood modeling of river Godavari using Hec-Ras [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/273278099_FLOOD_MODELING_OF_RIVER_GODAVARI_USING_HEC-RAS [viitattu 2.2.2023].

Lehtinen, T., 2023. Varasiltakalusto [yksityinen sähköpostiviesti] Vastaanottaja: Jussi Tiainen. Lähetetty 19.1.2023 klo 15.14 (GMT +0200).

Leppäranta M., Virta J. & Huttula T., 2017 Hydrologian perusteet. Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/241220> [viitattu 5.9.2022] 195 s.

Liikennevirasto, 2015. Varasiltakaluston hoito- ja varastointiohje [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2015-24_varasiltakaluston_hoito_web.pdf [viitattu 15.9.2022] 26 s.

Liikennevirasto, 2017 a. Eurokoodin soveltamisohje - Geotekniikan suunnittelu - NCCI 7: Siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: <https://www.doria.fi/handle/10024/134574> [viitattu 20.9.2022] 91 s.

Liikennevirasto 2017 b. Ohjeet vesistöjen ylittävien siltojen aukkomitoista [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/Ohjeet_vesiston_ylittavien_siltojen_aukkomitoista.pdf [viitattu 7.9.2022] 30 s.

Lindenschmidt K., Das A., Rokaya P. & Chu T., 2016. Hydrological Process [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/hyp.10853> [viitattu 25.11.2022]

Luomaranta A., 2020. Characteristics of winter climate in Finland in a warming world [verkkodokumentti]. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/318362> [viitattu 23.9.2022] 91 s.

Mäkelä A., Ruosteenoja K., Vehviläinen B., Veijalainen N. & Uusikivi J., 2018. Ilmastonmuutos ja virtaamien muuttuminen Kemi-, Kymi- ja Lieksanjoen alueilla [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/255640> [viitattu 13.12.2022] 44 s.

Parjanne A. & Huokuna M., 2014 Tulviin varautuminen rakentamisessa [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, Ilmatieteen laitos, Ympäristöministeriö, Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/135189> [viitattu 1.10.2022] 75 s.

Parjanne A., Silander J., Tiitu M. & Viinikka A. 2018. Suomen tulvariskit nyt ja tulevaisuudessa: Varautuminen maankäytön, talouden ja ilmaston muutokseen [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/278893> [viitattu 15.10.2022] 73 s.

Suomen ympäristökeskus, 2022. Watershed simulation and forecasting systems (WSFS) [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.syke.fi/en-US/Research_Development/Water/Models_and_tools/Watershed_simulation_and_forecasting_system [viitattu 15.1.2023]

Taylor-Powell E. & Renner M. 2003. Analyzing Qualitative Data [verkkodokumentti]. University of Winsconsin. Saatavissa: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0145/8808/4272/files/G3658-12.pdf> [viitattu 17.12.2022] 10 s.

Tie- ja vesirakennushallitus, 1984. Suositukset vesistösiltojen kulkuaukkojen vähimmäismitoiksi [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/81241537.pdf> [viitattu 28.9.2022] 79 s.

Tuomenvirta H., Haavisto R., Hildén M., Lanki T., Luhtala S., Meriläinen P., Mäkinen K., Parjanne A., Peltonen-Sainio P., Pilli-Sihvola K., Pöyry J., Sorvali J. & Veijalainen N. 2018. Sää- ja ilmatoriskit Suomessa - Kansallinen arvio [verkkodokumentti]. Valtioneuvoston kanslia. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161015> [viitattu 17.12.2022] 94 s.

Tuomi J. & Sarajärvi A. 2017. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Uudistettu laitos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi. 144 s.

Unacademy. 2023. Understanding Geomorphology [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://unacademy.com/content/upsc/study-material/physical-geography/understanding-geomorphology/> [viitattu 4.1.2023].

Vesi. 2020. Talvinen hyydetulva [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/talvinen-hyydetulva/> [viitattu 4.1.2023].

Ympäristö. 2020. Tulvien esiintyminen [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Olenko_tulvariskialueella/Tulvien_esiintyminen?f=Lapin_ELYkeskus [viitattu 15.10.2022]

