



**TURUN
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen
tiedekunta

Tulvimisen aiheuttamat vaikutukset maankäyttöön, kaupunkeihin ja tieinfrastruktuuriin Somersetin rannikkotasangolla

Oona Nartola

Maantiede
LuK-tutkielma
Laajuus: 6 op

29.04.2025

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

LuK-tutkielma

Pääaine: Maantiede

Tekijä: Oona Nartola

Otsikko: Tulvimisen aiheuttamat vaikutukset maankäyttöön, kaupunkeihin ja tieinfrastruktuuriin Somersetin rannikkotasangolla

Ohjaaja: Harri Tolvanen

Sivumäärä:

Päivämäärä: 26.04.2025

Englannissa tulviminen on suurimpia tuhoja aiheuttava luonnonkatastrofi ja tulviminen aiheuttaa erilaisia taloudellisia sekä yhteiskunnallisia ongelmia eri puolilla maata joka vuosi. Somersetin rannikkotasangolla, joka on tämän tutkielman tutkimusalue, tulviminen on luonnollisesti yleinen luonnonkatastrofi. Alue sijaitsee hyvin lähellä merenpinnan tasoa sekä osittain sen alapuolella, jonka lisäksi alue on ympäristöään korkeampien kohtien ympäröimä ja alueelle laskee useita jokia.

Tutkielmassa käytän Englannin ympäristöviraston tuottamia tulvasoaineistoja, jotka osoittavat alueelle kohdistuvan tulvariskin eri todennäköisyyksien mukaan. Lisäksi ympäristöministeriö on tuottanut tarkemman aineiston tulvasojen rajojen sisäpuolella vallitsevista eroista tulvan todennäköisyydessä, jonka lisäksi aineisto on jaettu eri tulvasyvyyksiin. Nämä ovat pääaineistot, joihin analyysit perustuvat tutkielmassani. Lisäksi hyödynnän tutkielmassa aineistoja, joissa osoitetaan alueen maankäytönmuodot sekä alueella sijaitsevaa tieinfrastruktuuria. Aineistoja on käytetty lähinnä päällekkäisanalyyseissa sekä visuaalisessa vertailussa ja karttojen luomisessa.

Tutkimuksella osoitan, mitkä alueet jäävät mahdollisten tulvaskenaarioiden alle, sekä millaisia maankäytönmuotoja alueet sisältävät. Tuloksista todetaan, että alueella on lähinnä maatalousalueita sekä muutama kaupunkikeskittymä. Kaupunkialueiden pieni osuus ei kuitenkaan tarkoita sitä, että vahingot siellä olisivat suhteellisesti pienemmät kuin maatalousalueilla, sillä kaupungeissa asukastiheys on suurempi ja vahinkoja aiheutuu enemmän kuin maatalousalueilla. Lisäksi tutkielma osoittaa, miten ilmastonmuutoksen aiheuttama ilmastonlämpeneminen vaikuttaa merenpinnan korkeuteen, ja millaisia muutoksia se tuo alueelle, eli kuinka suuri osa alueesta jää merenpinnan alapuolelle tulevaisuuden eri lämpenemisskenaarioissa.

Avainsanat: Tulvat, tulvasuojelu, maatalous, ilmastonmuutos, ilmastonmuutoskenaariot, Somerset, rannikkotasanko, merenpinnan nousu.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Tulvimisen syyt ja maankäyttö alueella	7
2.1	Somersetin rannikkotasanko ja alueen tulvapolitiikka	7
2.1.1	Somersetin rannikkotasangon ominaisuudet ja tulvat	7
2.1.2	Tulvasuojelu	9
2.2	Tulvimisen vaikutukset Somersetin rannikkotasangolla	10
2.2.1	Maatalous	10
2.2.2	Tieinfrastruktuuri ja kaupungit	11
2.3	Ilmastonmuutoksen vaikutus tulvaskenaarioihin	11
2.3.1	Merenpinnan nousun skenaariot ja vaikutus tulviin	11
2.3.2	Tulvamallinnus	12
3	Aineistot ja menetelmät	14
3.1	Aineistot	14
3.1.1	Tulva-aineistot	14
3.1.2	Maankäytön aineistot	14
3.1.3	Merenpinnan korkeuden vaihtelu - aineisto	15
3.2	Menetelmät	16
3.2.1	Paikkatietoanalyysit	16
4	Tulokset	17
4.1	Tulvien alle jäävät maa-alueet	17
4.2	Vaikutukset kaupunkeihin ja tieinfrastruktuuriin	21
4.3	Ilmastonmuutoksen vaikutukset alueen maankäyttöön	31
5	Keskustelu	33
5.1	Tulosten analysointi	33
5.2	Menetelmien ja aineistojen epävarmuudet	35
5.3	Mahdollisia muutoksia alueen tulvasuojeluun	36
5.4	Mahdolliset jatkotutkimukset	36
5.5	Johtopäätökset	37
	Lähdeluettelo	39

1 Johdanto

Tulviminen on Englannissa suurimpia tuhoja aiheuttava luonnonkatastrofi (Thorne 2014). Tulvat aiheuttavat joka vuosi suuria taloudellisia menetyksiä ja niillä on suuri vaikutus esimerkiksi Englannin infrastruktuuriin, kuten rautateihin, sähkönjakeluverkkoon ja tieverkostoon sekä yhteiskunnan tarjoamiin palveluihin, kuten terveydenhuoltoon. Lisäksi tulvat aiheuttavat satunnaisesti ihmishenkien menetyksiä ja loukkaantumisia (Perks ym. 2023). Erityisen suuri tulvariski on Somersetin rannikkotasangolla, joka on tutkielmani tutkimusalue (Thorne 2014). Tässä tutkielmassa tarkastelen tulvien vaikutusta vain tieinfrastruktuuriin sekä maankäyttöön.

Tulvimisen syyt vaihtelevat eri alueilla Englannissa (Thorne 2014). Tulviminen voi johtua esimerkiksi jokien ylikuormittumisesta, pohjaveden pinnan noususta niin korkeaksi, että se tulee maan päälle, meriveden noususta maaperälle tai muiden pintavesien kuormittumisesta. Tässä tutkielmassa pohjavesien vaikutusta alueen tulvimiseen ei ole huomioitu, sillä ne eivät sisälly käytettyyn aineistoon.

Usein tuhoisat tulvat syntyvät monen eri tekijän yhteisvaikutuksesta (Thorne 2014). Somersetin rannikkotasangon sijainti lähellä merenpinnan tasoa sekä osittain sen alapuolella lisää erityisesti merivesitulvien riskiä. Lisäksi alueen läpi virtaa useita jokia, jotka päätyvät Bristolin kanavaan eli merialueeseen Somersetin edustalla. Jokien valuma-alue on laaja ja kattaa koko tutkimusalueen, sillä Somersetin rannikkotasankoa ympäröi itseään korkeammat alueet. Näiden tekijöiden takia alue on erittäin herkkä tulvimiselle. Lisäksi ilmastonmuutos ja sen lisäämät sään ääri-ilmiö, sekä ilmaston lämpenemisen aiheuttama merenpinnan korkeuden nousu lisäävät alueen tulvariskiä (Haigh & Nicholls 2017).

Pyrin tutkimuksellani selvittämään, minkälaisiin asioihin tulviminen mahdollisesti vaikuttaa Somersetin rannikkotasangolla. Tavoitteenani on selvittää, kuinka suuria alueita tulvien alle eri tulvaskenaarioissa jää, miten tulviminen vaikuttaa alueen maankäyttöön ja tieinfrastruktuuriin sekä minkälaista infrastruktuuria ja maankäytön muotoja jää eri tulvatasojen alle mahdollisissa tulvatilanteissa. Lisäksi tutkin ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia tulvimiseen alueella vertailemalla eri ilmastonlämpenemisskenaarioita ja niiden aiheuttamia muutoksia merenpinnan tasoon. Erityisesti Somersetin rannikkotasangolla merenpinnan tason nousulla on suuri merkitys. Alue sijaitsee jo nyt hyvin lähellä merenpinnan nykyistä tasoa sekä osittain sen alapuolella.

Tutkimus vastaa seuraaviin kysymyksiin:

- 1) Kuinka suuren osan Somersetin rannikkotasangon pinta-alasta eri tulvaskenaariot peittävät tulvatilanteissa?
- 2) Minkälaisia maankäytön muotoja ja infrastruktuuria jää tulvaskenaarioiden alle?
- 3) Kuinka ilmastonmuutoksen aiheuttama merenpinnan tason nousu vaikuttaa alueen tulva-alttiuteen?

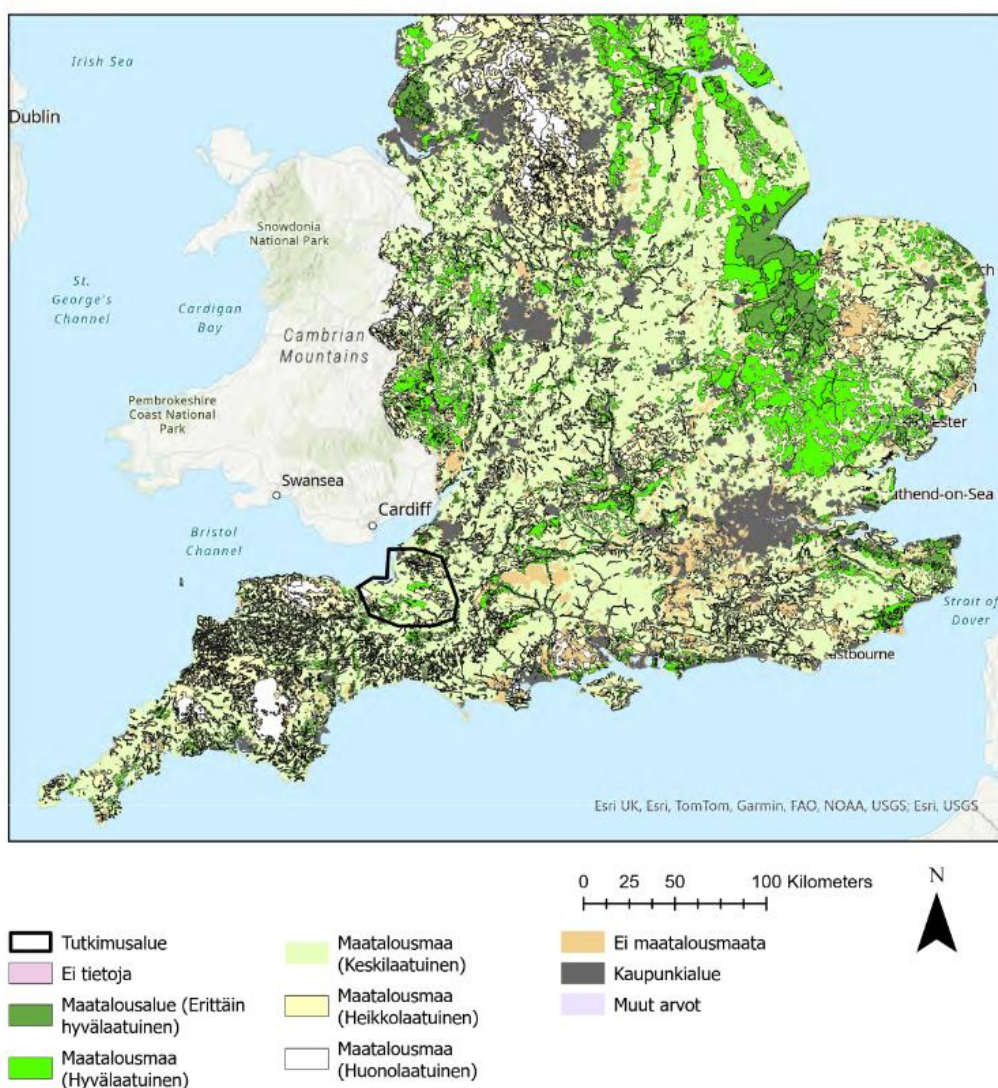
Tutkimuksen tarkoitus on kartoittaa suurimmat tulvariskialueet Somersetin rannikkotasangolla yleisellä tasolla, jotta olisi mahdollista tulevaisuudessa keskittää niin tulvasuojelun toimenpiteitä sekä mahdolliset jatkotutkimukset juuri näille alueille. Lisäksi tutkimusta voidaan hyödyntää aluesuunnittelussa, kun esimerkiksi määritellään tärkeän infrastruktuurin sijaintia.

2 Tulvimisen syyt ja maankäyttö alueella

2.1 Somersetin rannikkotasanko ja alueen tulvapolitiikka

2.1.1 Somersetin rannikkotasangon ominaisuudet ja tulvat

Somersetin rannikkotasanko (engl. *Somerset Levels and Moors*) on noin 650 km² kokoinen alue Englannin länsirannikolla Bristolin kanaalin vierustalla (Kuva 1) (Smith ym. 2017). Somersetin rannikkotasanko sijaitsee pääasiassa merenpinnan tasossa sekä osittain jopa merenpinnan alapuolella, ja on siksi erityisen herkkä erityisesti meriveden aiheuttamalle tulvimiselle (Thorne 2014).



Kuva 1. Tutkimusalueen sijainti sekä maankäytönmuodot ja maatalousalueiden laatu Englannissa (Lähde: Provisional Agricultural Land Classification (ALC)).

Somersetin rannikkotasangolla maaperä sisältää suuren määrän savea, joten maaperän kyky läpäistä vettä on melko heikko (Strarford & Acreman 2014). Lisäksi alue jää kahden korkeamman maa-alueen väliin pohjois- sekä eteläpuolelta, joista molemmista suuntautuu valuntaa juuri Somersetin rannikkotasangolle. Alue siis muodostaa ikään kuin altaan, jonne vettä kertyy helposti. Kovera muoto myös vaikeuttaa veden poistumista alueelta valuntana.

Suurin osa Somersetin rannikkotasangosta on ollut jo pitkään maatalouskäytössä ja alueella on esimerkiksi kuivatettu vesistöjä maatalouskäyttöön jo 1600-luvulta lähtien (Keech & Ricketts 2021). Alueelta on dokumentoitu tulvatapauksia jo vuosisatoja sitten eli alueella on ollut jo pitkään luonnollinen taipumus tulva-alttiuteen. Edelleen Somersetin rannikkotasangolla suurin osa maa-alueesta onkin käytössä maatalousmaana (Natural England 2024). Lisäksi alueella on muutamia pieniä kaupunkikeskittymiä sekä maatalouskäytön ulkopuolelle jääviä maa-alueita, kuten metsiä ja kallioisia maa-aloja, joita ei ole eritelty tarkemmin käyttämässäni aineistossa.

Alueella on käytetty 1700-luvulta lähtien viemärointiä ja ojitusta apuna alueen kuivattamisessa (Strarford & Acreman 2014). Kuivattamisen tavoitteena on ollut alueen parempi soveltuvuus maatalouden tarpeisiin. Ojitus on tämän lisäksi toiminut tulvasuojelun keinona ohjaamalla tulvavesiä alueelta suoraan Bristolin kanavaan ja tavoitteena on ollut pitää juuri maatalousalueet vapaina tulvavesistä. Alueiden ojitus ja maanmuokkaus maatalouskäyttöön kuitenkin samalla lisää tulvariskiä.

Tulvia muodostuu, kun vettä päätyy alueelle normaalia enemmän, eikä sitä samaan aikaan poistu tarpeeksi (Strarford & Acreman 2014). Vettä voi kerääntyä alueelle tavallista enemmän esimerkiksi pintavesien tai sadeveden mukana normaalia voimakkaampien sateiden yhteydessä. Samalla vettä ei mahdollisesti poistu normaaliin tapaan esimerkiksi haihtumisen mukana tai sitä ei suodatu tarpeeksi pohjavedeksi. Tällöin syntyy ylijäämää, joka aiheuttaa tulvimisen. Lisäksi tulvimiseen vaikuttaa tulvavettä varastoivien vesistöjen ja keinotekoisien tulvavesivarastojen kyky varastoida ylimääräistä vettä. Jos tulvavesivaraston kapasiteetti ylittyy, vettä tulvii alueen ulkopuolelle. Myös maaperä varastoi vettä tietyn kapasiteetin verran.

Vuosien 2013 ja 2014 välisenä talvena Somersetin rannikkotasangolla yli 115 km² kokoinen alue jäi veden alle ennätyksellisten tulvien seurauksena (Smith ym. 2017). Tulviminen vaikutti alueella useita kuukausia yhteiskunnan toimintaan vaihtelevasti ja tulvat vaikuttivat esimerkiksi juuri alueen tieverkostoon. Alueelta evakuoitiin useita kyliä, mikä vaikutti esimerkiksi alueen talouteen ja asukkaiden toimeentuloon. Lisäksi tulviminen aiheutti suuria kuluja niin yksityishenkilöille kuin hallinnolle.

Somersetin alueella, kuten muualla Englannissa, tulviminen johtuu usean eri tekijän yhteisvaikutuksesta (Thorne 2014). Vuonna 2013 ja 2014 alueella koettujen ennätysellisten tulvien arvellaan syntyneen useiden voimakkaiden myrskyjen sekä pitkään kestäneiden rankkasateiden vaikutuksesta. Ne aiheuttivat muun muassa juuri jokien virtaaman lisääntymisen sekä meriveden nousun maaperälle. Lisäksi veden kyllästyttämään maaperään ei enää imeytynyt vettä kapasiteetin täyttymisen jälkeen, joka johtaa suurempaan pintavaluntaan. Lisäksi kaupungeissa rankkasateet ja tulvavedet kuormittivat viemäriverkostoja merkittävästi, ja tämä lisäsi pintavaluntaa sekä tulvatasangon levinneisyyttä.

2.1.2 Tulvasuojelu

Englannissa tulvasuojelu on pitkään perustunut tulvasuojien rakentamiseen tulvien ehkäisyn ja tulvariskin pienentämisen sijaan (Smith ym. 2017). Tulvariskin pienentäminen tarkoittaa, että koko tulvatapahtuma pyritään estämään, kun taas tulva suojelu tarkoittaa sitä, että syntyneen tulvan aiheuttamia vahinkoja pyritään minimoimaan. Tarkoituksena on ollut siis estää tulvavesiä saavuttamasta esimerkiksi tiiviisti asutettuja alueita. Tämä on muuttunut 2010-luvun aikana. Nyt tavoitteena on tulvasuojelun sijaan tulvariskin hillitseminen jo ennen tulvan syntyä. Lisäksi tavoitteena on ollut siirtää päätöksentekovaltaa paikallisille viranomaisille, jolloin päätösten uskotaan heijastavan paikallisten mielipiteitä paremmin ja tuottavan parempia keinoja tulvariskin hillitsemiseksi alueellisesti.

Ennätystulvista vuosina 2013–2014 uutisoitiin laajasti Englannissa ja tulvat saivat paljon huomiota (Smith ym. 2017). Tämä lisäsi päättäjien painetta lisätä tulvasuojelun toimia. Vuosien 2013–2014 ennätystulvat johtivat siis uuden toimintastrategian luomiseen, jonka tarkoituksena on vähentää tulvimista Somersetin alueella sekä muualla Englannissa. Strategia luotiin vuonna 2014. Sen aikatavoitteeksi on asetettu 20 vuotta ja rahoitus on 100 miljoonaa puntaa. Strategiaan kuuluu esimerkiksi uusien vuorovesiesteiden ja patojen rakentaminen sekä vedenpumpausasemien lisääminen.

Erityisesti Somersetin alueella tulvasuojelu perustuu tulvavesipumppuihin, joilla tulvavettä pumpataan pois alueelta, jotta tulvavesien aiheuttamat haitat saataisiin minimoitua (Thorne 2014). Näiden lisäksi kahden suurimman joen ruoppaaminen hyväksyttiin tulvasuojelun keinona vuoden 2014 tulvastrategiassa. Ruopattavat joet olivat Parrett- ja Tone-joet, joista Parrett-joki sijaitsee Somersetin alueella. Päätös jokien ruoppaamisesta oli kiistanalainen ja sitä on vastustettu vuosia. Vasta ennätystulvien jälkeen se otettiin käyttöön tulvasuojelun keinona.

Tulvasuojelussa käytetään lisäksi tulvavesivarastoja (engl. *washland*), joihin tulvavettä ohjataan tulvariskin poistamiseksi muilta alueilta (Morris ym. 2008). Tulvavesivarastot ovat kuin keinotekoisia kosteikkoja. Tulvavesivarastojen lisäämistä on pidetty hyvänä tapana torjua tulvista aiheutuvia riskejä, koska ne lisäävät samalla alueen biodiversiteettiä ja erityisesti Englannissa harvinaisia elinympäristöjä eli kosteikkoja. Tulvavesivaraston hyödyt ovat kuitenkin kiistanalaisia, sillä tulvavesivarastojen perustaminen saattaa usein johtaa maankäyttökiistoihin esimerkiksi maatalouden ja tulvasuojelun välillä.

2.2 Tulvimisen vaikutukset Somersetin rannikkotasangolla

2.2.1 Maatalous

Vuonna 2014 noin yksi kolmasosa Englannin pinta-alasta oli maatalouskäytössä (Thorne 2014). Lisäksi osa maan ruohomaista on viime vuosikymmeninä muutettu viljelymaiksi ruokaturvan takaamiseksi. Tämä lisää tulvariskiä sekä mahdollisen tulvimisen aiheuttamia taloudellisia menetyksiä, kun tulvalta suojeltavaa taloudellisesti arvokasta pinta-alaa on enemmän. Lisäksi suolaisen meriveden nousu maaperälle voi vaikuttaa maatalouteen heikentämällä viljelysmaan kuntoa tai tekemällä maasta käyttökelvotonta viljelysmaaksi.

Tulvimista voidaan koittaa ohjalla, jolloin pyritään minimoimaan tulvimisen aiheuttamat vaikutukset ja hallita tulvatason kulkua ja sijoittumista suotuisille alueille (Thorne 2014). Maatalouden näkökulmasta tasapainon löytäminen suotuisalle tulvimisen tasolle on kuitenkin hankalaa. Intensiiviviljelyn ylläpitäminen vaatii enemmän tulvasuojelun keinoja, sillä erityisesti viljeltävät kasvit voivat olla herkkiä ylimääräiselle vedelle. Laidunalueet ja muut ruohomaat taas selviävät tulvavesistä paremmin, eikä tulvasta koidu yhtä suurta haittaa esimerkiksi taloudellisesti. Maatalousalueita voidaan suojella esimerkiksi peltojen kuivattamisella ja ojittamalla, ja näin tehdään erityisesti intensiiviviljelyn alueilla.

Maatalous vaikuttaa tulvimiseen itsessään, mutta sen lisäksi tulviminen voi vaikuttaa maatalouteen (Thorne 2014). Maanmuokkaus intensiivisen maatalouden käyttöön esimerkiksi lisää pintaveden valuntaa. Lisäksi kaupungistuminen aiheuttaa keskustelua siitä, tulisiko tulvia ohjata enemmän maatalousalueille ja tehdä niistä tulvavarastoja, jolloin tulvien vaikutus kaupungeissa olisi pienempi ja näin tulvat vaikuttaisivat pienempään ihmismäärään kerralla. Toisaalta Englannissa maatalous on merkittävä elinkeino, ja tällaisia muutoksia vastustetaan paljon.

Maatalousalueisiin vaikuttaa myös tulvavesivarastojen rakentaminen (Morris ym. 2008). Kun suuria alueita otetaan tulvavarastokäyttöön, joudutaan alueen maankäyttöä muokkaamaan.

Tämä on johtanut joihinkin taloudellisiin menetyksiin maataloussektorilla. Lisäksi maataloussektori kärsii myös tulvaveden aiheuttamista ongelmista, mutta yleensä taloudelliset menetykset ovat suuria vain paikallisella tasolla (Thorne 2014).

2.2.2 Tieinfrastrukturi ja kaupungit

Englannin kaupungistumisaste on korkea (Thorne 2014). Lisäksi suuri osa urbaaneista alueista sijaitsee juuri tulvatasangoilla. Ne on historiallisesti mielletty hyviksi paikoiksi asua tulvista huolimatta, esimerkiksi tuottoisan maatalousmaan takia. Lisäksi rannikkoalueet ja niillä sijaitsevat kaupungit houkuttelevat paljon asukkaita ja usein niillä sijaitsee myös paljon turismikeskittymiä sekä vapaa-ajanviettoon tarkoitettuja palveluita (Nicholls & Kebede 2012). Rannikkoalueet ovat myös usein tiheämpään asutettuja kuin sisämaanalueet.

Englannissa infrastrukturi on usein melko vanhaa, eikä se välttämättä kehity kaupungistumisen mukana samassa tahdissa (Nicholls & Kebede 2012). Viemäriverkosto on esimerkki tästä, sillä suuri osa siitä on viktoriaaniselta ajalta, ja sen päivittäminen olisi erittäin kallista. Lisääntyvät tulvat kuormittavat valmiiksi kuormittunutta viemäriverkostoa entisestään. Tieinfrastrukturi on myös Englannissa vanhaa, erityisesti pienemmät tiet maaseudulla ja pienten kaupunkikeskittymien välissä.

Kaupungeissa pintavesien valunta on erilaista kuin luonnollista aineista ja maaperää sisältävillä alueilla, ja valuman kulkua on vaikeampi ennustaa (Barr ym. 2020). Alueen rakennettuihin pintoihin ei imeydy vettä, ja veden poistuminen alueelta on täysin riippuvainen viemäriverkostosta. Kaupungeissa tulvien aiheuttamat vahingot voivat lisäksi olla huomattavasti suuremmat kuin maaseudulla. Kaupunkialueilla tulvilla voi myös olla vaikutuksia laajemmalla alueella, vaikka itse tulvataso ei yltäisi laajalle pinta-alalle. Esimerkiksi joukkoliikenteelle koituvat haitat voivat vaikuttaa suureen määrään väestöstä kerralla.

2.3 Ilmastonmuutoksen vaikutus tulvaskenaarioihin

2.3.1 Merenpinnan nousun skenaariot ja vaikutus tulviin

Ihmistoiminnan aiheuttama päästöjen lisääntyminen nostaa maapallon keskilämpötilaa, ja tämä johtaa muun muassa merenpinnan keskitason kohoamiseen esimerkiksi veden lämpölaajenemisen sekä jäätiköiden sulamisen takia (Nicholls & Kebede 2012). Siksi suurimmat huolenaiheet, joita ilmastonmuutos aiheuttaa rannikkoalueilla ovat rannikoiden

infrastruktuurin jääminen kohoavan merenpinnan alle sekä sen aiheuttama lisääntynyt tulvariski.

Merivesitulvat johtuvat aalloista, nousu- ja laskuveden vaihtelusta, myrskyistä sekä merenpinnan korkeuden vaihteluista (Haigh & Nicholls 2017). Yleensä tulvimisen takana on useampi kuin yksi syy, esimerkiksi nousuveden kanssa samaan aikaan osuvat kovat tuulet ja aallokko, tai myrskytuuli. Nämä tekijät vaihtelevat luonnollisesti erilaisten kiertojen mukaan eri aikatauluilla, ja siksi on vaikea määrittää, milloin lisääntynyt tulvariski on ilmastonmuutoksen aiheuttamaa, ja milloin osa luonnollista kiertoa. Lisäksi ilmastonmuutos lisää sään ääri-ilmiöitä, kuten rankkasateita ja myrskyjä, joka myös lisää tulvimista.

Merenpinnan nousu tuottaa kuitenkin selkeimmän lisääntyneen tulvariskin rannikkoalueilla (Haigh & Nicholls 2017). Kohonnut merenpinta tarkoittaa, että kynnyks merivesitulvan syntymiseen on pienempi, vaikka muut tekijät eivät muuttuisi nykyisestä mitenkään. On arvioitu, että Englannissa meren pinnan nousun lisäksi erityisesti jokivesitulvat lisääntyisivät ilmastonmuutoksen myötä sademäärien ja sään ääri-ilmiöiden lisääntyessä (Thorne 2014).

Ilmastoskenaarioita on erilaisia (Strauss ym. 2015). Niiden on tarkoitus määrittää, miten maapallon keskilämpötilan muutos tulevaisuudessa vaikuttaa maapallolla. Se, kuinka paljon ilmasto lämpenee, riippuu siitä, kuinka hyvin ilmastonmuutosta aiheuttavia päästöjä saadaan hillittyä tällä vuosisadalla. Ilmastoskenaariot ennustetaan yleensä tiettyyn vuosikymmeneen tai vuosisataan, ja skenaariot osoittavat, miten tietyt päästövaikutukset vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen, ja kuinka suuria erot eri päästövähennyksien ja ilmastonmuutoksen aiheuttamien vaikutusten välillä ovat. Tässä tutkielmassa hyödynnän 1,5 asteen lämpenemisskenaariota sekä 3 asteen lämpenemisskenaariota.

2.3.2 Tulvamallinnus

Tulvien ja niiden vaikutusten analysointi on monialainen tiede ja tulvien kokonaisvaltainen tutkimus vaatii useiden eri tieteenalojen näkökulmia (Priest 2023). Tulvamallinnus on tärkeä osa tulvatutkimusta ja siinä hyödynnetään esimerkiksi kaukokartoitusta, GIS-teknologiaa, numeerista dataa esimerkiksi jokien valumasta, valuma-alueista ja sademääristä sekä muuta hydrologista tutkimusta (Kumar ym. 2023). Mallinnuksia voidaan tehdä esimerkiksi tulvaennusteista, riskien tunnistamisen avuksi sekä suunnittelun ja hallinnan tueksi. Tulvia pyritään ennustamaan, jotta niistä pystytään antamaan varoitus tarpeeksi ajoissa esimerkiksi mahdollisen tulva-alueen asukkaille sekä viranomaisille (Cloke ym. 2009).

Ennusteet vaativat yleensä arvion sademäärästä alueella (Cloke ym. 2009). Jos ennuste pyritään tekemään monen päivän päähän, käytetään numeerista, tietokoneen tekemää ennustetta, joka arvioi tulevan sään nykyisen sään perusteella. Näin pyritään arvioimaan tuleva sademäärä, jonka avulla voidaan arvioida jokiin kohdistuva kuormitus, tai esimerkiksi mahdolliset tulevat myrskyt, jotka saattavat nostaa vedenpintaa vesistöissä. Tulvamalleissa siis useimmiten hyödynnetään sademäärän ja jokien valuman arvoja, joiden perusteella tehdään erilaisia arvioita mahdollisista tulevista tulvista.

Tulvamalleja tehdessä on tärkeä tunnistaa alueen hydrologiset, meteorologiset sekä maankäyttöön liittyvät tekijät, jotta mallinnuksesta tulee tarpeeksi tarkka (Kumar ym. 2023). Tärkeää on tutkia alueella sijaitsevia vesistöjä, jokien virtaamia ja niiden muutoksia vuodenaikojen mukaan sekä mahdollisia sääilmiöitä, jotka vaikuttavat alueen vesimäärän, sekä tulvimiseen.

Tulvamallit sisältävät kuitenkin aina epävarmuustekijöitä, jotka tulee tiedostaa mallia tehdessä, jonka vuoksi tulvamalleihin lasketaan usein todennäköisyysindeksi tulvamallin kaltaisen tulvan todennäköisyydelle (Kumar ym. 2023). Tulvamallinnuksen prosessissa yleensä ensin arvioidaan tulvan mahdollinen vaikutusalue sekä todennäköisyys tulvalle, ja sen jälkeen arvioidaan tulva-alueen sisältämät haavoittuvaisuudet sekä heikkoudet, joihin tulva todennäköisimmin vaikuttaa.

Tutkielmassa hyödynnän nimenomaan tulvariskimallinnuksia, joiden avulla voidaan visualisoida mahdollisten tulvien peittämä alue sekä sen kanssa yhdistyvät maankäytön muodot (Kumar ym. 2023). Haavoittuvaisuudet, eli piirteet, jotka tekevät tulvista juuri katastrofeja, ovat analyysissä maankäytön muodot sekä infrastruktuuri, joihin kohdistuvia mahdollisia vaurioita tutkitaan yhdessä tulvaskenaarioiden kanssa.

Lisäksi tutkin ilmastonmuutoksen aiheuttaman merenpinnan tason kohoamisen vaikutuksia alueen tulviin. Merenpinnan tason kohoamista tutkitaan eri tavoin, esimerkiksi vuorovesimittauksin sekä satelliiteista kerätyllä datalla (Weeks ym. 2023). Tutkimus huomioi mahdolliset eroavaisuudet eri ilmastonlämpenemisskenaarioiden välillä, sillä se, kuinka paljon ilmasto lopulta lämpenee, vaikuttaa siihen, kuinka paljon merenpinta nousee kokonaisuudessaan.

3 Aineistot ja menetelmät

3.1 Aineistot

3.1.1 Tulva-aineistot

Tutkimusalueeni on Somersetin rannikkotasanko. Suuri osa tulva-aineistoista on Englannin ympäristöviraston tuottamaa (The Environment Agency). Näihin kuuluu aineistot, jotka kuvaavat alueen tulvimista kahdella eri todennäköisyysindeksillä. Aineistot eivät ota huomioon muita tulvia kuin pintavesitulvat ja merivesitulvat, eli aineisto ei sisällä esimerkiksi pohjavesitulvia tai infrastruktuurin toimimattomuudesta johtuvia tulvia. Aineistot on julkaissut ja tuottanut UK:n Ympäristövirasto ja ne on päivitetty vuonna 2024. Aineistojen nimet ovat floodzone 2 ja floodzone 3.

Flood zone 2 -aineisto sisältää dataa siitä, mitkä alueet tulvivat, kun tulvasuojelun toimenpiteet ohitetaan ja joki- ja merivesitulvien mahdollisuus toteutua on 0,1 % jokaisena vuonna (Flood Map for Planning (Rivers and Sea) - Flood Zone 2). Flood zone 3 -aineisto sisältää samat tiedot kuin Flood zone 2 -aineisto, mutta tulvan toteutumisen todennäköisyys on 1 % tai suurempi jokaisena vuonna jokitulvissa, ja 0,5 % tai suurempi merivesitulvissa (Flood Map for Planning (Rivers and Sea) - Flood Zone 3).

Jokien ja meren aiheuttama tulvariski -aineiston olen hankkinut UK:n ympäristöministeriön sivuilta (Risk of Flooding from Rivers and Sea) (Risk of Flooding from Rivers and Sea 2025). Aineisto osoittaa tulvimisen mahdollisuuden ottaen huomioon mahdolliset tulvasuojelutoimenpiteet alueella. Aineisto on jaettu syvyyden, sekä todennäköisyyden mukaan. Syvyydet ovat 0,2 m, 0,3 m, 0,6 m, 0,9 m ja 1,2 m. Tutkielmassa käytän 0,2 m ja 1,2 m tulvasyvyysdataa. Aineisto on päivitetty vuonna 2025.

Todennäköisyydet tulvalle aineistossa ovat korkea, keskitaso, matala ja erittäin matala todennäköisyys (Risk of Flooding from Rivers and Sea 2025). Korkealla todennäköisyydellä tulva tapahtuu 3,3 % mahdollisuudella tai vielä suuremmalla mahdollisuudella. Keskitaso sisältää alle 3,3 % mahdollisuuden tulvaan, mutta yli 1 % mahdollisuuden, matala alle 1 % mutta yli 0,1 % ja erittäin matala alle 0,1 % mahdollisuuden tulvimiseen.

3.1.2 Maankäytön aineistot

Maankäytön luokittelussa käytin aineistoa Provisional Agricultural Land Classification (ALC). Aineisto on saatavilla Natural England Open Data Geoportal – sivustolla, Open Government

lisenssillä. Aineisto on vuodelta 2007, ja se on päivitetty vuonna 2019. Aineisto lajittelee alueet eri maankäytön luokkiin, jotka ovat kaupunkialueet, ei-maatalous käytössä olevat alueet, sekä 5 eri maatalousluokkaa, jotka kuvaavat maatalousmaan kannattavuutta (Agricultural Land of Classification of England and Wales 1988). Lisäksi on luokittelemattomat alueet.

Luokka 1 on hyödyllisin maatalousluokka, joka tarkoittaa, että maa-alueen maatalouskäytössä ei ole rajoitteita, tai niitä on hyvin vähän (Agricultural Land of Classification of England and Wales 1988). Luokka 2 on hyvää maatalousmaata, jonka maatalouskäytössä on vähän rajoitteita. Rajoitus voi liittyä tuotettuun hyödykkeen määrään. Luokka 3 on siedettävää maatalousmaata, jonka maatalouskäyttö on rajoittunutta. Rajoittuneisuus voi liittyä valittuun hyödykkeeseen, ajoitukseen tai tuotetun hyödykkeen määrään. Luokka 4 on laadultaan huonoa maatalousmaata. Maataloustuotanto on hyvin rajoittunutta, esimerkiksi valittujen lajien ja saadun tuotannon osalta. Luokka 5 on erittäin huonolaatuista maatalousmaata, jota voidaan yleensä käyttää vain laidunmaana.

Lisäksi käytän tutkielmassa aineistoa UK:n tieverkostosta. Aineiston on tuottanut Ordnance Survey. Aineisto on päivitetty viimeksi tammikuussa 2025. Aineisto kuvaa kaikki Britannian tiet moottoriteistä pieniin maalaisteihin. Työssäni en käytä luokitteluja, vaan koko tieverkostoa.

3.1.3 Merenpinnan korkeuden vaihtelu - aineisto

Ilmastonmuutoksen aiheuttamia muutoksia analysoin Climate Central – palvelun karttapalvelun avulla. Datan avulla on mahdollista tutkia, mitkä alueet Englannissa ovat tulevaisuudessa eri ilmastonmuutoksen aiheuttaman merenpinnan nousun skenaarioiden mukaan jäämässä merenpinnan alapuolelle. Eli alueet, joissa tulvariski selvästi kasvaa (Climate Central).

Climate Centralin aineisto merenpinnan korkeuden muutoksista perustuu SRTM mittauksiin, eli NASAn topografiamittauksiin (engl. *Shuttle Radar Topography Mission*), sekä tekoälyn luomaan karttatasoon näiden tietojen pohjalta (Kulp & Strauss 2018). Aineiston lämpötilaskenaariot perustuvat IPCC:n ilmastoluokituksiin (Strauss ym. 2015).

Tutkielmassa käytän karttatasoja, jotka osoittavat merenpinnan alle jäävät alueet 1,5 asteen sekä 3 asteen ilmastonlämpenemisskenaarioissa. Kartan saa ladattua vain JPEG-tiedostona, joten digitoin sen omaksi karttatasokseen itse.

3.2 Menetelmät

3.2.1 Paikkatietoanalyysit

Ensimmäisenä teen päällekkäisanalyysin maatalousluokitusaineiston ja 0,1 % tulvaskenaarion (floodzone 2), sekä 0,5 %-1 % tulvaskenaarion (floodzone 3) kanssa. Tutkin, mitkä maankäytön muodot jäävät näiden kahden tulvaskenaarion alle ja onko näissä kahdessa tulvatasossa merkittäviä eroja. Lisäksi määritin maatalousluokitusaineiston maa-alueiden pinta-alan neliökilometreinä, sekä tulvaskenaaroiden peittävyuden maatalousaineiston pinta-alasta suhteellisesti.

Vertailen kahta eri tulvasyvyysaineistoa visuaalisesti keskenään. Lisäksi tulvan tarkempia todennäköisyyksiä tutkin eri aineistolla, eli jokien ja merien aiheuttama tulvariski – aineistolla. Tavoitteena on tutkia aineistolla alueen kaupunkien tulvariskiä tarkemmin. Tutkin kuinka suurilla todennäköisyyksillä väestölle kriittisissä kohdissa, kuten Parrett-joen varrella sekä kaupunkialueilla ja rannikolla, 0,2 metrin ja 1,2 metrin syvyiset tulvat toteutuvat joka vuosi.

Toteutan päällekkäisanalyysin tieverkostoaineistolla sekä tulvaso 2 -aineistolla. Määrittelen tulvataso alle jäävät tieverkoston osat kilometreinä päällekkäisanalyysillä, jotta saan selville, kuinka suureen osaan alueen tieverkostosta tulvat vaikuttavat.

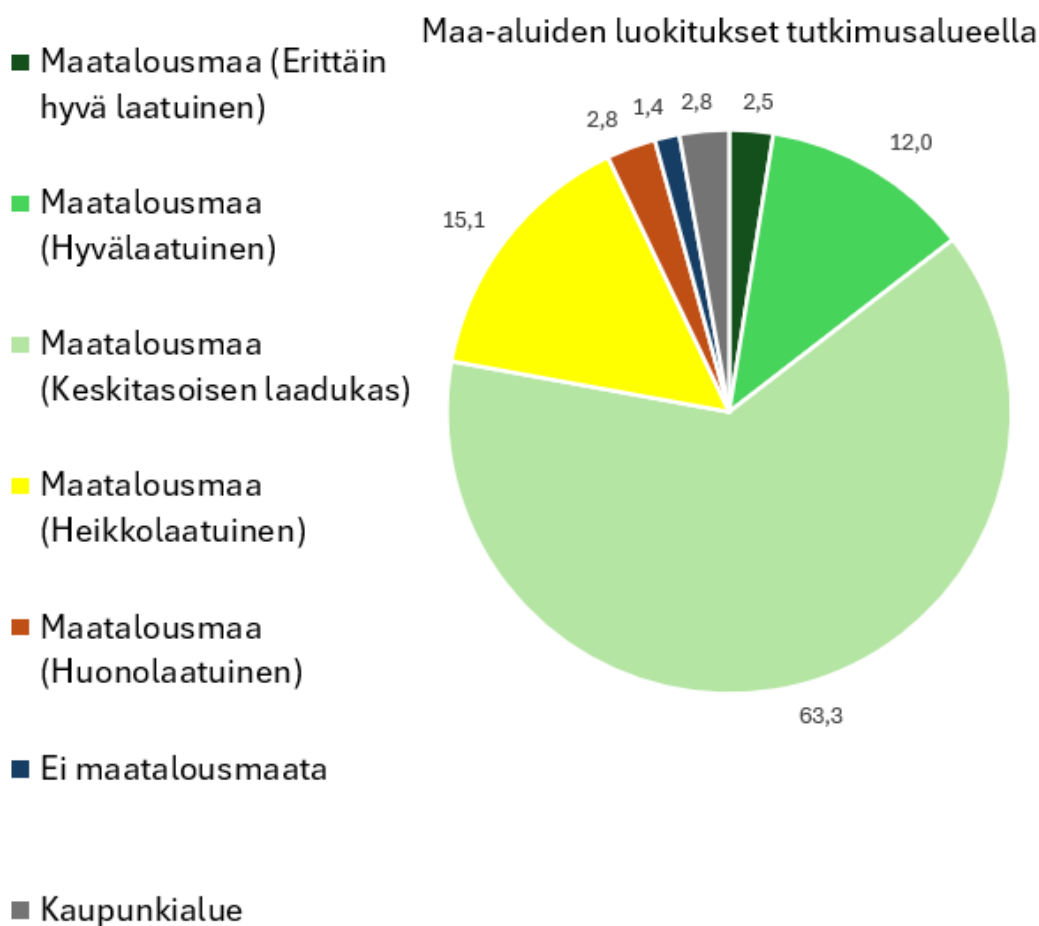
Climate central – data ilmaston lämpenemisen aiheuttamista merenpinnannousun skenaarioista on saatavilla vain JPEG-tiedostona, joten sen georeferoin tutkimusalueelle ja digitoin karttaan omaksi tasokseen. Samaan karttatasoon tulee sekä 1,5 asteen että 3 asteen lämpenemisen aiheuttamat merenpinnannousun skenaariot. Kun kuvasta on tehty karttataso, analysoin sitä yhdessä maatalousaineiston kanssa, ja tutkin, kuinka suuri osa tutkimusalueen pinta-alasta jää merenpinnan alle eri lämpenemisskenaarioissa, eli sille tehdään päällekkäisanalyysi kahden eri ilmastonlämpenemisskenaarion karttataso sekä maatalousluokitusaineiston kanssa, sillä tutkimusalueen pinta-alan olen määrittänyt maatalousaineistosta.

Aihepiiriä on tutkittu paljon jo vuosikymmeniä, ja siksi analyysissä voin käyttää valmiita karttatasoja, jotka muut tahot ovat tuottaneet. Siksi on myös erityisen tärkeä vertailla omia paikkatietoanalyysien tuloksia aikaisempiin tutkimuksiin, joita alueesta on tehty. Lisäksi aiempia tutkimuksia tarvitaan apuna, jotta voidaan analysoida millaisia vaikutuksia maankäytön ja tulvatasojen päällekkäisyyksillä on, sillä paikkatietoanalyysillä voidaan osoittaa vain se, mitkä alueet jäävät tulvien alle, ei sen seurauksia.

4 Tulokset

4.1 Tulvien alle jäävät maa-alueet

Ensimmäisenä tutkin alueen maankäytön muotoja ja niiden jakautumista alueella, sekä maankäytön muotojen suhteellisia osia alueen kokonaispinta-alasta. Suurin osa tutkimusalueen maa-alasta on maatalouskäytössä, eli 63,3 % (kuva 2). Eniten alueella on keskitasoisen laadukasta maatalousmaata. Lisäksi alueella on saman verran sekä laadukasta maatalousmaata että heikkolaatuista ja huonoa maatalousmaata. Lisäksi hyvin pieni prosentiosuus alueesta on kaupunkialuetta sekä maatalouskäytöstä pois jätettyä tai siihen sopimatonta maata, kuten esimerkiksi kallioista maaperää tai vuoriston kaltaista aluetta.



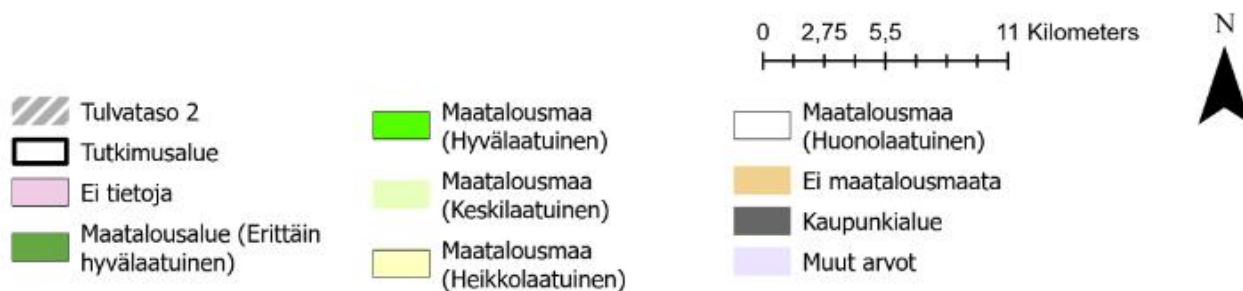
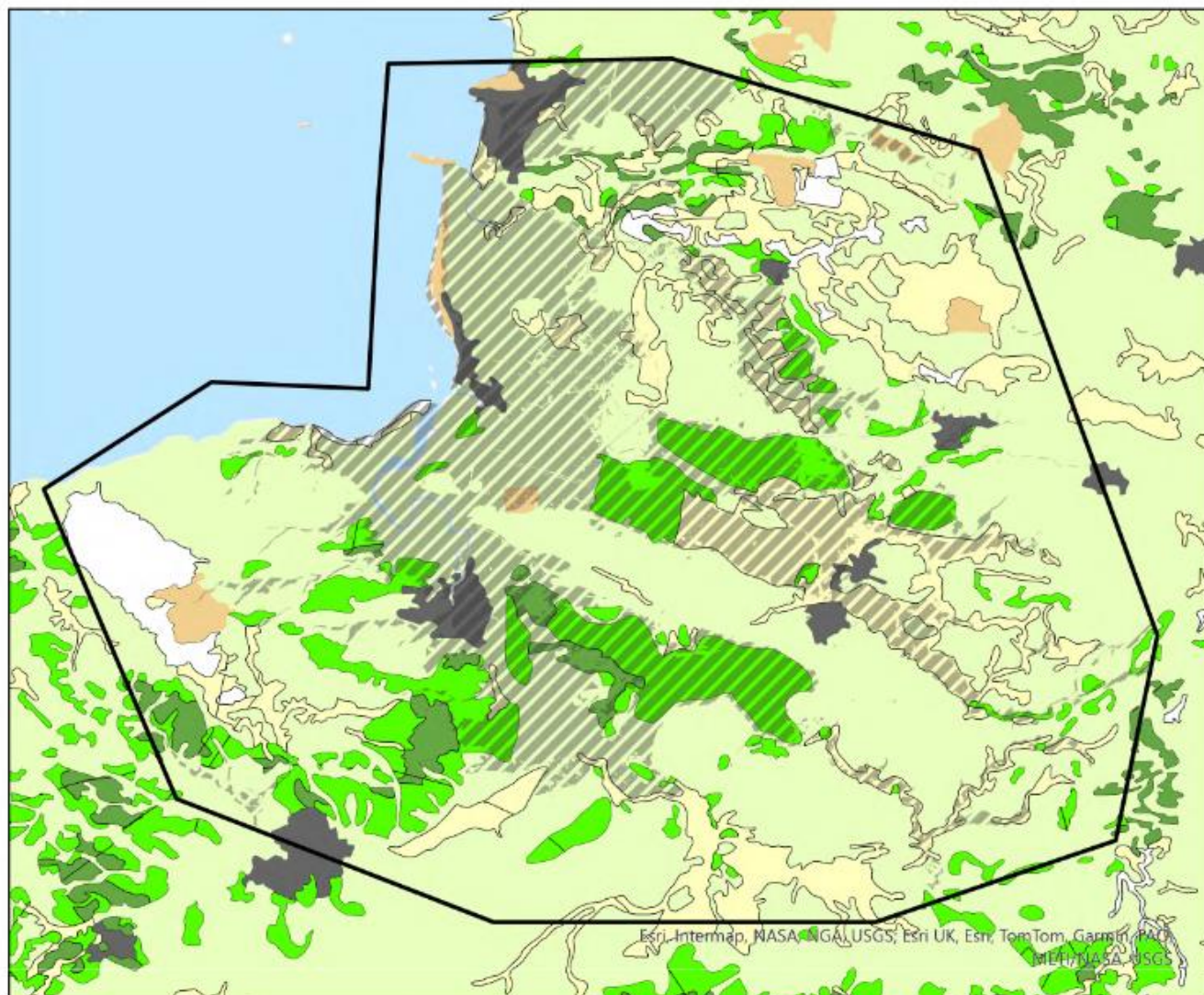
Kuva 2, maankäytön muodot tutkimusalueella ja niiden prosentuaalinen jakautuminen.

Tulvat peittävät huomattavasti suuremman osan maatalousmaasta, kuin kaupunkiasutuksesta, visuaalisesti tarkastellen (kuva 3). Kuitenkin kaupungissa pienellä alueella vahingot voivat olla suurempia ja ne vaikuttavat kerralla suurempaan ihmismäärään, kun taas maatalousalueella tulvavahingot voivat olla taloudellisesti pienempiä sekä ne saattavat vaikuttaa pienempään

määrään ihmisiä kerralla. Esimerkiksi yhteen maanviljelijän tai tilanomistajan maalle osuvat tulvat. Siksi pelkästään maankäytönmuotojen pinta-aloista ei voi päätellä, paljonko infrastruktuuri ja maatalous kärsivät alueen tulvista, ja kuinka paljon esimerkiksi yhteiskunnalle merkityksellisiä alueita ja palveluita jää tulvatason alle.

Tulvatason alle jää lähinnä erittäin hyvää, hyvää ja keskitasoista maatalousmaata sekä kolme eri kaupunkikeskittymää (kuva 3). Yhtenäisin tulva-alue on rannikolla sekä Parrett-joen varrella sekä muualla rannikolla. Lisäksi tulva voi yltää pitkälle sisämaahan tulvatasojen mukaan.

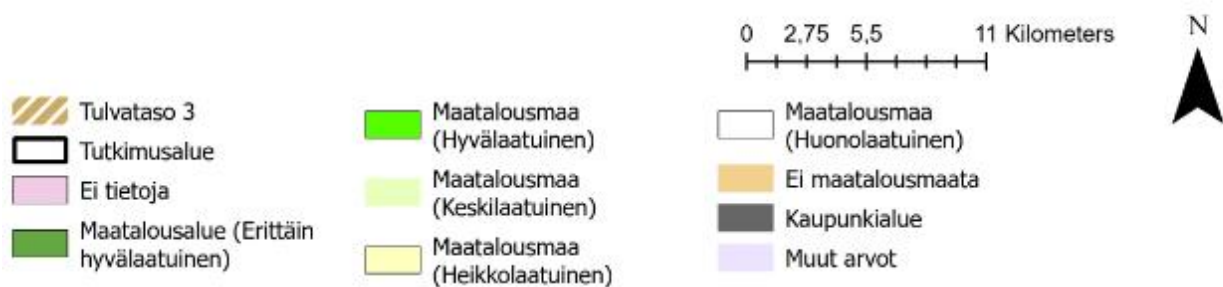
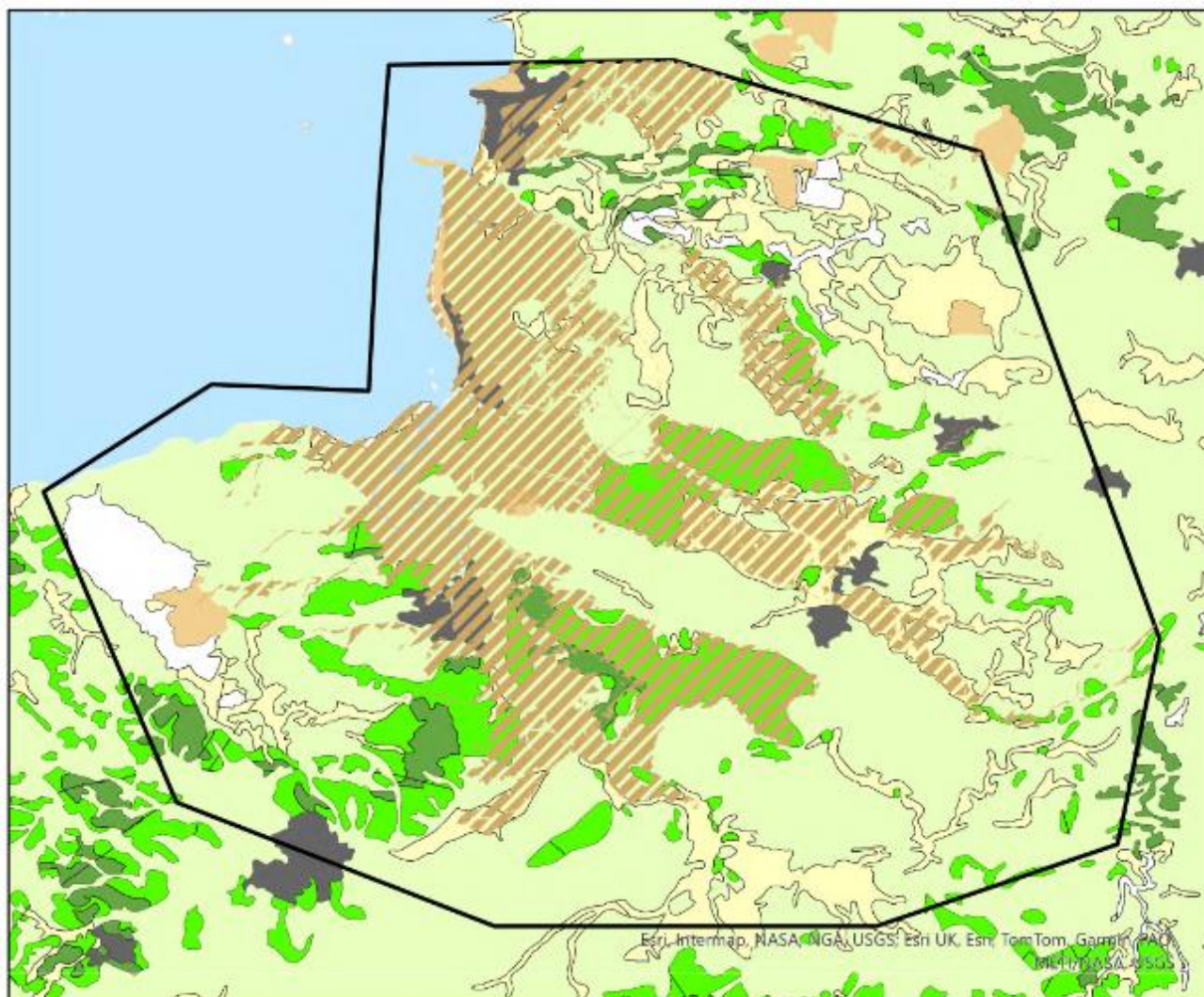
Lisäksi tulva-alueet ja osa maatalousluokista osuvat täsmällisesti kohdalleen, erityisesti tulvatason sisämaahan kurottuvista osista (kuva 3). Tämä voi mahdollisesti johtua siitä, että osa maatalousalueista alueella on kuivatettuja tulvatasankoja tai kosteikkoja, joille tulvaso edelleen saattaa levittäytyä. Erityisesti tulvatasot peittävät heikkolaatuista maatalousaluetta tutkimusalueen keskiosasta. Lisäksi kuitenkin tulva-alueen eteläisin uloke sisämaata kohti peittää myös hyvälaatuista maatalousmaata, kiertäen kaksi erittäin hyvälaatuista maatalousaluekaistaletta.



Kuva 3, Tulva-alueen alle jäävät maa-alueet Somersetin rannikkotasangolla joka vuosi 0,1 % todennäköisyydellä (tulvaso 2) (Lähteet: Provisional Agricultural Land Classification (ALC), Flood Map for Planning (Rivers and Sea) - Flood Zone 2).

Suurin osa tulvien alle jäävistä maa-alueista on keskilaatuista, sekä korkealaatuista maatalousaluetta molempien tulvatasojen kohdalla (kuva 3 ja 4). Lisäksi samat 3

kaupunkikeskittymää jäävät myös tulvataso 3 alle kuin jäi tulvatason 2 alle. Kahden tulvatason välillä ei ole siis suuria eroja.



Kuva 4, Tulva-alueen alle jäävät maa-alueet Somersetin rannikkotasangolla 0,5 % ja 1 % mahdollisuudella joka vuosi, eli tulvataso 3 (Lähteet: Provisional Agricultural Land Classification (ALC), Flood Map for Planning (Rivers and Sea) - Flood Zone 3).

Tulvataso 3 (floodzone 3) peittää 25,7 % tutkimusalueen maa-alasta (taulukko 1). Suuremman todennäköisyyden tulvataso, eli tulvataso 3, peittää hieman pienemmän osan tutkimusalueen

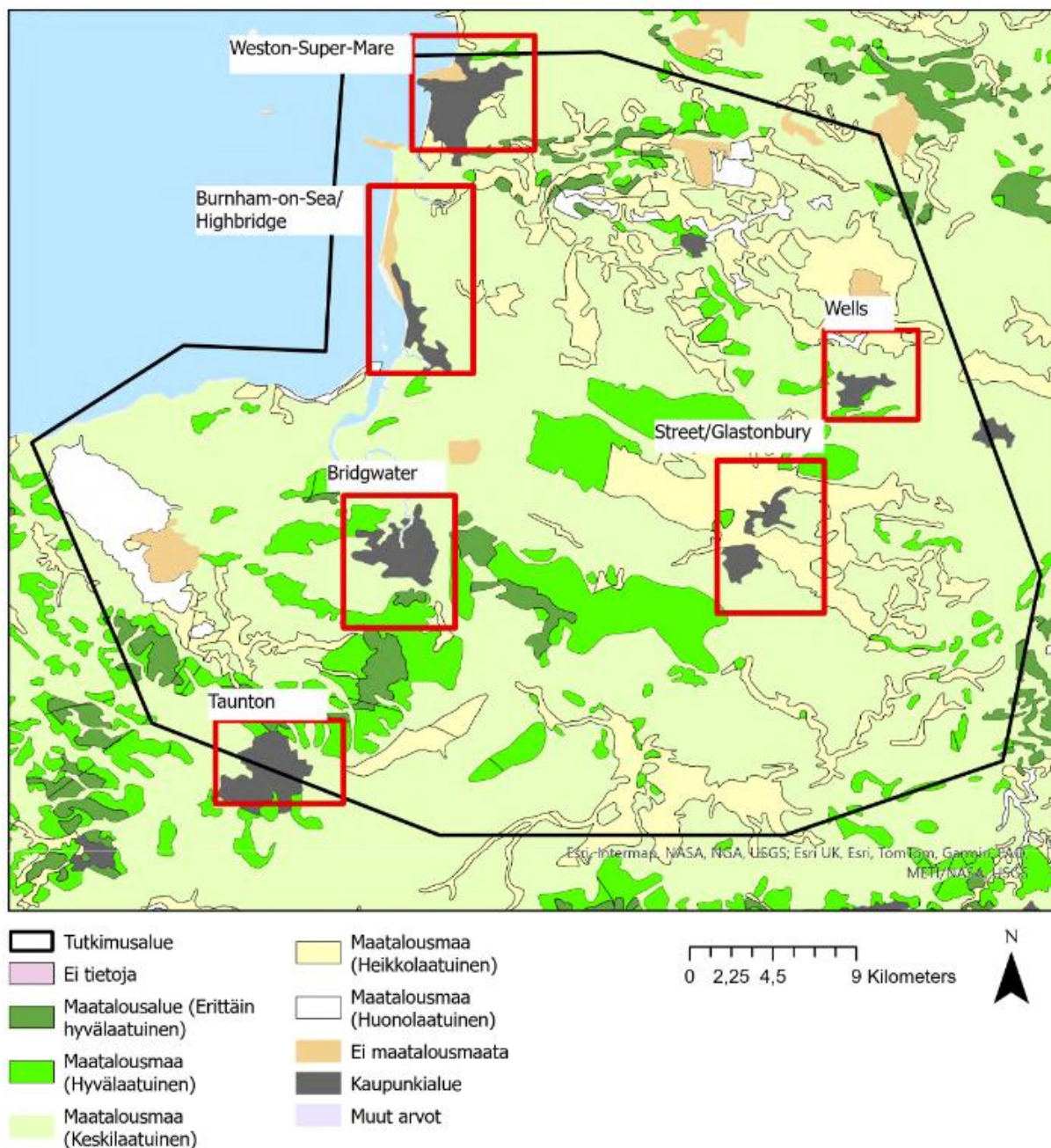
maa-alueesta kuin tulvataso 2, mutta ero on 3 prosenttiyksikköä (taulukko 1). Siksi lopuissa analyyseissä käytin vain tulvatasoa kaksi päällekkäisanalyyseissä.

Taso	Kuinka suuren pinta-alan taso peittää koko tutkimusalueesta?
Tulvan todennäköisyys 0,1 % joka vuosi (zone 2)	28,7 %
Tulvan todennäköisyys 0,5 % jokitulvissa ja 1 % merivesitulvissa (zone 3)	25,7 %

Taulukko 1. Tulvatasojen peittämät maa-alueet

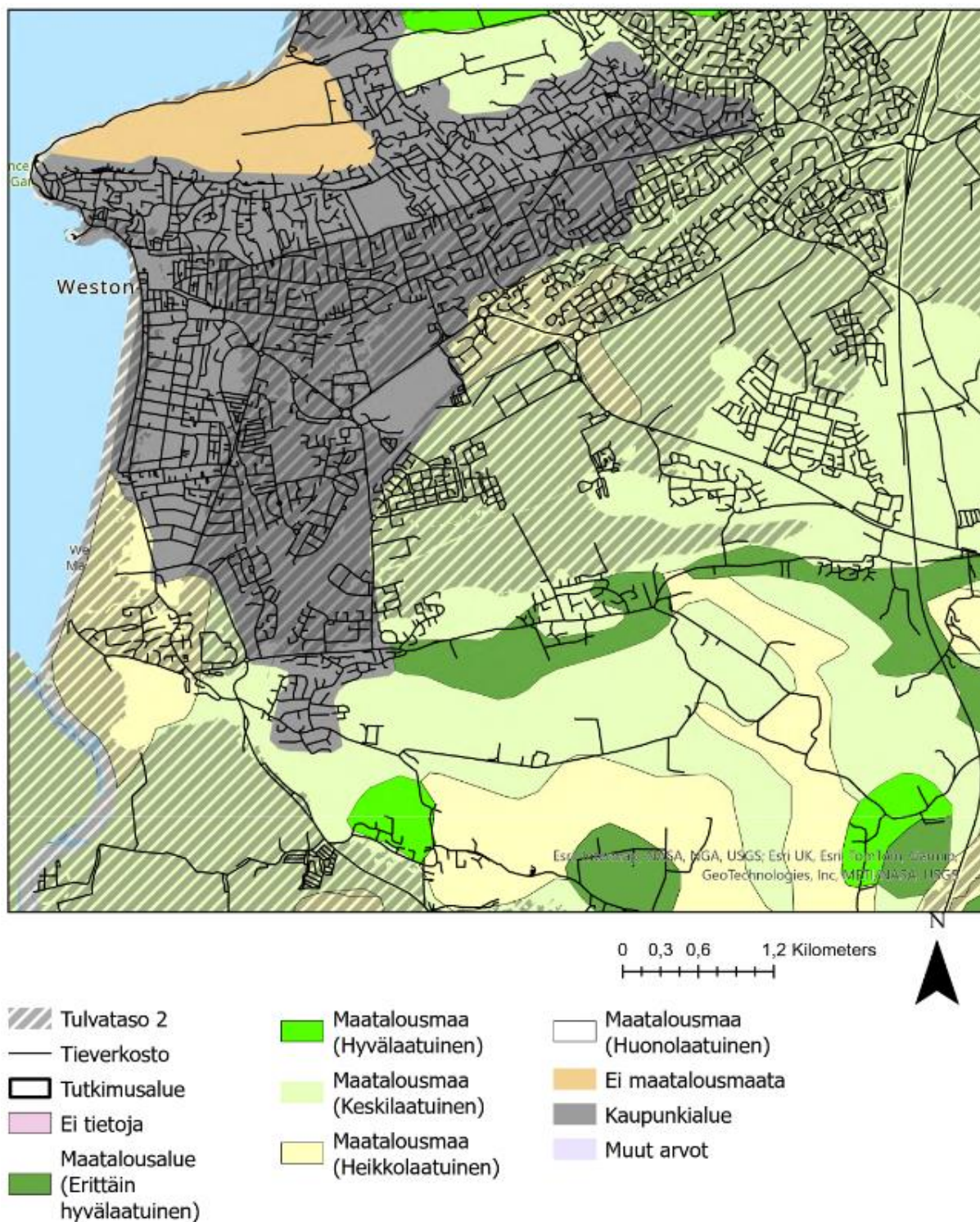
4.2 Vaikutukset kaupunkeihin ja tieinfrastruktuuriin

Alueella on kuusi, melko pientä kaupunkikeskittymää (kuva 5). Tutkimusalueella sijaitsevat kaupungit ovat Weston-Super-Mare, Bridgwater, Taunton, Burnham-on-Sea/Highbridge (samassa keskittymässä), Wells sekä Street/Glastonbury (samassa keskittymässä). Tulvatasot peittävät eniten alueita Weston-Super-Maren kaupungista, sekä Burnham-on-Sea -kaupungista, jotka sijaitsevat lähimpänä rannikkoa. Lisäksi Bridgwater jää osaksi tulvatason alle, yhdessä Street/Glastonburyn kanssa.



Kuva 5, Kaupunkikeskittymät tutkimusalueella (Lähteet).

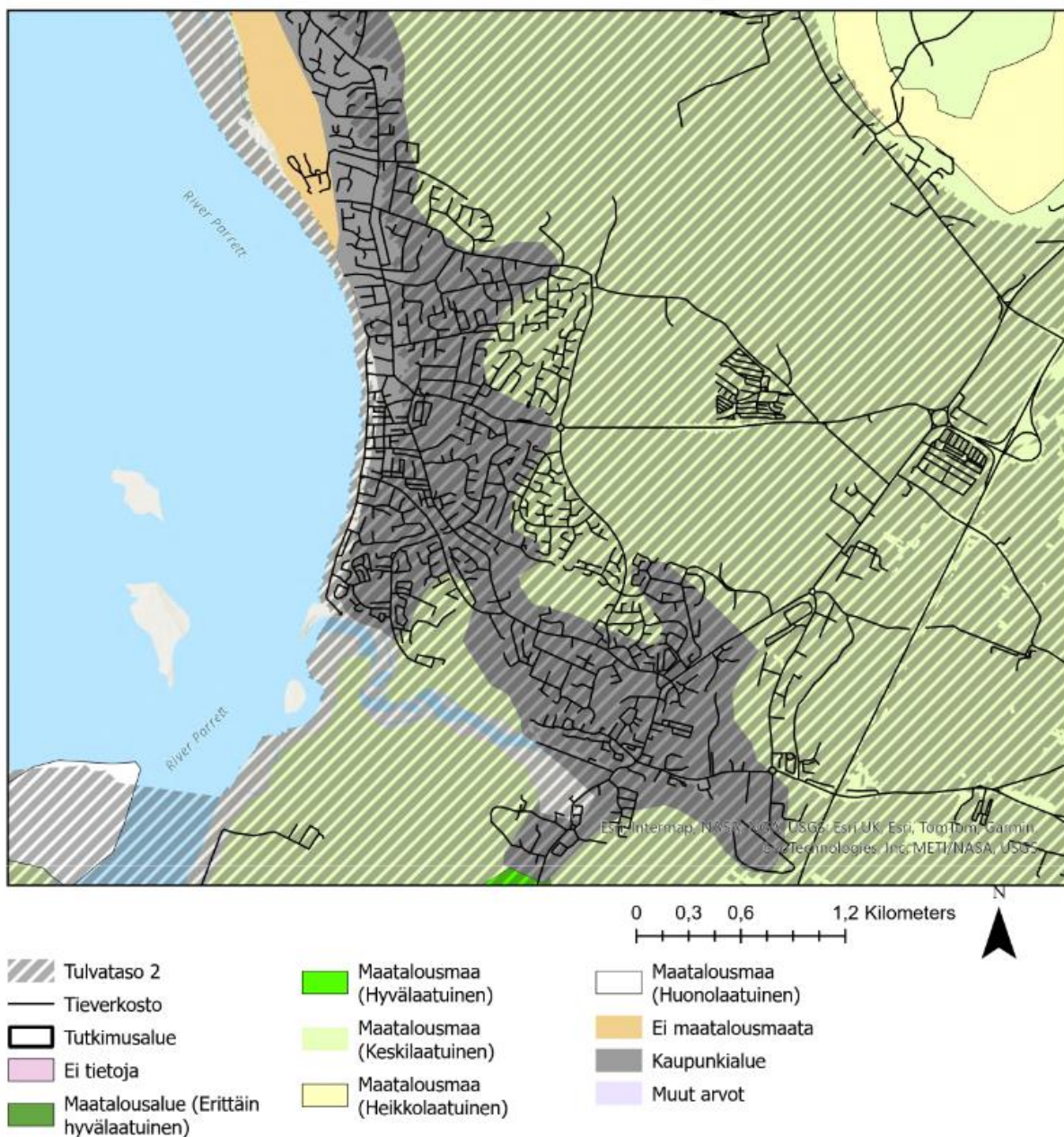
Weston-Super-Maren kaupungissa tulvaskenaario 2 peittää noin puolet kaupungin pinta-alasta (kuva 6). Wotlebury Hill kaupungin laidalla (luokiteltu kartassa: ei maatalousaluetta, ylhäällä vasemmalla) jakaa tulva-alueen molemmille puolilleen ja se on todennäköisesti syy, miksi pieni osa kaupungista jää tulvatason ulkopuolelle aivan mäen juurella, jossa korkeus merenpinnasta on suurempi. Tulvaso peittää myös kaupunkiin johtavan tieverkoston melkein kokonaisuudessaan, eli suuri osa tärkeästä infrastruktuurista jää mahdollisen tulvatason alle.



Kuva 6 Weston-Super-Maren kaupunki ja tulvaskenaario 2 (floodzone 2). Lähteet: Flood Map for Planning (Rivers and Sea) - Flood Zone 2, OS Open Roads), Provisional Agricultural Land Classification (ALC)).

Tulvasaso peittää melkein koko kaupunkialueen, ja lisäksi kaikki tiet, jotka kulkevat kaupungin kautta (kuva 7). Vain pieni kaistale jää tulvasason ulkopuolelle rannikkoalueella. Kaistale on

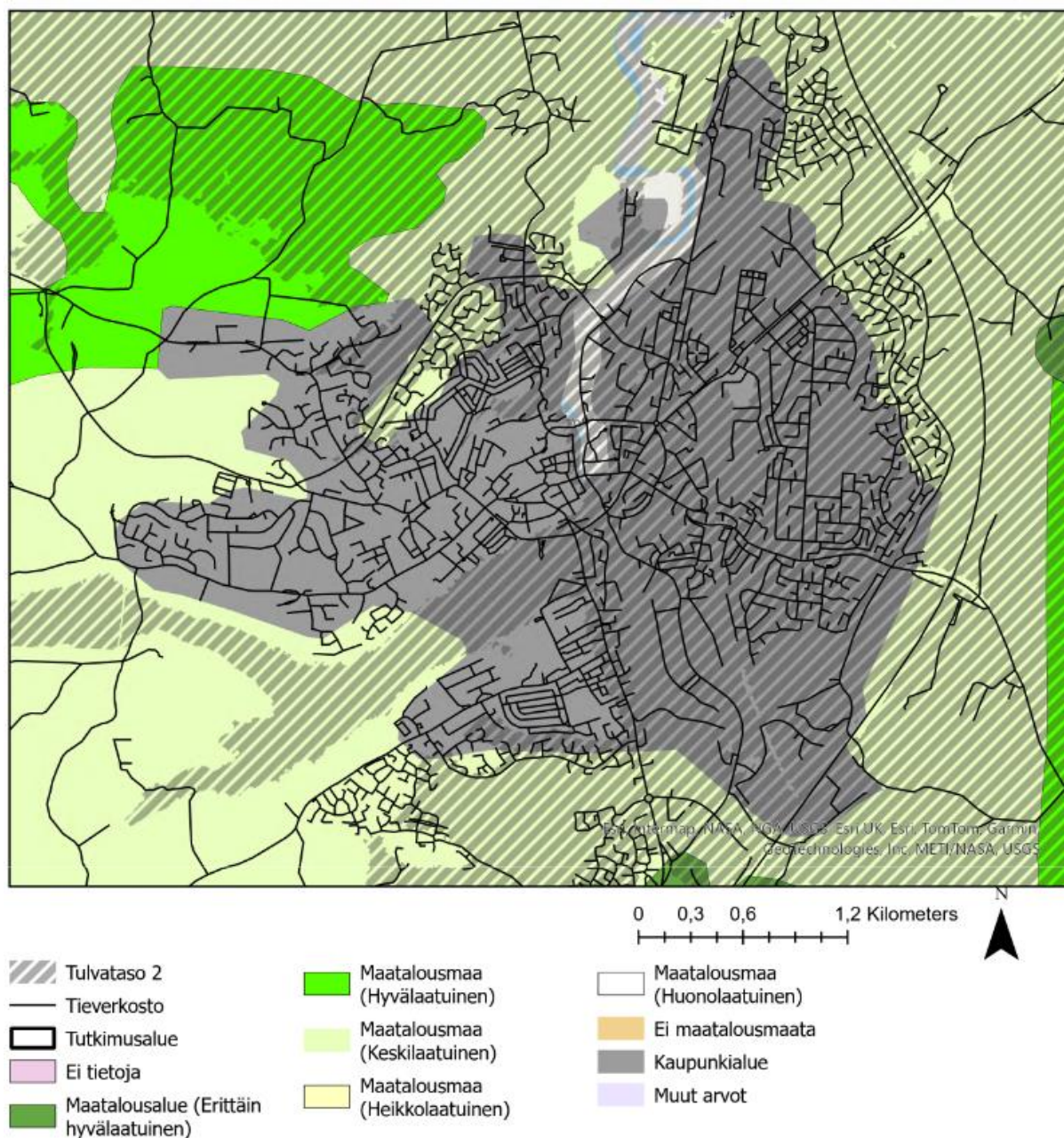
hieman muuta ympäristöään korkeammalla suhteessa merenpintaan ja siksi tulvataso kiertää sen.



Kuva 7 Burnham-on-Sea/Highbridge ja tulvaso 2 (floodzone 2). Lähteet: Flood Map for Planning (Rivers and Sea) - Flood Zone 2, OS Open Roads), Provisional Agricultural Land Classification (ALC)).

Bridgwaterin kaupunkikeskittymässä merkittävää ovat liikenneyhteydet, jotka kulkevat kaupunkikeskittymän läpi moneen eri suuntaan (kuva 8). Niistä suurin osa jää tulvatason alle, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta, eli läntinen osa kaupunkia, joka jää tulvatason ulkopuolelle. Lisäksi kaupunkiin virtaa joki, jonka ympärille tulvaso levittäytyy pitkälti.

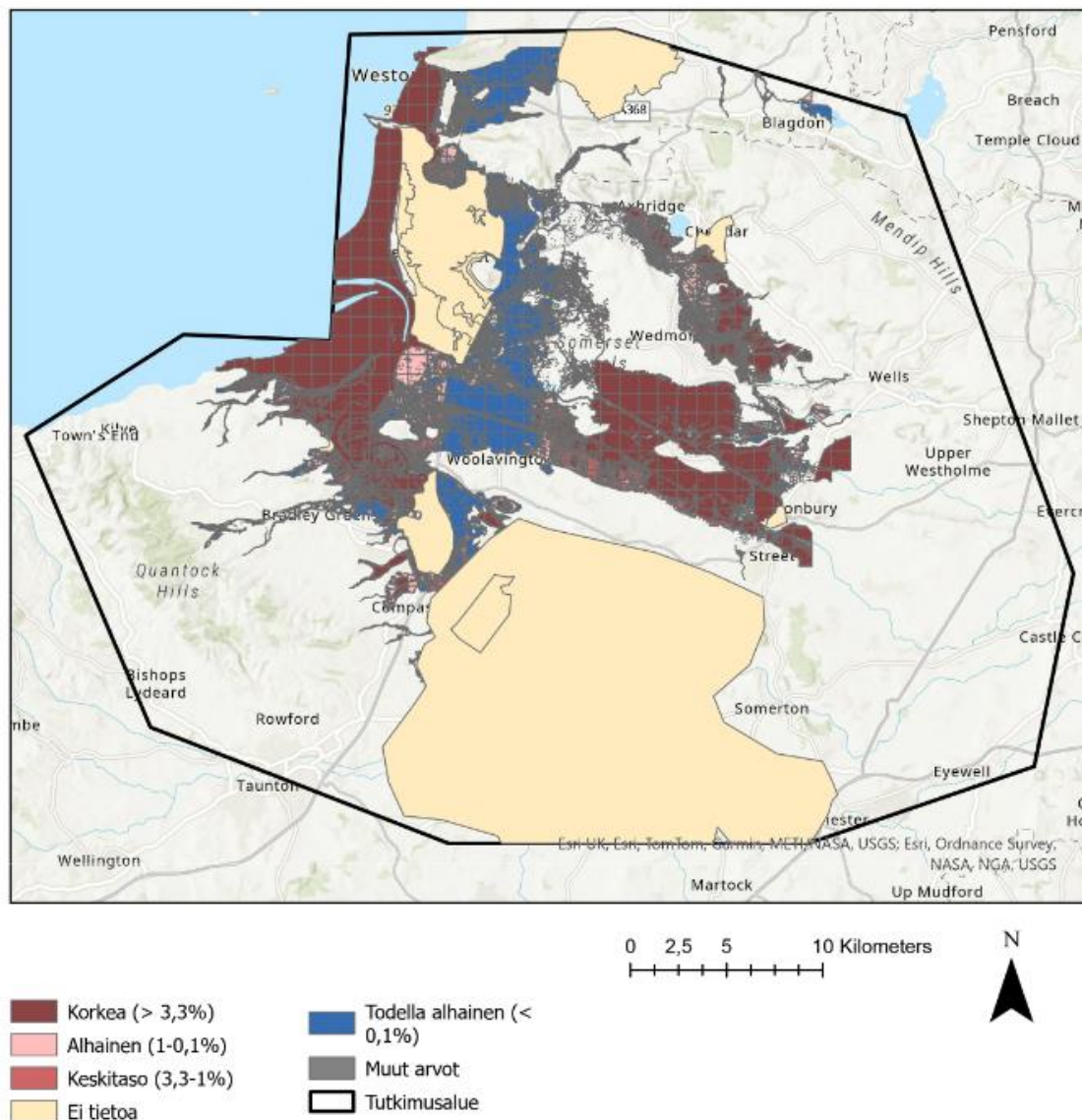
Muissa mainituissa kaupunkikeskittymissä tulvatason merkitys on pienempi ja tulvaskenaario peittää vain hyvin pieniä alueita kaupungista, eikä esimerkiksi peitä merkittäviä liikenneyhteyksiä. Siksi en visualisoinut niitä kartaksi.



Kuva 8 Bridgwaterin kaupunkikeskittymä ja tulvasato 2 (floodzone 2). (Lähteet: Flood Map for Planning (Rivers and Sea) - Flood Zone 2, OS Open Roads), Provisional Agricultural Land Classification (ALC)).

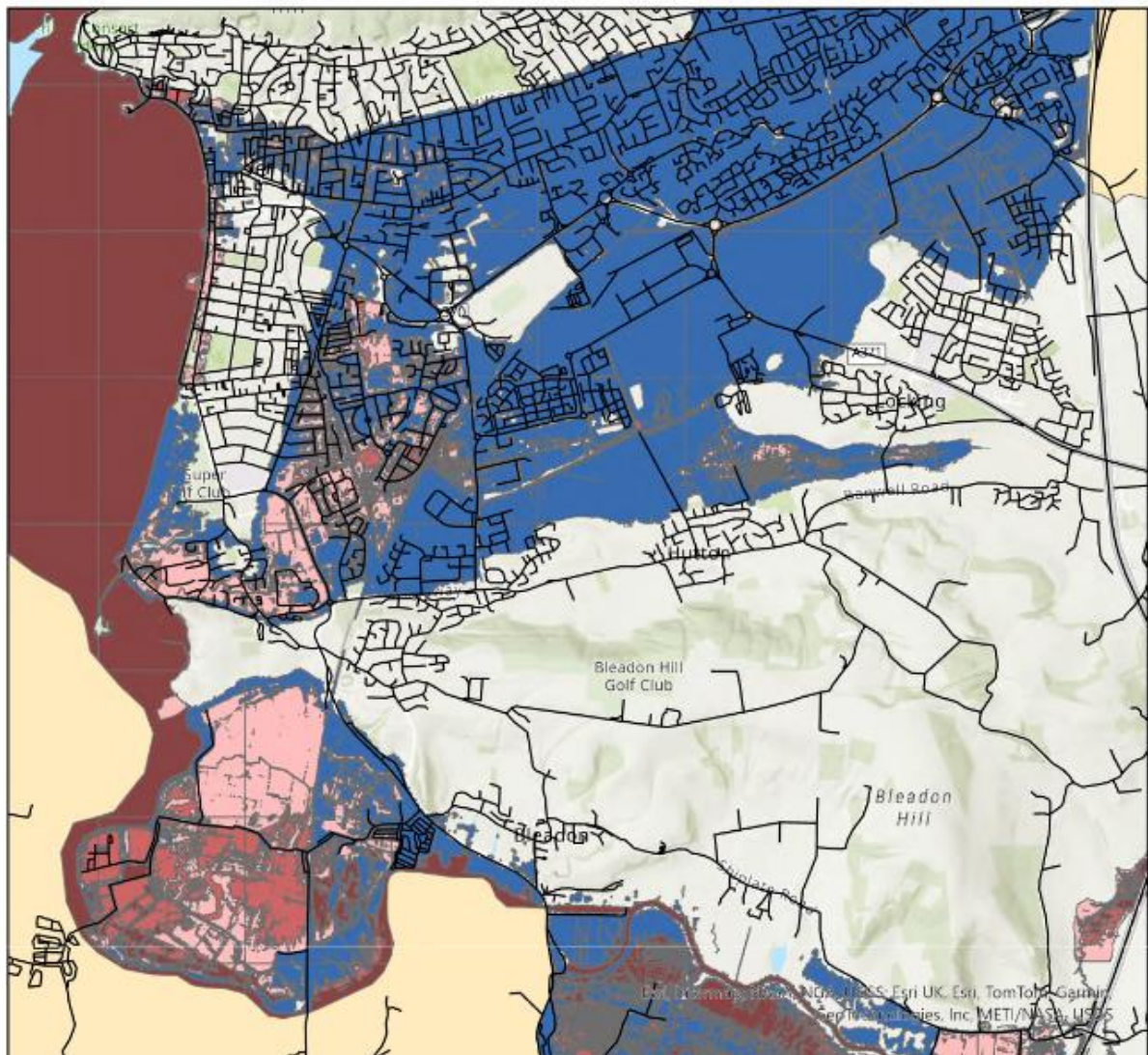
Lisäksi tutkin tulvasyvyyyksiä ja todennäköisyyksien vaihtelua eri tulvasyvyyksissä. Suurin tulvasyvyys on rannikkoalueen lisäksi sisämaan tulva-alueella (kuva 9). Tulvasyvyyskartta noudattaa samoja linjoja kuin tulvasato 2, mutta kuvastaa tarkemmin riskin suuruutta

lähietäisyydellä (kuva 9). Suurimassa osassa kaupunkia tulvariski on todella alhainen tai alhainen. Lisäksi muutamassa paikassa kaupungissa on keskitason tulvariski, ja aivan rannikossa ja joen varrella tulvariski on korkea.



Kuva 9, Tulvariskin todennäköisyys 0,2 m syvyiselle tulvalle. (Lähteet: Risk of Flooding from Rivers and Sea).

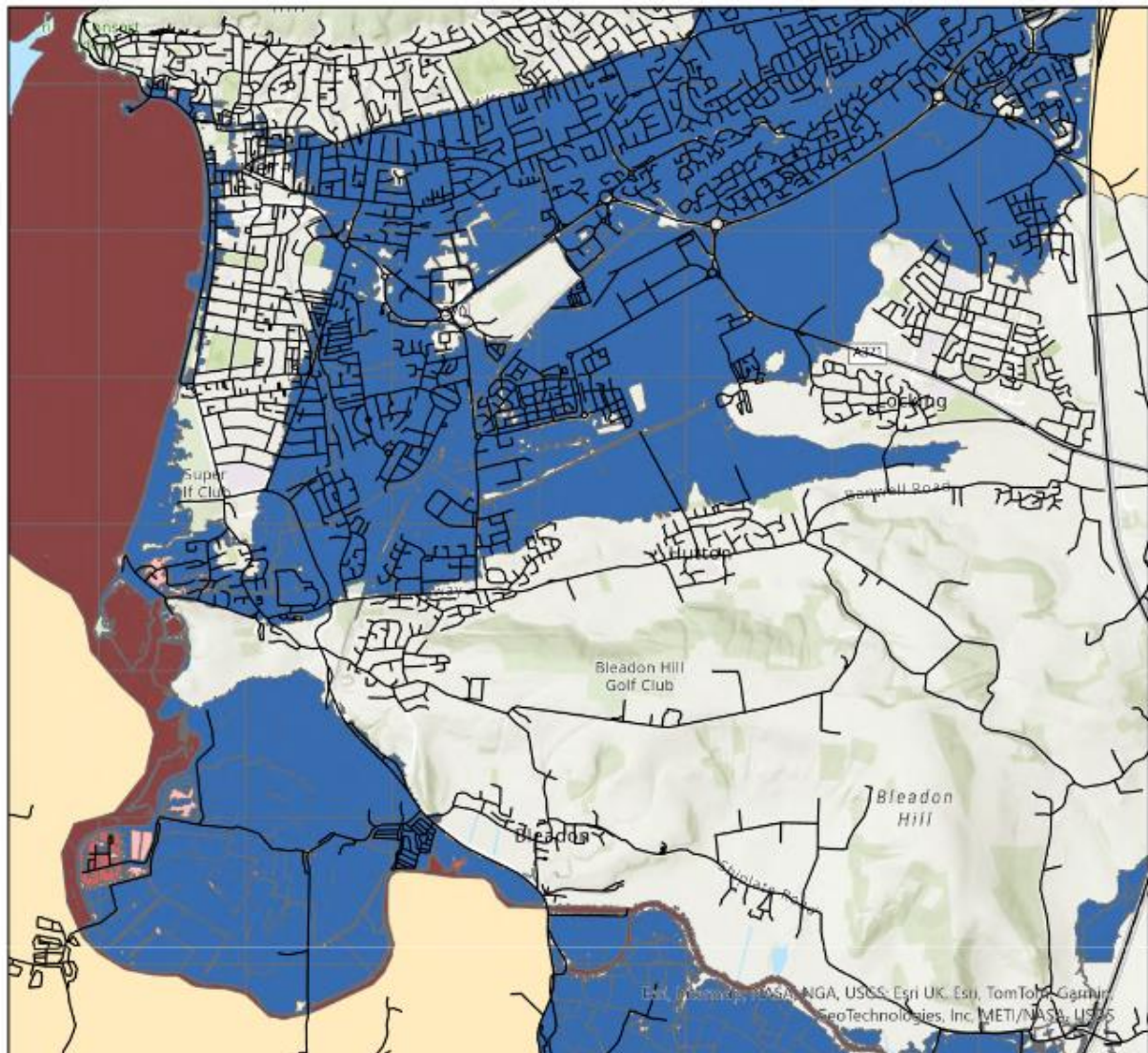
Tulvan tarkat todennäköisyydet vaihtelevat alueittain Weston-Super-Maren kaupungissa (kuva 10). Rannikolla ja joen varrella tulvasyvyys on suurempi kuin kaupungin reuna-alueilla. Suurin osa alueen tieverkostosta sijoittuu kuitenkin matalan tulvariskin alueelle. Riski tieinfrastruktuurin vahingoittumiselle on siis pieni alueella.



- Tieverkosto
- Korkea (> 3,3%)
- Alhainen (1-0,1%)
- Keskitaso (3,3-1%)
- Ei tietoa
- Todella alhainen (< 0,1%)
- Muut arvot
- Tutkimusalue

Kuva 10, Todennäköisyys tulvalle, jonka syvyys on 0,2 metriä Weston-Super-Maren kaupungissa sekä alueen tieverkosto (Lähteet: Risk of Flooding from Rivers and Sea, Open Roads OS).

Kaupungissa riski, että 1,2 m syvyinen tulva peittää alueita on todella alhainen melkein koko kaupungissa (kuva 11). Vain aivan joen varressa osa kaupungista on keskitasoisen tulvariskin alueella.



- Tieverkosto
- Korkea (> 3,3%)
- Alhainen (1-0,1%)
- Keskitaso (3,3-1%)
- Ei tietoa
- Todella alhainen (< 0,1 %)
- Muut arvot
- Tutkimusalue

Kuva 11, Todennäköisyys 1,2 metrin syvyiselle tulvalle Weston-Super-Maren kaupungissa sekä alueen tieverkosto (Lähteet: Risk of Flooding from Rivers and Sea, Open Roads OS).

Parrett-joen ympäristössä tulvariski on suurimmillaan tutkimusalueella 0,2 metrin syvyisiä tulvia tarkastellessa (kuva 12). Korkea tulvariski, eli 3,3 % tai suurempi mahdollisuus tulvaan jokaisena vuonna on merkittävä joen ympäristössä. Suurin tulvariski on joen ympäristössä sekä aivan rannikon tuntumassa.

Keskitason tulvariski tarkoittaa alle 3,3 % mahdollisuutta, mutta yli 1 % mahdollisuutta tulvaan jokaisena mahdollisena vuonna (kuva 12). Keskitason tulvariski on joen ympäristössä toiseksi suurin kategoria, jolloin korkea tulvariski ja keskitason tulvariski muodostavat suuren osan alueen tulvista.

Parrett-joki kulkee Bridgwaterin kaupungin läheisyydestä ja laskee sitten mereen (Kuva 12). Kaupungille ei kuitenkaan ole annettu tarkkoja tulva-arvoja aineistossa, joten kaupungin reuna on kartassa laaja yhtenäinen alue, joka on luokiteltu ei tietoa. Kartasta voi kuitenkin havainnoida, miten suuri tulvariski on vielä aivan kaupungin laitamalla. Toisaalta kaupungin toisella puolella tulvariski on taas todella alhainen.

Parrett-joen ympäristössä ei ole paljoa tieinfrastruktuuria (kuva 12). Osa tiheimmästä tieverkostosta sijoittuu kuitenkin kohtalaisen tulvariskin alueelle. Lisäksi suuri osa tieverkostosta sijoittuu alueelle, jolle ei ole laskettu tulvatodennäköisyyksiä.

Lisäksi tulvatason 2 ja tieverkostoaineiston päällekkäisanalyysistä havaitaan, että tulvatason 2 alle jää 1143,5 km teitä. Tämä sisältää kaikki tieluokitukset pienistä teistä moottoriteihin, eikä tietyyppisiä ole jaoteltu analyysissä.

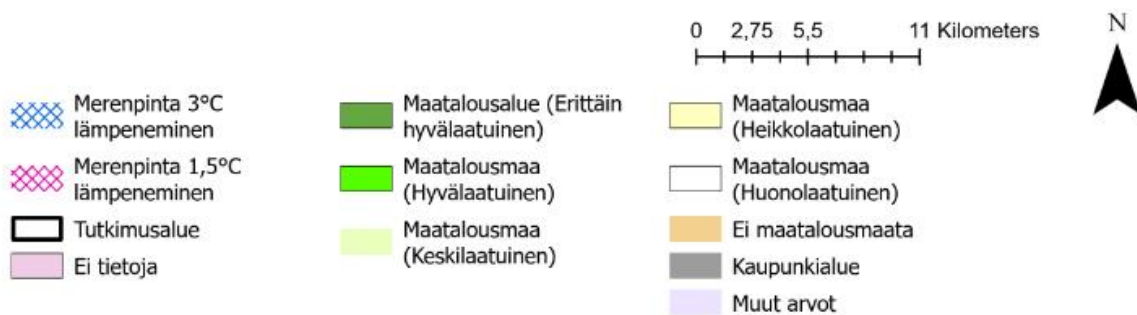
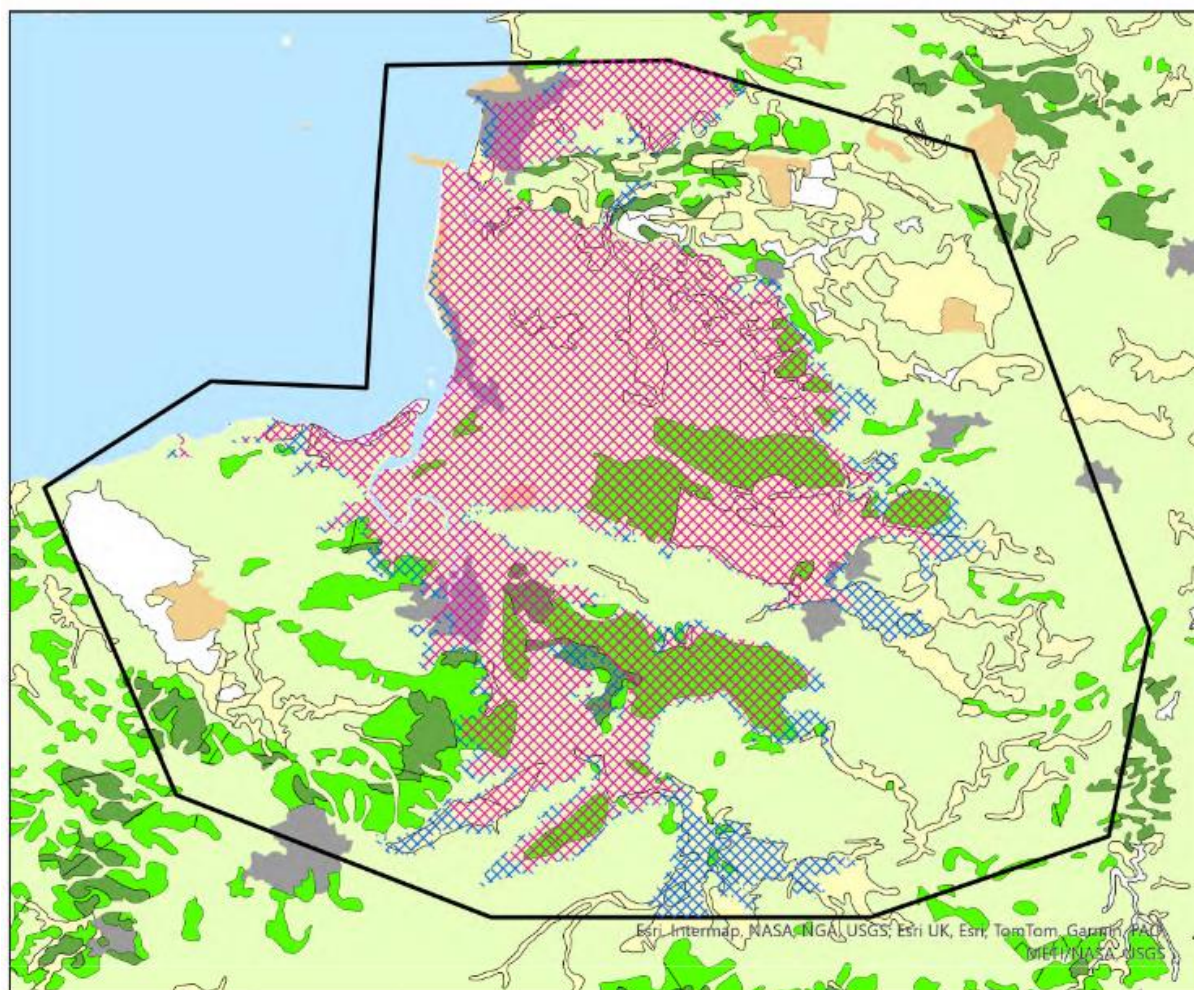
4.3 Ilmastonmuutoksen vaikutukset alueen maankäyttöön

Merenpinnan nousu altistaa osan Somersetin rannikkotasangosta entistä suuremmalle tulvimiselle, erityisesti merivesitulville. Ero kahden eri lämpenemisskenaarion (1,5 ja 3 asteen) välillä on kuitenkin melko pieni (taulukko 2).

Taso	Kuinka suuri alue jää merenpinnan alapuolelle eri lämpenemisskenaarioissa
Merenpinnan alapuolelle jäävä maa-ala 3 asteen lämpenemisellä	38 %
Merenpinnan alapuolelle jäävä maa-ala 1.5 asteen lämpenemisellä	31,7 %

Taulukko 2. Merenpinnan alapuolelle jäävät maa-alueet kahdella eri ilmastonlämpenemisskenaariolla.

Eri lämpenemisskenaariot vaikuttavat siihen, kuinka paljon merenpinta nousee, ja se vaikuttaa siihen, kuinka suuri osa maa-alasta jää merenpinnan alapuolelle. 3 asteen lämpeneminen lisää merenpinnan alapuolelle jäävää aluetta noin 6 prosenttiyksikköä verrattuna 1,5 asteen lämpenemiseen (taulukko 2). 3 asteen lämpenemisen aiheuttama muutos maa-alan korkeuteen merenpinnasta ei lisää merkittävien kohteiden altistumista 1,5 asteen lämpenemiseen verrattuna.



Kuva 13, Ilmastonmuutoksen aiheuttaman kahden eri lämpenemisskenaarion jälkeen merenpinnan alapuolelle jäävät maa-alueet (Lähteet: Provisional Agricultural Land Classification (ALC), Comparison: long-term sea level outcomes).

5 Keskustelu

5.1 Tulosten analysointi

Tulvimista Englannissa on tutkittu paljon, kuten myös tulvimista Somersetin rannikkotasangolla, jossa tulvariski on erityisen suuri. Erityisen paljon tutkimusta on tehty talven 2013–2014 jälkeen, kun alueella koettiin ennätysellisen voimakkaita tulvia, jotka saivat muun muassa paljon huomiota medialta. Monet tutkimukset kohdistuvat siihen, miten suuret tulvatapahtumat voitaisiin estää tulevaisuudessa (esimerkiksi Smith ym. 2016). Samalla uutta, 2020-luvulla tehtyä tutkimusta alueesta on vaikeampi löytää.

Kaupunkialueen pieni prosenttiosuus tutkimusalueen maankäytönmuodoista vähentää kaupunkeihin ja infrastruktuuriin kohdistuvaa absoluuttista tulvatason ja infrastruktuurin risteämistä. Vain 2,8 % alueesta on kaupunkialuetta (kuva 1). Toisaalta kaupungeissa asukastiheys on suuri ja se lisää tulvan aiheuttamia riskejä pienelläkin alueella (Jha ym. 2012). Pienemmällä tulva-alueella kaupungissa voi siis olla suuremmat taloudelliset ja sosiaaliset vaikutukset kuin suurella tulvalla maatalousalueella.

Kolme tutkimusalueen kaupungeista sijaitsee selvästi tulvariskialueella ja näissä kaupungeissa tulva-alue peittää suuren osan kaupungin pinta-alasta (kuva 5). Kaupungeissa yleensä sijaitsee suurin osa alueen asukkaille tärkeästä infrastruktuurista, kuten esimerkiksi kouluja, sairaaloita ja muita terveysasemia, ruokakauppoja sekä esimerkiksi liikenneväyliä, kuten juna- ja bussiasemia. Siksi pienenkin alueen tulviminen kaupungissa voi vaikuttaa laajalla alueella palveluiden toimintaan ja siksi tämä on merkittävä tutkimustulos.

Tulviminen kaupungeissa heikentää myös asukkaiden kokemaa turvallisuuden tunnetta ja se saattaa vaikuttaa esimerkiksi asukkaiden kokemaan luottoon virkamiehiä ja hallintoa kohtaan (Ma ym. 2025). Tämä vaikuttaa esimerkiksi alueiden vetovoimaisuuteen kansalaisten silmissä. Tulviminen, joka aiheuttaa erilaisia haittoja kaupungeissa, lisää myös alueen asukkaiden kokemaa henkistä kuormitusta, joka saattaa entisestään lisätä jo valmiiksi tulvan kuormittamaa terveydenhuoltoverkostoa.

Lisäksi tutkimuksessa käytin aineistoa tutkimusalueella sijoittuvasta tieverkostosta, sillä tieverkoston kunto vaikuttaa alueen muihin palveluihin ja niiden saavutettavuuteen suuresti, ja esimerkiksi mahdolliseen evakuointiin. Päällekkäisanalyysissä todettiin, että tulvatason 2 alle jää 1143,5 km tieverkostoa. Tieaineistossa on kuitenkin kaikki tiet pienistä suuriin, ja siksi se ei edusta yhtä hyvin esimerkiksi sitä, kuinka paljon tärkeitä kulkureittejä voi jäädä tulvatason

alle. Kuitenkin pahimmassa tapauksessa tulva-aikaan yli 1000 kilometriä tieverkostoa voi olla käyttökelvotonta.

Tieverkosto saattaa itsessään vaikuttaa tulvimiseen alueella (Vu ym. 2024). Tieverkostot saattavat rajata tulvasoja ja niiden muodostumista ja ohjata tulvia eri alueille, kun ne muuten suuntautuisivat. Tämä saattaa lisätä tulvien aiheuttamia vahinkoja alueilla. Lisäksi tiet saattavat estää veden imeytymisen, erityisesti asfaltoidut ja suuren pinta-alan kattavat tiet. Tämän vuoksi tulvavedet ohjautuvat näiltä alueilta esimerkiksi ojiin, joista vesi valuu keskitetyksi jokiin, joka lisää kokonaisvirtaamaa joissa. Tämä tulisi ottaa huomioon tutkielman tutkimusalueella myös, ja alueen tieverkoston vaikutusta tulviin tulisi tutkia lisää.

Kaupunkialueeseen kohdistuvista ongelmista huolimatta suurin osa tutkimusalueen alueen maatalasta on maatalouskäytössä (kuva 1). Alueen maatalousmaat on jaettu laatuluokkiin tutkielmassa, ja diagrammista voidaan todeta, että suurin osa maatalousmaasta alueella on keskitasoista ja hyvää maatalousmaata. Lisäksi suurin osa tulva-alueiden 2 ja 3 alle jäävästä maatalousmaasta on keskilaatuista sekä hyvää maatalousmaata. Laadukkaiden maatalousalueiden jääminen tulvasojen alle lisää maataloudelle koituvia kuluja ja taloudellisia menetyksiä tulvatilanteissa esimerkiksi menetettyjen satojen tai maatalousmaan laadun heikkenemisen vuoksi (Morris ym. 2008).

UK:ssa 2 miljoonaa ihmistä asuu tulva-alueella, jossa riski tulvalle on yksi 200-vuodessa (Barr ym. 2020). Vuoteen 2050 mennessä riskialueella odotetaan asuvan 3,2 miljoonaa ihmistä, kun väestö kasvaa ja ilmastonmuutos lisää tulvariskiä ja kaupungistuminen kiihtyy. Lisäksi tulvista kärsivien ihmisten määrä, sekä tulvien aiheuttamat taloudelliset tappiot ovat kasvaneet 1950-luvulta 2010-luvulle tasaisesti (Jha ym. 2012). Tutkimusta UK:n tulva-alueista ja ilmastonmuutoksesta on siis tehty paljon jo etukäteen. Lisäksi Englannissa on tutkittu ilmastonmuutoksen vaikutusta jokien toimintaan ja niiden aiheuttamaan tulvarisktiin (Milan & Schwendel 2021). Erityisesti tutkimusta on tehty tulvasuojelusta jokien yläjuoksulla. On pyritty kehittämään tapoja, joilla tulvasuojelua pystyttäisiin toteuttamaan luonnollisin keinoin, ja näin estämään mahdolliset tulvavahingot ennen niiden kehittymistä.

Somersetin rannikkotasanko on kuitenkin alavaa maata, joka sijaitsee lähellä merenpinnan tasoa. Siksi merenpinnan korkeuden muutos on suurin ilmastonmuutoksen lisäämä riski alueella. Rannikkoalueilla on lisäksi yleensä suurempi asukastiheys ja rannikkoalueilla saattaa sijaita tärkeää infrastruktuuria, kuten esimerkiksi satamia (Bosello & De Cian 2014). Lisäksi merenpinnan tason kohoamisen tarkka ennustaminen on hankalaa, sillä siihen vaikuttaa monet eri muuttujat, kuten esimerkiksi jäätiköiden sulaminen, päästöjen kasvu ja monet ennalta

arvaamattomat tekijät, jotka saattavat tulla esille vasta tulevaisuudessa. Lisäksi ilmastonmuutos lisää sademäärää ja myrskyjä, sekä muita sään ääri-ilmiöitä, joka lisää tulvariskiä entisestään (Pham ym. 2022).

Ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia alueella tutkin siksi vertailemalla eri ilmastonlämpenemisskenaarioita ja niiden vaikutusta merenpinnan korkeuteen ja alueisiin, jotka jäävät tulevaisuudessa merenpinnan tason alle. Visualisoin alueet, jotka jäävät merenpinnan alapuolelle kahdessa eri lämpenemisskenaariossa, 1,5 asteen ja 3 asteen lämpenemisessä. Näin on mahdollista tutkia, miten mahdollinen tulvariski kasvaa tutkimusalueella. Lisäksi voidaan tutkia, minne tulvasuojelun toimenpiteitä tulisi tulevaisuudessa mahdollisesti kohdentaa ja mitkä alueet vaativat tarkempaa tutkimusta mahdollisista tulvatasojen muutoksista ja alueiden kasvaneesta tulvariskistä.

Jotta tulvatasot sekä ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset olisivat täysin vertailukykyisiä, tarvittaisiin kartta siitä, miten ilmastonmuutos vaikuttaa aiemmin käytettyihin tulvatasoihin. Sellaista aineistoa ei kuitenkaan ollut saatavilla. Tulevaisuudessa voisi olla tärkeä tutkia myös nykyisiin tulvatasoihin tulevia mahdollisia muutoksia ilmaston lämmitessä ja visualisoida myös ne karttatasoksi. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset alueen korkeuteen merenpinnasta osoittavat kuitenkin mahdollisia tulvatasoihin vaikuttavia muutoksia. Ero 3 asteen ja 1.5 asteen lämpenemisen aiheuttaman muutoksen välillä on pieni alueella, joka on jo valmiiksi lähellä merenpintaa. Pieneen eroon voi siis vaikuttaa se, että jo pienemmällä lämpenemisellä alueet jäävät merenpinnan alapuolelle, ja vain merkittävästi korkeammalle tasolle sijoittuvat maa-alat jäävät ylipäätään merenpinnan tason korkeudelle.

5.2 Menetelmien ja aineistojen epävarmuudet

Kaikki tutkielmassa käytetyt aineistot eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään. Ilmastonmuutoksen aiheuttama merenpinnan tason nouseminen ei suoraan kerro, kuinka ilmastonmuutos vaikuttaa alueen tulvimiseen. Aiheesta tulisi tehdä oma tutkimus. Lisäksi aineisto ilmastonmuutoksen aiheuttamista muutoksista merenpinnan korkeudessa on digitoitu JPEG-kuvasta, jonka vuoksi kartta sisältää pienen virheen mahdollisuuden, ja esimerkiksi pinta-ala ei ole täysin kohdillaan.

Lisäksi tulva-aineisto, joka osoittaa mahdollisen tulvan syvyyden ja tarkan todennäköisyyden, sisältää paljon alueita, joille arvoja ei ole laskettu ollenkaan. Siksi esimerkiksi Bridgwaterin tai Burnham-on-Sea-kaupungin tarkempaa tulvariskiä ei pystytä osoittamaan tutkielmassa käytetyillä aineistoilla. Tulvasato 2- ja 3-aineistoissa on erikseen mainittu, että ne eivät sovellu

yksittäisten rakennuksien tulvariskin analysoimiseen. Siksi niiden tarkkuus saattaa olla heikko ja tutkielman kartoista ei pysty päättämään täsmällisesti, mille rakennetuille alueille tulvataso mahdollisesti yltää.

5.3 Mahdollisia muutoksia alueen tulvasuojeluun

Tulvasuojelun näkökulmasta voisi pohtia, voitaisiinko alueella sijaitsevia heikkolaatuisia sekä huonolaatuisia maatalousalueita hyödyntää tulvavesivarastoina entistä enemmän, jolloin laadukkaammat maatalousalueet säilyisivät paremmassa kunnossa. Historiallisesti Britanniassa on käytetty erilaisia tulvasuojelun keinoja, jotta tulva-alue on pystytty pitämään maatalousalueiden ulkopuolella (Morris ym. 2008). 2000-luvulla tutkimusta on tehty kuitenkin enemmän tulvavesivarastojen mahdollisesta potentiaalista tulvasuojelun keinoina, joka samalla voisi lisätä alueen biodiversiteettiä sekä vähentää tulvasuojelun kuluja.

Tällä hetkellä kolme alueen hyvälaatuisista maatalousmaista jää tulvatasojen alle. Ohjaamalla tulvavesiä tulvavarastoalueille voisi hyvälaatuisia maa-aloja hyödyntää intensiivimaataloudessa ja tulvavarastoiksi sopeutuvia heikomman laadun maatalousalueita ekstensiivisessä maataloudessa. Tulvavarastojen hyödyntämiseen vaikuttaa kuitenkin maanomistajien tahto antaa maa-alueitaan tulvavarastoiksi, sekä mahdolliset korvaukset, jota maanomistajille voitaisiin maksaa.

Kaupungit lisäävät ilmastonmuutoksen aiheuttamia vaikutuksia (Carter ym. 2016). Kaupunkien kehittyminen lisää vettä läpäisemättömien pintojen pinta-alaa ja samalla vähentää luonnontilaisten alueiden pinta-alaa, jotka saattavat toimia usein luonnollisina tulvakosteikkoina. Somersetin tulvasuojelussa voitaisiin hyödyntää tätä tietoisuutta, ja esimerkiksi lisätä kaupunkien yhteyteen erilaisia viheralueita sekä muuta viherinfrastruktuuria, jotka mahdollisesti hillitsisivät tulvien aiheuttamia vahinkoja alueella.

5.4 Mahdolliset jatkotutkimukset

Tutkielma on kokonaiskatsaus tulvimisen aiheuttamiin muutoksiin, riskeihin ja vahinkoihin Somersetin rannikkotasangolla. Tarkempaa tutkimusta tulvimisesta ja sen aiheuttamista tarkoista vaurioista ja taloudellisista menetyksistä voitaisiin kehittää aluekohtaisesti jakamalla tutkimusalue pienempiin osiin ja hyödyntämällä karttatasoa tulvataso syvyyksistä. Näin voitaisiin eristää esimerkiksi yksittäisiä naapurustoja ja huoltovarmuudelle tärkeitä alueita kaupungeista, ja tulvasuojelun toimia voitaisiin kohdentaa tulevaisuudessa vielä tarkemmin.

Lisäksi, kun ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset merenpinnan tasossa alueella on todettu, olisi tärkeä tutkia sen vaikutusta nykyisiin tulvatasoihin, jotta siihen osataan varautua alueella. Lisäksi ilmastonmuutoksen vaikutuksia alueen tulvimiseen olisi tärkeä tutkia muidenkin tulvatekijöiden osalta, esimerkiksi muutoksia sademäärässä ja sään ääri-ilmiöissä.

Jatkotutkimuksena olisi lisäksi tärkeä selvittää, millaisia huoltovarmuudelle ja yhteiskunnalle tärkeitä palveluita ja infrastruktuuria jää tarkkojen tulvarajojen alle. Esimerkiksi sairaaloiden, elintarvikekauppojen, bensa-asemien ja koulujen sijainti suhteessa tulva-alueeseen. Näin voitaisiin tutkia, millaisia tulvasuojelun toimenpiteitä tulee sijoittaa peruspalveluiden turvaamiseksi alueelle.

Lisäksi tutkimuksen voisi jakaa osiin, jolloin eri yhteiskunnan osia ja tulvan vaikutuksia niihin voisi tutkia erikseen. Esimerkiksi liikenneväylät ja kulkuyhteydet, kaupungit ja maatalous voisivat kaikki olla yksittäisten tutkimusten aiheita. Pelkällä tarkan tulvariskin aineistolla olisi myös mahdollista tehdä tutkimusta kaupunkikohtaisesti niin, että jokaisen kaupungin osan altistuminen tutkittaisiin erikseen.

Lisäksi tutkimuksessa voitaisiin hyödyntää tulvaennusteita enemmän. Esimerkiksi on jo kehitetty erilaisia metodeja ja viitekehyksiä tulvien ennustamiselle (Pham ym. 2022). Näiden hyödyntäminen tutkimuksessa voisi tuoda uusia näkökulmia esimerkiksi aluekehitykselle tutkimusalueella.

5.5 Johtopäätökset

Somersetin rannikkotasangolla tulvatasojen alle jää suhteellisesti eniten maatalousalueita (kuva 3). Tulvatasojen alle jäävät maatalousmaat ovat laadultaan keskitasoista, huonolaatuista sekä hyvänlaatuista maatalousmaata. Lisäksi sisämaan tulvatasot kulkevat osittain samoja linoja laadullisen maatalousmaan jaon kanssa, jota tulisi tutkia lisää.

Alueella sijaitsee myös kuusi kaupunkikeskittymää, joista kolme jää merkittävältä osuudelta kaupungin pinta-alasta analyysissä käytettyjen tulvatasojen alle. Tarkempi analyysi tulvasyvyiden ja tarkan todennäköisyyden kuvaavalla aineistolla osoittaa Weston-Super-Maren kaupungin erot siinä, kuinka suurella todennäköisyydellä alueelle syntyy 0,2 m ja 1,2 m syvyiset tulvat.

Todennäköisintä on, että alueelle syntyy 0,2 m syvyinen tulva. Muista tulva-alueelle jäävistä kaupungeista ei kuitenkaan voida todeta samoja tuloksia sillä aineistossa näistä kohteista ei ole

kerätty tietoa. Lisäksi yllättävää on, että suurin tulvariski sijaitsee rannikkoalueiden lisäksi sisämaassa. Jatkotutkimuksia tarvittaisiin, jos haluttaisiin selvittää, mistä tämä johtuu.

Ilmastonmuutoksen aiheuttama merenpinnan kohoaminen lisää Somersetin rannikkotasangolla merenpinnan tason alapuolelle jäävien maa-alueiden prosenttia (taulukko 2). Lisäksi se, lämpeneekö ilmasto 1,5 asteen vai 3 astetta vaikuttaa siihen, kuinka suuri alue merenpinnan tason alapuolelle jää. Ero näiden kahden lämpöasteen aiheuttaman muutoksen välillä on kuitenkin melko pieni, joka saattaa johtua esimerkiksi siitä, että alue sijaitsee jo valmiiksi osittain merenpinnan tason alapuolella, jonka lisäksi aluetta ympäröi kaksi mäkeä, jotka rajaavat alueen.

Lähdeluettelo

- Barr, S. L., Johnson, S., Ming, X., Peppas, M., Dong, N., Wen, Z., Robson, C., Smith, L., James, P., Wilkinson, D., Heaps, S., Laing, Q., Xiao, W., Dawson, R. & Ranjan, R. (2020) Flood-prepared: a nowcasting system for real-time impact adaptation to surface water flooding in cities. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 6(4) 9–15. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VI-4-W2-2020-9-2020>
- Bosello, F. & De Cian, E. (2014) Climate change, sea level rise, and coastal disasters. A review of modeling practices. *Energy Economics*, 46, 593–605. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.09.002>
- Carter, J. G., Handley, J., Butlin, T. & Gill, S. (2016) Adapting cities to climate change - exploring the flood risk management role of green infrastructure landscapes. *Journal of Environmental Planning and Management*, 61(9), 1535–1552. <https://doi.org/10.1080/09640568.2017.1355777>
- Climate Central (2021) Comparison: long-term sea level outcomes. https://coastal.climatecentral.org/map/11/-2.8143/51.1585/?theme=warming&map_type=multicentury_slr_comparison&basemap=roadmap&elevation_model=best_available&lockin_model=levermann_2013&refresh=true&temperature_unit=C&warming_comparison=%5B%221.5%22%2C%223.0%22%5D 10.2.2025.
- Cloke, H. L. & Pappenberger, F. (2009) Ensemble flood forecasting: A review. *Journal of Hydrology*, 375(3–4) 613–626. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.005>.
- Environmental Agency (2024) Flood Map for Planning (Rivers and Sea) - Flood Zone 2. Department for Environment, Food & Rural Affairs. <https://environment.data.gov.uk/dataset/96ab4342-82c1-4095-87f1-0082e8d84ef1> 5.2.2025.

- Environmental Agency (2024) Flood Map for Planning (Rivers and Sea) - Flood Zone 3. Department for Environment, Food & Rural Affairs. <https://www.data.gov.uk/dataset/bed63fc1-dd26-4685-b143-2941088923b3/flood-map-for-planning-rivers-and-sea-flood-zone-3> 5.2.2025
- Environmental Agency (2025) Risk of Flooding from Rivers and Sea. Environment, Food & Rural Affairs. <https://environment.data.gov.uk/dataset/96ab4342-82c1-4095-87f1-0082e8d84ef1> 26.2.2025.
- Haigh, I. D. & Nicholls, R. J. (2017) Coastal flooding. *MCCIP Science Review 2017* 98–104. https://www.mccip.org.uk/sites/default/files/2021-07/2017arc_sciencereview_009_cof.pdf
- Jha, A. K., Bloch, R. & Lamond, J. (2012). *Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*. 1. p. World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/2241>
- Keech, D. & Ricketts, M. (2022). The submersion and adaptation of routines in the Somerset Levels and Moors. *Landscape Research*, 47(1) 87–101. <https://doi.org/10.1080/01426397.2021.1989392>
- Kulp, S. K. & Strauss, B.H. (2018) CoastalDEM: A global coastal digital elevation model improved from SRTM using a neural network, *Remote Sensing of Environment*, 206, 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.12.026>.
- Kumar, V., Sharma, K. V., Caloiero, T., Mehta, D. J. & Singh, K. (2023). Comprehensive overview of flood modeling approaches: A review of recent advances. *Hydrology*, 10(7) 141. <https://doi.org/10.3390/hydrology10070141>
- Ma, W., Du, Y., Wang, Y., Chen, Q., Jiang, H., Cai, R., Gu, T. & Zhang, W. (2025) Urban landscape patterns and residents' perceptions of safety under extreme city flood disasters. *Ecological Indicators*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.113003>

- Milan, D. J., & Schwendel, A. C. (2021). Climate-change driven increased flood magnitudes and frequency in the British uplands: Geomorphologically informed scientific underpinning for upland flood-risk management. *Earth Surface Processes and Landforms*, 46(15), 3026–3044. <https://doi.org/10.1002/esp.5206>
- Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (1988) Agricultural Land of Classification of England and Wales.
- Morris, J., Bailey, A. P., Lawson, C. S., Leeds-Harrison, P. B., Alsop, D. & Vivash, R. (2008) The economic dimensions of integrating flood management and agri-environment through washland creation: A case from Somerset, England. *Journal of environmental management* 88(2) 372–381. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.023>
- Natural England (2024) Provisional Agricultural Land Classification (ALC). data.gov.uk. <https://naturalengland-defra.opendata.arcgis.com/datasets/Defra::provisional-agricultural-land-classification-alc-england/about> 5.2.2025.
- Ordnance Survey (2025) OS Open Roads. <https://www.data.gov.uk/dataset/65bf62c8-eae0-4475-9c16-a2e81afcbdb0/os-open-roads1> 10.3.2025.
- Perks, R. J., Bernie, D., Lowe, J. & Neal, R. (2023). The influence of future weather pattern changes and projected sea-level rise on coastal flood impacts around the UK. *Climatic Change*, 176(3) 25. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-023-03496-2>
- Pham, Q. B., Ali, S. A., Bielecka, E., Calka, B., Orych, A., Parvin, F. & Łupikasza, E. (2022) Flood vulnerability and buildings' flood exposure assessment in a densely urbanised city: comparative analysis of three scenarios using a neural network approach. *Natural Hazards (Dordrecht)*, 113(2), 1043–1081. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05336-5>
- Priest, S. (2023) Flood risk research for improving flood risk outcomes. *Journal of Flood Risk Management*, 16(1). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12888>
- Smith, A., Porter, J. J. & Upham, P. (2017) "We cannot let this happen again": reversing UK flood policy in response to the Somerset Levels floods, 2014. *Journal of environmental*

planning and management 60(2) 351–369.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09640568.2016.1157458#d1e144>.

Stratford, C. & Acreman, M. (2014). Somerset Levels and Moors: Assessment of the impact of water level management on flood risk. *Report to Somerset Drainage Boards Consortium. Centre for Ecology and Hydrology.*

Strauss, B.H., Kulp, S. & Levermann, A. (2015) Carbon choices determine US cities committed to futures below sea level, *Proceeding of the National Academy of Sciences*. 112(44) 13508- 13513. <https://doi.org/10.1073/pnas.1511186112>

Thorne, C. (2014). Geographies of UK flooding in 2013/4. *The Geographical Journal* 180(4) 297–309. <https://doi.org/10.1111/geoj.121225>

Vu, H. C., To, T. N. & Le, H. (2024). Impacts of the road on flood inundation in the Tra Khuc–Ve River basin, Vietnam. *Water Policy*, 26(12), 1261–1282.
<https://doi.org/10.2166/wp.2024.313>