



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 24048

Examensarbete 30 hp

December 2024

Skyfallsanalys av tätorter

En jämförelsestudie mellan svenska och fem andra europeiska länders rekommendationer.

Johanna Wikström



UPPSALA
UNIVERSITET

Cloudburst analysis of urban areas: a comparative study between Swedish and five other European countries recommendations.

Johanna Wikström

Abstract

Urban areas are increasingly vulnerable to extreme rainfall events, known as cloudbursts, which are worsened by climate change and urbanization. This study compares cloudburst modeling guidelines in Sweden and the following European countries: Norway, Denmark, Finland, Germany, and the Netherlands. Key parameters that have been studied include return periods, surface roughness (Manning's coefficient), infiltration capacity, rainfall duration, and design rainfall profiles.

The methodology combines a literature review of national guidelines and a modeling study using MIKE+ to simulate cloudburst scenarios in Örnberg, Stockholm, and central Uppsala. Simulations followed Swedish guidelines for Chicago Design Storms (CDS) and were compared with block rain profiles from the Netherlands and Germany. Modeled return periods were 100 and 250 years for Sweden and the Netherlands, while Germany included a 100-year event and a 90 mm rainfall scenario.

Results show Swedish methods produce higher water depths, velocities, and discharge rates compared to Dutch and German methods for similar return periods. Incorporating high-intensity rainfall scenarios is recommended to improve preparedness for extreme events. Sweden's infiltration modeling is advanced, but adopting clearer guidelines for leakage rates and soil depth, as in Denmark, could enhance accuracy. While Sweden's surface roughness methods are comparable to others, using more customized Manning's values, as done in Finland and the Netherlands, may improve precision.

This study offers recommendations to refine Sweden's guidelines, strengthening preparedness for future cloudbursts.

Keywords: cloudburst modeling, MIKE+, surface roughness, infiltration, rainfall scenarios, return period

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Elin Andersson och Xavier Mir Rigau Ämnesgranskare: Gabriele Messori

Examinator: Antonio Segalini

Referat

Skyfallsanalys av tätorter: En jämförelsestudie mellan svenska och fem andra europeiska länders rekommendationer.

Johanna Wikström

Städer blir allt mer sårbara för extremt regn, så kallade skyfall, som förvärras av klimatförändringar och urbanisering. Den här studien jämför riktlinjer för skyfallsmodellering i Sverige med följande europeiska länder: Norge, Danmark, Finland, Tyskland och Nederländerna. De huvudsakliga parametrarna som studeras är återkomsttid, ytråhet (Manning-koefficient), infiltration, regnvaraktighet och regnprofiler.

Metoden består av en litteraturstudie av nationella riktlinjer samt en modellstudie med MIKE+, där skyfallsscenarier simuleras i Örnberg, Stockholm, och centrala Uppsala. Simuleringarna följde svenska riktlinjer för Chicago Design Storms (CDS) och jämfördes med blockregnprofiler från Nederländerna och Tyskland. De modellerade återkomsttiderna var 100 och 250 år för Sverige och Nederländerna, medan Tyskland inkluderade en 100-årshändelse och ett 90 mm regnscenario.

Resultaten visar att svenska metoder generellt ger högre vattendjup, hastigheter och flöden jämfört med nederländska och tyska metoder för samma återkomsttider. För att stärka beredskapen för extrema händelser rekommenderas att inkludera mer extrema regnscenario. Sveriges infiltrationsmodellering är avancerad, men tydligare riktlinjer för läckhastighet och markens mäktighet, som i Danmark, kan förbättra noggrannheten. Svenska metoder för ytråhet är jämförbara med andra länder, men en mer anpassad användning av Manning-tal, som i Finland och Nederländerna, kan öka noggrannheten.

Studien ger rekommendationer för hur de svenska riktlinjerna kan utvecklas, vilket kan stärka beredskapen inför framtida skyfall.

Nyckelord: skyfallskartering, MIKE+, ytråhet, infiltration, regnscenario, återkomsttid

Förord

Med det här examensarbetet avslutar jag mina studier på Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Examensarbetet utfördes i samarbete med Tyréns där jag fick handledning av Elin Andersson och Xavier Mir Rigau. Min ämnesgranskare var Gabriele Messori som är professor vid institutionen för geovetenskaper vid Uppsala Universitet.

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare Elin Andersson och Xavier Mir Rigau på Tyréns som varit till stor hjälp under hela arbetets gång och som gav mig chansen att skriva detta intressanta arbete. Jag vill även tacka alla andra medarbetare som jag fick träffa på Tyréns som gjorde att jag kände mig välkommen samt också svarade på en del frågor och funderingar. Jag vill även rikta ett stort tack till min ämnesgranskare Gabriele Messori för all vägledning och diskussion för att få arbetet att uppfylla alla krav och bli det bästa möjliga.

Johanna Wikström

Uppsala 2024

Populärvetenskaplig sammanfattning

Kraftiga skyfall, där stora mängder regn faller på kort tid, blir allt vanligare i takt med att klimatförändringarna påverkar vår planet. Dessa extrema regnhändelser orsakar ofta stora problem i våra städer, där hårdgjorda ytor som asfalt och betong gör att vattnet inte kan tränga ner i marken. Istället rinner vattnet snabbt bort på ytan, vilket leder till översvämningar som kan orsaka skador på byggnader och annan infrastruktur. Utöver de fysiska skadorna kan översvämningar också hota människors säkerhet.

För att minska riskerna med skyfall och bättre planera för framtida utmaningar används en metod som kallas skyfallskartering. Skyfallskartering innebär att man med hjälp av datorbaserade modeller simulerar hur vattnet rör sig vid kraftiga regn. Genom att förutse vilka områden som riskerar att drabbas av översvämningar kan samhället planera åtgärder som skyddar både människor och byggnader. Denna studie undersöker hur Sverige och fem andra europeiska länder (Norge, Danmark, Finland, Tyskland och Nederländerna) arbetar med skyfallskartering. Syftet är att jämföra de olika metoderna och identifiera förbättringar som kan stärka de svenska riktlinjerna. Studien fokuserar på parametrar som återkomsttid, som är ett statistiskt mått på hur ofta ett visst regn förväntas inträffa, infiltrationskapacitet (markens förmåga att ta upp vatten) och ytråhet, vilket beskriver hur ytans egenskaper påverkar vattnets rörelse.

I Sverige används ofta Chicago Design Storms (CDS) som metod för att simulera en regnsekvens. Denna metod innebär att regnets intensitet varierar över tid, vilket ger en realistisk bild av hur ett regn ser ut och hur det kan påverka ett område. Länder som Tyskland och Nederländerna använder istället blockregn, där regnets intensitet är konstant under hela händelsen. Blockregn är enklare att använda, men det riskerar att ge en mindre detaljerad bild av regnets effekter. För att testa och jämföra dessa metoder användes datormodeller i programmet MIKE+. Två områden i Sverige valdes ut för studien: Örnberg i Stockholm och ett centralt område i Uppsala. I dessa områden utfördes simuleringar med olika typer av regn, inkluderande svenska och nederländska scenarier med återkomsttider på 100 och 250 år, samt ett tyskt scenario med en återkomsttid på 100 år. Dessutom ingick Tysklands extrema intensitetsbaserade scenario med en nederbörd på 90 mm under en timme, motsvarande ett svenskt 1500-årsregn. Det som skiljer ländernas scenarion åt är främst längden på regnhändelsen, där Sveriges scenarier kartläggs över 6 timmar, medans Nederländernas är 2 timmar och Tyskland 1 timme.

Resultaten från simuleringarna visade att de svenska metoderna generellt ger högre vattendjup, snabbare vattenhastigheter och snabbare vattenflöden jämfört med de nederländska och tyska metoderna för samma återkomsttid. Studien lyfter fram att Sverige har en avancerad metod för att hantera infiltration, men att riktlinjerna kan bli ännu tydligare. Exempelvis kan Sverige inspireras av Danmark, som ger mer detaljerade rekommendationer för parametrar som markens mäktighet och läckhastighet (markens genomsläpplighet). Samtidigt visar studien att Sverige ligger i linje med andra länder när det gäller att använda ytråhet i sina modeller, men att en mer flexibel användning av Manning's tal, som beskriver ytors råhet, kan öka modellernas noggrannhet. Här kan Sverige ta inspiration av Finland och Nederländerna, som anpassar Manning's värden mer noggrant efter specifikt markanvändningsområde.

En annan viktig slutsats från studien är vikten av att inkludera fler extrema scenarier i svenska skyfallsmodeller. Genom att simulera högre återkomsttider kan Sverige bättre förbereda sig för framtida klimatutmaningar, där ännu kraftigare skyfall förväntas bli vanligare. Sammanfattningsvis visar studien att Sverige har en stark grund för skyfallskartering, men att det finns utrymme för förbättringar. Genom att lära av andra europeiska länder och anpassa den svenska metoden kan man skapa mer tillförlitliga modeller som skyddar städer mot framtida översvämningar.

Ordlista

Avrinningsområde: Ett område från vilket vatten dräneras till ett vattendrag uppströms en viss punkt.

Blockregn: Konstant nederbördsintensitet under satt tid.

CDS-regn: Chicago Design Storm är ett modellregn som varierar över tid. Oftast med en snabbare kurva upp till högsta intensiteten och en långsam avtagande kurva efter regntoppen.

Fyllning: I en jordartskarta finns begreppet fyllning. Detta är artificiellt och är inte en jordart, men den överlagrar ofta naturligt förekommande jordarter. Fyllning innebär jord eller andra massor som lagt på av människor.

Hårdgjorda ytor: Omfattar exempelvis asfalt och betong som minskar infiltrationen och ökar risken för översvämning.

Infiltration: Den process då vatten på markytan tränger ner i marken istället för att rinna bort på ytan.

Klimatfaktor: En faktor som appliceras på nutidens nederbörd för att representera framtidens regn.

Läckhastighet: Även kallat markgenomsläpplighet. Hastigheten vatten rör sig genom markens porer, beroende på markens genomsläpplighet och porositet.

Mättade zonen: Den del av marken där alla porer och sprickor är helt fyllda med vatten. Alltså den del där grundvattnet ligger.

Porositet: Andelen tomrum i marken, angiven som procent av totalvolymen, som avgör markens förmåga att lagra vatten och luft.

Omättade zonen: Den del av marken där grundvattnet inte fyller alla porer och sprickor, det är luft i dem istället.

Råhetskoefficient/Mannings tal (M): Ett värde som beskriver hur grov marken är och hur det påverkar flödet.

Varaktighet: Hur länge nederbördshändelsen pågår.

Skyfall: Kraftigt regn under kort period. SMHI definierar det som minst 50 mm nederbörd på en timme eller minst 1 mm nederbörd på en minut.

Skyfallskartering: Modellering av skyfall.

Ytavrinning: Beskriver vattenflöde på ytan som orsakas av nederbörd som inte infiltreras.

Återkomsttid: Ett mått på sannolikheten för att en händelse, som ett kraftigt regn, inträffar. Exempelvis innebär "100-årsregn" en årlig sannolikhet på 1 % (1/100). Det beskriver sannolikhet, inte en strikt tidsperiod, och samma händelse kan inträffa oftare.

Innehåll

1	Inledning	2
1.1	Syfte och frågeställningar	2
1.1.1	Avgränsningar	3
2	Bakgrund	4
2.1	Ökade skyfall och klimatförändringar	4
2.2	Skyfallsmodellering	4
2.2.1	Infiltration	4
2.2.2	Markanvändning	5
2.2.3	Regn i skyfallsmodellering	6
2.2.4	Regnets varaktighet	7
2.2.5	Utmaningar med skyfallsmodellering	7
2.3	MSB:s metod för skyfallskartering	7
2.4	Klimatförhållande i studerade länder	8
3	Material och metoder	9
3.1	Litteraturstudie	9
3.2	Material och bearbetning inför modellering	10
3.2.1	Scalgo Live	10
3.2.2	Förarbete QGIS	11
3.3	Modelleringsstudie i MIKE+	11
3.3.1	Områdesbeskrivning Örnsberg	12
3.3.2	Områdesbeskrivning Centrala Uppsala	14
3.3.3	Generella steg för MIKE+	15
3.3.4	Beräkning av regn	16
3.3.5	Resultat och bearbetning i QGIS och SCALGO Live	17
4	Resultat	19
4.1	Resultat från litteraturstudien	19
4.1.1	Sverige	19
4.1.2	Norge	21
4.1.3	Danmark	22
4.1.4	Finland	23
4.1.5	Tyskland	25
4.1.6	Nederländerna	25
4.1.7	Sammanställning resultat från litteraturstudie	27
4.2	Resultat från modelleringsstudien	28
4.2.1	Örnsberg	28
4.2.2	Uppsala	38
5	Diskussion	49
5.1	Likheter och olikheter mellan ländernas parametrar	49
5.1.1	Återkomsttid	49
5.1.2	Råhet	50
5.1.3	Infiltration	50
5.1.4	Andra viktiga parametrar	51
5.2	Analys av modelleringen	52
5.2.1	Vattendjup	52

5.2.2	Vattenhastighet	53
5.2.3	Vattenflöde	54
5.2.4	Modellerings val	55
5.3	Förslag på förbättringar av svenska rekommendationerna för skyfallsmodellering	56
5.4	Förbättringsmöjligheter och begränsningar i studien	57
5.5	Fortsättningsarbete	57
6	Slutsats	59
7	Bilagor	64
7.1	Tabeller från litteraturstudie	64
7.2	Indata för Uppsala modellen	65
7.3	Beräkningsresultat	67
7.4	Kartor	67
7.4.1	Kartor Örnsberg	67
7.4.2	Kartor Uppsala	77
7.4.3	Sammanställning modelleringsstudiens observationspunkter	95

1 Inledning

Under de senaste decennierna har det blivit allt tydligare att extrema regn, även kallade skyfall, sker allt oftare och med större intensitet. Klimatforskningen har visat att denna ökning är starkt kopplad till den globala temperaturhöjningen, där en varmare atmosfär kan hålla mer fukt och därmed ge upphov till kraftigare regnfall (Berg m. fl., 2013; Seneviratne m. fl., 2021). Denna trend förväntas fortsätta under de kommande åren, vilket innebär att skyfall sannolikt kommer bli allt vanligare i många delar av världen (Berg m. fl., 2013; Seneviratne m. fl., 2021). Samtidigt växer våra städer i snabb takt, och urbanisering innebär en stor förändring i hur vi använder marken (Seneviratne m. fl., 2021). Den ökande andelen hårdgjorda ytor, som asfalt och betong, minskar markens naturliga förmåga att infiltrera regnvatten, vilket leder till mer ytvavrinning och högre risk för översvämningar (Seneviratne m. fl., 2021).

Denna kombination av faktorer beskrivs i Intergovernmental Panel och Climate Change (IPCC) rapport från 2021. Den konstaterar att intensiva nederbördshändelser, i kombination med den ökande urbaniseringen, förvärrar de hydrologiska effekterna och gör urbana områden alltmer sårbara för översvämningar (Seneviratne m. fl., 2021). För att hantera dessa utmaningar används ofta skyfallskartering som är ett viktigt verktyg för att modellera hur vatten flödar och samlas i olika miljöer under extrema regn. På så vis kan man planera åtgärder för när ett skyfall kommer. Metoderna för skyfallskartering skiljer sig åt mellan olika länder, där parametrar som återkomsttid, infiltration och markens råhet behandlas olika beroende på nationella riktlinjer. Det är just dessa skillnader som detta arbete syftar till att undersöka.

1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med detta arbete är att jämföra rekommendationerna gällande skyfallskarteringar i Europa och se vad det finns för likheter och skillnader samt hur det påverkar skyfallsmodellens resultat. Detta skulle kunna bidra till en utvecklingspotential i den svenska modellen som skulle kunna appliceras på framtida rekommendationer. Med det syftet är frågeställningarna som följande:

1. Vilka likheter finns det mellan de svenska riktlinjerna för skyfallskartering och riktlinjer i andra europeiska länder?
 - Vilka scenarier rekommenderas att studera för återkomsttid?
 - Hur beaktas markens råhet och infiltrationskapacitet enligt respektive riktlinjer?
 - Finns det andra signifikanta likheter som är viktiga att ta hänsyn till mellan de svenska och europeiska riktlinjerna?
2. Hur skiljer sig de svenska skyfallskarteringsriktlinjerna från de i andra europeiska länder?
 - Vilka scenarier rekommenderas att studera för återkomsttid?
 - Hur beaktas markens råhet och infiltrationskapacitet enligt respektive riktlinjer?
 - Finns det andra signifikanta skillnader som är viktiga att ta hänsyn till mellan de svenska och europeiska riktlinjerna?
3. Hur skiljer sig resultaten åt när skyfallsmodellen baseras på rekommendationer från olika länder? Finns det aspekter i rekommendationer från andra länder som bör övervägas att ingå i den svenska rekommendationerna?

1.1.1 Avgränsningar

För den här studien har endast ett fåtal europeiska länder valts ut. Utöver Sverige ingår Norge, Danmark, Finland, Tyskland och Nederländerna. Dessa länder valdes eftersom de har relativt lika klimat.

När det gäller riktlinjerna för skyfallshantering har varje land en mängd parametrar att ta hänsyn till. I den här studien ligger fokus på återkomsttid, råhet och infiltration. Dessutom undersöks vissa aspekter som regndesign, varaktighet, klimatfaktor och modellernas upplösning. Däremot har vissa parametrar, som hur länderna inkluderar ledningsnät, lämnats utanför.

I modelleringen genomförs tester för återkomsttid i kombination med varaktighet och regndesign, där Sveriges, Nederländernas och Tysklands metoder jämförs. För modelleringsstudien om återkomsttid valdes modellering av Nederländernas och Tysklands rekommendationer gentemot Sveriges. Eftersom varje modelleringsscenario tog cirka 30 timmar, fanns det begränsat med tid för scenarion som kunde modelleras. Därmed utfördes modellering endast för återkomsttiden. Infiltration och råhet diskuterades istället utifrån litteraturstudien endast.

2 Bakgrund

I Sverige sattes nederbördsrekordet för en minut 2022 med 3,4 mm i Nordkoster, Bohuslän, och för en timme 1997 med 86,3 mm i Uppsala, Uppland (SMHI, 2024b). Sådana extrema regn kallas skyfall och definieras av Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) som minst 50 mm regn på en timme eller 1 mm per minut (SMHI, 2024a). Skyfall kan leda till översvämningar, särskilt i urbana områden där hårdgjorda ytor begränsar markens förmåga att infiltrera vatten. Klimatförändringar förväntas öka frekvensen och intensiteten av dessa extrema regn, vilket ställer högre krav på samhällsplanering och infrastruktur (SMHI, 2024a). För att analysera och hantera dessa utmaningar används skyfallsmodellering som ett viktigt verktyg.

2.1 Ökade skyfall och klimatförändringar

Klimatförändringarna har lett till en ökad frekvens och intensitet av extrema väderhändelser, däribland kraftiga skyfall (Seneviratne m. fl., 2021). Enligt FN:s klimatpanel IPCC förväntas intensiva regn öka både i frekvens och styrka. I norra Europa indikerar deras klimatmodeller att extrema nederbördstillfällen kommer bli allt vanligare på grund av den globala uppvärmningen. Detta är eftersom en varmare atmosfär kan innehålla mer vattenånga, vilket bidrar till ökad intensitet i nederbördshändelser. Norra Europa förväntas få mer nederbörd särskilt under vintermånaderna, men även extrem nederbörd under sommarperioder kan öka i frekvens. Detta kan leda till ökad risk för översvämningar i urbana områden, då den urbana miljön ofta är känslig för extrema regnmängder. IPCC betonar vikten av förbättrade klimatmodeller för att förstå och hantera framtida effekter av extrema väderhändelser (Seneviratne m. fl., 2021).

IPCC använder så kallade Representative Concentration Pathways (RCP:er) för att modellera möjliga framtida klimatförändringar (SMHI, 2023b). Dessa scenarier beskriver olika utvecklingsvägar beroende på halterna av växthusgaser i atmosfären. RCP 2.6 representerar ett optimistiskt scenario där koldioxidutsläppen når sitt maximum omkring 2020 och därefter minskar kraftigt, medan RCP 8.5 utgår från fortsatt höga utsläpp även efter 2060. Däremellan finns scenarierna RCP 4.5 och 6.0. Många av dagens klimatmodeller och analyser bygger på dessa scenarier och ger viktig information för att förstå och hantera framtida klimatutmaningar (SMHI, 2023b).

2.2 Skyfallsmodellering

Hydrologiska processer skiljer sig avsevärt mellan olika typer av avrinningsområden (SMHI, 2023c). I stora, naturliga områden är flödet långsamt och variationer i tid och rum är små. I små och urbana områden är responsen mycket snabbare, och flödena påverkas direkt av platsens egenskaper och regnets intensitet. För att analysera dessa komplexa processer används hydrologisk och hydraulisk modellering. Modelleringen ger insikt i hur vatten rör sig i olika miljöer och används för att förstå och hantera skyfallsrelaterade utmaningar, särskilt i tätorter (SMHI, 2023c).

2.2.1 Infiltration

Infiltration är en nyckelprocess för hur vatten fördelar sig i ett område och spelar en avgörande roll i hanteringen av översvämningssrisker (Morbidei m. fl., 2018). Infiltrationskapaciteten påverkas av flera markrelaterade egenskaper, såsom jordstruktur, genomsläpplighet, infiltrationshastighet och initial markfuktighet. Sandiga jordar, som har hög genomsläpplighet, kan absorbera större mängder vatten snabbare än exempelvis leriga jordar som har låg genomsläpplighet. Lerjordar tenderar dessutom att snabbt mättas, vilket också begränsar infiltrationen och

därmed ökar risken för översvämningar gentemot sandiga jordar där vattnet kan infiltrera ner i marken. Den initiala mätnaden i marken har en stor påverkan på hur mycket vatten marken kan ta upp, och vid mättade jordar blir det ökad ytavrinnig och därmed översvänningsrisk. En annan jordegenskap som är viktig är infiltrationshastigheten, som beskriver hur snabbt vatten kan tränga ner i jorden och är avgörande för att bedöma effekterna av kraftiga regn (MorbideLLi m. fl., 2018).

Porositet är ett mått på mängden tomrum mellan markpartiklar och är avgörande för markens kapacitet att hålla vatten (Larsson, 2008). En hög porositet innebär att marken har fler tomrum där vatten kan lagras, vilket ökar dess förmåga att absorbera nederbörd. Sandiga jordar, med hög porositet, kan absorbera vatten snabbare än exempelvis lerjordar som har mindre porer och därmed lägre infiltrationskapacitet. Markens genomsläpplighet (läckhastigheten), har ett starkt sammanband med porositeten, och med stora porer har jordarna även hög läckhastighet (Larsson, 2008).

I urbana miljöer, där en stor andel av ytorna är hårdgjorda minskar infiltrationskapaciteten avsevärt (Boverket, 2021). Ökad urbanisering leder till högre ytavrinning eftersom hårdgjorda ytor begränsar infiltrationen, vilket i sin tur bidrar till snabbare och större vattenflöden. Detta ökar risken för översvämningar, särskilt vid intensiva skyfall (Boverket, 2021). Att göra en korrekt bedömning av dessa jordegenskaper är därför centralt för att förbättra noggrannheten i skyfallskarteringar (MorbideLLi m. fl., 2018). Om dessa värden är felaktiga kan modeller både överdriva och underskatta effekten av ett skyfall, vilket kan leda till brister i planering och riskhantering. Genom att integrera detaljerad kunskap om markens egenskaper i hydrologiska modeller kan vi bättre förutse hur olika jordtyper och förhållanden svarar på extrema väderhändelser (MorbideLLi m. fl., 2018).

Underskattning av infiltrationskapaciteten kan leda till överskattade översvänningsrisker i modellresultaten, medan en överskattning av infiltrationen kan innebära att viktiga risker missas (Moglen och Mejía, 2010). Därmed är det viktigt att ta hänsyn till den rumsliga variationen i infiltrationen för att få tillförlitliga skyfallsmodeller. Eftersom skyfall inträffar sällan, är det dock ofta svårt att kalibrera sådana modeller korrekt. Det är därmed viktigt att genomföra känslighetsanalyser av parametrar som mätnadsgrad och markstruktur för att minska osäkerheten och förbättra noggrannheten i modelleringen (Moglen och Mejía, 2010).

Att integrera detaljerad information om markens infiltrationskapacitet i skyfallsmodeller kan avsevärt förbättra noggrannheten för vad som sker vid skyfall och underlätta planeringen av åtgärder för att minska översvänningsrisker i tätbebyggda områden. Genom att använda detaljerade markparametrar i modellerna kan samhällen bättre anpassa sig till framtida klimatutmaningar och hantera riskerna effektivt när händelsen sker (Moglen och Mejía, 2010).

2.2.2 Markanvändning

Markanvändning och ytråhet är centrala faktorer i modellering och kan hjälpa till att förutse vattenflöde över olika marktyper vid regnhändelser (Sanz-Ramos m. fl., 2021). Ytråheten, beskrivs ofta genom Mannings tal n eller Mannings M , och beskriver motståndet som olika ytor har mot vattenflöde. Detta varierar beroende på markanvändning och struktur. Detta är avgörande vid skyfallskarteringar för att förstå vattnets rörelse i området (Sanz-Ramos m. fl., 2021).

Manning ekvationen är en grundläggande ekvation inom hydrologi för att beräkna flödeshastigheten över en yta beroende på ytråheten, landskapets utformning och lutningen i flödesriktningen (Ye m. fl., 2018). Ekvationen beskrivs som:

$$v = M \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Där v är flödeshastigheten (m/s), $M = 1/n$, där n är Manning-talet som beskriver ytråheten, Mannings M har enheten $m^{1/3}/s$, R är vattendjupet i meter och S är lutningen i flödesriktningen i decimalform. Att inkludera Manningstal för olika markanvändningsområden i en modellering, gör att man kan göra en mer exakt representation av vattenflöden och översvämningsrisken, särskilt i områden med varierande markanvändning (Ye m. fl., 2018).

Olika typer av markanvändning påverkar ytråheten och därmed flödeshastigheten (Boulomytis m. fl., 2017). I urbana miljöer, där marken domineras av hårdgjorda ytor som asfalt och betong, är Manning-talet n lågt, vilket innebär högre M -värden och snabb ytavrinning. Detta ökar översvämningsrisken vid intensiva regnhändelser. I motsats till detta har naturliga ytor, såsom skog och åkermark, högre n -värden och därmed lägre M -värden, vilket bromsar vattnets flöde och tillåter mer infiltration (Boulomytis m. fl., 2017).

2.2.3 Regn i skyfallsmodellering

Blockregn och Chicago Design Storms (CDS) används vanligtvis i skyfallsmodellering för att representera regnhändelser, men de har olika användningsområden beroende på modelleringens syfte.

Blockregn innebär att regnet har en konstant intensitet under hela händelsen och används ofta för att representera ett värsta fall scenario (García-Bartual och Andrés-Doménech, 2017). Denna jämna intensitet ger en enkel och effektiv metod för att bedöma det maximala flödet som en yta kan hantera (García-Bartual och Andrés-Doménech, 2017). Den konstanta intensiteten gör blockregn särskilt användbart i inledande analyser av översvämningsrisker i urbana miljöer, där målet är att bedöma områdets kapacitet snarare än dess respons på varierande regnintensiteter (Andrés-Doménech, 2019). I en studie av García-Bartual och Andrés-Doménech (2017), som fokuserade på medelhavsregionens hydrologi, framkom att blockregn kan ge värdefulla uppskattningar för områden där snabb ytavrinning är en riskfaktor, särskilt vid brist på högupplöst nederbördsdata (García-Bartual och Andrés-Doménech, 2017).

CDS-regn är en mer komplex metod som bygger på intensitets-varaktighets-frekvenskurvor (IDF) (Krvavica och Rubinic, 2020). IDF-kurvor beskriver förhållandet mellan regnintensitet, varaktighet och återkomsttid för ett önskat geografiskt område, vilket innebär att CDS kan ge en mer realistisk representation av hur regnintensiteten varierar under ett skyfall. CDS-regnet har en hög intensitet i början av händelsen, men gradvis avtar under tid. Detta mönster liknar generellt naturliga regnhändelser relativt bra och gör att CDS kan ge en realistisk bild av en verklig händelse (Krvavica och Rubinic, 2020).

Matematiskt bygger CDS-regn på en kontinuerlig kurva där regnintensiteten $i(t)$ beskrivs som (Andrés-Doménech, 2019):

$$i(t) = i_0 \cdot f(t) \quad (2)$$

Där i_0 är den maximala intensiteten och $f(t)$ är en funktion som beskriver intensitetsprofilen över tid, ofta med hjälp av en funktion som har en initial intensiv fas följt av en avtagande period (Andrés-Doménech, 2019).

En vanlig metod när man konstruerar nederbörd i skyfallskartering är att applicera en klimatfaktor. Klimatfaktorer är justeringsvärden som används för att uppskatta framtida förändringar för

nederbördens storlek (Feltelius, 2023). Dessa faktorer baseras på klimatmodeller och simulerar hur nederbördsmonster kan förändras under olika klimatscenarier. SMHI arbetar kontinuerligt med att utveckla sina klimatmodeller för att bättre beskriva lokala extremregn idag och i framtiden. En klimatfaktor multipliceras med dagens skyfallsstatistik med en viss procenthalt, exempelvis en klimatfaktor på 1,2 innebär att regnet beräknas öka med 20 % (Feltelius, 2023).

2.2.4 Regnets varaktighet

Varaktighet är ett begrepp som beskriver tidsperioden för en regnhändelse (Mehta m. fl., 2022). En vanlig metod för att konstruera ett designregn (CDS/block-regn), är att sätta varaktigheten för nederbörd till avrinningsområdets koncentrationstid (t_c). Koncentrationstid definieras som den tid det tar för vatten att flöda från den mest avlägsna punkten i avrinningsområdet till dess utlopp. Genom att använda denna tidsperiod som varaktighet i modelleringen kan man säkerhetsställa att hela avrinningsområdet är i full reaktion på regnhändelsen, vilket ger mer realistiska resultat för peakflöde och översvämningsrisker (Mehta m. fl., 2022). Koncentrationstiden kan beräknas med formeln:

$$t_c = \frac{s}{v} \quad (3)$$

där t_c är koncentrationstiden, s är den längsta sträckan i avrinningsområdet och v är vattenhastigheten. Vattenhastigheten bör räknas ut med Mannings formel som beskrivs ovan under stycket markanvändning.

2.2.5 Utmaningar med skyfallsmodellering

Skyfallsmodellering är ett viktigt verktyg för att bedöma översvämningsrisker, men det finns flera utmaningar som måste hanteras (Mehta m. fl., 2022). En av de största utmaningarna är bristen på detaljerad regndata, som högupplösta IDF-kurvor. Utan dessa kan modeller underskatta både peakflöden och översvämningsrisker (Krvavica och Rubinic, 2020). Dessutom är det svårt att bestämma koncentrationstiden exakt, eftersom den påverkas av variationer i terräng och markanvändning (Mehta m. fl., 2022).

En annan svårighet är att korrekt representera ytråhet och infiltration i modellerna (Mehta m. fl., 2022). Det kan vara svårt att välja korrekta Mannings tal och korrekt beskriva markens egenskaper för infiltrationen, detta kan även variera över tid och period på året (Mehta m. fl., 2022).

Klimatförändringar utgör ytterligare en utmaning, eftersom intensiva skyfall förväntas bli vanligare i framtiden. Detta gör det svårt att enbart förlita sig på historisk regndata vid modellering (Krvavica och Rubinic, 2020). Därför är det avgörande att kalibrera modeller noggrant för att förbättra deras tillförlitlighet och förmåga att hantera de ökande utmaningarna med framtida klimat (Mehta m. fl., 2022). Eftersom ingen vet hur klimatet faktiskt ser ut i framtiden så är det omöjligt att skapa en exakt skyfallsmodell, dock kan det grundas i forskning för att göra en så korrekt modell som möjligt. (Mehta m. fl., 2022).

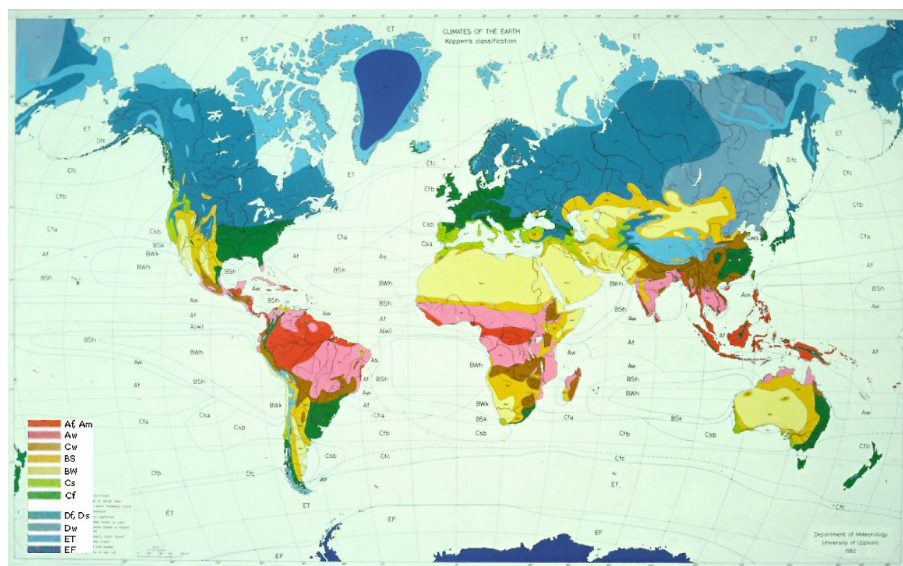
2.3 MSB:s metod för skyfallskartering

Det finns flera olika sätt att kartera skyfallshändelser (MSB, 2023). 2022 gav den svenska regeringen Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) i uppdrag att utveckla en standardiserad metodik för skyfallskartering. Som ett resultat publicerade MSB 2023 rapporten *Metod för skyfallskartering av tätorter*. Vägledningen riktar sig både till beställare och utförare

av skyfallskarteringar och är specifikt anpassad för tätorter, definierade som områden med minst 200 invånare. Rapporten ger en beskrivning av hur kartering bör utföras och beskriver många parametrar såsom återkomsttid, markens råhet, infiltration, ledningsnät, modellens upplösning, klimatfaktorer och mycket mer. Rekommendationerna är framtagna för att passa det svenska klimatet och förutsättningar, med fokus på att minska riskerna för översvämningar i tätorter. (MSB, 2023). Samtliga parametrar utifrån denna rapport presenteras under avsnitt 4.1.1 i resultatdelen, som beskriver Sveriges rekommendation för skyfallskartering.

2.4 Klimatförhållande i studerade länder

Köppens klimatklassificering är ett system som delar in världens klimat i olika zoner baserat på temperatur, nederbörd och vegetation (SMHI, 2023a). Systemet utvecklades av klimatologen Wladimir Köppen och är ett av de mest använda systemen för att beskriva klimatförhållanden på jorden. Det används för att identifiera skillnader mellan regioner och deras klimatologiska egenskaper. Exempelvis representerar kategori D kalltempererade klimat med barrskog, medan kategori C beskriver varmtempererade klimat med lövskog (SMHI, 2023a). I figur 1 visas en världskarta som illustrerar indelningen av klimatzonerna.

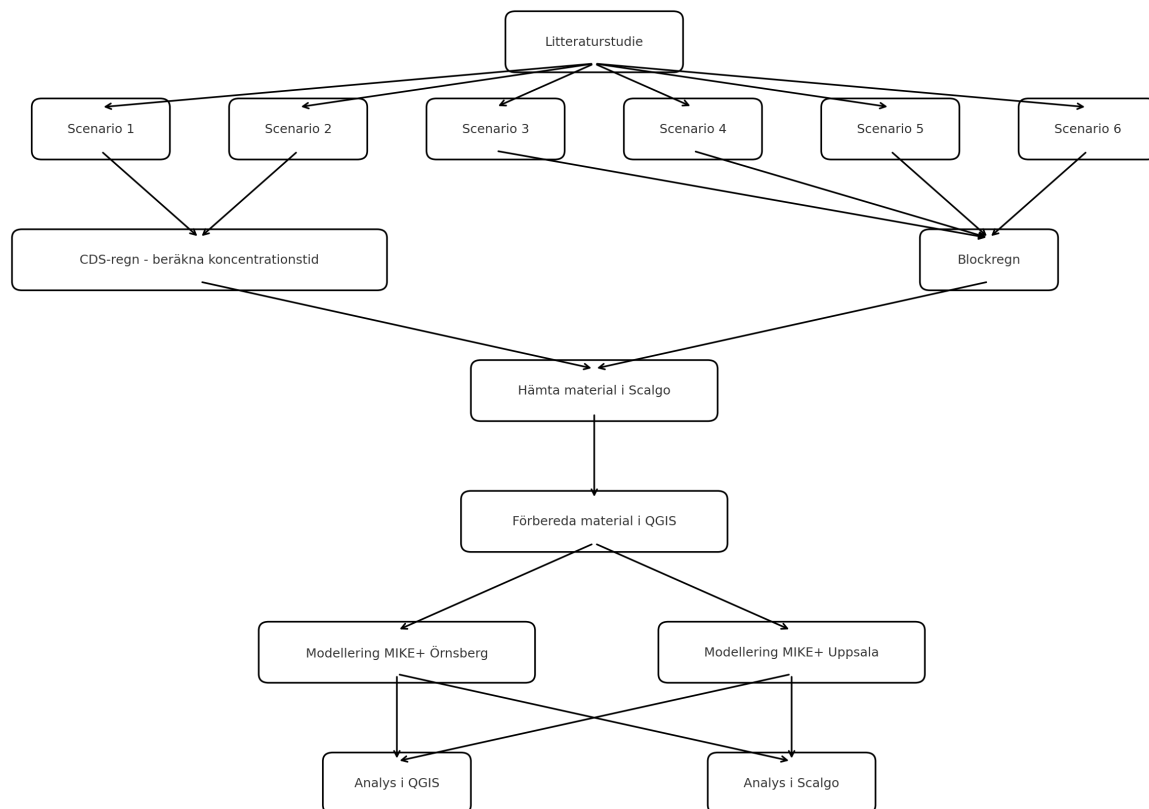


Figur 1: Köppens indelningar av klimatzoner enligt klassificeringen från 1982 (SMHI, 2023a).

I figur 1 framgår att Sverige, Norge och Finland till största del tillhör kategori D, som även kännetecknas av långa, kalla vintrar, svala somrar och sommarregn. Däremot tillhör sydligaste Sverige, Danmark, Nederländerna och Tyskland främst kategori C, som även har mildare vintrar, svala somrar och en mer jämn fördelning av nederbörd över året (SMHI, 2023a).

3 Material och metoder

I detta avsnitt beskrivs metoden som använts för att utföra projektet. Studien inleds med en litteraturstudie och går sedan över i en modelleringsstudie. I figur 2 syns ett översiktligt flödesschema för hur metoden utförts.



Figur 2: Figuren ger en överblick för den metod som har använts för detta projekt.

3.1 Litteraturstudie

I projektet har en litteraturstudie utförts, både för bakgrundsinformation samt för att finna ländernas olika rekommendationer gällande skyfallskarteringar. För bakgrundsinformationen har i första hand vetenskapliga artiklar använts, dessa har hittats via sökmotorer som Uppsala Universitetsbibliotek, Google Scholar, ScienceDirect och Web of Science. Främst valdes artiklar som var Peer-reviewed samt var skrivna i relativ närtid, men i vissa fall valdes även äldre rapporter. I tabell 22 som finns i avsnitt 7.1 i bilagor finns en sammanställning av en del sökord som används för att hitta svenska och engelska vetenskapliga artiklar.

För att kunna besvara frågeställningarna var det nödvändigt att hitta olika länders rekommendationer för utförande av skyfallskarteringar. I Sverige används främst MSB:s rapport *Metoder för skyfallskartering av tätorter: vägledning* (2023), därmed var utgångspunkten främst att hitta liknande rapporter för valda länder. Främst valdes myndighetsrapporter, men i brist på material studerades även vissa kommunalarapporter från länderna. I tabell 23 som finns under avsnitt 7.1 i bilagor, visas de myndigheter och kommuner som användes för respektive land. Utöver det

mailades även myndigheterna eftersom informationen i vissa fall inte var offentlig. Eftersom de flesta rapporter var på landets språk användes Google Translates pdf översättnings funktion för att översätta till svenska.

Litteraturstudien avslutades med att besluta om vilka scenarion som skulle modelleras. På grund av tid valdes endast ett fåtal scenarion ut för att modelleras i MIKE+. I nästa avsnitt om modellering beskrivs scenarierna som bygger på resultaten, en sammanfattning av dem kan finnas i 4.1.7.

3.2 Material och bearbetning inför modellering

I detta avsnitt beskrivs de material och metoder som använts inför modelleringen. Det innefattar den indata som varit nödvändig, samt hur materialet förberetts innan modelleringen kunnat utföras.

3.2.1 Scalgo Live

För att utföra modelleringen behövdes kartor som innehöll information om avrinningsområdets storlek, topografi, markanvändning och jordarter. Denna information hämtades via verktyget *SCALGO Live*, en dansk plattform som används för att analysera översvämnings- och dagvattenrelaterade frågor (Scalgo, u.å.[b]). Plattformen bygger på forskning inom bearbetning av geografisk data och erbjuder omfattande data för flera länder, inklusive Sverige (Scalgo, u.å.[b]).

För att identifiera avrinningsområdet användes verktyget *Watershed Tool* i *SCALGO Live*, med inställningen *Depression Free Flow*. Verktyget genererade ett avrinningsområde, som exporterades som en Shapefil och vidare bearbetades i *QGIS*. Vidare laddades kartor ner för höjddata (DEM), jordartsdata och markanvändningsdata, i tabell 1 syns en sammanställning av samtliga karttyper som laddades ner och källan den ursprungligen kommer ifrån. Jordartskartan laddades ned som shapefil, men övriga kartor som rasterfiler. Dessutom genererade *SCALGO Live* information om områdets längsta rinnsträcka, avrinningsområdets totala area samt lutningen inom området.

Tabell 1: Översikt över karttyper och dataset som använts i denna studie. Markanvändningskartan är baserad på flera datakällor med olika kategorier. All data har hämtats från Scalgo Live, där den är tillgänglig.

Karttyp	Dataset	Organisation	Data inhämtad	Beskrivning
DEM (digital höjdmodell)	Markhöjdmodell, grid 1+	Lantmäteriet	2024-08-20	Höjd- och terrängmodell
Jordartskarta	Jordarter, 1:25000-1:100000	SGU	2024-08-13	Visar jordarternas utbredning
Markanvändnings- karta	Ortfoto Visning Årsvisa	Lantmäteriet	2024-01-25	Markens användning
Markanvändnings- karta	Byggnad Nedladdning	Lantmäteriet	2024-03-11	Markens användning
Markanvändnings- karta	Vägdata	Trafikverket	2024-08-20	Markens användning

3.2.2 Förarbete QGIS

Innan modelleringen kunde påbörjas krävdes viss bearbetning av data i QGIS. *GIS* står för *Geographical Information System* och är ett verktyg för att bearbeta och analysera geografisk data (QGIS documentation, 2024). QGIS är en öppen källkodsversion av GIS som är gratis och innehåller de funktioner som behövdes för detta arbete.

Först importerades kartorna från *SCALGO Live* som lager i QGIS. Eftersom endast data inom avrinningsområdet var relevant klipptes kartorna till avrinningsområdets gränser med hjälp av funktionen *Extract from mask*. Efter detta steg var topografikartan färdig för att exporteras till *MIKE+*. Markanvändningskartan innehöll värden som identifierade olika markanvändningsområden, där exempelvis vegetation och byggnader hade olika numeriska koder. Kartan var redo för export i detta läge. Däremot krävdes både markanvändningskartan och jordartskartan för att skapa en infiltrationskarta för användning i *MIKE+*.

För detta steg identifierades alla hårdgjorda ytor (t.ex. asfalt) i markanvändningskartan med hjälp av verktyget *Raster calculator*, vilket genererade en ny rasterfil med endast dessa ytor. Denna rasterfil konverterades till en shapefil med verktyget *Polygonize (Raster to Vector)*. Därefter kombinerades shapefilen med jordartskartan genom funktionen *Intersection*, vilket skapade en ny fil som inkluderade både jordarter och hårdgjorda ytor. I den resulterande filens *attributtabell* lades en ny kolumn till, där varje jordart och de hårdgjorda ytorna tilldelades ett numeriskt värde. Detta underlättade den fortsatta bearbetningen i *MIKE+*. Den kombinerade shapefilen konverterades slutligen till en rasterfil med hjälp av funktionen *Rasterize (Vector to Raster)*, vilket resulterade i en färdig infiltrationskarta.

En viktig notering är att alla slutgiltiga filer som skulle importeras till *MIKE+* behövde konverteras till *ASCII-format*, vilket är en typ av rasterfil.

3.3 Modelleringsstudie i MIKE+

MIKE+ är ett avancerat modelleringsprogram för vattenhantering i urbana miljöer, utvecklat av Danish Hydrology Institute (DHI) (DHI, u.å). Programmet används globalt för att analysera och simulera flöden i dagvattennät, avloppssystem och andra hydrologiska processer i städer. *MIKE+* bygger på en modulär struktur, vilket innebär att användaren kan anpassa modelleringen beroende på vilka specifika aspekter som ska studeras, såsom ytavrinning eller ledningsnät (DHI, u.å). Detta gör det särskilt användbart för att modellera översvämningar och bedöma effekterna av skyfall.

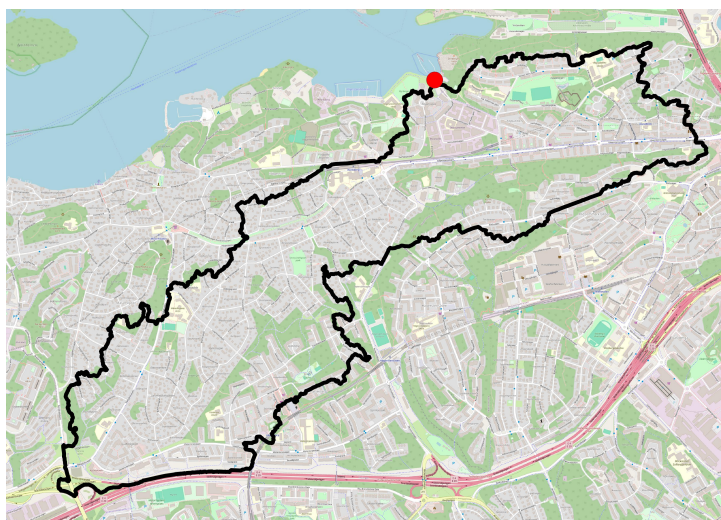
Programvaran kombinerar hydrologiska scenarion med geografiska data, vilket gör det möjligt att skapa detaljerade scenarier av vattenflöden och översvämningssrisker (DHI, u.å). För att uppnå detta används data som topografi, markanvändning, infiltration och nederbördsmonster, vilka inkluderas i modellen via GIS-baserade filformat som shape- och rasterfiler. Ett av de unika verktygen i *MIKE+* är dess förmåga att hantera komplexa regnformat, exempelvis blockregn och CDS-regn (Chicago Design Storm), för att simulera olika intensiteter och varaktigheter av nederbörd. Detta gör det möjligt att utvärdera hur olika typer av regn påverkar ett område och identifiera kritiska punkter för översvämning (DHI, u.å).

Utifrån litteraturstudien togs 6 scenarion fram för att modelleras i *MIKE+*, där alla scenarion modellerades över två områden. Områdena var Örnberg i södra Stockholm och ett område som ligger centralt i Uppsala, tydligare områdesbeskrivningar presenteras i nästa avsnitt. De scenarion som modelleras är som följande, och beskrivs nu för att metoden ska bli lättare att följa.

- a) Sverige: 100 årsregn med varaktighet baserad på avrinningsområdets koncentrationstid. Regnet är designat som ett CDS-regn.
- b) Sverige: 250 årsregn med varaktighet baserad på avrinningsområdets koncentrationstid. Regnet är designat som ett CDS-regn.
- c) Nederländerna: 100 årsregn med två timmars varaktighet i form av ett blockregn, följt av en torrperiod på fyra timmar.
- d) Nederländerna: 250 årsregn med två timmars varaktighet i form av ett blockregn, följt av en torrperiod på fyra timmar.
- e) Tyskland: 100 årsregn med en timmes varaktighet. Regnet är utformat som ett blockregn, följt av en torrperiod på fem timmar.
- f) Tyskland: Scenario med 90 mm nederbörd under en timme. Regnet är utformat som ett blockregn, följt av en torrperiod på fem timmar.

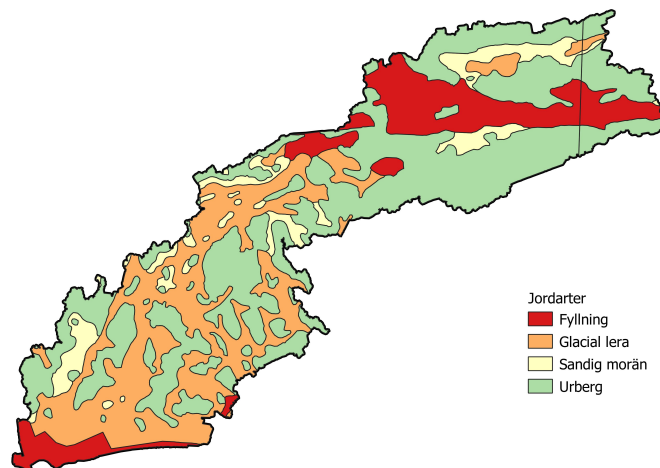
3.3.1 Områdesbeskrivning Örnberg

Avrinningsområdet för Örnberg ligger i södra Stockholm och avrinningsområdet är 2.92 km². Den längsta rinnsträckan är cirka 5 705 m (Scalgo, u.å.[a]). I figur 3 syns avrinningsområdet för Örnberg där utloppet är markerat.



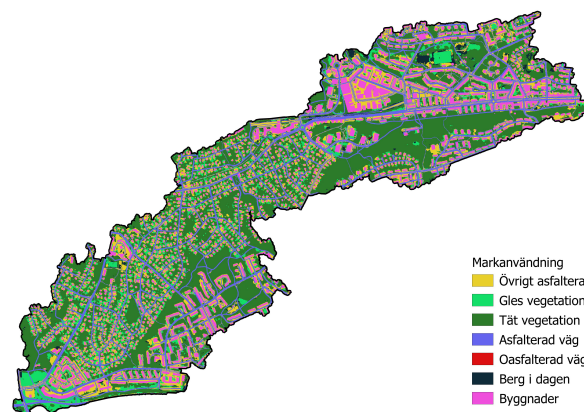
Figur 3: Avrinningsområdet för Örnberg, där den röda markören visar vart utloppet för området är. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024 och fanns i QGIS. Avrinningsområdet hämtades som shapefil från Scalgo Live (2024).

Avrinningsområdet runt Örnberg har en jordartsprofil som är 49 % urberg, 28 % glacial lera, 15 % fyllning och 8% sandig morän (Jordartskartan i figur 4).



Figur 4: Jordartskartan över Örnberg. Datan kommer ifrån SGU men kartan är hämtad från Scalgo Live och bearbetad i QGIS. © SGU (2024)

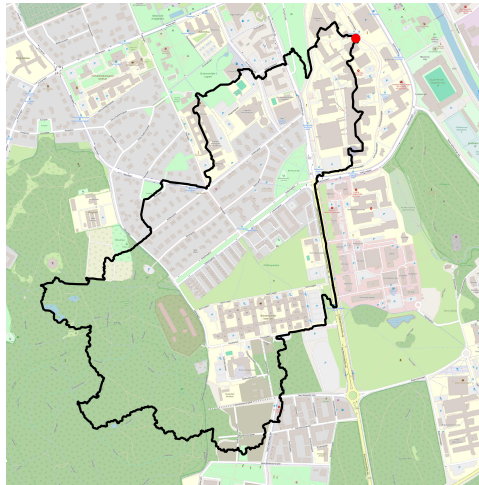
Vidare så är marktäcket 52 % naturligt och 48 % artificiellt. Av det naturliga så är 41 % tät vegetation, 10 % gles vegetation och 1 % berg i dagen. Det artificiella marktäcket består till 17 % av asfalterade vägar, 17 % av andra asfalterade ytor och 14 % av byggnader (Scalgo, u.å.[a]). Marktäcket syns i figur 5.



Figur 5: marktäckedatan över Örnberg. Datan kommer ifrån Lantmäteriet och Trafikverket men kartan är hämtad från Scalgo Live och bearbetad i QGIS. © Lantmäteriet (2024), och Trafikverket (2024).

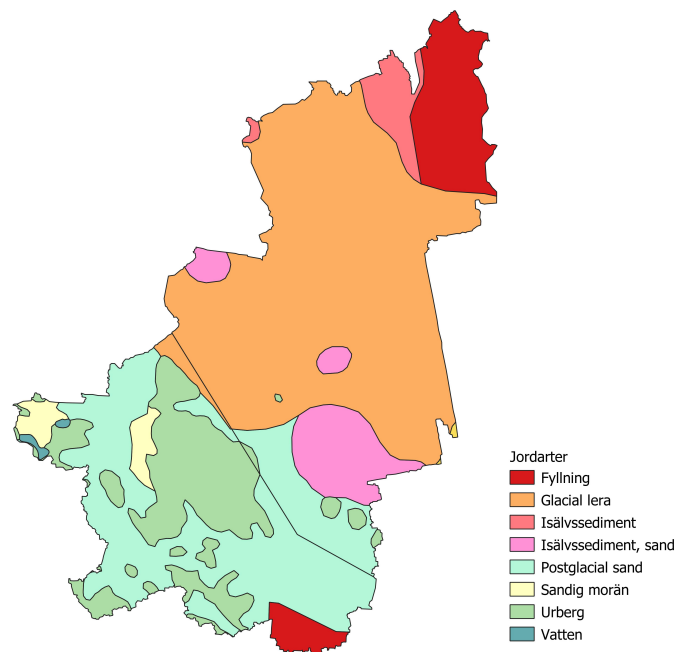
3.3.2 Områdesbeskrivning Centrala Uppsala

Avrinningsområdet ligger i centrala Uppsala och är 0.91 km² där längsta rinnsträcka är 3 164 m (Scalgo, u.å.[a]). Avrinningsområdet syns i figur 6 där utloppet har en röd markering.



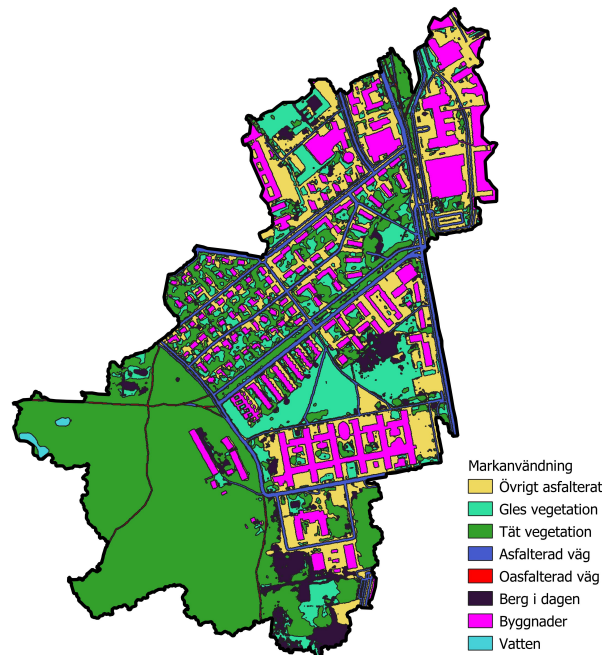
Figur 6: Avrinningsområdet över centrala Uppsala där den röda markören visar områdets utlopp. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024 och fanns i QGIS. Avrinningsområdet hämtades som shapefil från Scalgo Live (2024).

Jordartsprofilen i området består av 44 % glacial lera, 23 % postglacial sand, 9 % fyllning, 6 % isälvsediment sand, 3 % isälvsediment, 2 % sandig morän och 13 % urberg (figur 7) (Scalgo, u.å.[a]).



Figur 7: Jordartskartan över Uppsala, med en legend som visar vilken färg som representerar vilken jordart. Datan kommer ifrån SGU men kartan är hämtad från Scalgo Live och bearbetad i QGIS. © SGU (2024)

Marktäcket för området är till 57 % naturligt och 43 % artificiellt. Av det naturliga är 38 % tät vegetation, 14 % gles vegetation och 5 % icke asfalterade vägar. Av det artificiella så är 20 % asfalterade ytor, 14 % byggnader och 9 % asfalterade vägar (Scalgo, u.å.[a]). Den kartan syns i figur 8.



Figur 8: Uppsalas markanvändningsdata för ett avrinningsområde i centrala Uppsala. Till höger i figuren syns en legend som beskriver markanvändningsområdena. Datan kommer ifrån Lantmäteriet och Trafikverket men kartan är hämtad från Scalgo Live och bearbetad i QGIS. © Lantmäteriet (2024), och Trafikverket (2024).

3.3.3 Generella steg för MIKE+

Innan modelleringen i MIKE+ kunde påbörjas krävdes inladdning av de förberedda filerna från QGIS. Dessa rasterfiler omvandlades till DFS2-format, vilket är ett tvådimensionellt datalagringsformat som används i MIKE-programvaran för att hantera rumsligt varierande data över tid. Omvandlingen gjordes i *MIKE Zero Toolbox* med funktionen *Grd2Mike*. När filerna hade konverterats kunde de importeras i MIKE+ under respektive flik.

1. Topografi: Under fliken *2D Domain* laddades topografi filen in, där domäntypen sattes till *rectangular grid*. För att säkerställa att all nederbörd samlas inom avrinningsområdet och förhindra flöde över gränserna skapades en "vägg" genom att höja marknivå till 100 meter utanför avrinningsområdet. Detta färdigställde topografin.
2. Ytråhet: I fliken *2D Surface Roughness* sattes ytråheten till att variera inom domänen, och DFS2 filen med värden för den varierande markanvändningen importerades. Sedan byttes dessa värden ut mot de värden för Manningstal som stämde överens med markanvändningen. Eftersom dessa värden bygger på MSB:s rekommendationer som var en del av litteraturstudien så finns tabellen som innehåller värdena för Manningstal i tabell 3 under avsnitt 4.1.1 i resultat. De värden som jag valde utifrån rekommendationerna finns i tabell 24 under avsnitt 7.2 i bilagor.

3. Infiltration: Under fliken *2D Infiltration* valdes alternativet variera i domänen för infiltrationen. DFS2-filen med infiltrationskartan importerades. Sedan kopierades filen för att skapa fem likadana flikar för: infiltrationskapacitet, läckhastighet, porositet, zonens djup och mätnadsgrad. Sedan byttes respektive kategori ut till jordartens egna värde för specifik egenskap. Infiltrationskapaciteten, porositeten och mätnadsgraden bygger på MSB:s rekommendationer från litteraturstudien och i tabell 4 under avsnitt 4.1.1 syns dessa. MSB gav inga rekommendationer för läckhastighet eller zonens djup, där användes istället en skyfallsmodellering utförd av Stockholm Vatten och avfall tillsammans med WSP (WSP, 2018) som grund för de värdena. I tabell 25 som finns i bilagor under avsnitt 7.2 syns en sammanställning av värden valde för alla egenskaper.
4. Nederbörd: Nederbördsfiler designades under fliken *2D Precipitation and Evaporation*, där nettonederbörden valdes eftersom avdunstningen inte skulle påverka resultatet i denna studie. Blockregnen skapades direkt i MIKE+, medan CDS-regnen designades i ett Excel-ark från Tyréns. Detta beskrivs tydligare i nästa avsnitt.

3.3.4 Beräkning av regn

För att utforma de olika skyfallen användes SMHI:s skyfallsstatistik, som är anpassad efter geografiska regioner i Sverige (se figur 9). Både Örnberg och Uppsala tillhör sydöstra Sveriges klassificering, vilket var utgångspunkten för metoden. Metoden är tagen ifrån SMHI:s rapport Extremregn i nuvarande och framtida klimat (2017) (Olsson m. fl., 2017).



Figur 9: Detta är SMHI:s indelning av Sveriges nederbördszoner och varje zon har sin egen nederbördsdata (Olsson m. fl., 2017).

Regnvolymen beräknades enligt formel 4, där återkomsttiden och varaktigheten var bestämda parametrar. Varaktigheten fastställdes enligt scenario c till f, medan scenarierna a och b krävde beräkning av koncentrationstiden (beskriven i avsnitt 2.2.4 i bakgrunden).

$$R = k(T) \cdot V^{p(T)} \quad (4)$$

Där R är regnvolymen i mm, V är varaktigheten i minuter, T är återkomsttiden i år samt $k(T)$ och $p(T)$ är paramtererfunktionerna 5 och 6. Dessa ekvationer syns nedanför.

$$k(T) = a1 \cdot T^{a2} + a3 \quad (5)$$

där $a1$, $a2$ och $a3$ är parametrar som är anpassade efter de fyra regionerna som SMHI delar in nederbörd i. Värdena för sydöstra regionen syns i tabell 2. Parametrarna är enhetslösa.

$$p(T) = b1 \cdot T^{b2} + b3 \quad (6)$$

där $b1$, $b2$ och $b3$ också är parametrar som är anpassade efter de fyra regionerna som SMHI delar in nederbörd i. Värdena för sydöstra regionen, som Örnsberg och Uppsala ligger i, syns i tabell 2. Parametrarna är enhetslösa.

Tabell 2: Tabellen visar parametervärdena som används för att kunna beräkna regnvolymen. Värdena för dessa parametrar bygger på en sannolikhetsfördelning som SMHI har utfört, och då kunnat ta fram dessa konstanter (Olsson m. fl., 2017). Dessa parametrar är enhetslösa.

Region	a1	a2	a3	b1	b2	b3
Sydöst	3,29980	0,24601	0,26877	-0,02037	-0,12853	0,07193

För blockregnen, som användes i scenario c till f, kunde ekvation 7 användas för att beräkna intensitet av regnen.

$$I = R/V \quad (7)$$

När intensiteten var beräknad skapades en Excel fil för respektive regn med en minuts tidssteg i en tidsserie på sex timmar. Sedan applicerades intensiteten för scenario c och d över de två första timmarna, för scenarierna e och f över den första timmen följt av 4 respektive 5 timmar av inget regn.

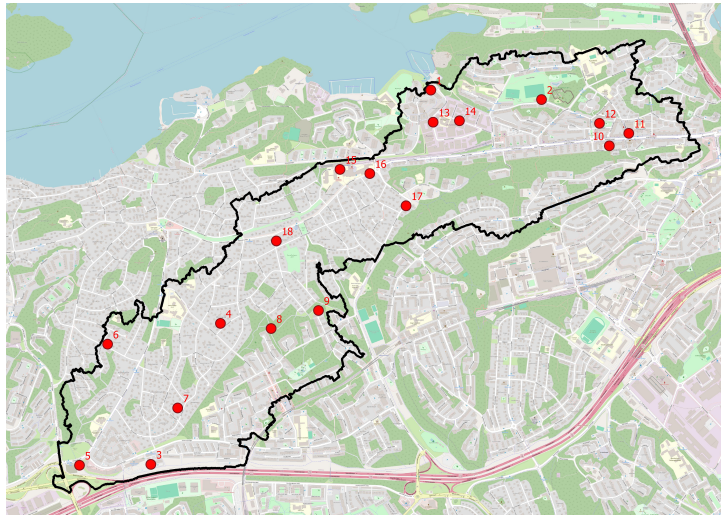
Scenario a och b använde samma regnvolymsekvation (4), men varaktigheten bestämdes genom koncentrationstidens beräkning (ekvation 3 under avsnitt 2.2.4 i bakgrunden). Där den längsta sträckan och lutningen hämtades ifrån SCALGO Live. Värdet för Manningstal togs ut genom att multiplicera de procentandelar från respektive markanvändningsområde med det värde för Manningstal som MSB rekommenderade. På så vis fick man ut ett representativt värde för Manningstal för avrinningsområdet. Vattendjupet sattes till 0,005 meter enligt Svenskt Vattens rekommendationer (Svenskt Vatten, 2016).

För att skapa CDS-regnet så hade Tyréns ett färdig programmerat Excel-ark där man applicerade önskad återkomsttid och varaktighet. Då skapade den en utdatafil baserat på de tidigare nämnda ekvationerna, där regnintensiteten varierade över tid. Excel-arket var utformat på så vis att den hade en skevhetsfaktor (r), som hjälpte till att forma regnet. $r = 0,37$, vilket gjorde att det mest intensiva regnet skedde efter 37 % av regnets varaktighet.

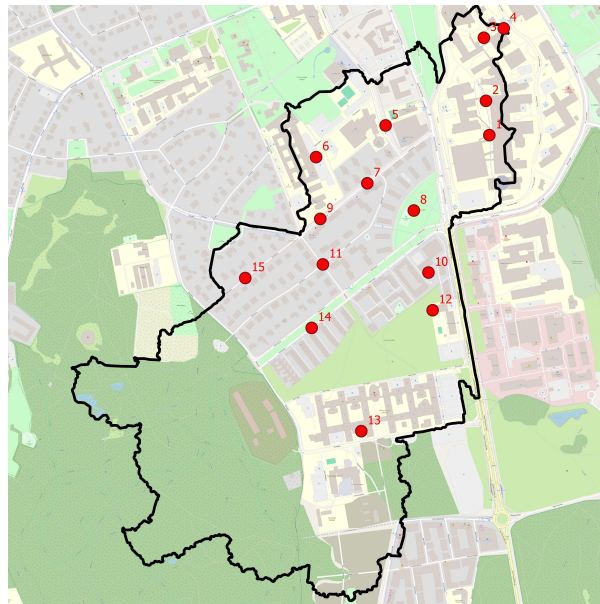
3.3.5 Resultat och bearbetning i QGIS och SCALGO Live

Efter att alla filer var utformade kunde modellen köras och resultatfiler skapades för maximalt vattendjup, vattenhastighet och vattenflöde. Utdatafilerna var DFS2 filer, och omvandlades till rasterfiler igen på samma vis som tidigare beskrivet. Resultatfilerna laddades in i QGIS för att skapa kartor och visualisera resultaten. Även kartor skapades för att visa skillnaderna mellan vattendjup, vattenhastighet och vattenflöde. Detta gjordes genom att Sveriges 100 års scenario valdes som grundscenario (referens) och nollpunkt. Sedan användes *rasterkalkylatorn* i QGIS för att ta de andra scenarierna minus Sveriges 100 års scenario. På så vis skapades en

ny rasterfil som innehöll positiva och negativa värden, som kunde användas för att jämföra om man hade högre eller lägre värden än Sveriges 100 års scenario. Eftersom det var svårt att läsa av skillnaderna mellan resultaten i kartorna plockades även observationspunkter ut för både områdena, där en tabell kunde skapas med värden för vattendjup, vattenhastighet och vattenflöde istället. I figurerna 10 och 11 syns placeringarna för observationspunkterna för Örnsberg respektive Uppsala. observationspunkterna togs ut i både lågpunkter och högpunkter, samt i olika markanvändningsområden. Fler punkter valdes ut i de bebyggda områdena.



Figur 10: Oobservationspunkter som togs ut över Örnsberg, de valdes över hela avrinningsområdet med varierande topografier och främst i bebyggda områden. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.



Figur 11: Placeringarna för observationspunkterna i Uppsalas avrinningsområde. De valdes ut över stora delar av avrinningsområdet, med höga och låga topografier. Framförallt valdes det att ta observationspunkter i de bebyggda områdena. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

Resultatfilerna för flödena laddades även in i SCALGO Live som DFS2 filer, detta då man kunde få ut tydliga grafer som illustrerade flödesförändringarna över hela modelleringsperioden över en tvärsektion vid utloppet.

4 Resultat

I detta avsnitt presenteras resultatet från litteraturstudien och modelleringsstudien. Resultatet från litteraturstudien är en sammanfattning av de rekommendationer som funnits i myndighetsrapporter och andra viktiga källor. Sedan kommer avsnittet som beskriver resultatet från de olika modelleringsscenarierna.

4.1 Resultat från litteraturstudien

I denna del presenteras resultaten av litteraturstudien för respektive land.

4.1.1 Sverige

MSB skapade 2023 en rapport som heter *Metod för skyfallskartering av tätorter: vägledning*, det är denna som ligger huvudsaklig grund för Sveriges rekommendationer.

Vid val av återkomsttid för risk- och känslighetsanalyser rekommenderar MSB att två scenarion ska modelleras inom intervallet 50 och 1000 år (MSB, 2023). För fysisk planering rekommenderas det att studera ett skyfall på minst 100 år och ska baseras på områdets/byggnadernas förväntade livslängd. Generellt är riktlinjen att återkomsttiden i skyfallskarteringarna ska ligga närmre 100 år, och att över 1000 års återkomsttid inte är relevant för svenska förhållanden (MSB, 2023).

För att beskriva markens råhet i skyfallsmodeller rekommenderas att använda Manningstal (MSB, 2023). De rekommenderade startvärdena för Manningstal syns i tabell 3. Startvärdena rekommenderas att anpassas efter lokala förhållanden med $\pm 20\%$ av startvärdena.

Tabell 3: MSBs rekommendationer för startvärden av Mannings tal.

Markanvändning	Manningstal M $m^{1/3}/s$
Takytor	50
Vattenytor (ex. hav och sjöar)	50
Vattenstråk (hydrografflinjer)	20
Vägar	70
Övriga vägar och hårdgjorda ytor (ex. tog och parkeringar)	40
Järnvägar med krossat material	5
Tät bebyggelse med hög andel hårdgjorda ytor (ex. sluten bebyggelse och industriområden)	30
Övrig bebyggelse	15
Kalfjäll (berg i dalen)	30
Skog och åkermark med buskar	5
Övrig öppen mark med låg vegetation	20

I vägledningen från MSB anges två metoder för att hantera infiltration i skyfallsmodeller. För enklare analyser används ofta ett schablonavdrag, där infiltrationskoefficienten sätts till ett värde mellan 0,7 och 1,0 av den totala nederbördsbelastningen (MSB, 2023). Detta innebär att regnet reduceras med en vald faktor, som bestäms utifrån områdets egenskaper. Vid fördjupade analyser rekommenderar MSB antingen ett mer anpassat schablonavdrag eller användning av en infiltrationsmodul. Om ett schablonavdrag används i fördjupade analyser bör det justeras efter faktorer som jordartens egenskaper, andelen genomsläppliga ytor, topografi och regnets intensitet. För infiltrationsmoduler ska infiltrationen modelleras med faktorer som markanvändning, jordarter och markens mätnadsgrad. I MSB:s rapport från 2023 ges riktlinjer och intervall för dessa jordartsegenskaper: infiltrationskapacitet, porositet och mätnadsgrad, vilket syns i tabell 4. Intervallen för infiltrationskapacitet och porositet är breda för att möjliggöra anpassning till lokala förhållanden, exempelvis påverkad jordstruktur på grund av kompaktering eller variationer i jordens sammansättning. MSB nämner också vikten av att inkludera grundvattennivåer och markfuktighet i infiltrationsmodellerna. Eftersom skyfall oftast inträffar under sommarmånaderna i Sverige rekommenderas att modellen utgår från att marken är torr och grundvattennivåerna låga. Vid skyfallskarteringar rekommenderas också att simulera scenarier helt utan infiltration för att undersöka extrema förhållanden och hur dessa påverkar ytavrinningen (MSB, 2023).

Tabell 4: Detta är tabellen som MSB har sammanfattat för skyfallskartering av tätorter, tabellen visar olika jordarters minimum och maximum värden för infiltrationskapacitet, porositet och mätnadsgrad. Värden ska anpassas efter lokala förhållanden (MSB, 2023).

Jordartsklass	Infiltrationskapacitet (mm/h)		Porositet (%)		Mätnadsgrad (%)
	min	max	min	max	
Grus	36 000	3 600 000	30	50	15
Sand	36	360 000	25	50	10
Morän	0.000036	36	15	25	20
Silt	0.036	360	30	60	30
Ler	0	0.036	45	75	35
Gyttja, torv	0.018	180	80	95	20
Matjord	0.00036	3.6	40	60	20
Berg	0	114	5	15	10
Vatten, glaciär	0	0	0	0	100

För att modellera regn i Sverige rekommenderas antingen ett blockregn eller CDS-regn, dock styrker det att för skyfallskarteringar är det bättre att välja ett typregn där intensiteten varierar över tid (CDS-regn) (MSB, 2023). Rekommendationerna för regnets varaktighet är mellan 5 minuter och 24 timmar, dock rekommenderas det att välja så att varaktigheten är lika med avrinningsområdets koncentrationstid, som ska vara baserat på områdets storlek och karaktär (MSB, 2023).

Vid utformningen av nederbörden rekommenderas det även att tillämpa en klimatfaktor, som ska bestämmas efter klimatscenario och tidshorisont (MSB, 2023). MSB utgår ifrån RCP-scenarier, varaktighet och återkomsttid och har värden för scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Vid skyfallskartering ska främst RCP 8.5 användas för fysisk planering. I Tabell 5 syns de rekommenderade klimatfaktorerna för skyfallskartering i Sverige.

Tabell 5: I tabellen syns MSBs rekommendation gällande klimatfaktor och hur många procent man bör applicera beroende på varaktighet och klimatscenario. Bedömningen i botten av tabellen är en sammanställning av klimatfaktor för samtliga varaktigheter och återkomsttider för hela landet (MSB, 2023).

Varaktighet (timmar)	2011-2040 (%)		2041-2070 (%)		2071-2100 (%)	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
1	9	11	14	20	21	36
2	9	11	15	20	22	38
3	9	11	17	20	21	40
6	7	12	17	21	19	41
12	9	10	15	20	18	38
Bedömning	10	10	15	20	20	40

För att resultaten ska bli tillräckligt tillförlitliga måste höjdmodellen vara tillräckligt detaljerad. En upplösning på 1-5 kvadratmeter rekommenderas för att beskriva urbana strukturer såsom vägar och byggnader. Höjdmodeller i tätorter bör ha en upplösning på 1-2 kvadratmeter. Modellens upplösning varierar beroende på analysens detaljeringsgrad. Vid förenklade analyser används en upplösning på 8 kvadratmeter, vid detaljerade analyser 4 kvadratmeter, och vid fördjupade analyser 2 kvadratmeter. För tätorter rekommenderas lägsta upplösningen på 5 kvadratmeter, och vid vägar bör den vara så låg som 2 kvadratmeter (MSB, 2023).

4.1.2 Norge

I Norge kommer de flesta rekommendationer från myndigheten Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). En sammanhängande rapport såsom den MSB har skapat har inte funnits från Norge, dock finns flera olika rapporter på myndighetens hemsida som använts för att sammanställa resultaten.

I Norge rekommenderas det att utföra detaljplaner för en nederbörd med 200 års återkomsttid (Pedersen m. fl., 2022). Dock anses det att ett klimatjusterat 100 års regn generellt är större än dagens beräknade 200 års regn, därmed använder de 100 års regn för deras skyfallskartering (Pedersen m. fl., 2022). Utöver det rekommenderas kommuner att kartlägga effekterna av regn som ger 60 till 80 mm nederbörd på en timme över tätbebyggda områden, för att kunna förutse potentiella skador och förutse behov för beredskap (miljødirektoratet, 2024).

I Norge rekommenderas det att använda Manningstal för att beskriva markens råhet i skyfallskarteringar (NVE, 2023). De värden som Norge rekommenderar för Manningstal syns i tabell 6. Tabellen är en sammanfattning av de markanvändningar som kan vara intressanta för tätorter, tabellen i källan var väldigt omfattande och inkluderar markanvändning som inte är intressant för tätorter.

Tabell 6: Rekommendationer för värden på Manningstal, från en hemsida som NVE rekommenderar (Fergus m. fl., 2019).

Markanvändning	Manningstal M $\text{m}^{1/3} / \text{s}$
Asfalt	60-80
Betong	76-91
Jordkanaler	40-60
Naturliga vattendrag (gräsbevuxna strandkanter)	16-25
Naturliga vattendrag (trädbevuxna)	20-33
Skogsområden (tät vegetation)	20-29

NVE rekommenderar att ha ett satt värde för infiltrationshastighet över hela modellområdet (Pedersen m. fl., 2022). NVE har utfört mätningar av infiltrationshastigheten och har därmed satt att den bör ligga mellan 10^{-3} och 10^{-5} m/s, förutsatt att översta jordlagret inte är mättat. Generellt nämner de dock att man kan ansätta infiltrationshastigheten till 10^{-5} m/s för alla gröna-/jortäckta områden (Pedersen m. fl., 2022).

Vid skapandet av regnsekvenser rekommenderar NVE att använda sig av CDS-regn (Tvedalen m. fl., 2023). Varaktigheten ska baseras på avrinningsområdets koncentrationstid (Tvedalen m. fl., 2023). Norge använder sig av klimatfaktor för att kartera framtidens nederbördsintensiteter, dessa baseras utifrån regnets varaktighet och tidshorisont (Dyrrdal och Førland, 2019). I tabell 7 sammanfattas Norges rekommendationer gällande klimatfaktor.

Tabell 7: Tabellen visar Norges klimatfaktorer för olika årsintervall i framtiden och regnets varaktighet. Klimatfaktorn ges i procent för de olika scenarierna (Dyrrdal och Førland, 2019).

Årsintervall	Klimatfaktor Varaktighet <1h (%)	Klimatfaktor Varaktighet 1-3h (%)	Klimatfaktor Varaktighet 3-24h (%)
<50 år	40	40	30
>50 år	50	40	30

Generellt rekommenderar Norge att modellernas upplösning ska vara på 1 kvadratmeter, dock vid känslighetsanalyser i tätorter bör modellerna ha en upplösning på 0,5 kvadratmeter (Tvedalen m. fl., 2023).

4.1.3 Danmark

Danmark hänvisar för det mesta i deras myndighetsrapporter att deras metod hänvisas till DHI, alltså skaparna av programvaran MIKE+. Därmed baseras vissa delar av dessa resultat från DHI:s rapporter annars kommer majoriteten av resultaten från myndigheten Kystdirektoratet.

I Danmark rekommenderas det att skyfallskarteringar ska baseras på klimatanpassade 100 års regn (Krüger m. fl., 2022). I de nationella riktlinjerna som Danmark tagit fram finns ingen explicit beskrivning av hur råhet och infiltration ska hanteras (Kystdirektoratet, 2016), dock hänvisar generellt Kystdirektoratet till DHI:s sidor och deras sätt att välja värden och metoder

för hydrologiska modeller. För ytavrinning i urbana miljöer rekommenderar DHI att använda sig av modelleringsverktyget MIKE+ (DHI, u.å). MIKE+ erbjuder flera metoder för att modellera infiltration (DHI, 2024). Valet av metod och dess parametrar bör baseras på lokala markegenskaper och hydrologiska förhållanden för att säkerställa realistiska simuleringar. Några parametrar de rekommenderar att inkludera är infiltrationshastighet, markens fuktighet, läckhastighet, porositet och markens mäktighet. Dock har inga specifika värden funnits för dessa jordartsegenskaper. För råhet beskriver DHI att de använder sig av Manningstal och de betonar vikten av att anpassa värdena efter lokala förhållanden och kalibrera modellen mot fältdata (DHI, 2024). Dock hittades ingen tydlig rekommendation för värden på Mannings M.

För att skapa regnsekvenser rekommenderar Danmark CDS-regn som standardmetod (Krüger m. fl., 2022). Danmarks rekommendationer säger att man bör applicera en klimatfaktor på nederbörden. De baserar dessa på IPCCs utsläppscenarion RCP4.5 och RCP8.5. För scenarion som är efter 2050 rekommenderas enbart att använda klimatfaktor anpassat efter RCP8.5 (Forsyning, 2016). I tabell 8 syns de värden som Danmark rekommenderar för klimatfaktor baserat på återkomsttid och varaktighet. I Norge benämner de RCP4.5 som standard klimatfaktor, och RCP8.5 som hög klimatfaktor.

Tabell 8: Klimatfaktorer påverkat av regnets återkomsttid för olika framtida tidsintervall (Forsyning, 2016).

Återkomsttid (år)	<50 år		50-70 år		>70 år	
	Standard klimatfaktor (%)	Hög klimatfaktor (%)	Standard klimatfaktor (%)	Hög klimatfaktor (%)	Standard klimatfaktor (%)	Hög klimatfaktor (%)
2	10	23	14	32	20	45
10	15	35	21	49	30	70
100	20	50	28	70	40	100

Höjdmodellen som används i Danmark har ett rutnät med en cellstorlek på 0,4 kvadratmeter (Kystdirektoratet, 2016). För en noggrann skyfallskartering rekommenderas det att tillsätta så modellens upplösning är 1 kvadratmeter, dock används i praktiken ofta en rutstorlek på 2 till 4 kvadratmeter (Kystdirektoratet, 2016).

4.1.4 Finland

I Finland fanns en guide som översätts till *Dagvattenguiden* som är skriven av myndigheten Kuntaliitto, den påminner till stor del om MSBs skyfallsguide. Det är främst ifrån den som resultatet bygger på.

I Finland rekommenderas att utföra två skyfallskarteringar, en för ett 100 års regn och en för ett 200 års regn (Kuntaliitto, 2012). Finland räknar med att nederbörden kommer öka med cirka 20 % från 2071 till 2100, därmed rekommenderas att använda en klimatfaktor på 1,2 när man modellerar inom den tidshorisonten (Kuntaliitto, 2012).

För att beskriva markens råhet i Finland använder de sig av Manningstal (Kuntaliitto, 2012). I Finlands rekommendationer står talen i skrovlighetskoefficienten (n), högerkolumnen är därmed omvandlad för att kunna jämföra med övriga länder som beskriver i Mannings M. I tabell 9 hittas rekommenderade skrovlighetskoefficienterna och Mannings M.

Tabell 9: Skrovlighetsfaktor och Manningstal som Finland rekommenderar (Kuntaliitto, 2012). Jag har beräknat Manningstal och konverterat genom $M = 1/n$.

Markanvändning	Skrovlighetsfaktor n (-)	Manningstal M ($\text{m}^{1/3}/\text{s}$)
Grus och Sand	0,02–0,03	33,33–50,00
Lera och Silt	0,03–0,04	25,00–40,00
Platt grässluttning	0,04–0,07	14,29–25,00
Ojämn grässluttning	0,07–0,12	8,33–14,29
Mycket växtlighet	0,08–0,15	6,67–12,50
Asfaltyta	0,01–0,02	62,50–76,92
Betongränna	0,01–0,02	55,56–76,92

För infiltration betonas vikten av att beakta markegenskaper som tjockleken på det omättade jordlagret, jordartens porositet och jordlagerordning (Kuntaliitto, 2012). Dessa faktorer är centrala för att förstå grundvattenförhållanden. Dessutom kan jordartens konduktivitetsvärden och jordens lagringskapacitet vara värdefulla att inkludera för en mer detaljerad beskrivning av markens egenskaper. Även om dagvattenguiden inte ger detaljerade instruktioner för hur dessa parametrar ska tillämpas i modeller, framhålls att de bör beaktas. Åbo kommun rekommenderar däremot att använda avrinningskoefficienter baserade på områdets markanvändning och fältmätningar (kaupunki, 2013). De värden som tillämpas för olika urbana miljöer framgår i tabell 10.

Tabell 10: Åbos avrinningskoefficienter som de beräknar med.

Markanvändning	Avrinningskoefficient (-)
Småhusområden	0,10–0,20
Tätt område med små hus	0,15–0,25
Mycket tätt område med småhus	0,20–0,30
Radhus eller dylikt	0,30–0,50
Industri- och affärsområden, skolor, lägenhetsområde	0,40–0,60
Mycket tätt bostadshusområde	0,50–0,80
Skog	0,05–0,20
Trafikplats-asfalterad	0,70–0,80
Trafikplats-grus	0,35–0,40
Åker, äng, gräs	0,15–0,35
Grusfält	0,20–0,40
Vatten	1,00

Finland rekommenderar att använda sig av CDS-regn för att konstruera regnsekvenser (Kuntaliitto, 2012). För att skapa regnet bör man välja en hög intensitet med kort varaktighet för att se hur sådana regn påverkar urbana områdena (Kuntaliitto, 2012).

4.1.5 Tyskland

För Tyskland finns ingen specifik rapport som beskriver en generell metod för hela landet. Däremot har delstaten Landesamt für Umwelt Brandenburg tagit fram en guide för vissa parametrar. I denna guide hänvisas även till den nationella metoden, dock har inte den nationella guiden funnits. Därmed baseras mycket av informationen på riktlinjerna från delstaten Brandenburg.

I rekommendationen har de tagit fram tre förslag om hur skyfallsmodelleringen bör gå till enligt den Tyska delstaten Landesamt für Umwelt Brandenburg (Ministerium für Umwelt, 2018). Den är som följande:

1. En sällsynt händelse som inträffar oftare än en 100 års händelse, och som väsentligt överstiger dimensioneringen av ledningsnätet.
2. En extraordinär händelse, en nederbördshändelse med varaktighet på en timme med storlek av ett 100 års regn.
3. En extrem händelse som genererar en nederbördshändelse på 90 mm på en timme.

De beskriver att valet av en varaktighet på en timme, är för att kunna läsa av avrinningstoppar i modellerna. Dock nämner de att med tanke på flödestiderna i avloppsnätet så kan även längre varaktigheter vara meningsfulla. Anledningen till att de väljer att studera tre scenarion är för att få en klar bild av hur olika skyfall påverkar en stadsdel för att kunna utveckla skadereducerande åtgärder (Ministerium für Umwelt, 2018). De rekommenderar även att applicera en klimatfaktor på nederbörden, dock går de inte in i detalj om värden (Kind m. fl., 2023).

Det enda som funnits i rapporterna om råhet är att det ska inkluderas i skyfallsmodellering och baseras på markanvändning och lokala förhållanden (Ministerium für Umwelt, 2018). Dock anges inga värden, och de uttrycker aldrig explicit att de använder sig av Mannings tal. Däremot för markens infiltrationsförmåga rekommenderar Tyskland att ta hänsyn till markens porositet, mättnadsgrad, markanvändning, jortyp och årstid. De nämner dock att för extrema nederbördshändelser så ska modellerna utföras med och utan infiltration på grund av att det ger stora osäkerheter i modellen (Ministerium für Umwelt, 2018). Även här har inga värden hittats för vad de väljer att applicera på de olika markegenskaperna.

För modellens upplösning rekommenderas det att lägga till en uppföljningstid mellan 1 till 8 timmar beroende på modellstorlek för respektive regnscenario för att undersöka effekterna efter skyfallet (Ministerium für Umwelt, 2018). Det rekommenderas att modellerna ska ha ett rutnät som är 2 m² eller mindre (Kind m. fl., 2019). Vid skyfall ska rutnätet helst vara 1 kvadratmeter eller mindre för att återspegla effekterna av små strukturer som trottoarkanter (Kind m. fl., 2019).

4.1.6 Nederländerna

För Nederländerna har rekommendationerna huvudsakligen hämtats från Deltares och Klimaat-effectatlas. Deltares är ett institut som arbetar med vattenrelaterade frågor, medan Klimaat-effectatlas är en plattform som sammanställer rekommendationer. Plattformen har fått sitt uppdrag från den nederländska myndigheten för infrastruktur och vattenförvaltning.

I Nederländerna finns ett krav på att alla kommuner ska utföra stresstest som är skapandet av vattendjupskartor för intensiv nederbörd minst vart 6e år (Deltares, 2018). I Nederländernas rekommendationer ska tre scenarion modelleras, de är som följande (I&W och RIONED, 2020):

1. Nederbördshändelse med 100 års återkomsttid.
2. Nederbördshändelse med 250 års återkomsttid.
3. Nederbördshändelse med 1000 års återkomsttid.

Nederländerna hanterar markens råhet med Manningstal. I tabell 11 syns Nederländernas rekommenderade värde för Mannings M, men även intervallet som värdet kan anpassas inom .

Tabell 11: I tabellen sammanfattas de värden som Nederländerna rekommenderar för Manningstal.

Markanvändning	Manningstal Referens ($m^{1/3}/s$)	Manningstal Intervall ($m^{1/3}/s$)
Odlingsmark	16,67	8,33–33,33
Sportcentrum, shoppingcentrum, lägenhetsområde, kontorsområde, trädgårdar	76,92	38,46–100,00
Stadsparker	33,33	16,67–66,67
Lekplatser, cykelvägar, bilvägar, gator	66,67	33,33–100,00
Lövskog	10,00	5,00–20,00

För en utförlig skyfallskartering rekommenderar Nederländerna att använda sig av en infiltrationsmodul (Klimaat-effectatlas, u.å.). Denna modul ska involvera jordarters egenskaper och markens råhet utifrån markanvändning. Det innebär att man ska lägga in hårdgjorda ytor i infiltrationsmodulen, så inget vatten släpps igenom (Klimaat-effectatlas, u.å.). I tabell 12 finns referensvärden för jordarters infiltrationskapacitet.

Tabell 12: I tabellen visas värden som Nederländerna rekommenderar som infiltrationskapacitet för olika jordarter. Med ”standard urbana områden” menas att värdena är ett slags medelvärde för hela det urbaniserade området. Dessa kan dock behöva justeras avsevärt. Infiltrationskapaciteten anges i mm/h (Deltares, 2010).

Jordart	Referensvärde (mm/h)	Hög kapacitet (mm/h)	Låg kapacitet (mm/h)
Lera	1,7	11,3	1,7
Lösa jordar	1,7	11,3	1,7
Standard urbana områden	4,2	11,3	1,7
Torv	2,5	11,3	1,7
Sand	11,3	11,3	1,7
Postglacial lera	1,7	11,3	1,7

Rekommendationerna för regnets utformning är att det antingen ska vara ett blockregn alternativt simulera ett historiskt regn som skett på platsen eller i närheten (Deltares, 2018). Om det är ett blockregn så ska varaktigheten vara på två timmar, som sedan följs upp av en fyra timmars period utan nederbörd. Dock vid behov kan varaktigheten för nederbörden förlängas upptill 12 timmar för urbana områden (Deltares, 2018). I Nederländerna rekommenderar de även att applicera en klimatfaktor på nederbörden, denna är baserad på varaktighet och återkomsttid (I&W och RIONED, 2020). I tabell 13 syns vilken klimatfaktor som rekommenderas för vilket scenario.

Tabell 13: Nederländernas klimatfaktor baserat på varaktighet och återkomsttid (I&W och RIONED, 2020).

Varaktighet (h)	Återkomsttid (år)	Standard klimatfaktor (%)
1–2	100	21
1–2	250	20
1–2	1000	21
48	100	16
48	250	16
48	1000	16

Nederländernas nationella höjdkartor har en upplösning på 0,5 kvadratmeter (Deltares, 2018). De anser att upplösningen för modellen bör vara 2 kvadratmeter eller mindre, dock högst 5 kvadratmeter (Deltares, 2018).

4.1.7 Sammanställning resultat från litteraturstudie

I tabellerna 14 och 15 så kan man se en förenklad sammanfattning över de resultat som presenterats i litteraturstudien för alla länder.

Tabell 14: Sammanfattning av hur de olika länderna rekommenderar hantering av skyfallskartering i tätorter för återkomsttid, råhet och infiltration.

Land	Återkomsttid (år)	Råhet	Infiltration
Sverige	50–1000 år, generellt närmare 100 år	Manningstal	Schablonavdrag eller infiltrationsmodul, anpassad till jordartsegenskaper
Norge	200	Manningstal	Infiltrationshastighet (10^{-3} – 10^{-5})
Danmark	100	Manningstal	DHI:s metod, anpassad efter jordartsegenskaper
Finland	100 och 200	Manningstal	Anpassad efter jordartsegenskaper
Nederländerna	100, 250 och 1000 år	Manningstal	Anpassad efter jordartsegenskaper
Tyskland	100 år och extremscenario (90 mm/h)	-	Anpassad efter jordartsegenskaper

Tabell 15: Sammanfattning av hur de olika länderna rekommenderar hantering av skyfallskartering i tätorter för val av regn, varaktighet och klimatfaktor.

Land	Val av regn	Varaktighet	Klimatfaktor
Sverige	Blockregn eller CDS-regn	5 min–24 h, generellt koncentrationstid	Utifrån RCP
Norge	CDS-regn	-	Utifrån återkomsttid och varaktighet
Danmark	CDS-regn	-	Utifrån RCP
Finland	CDS-regn	-	20 % ökning
Nederländerna	Blockregn	2 h, följt av 4 h torrperiod	Utifrån återkomsttid och varaktighet
Tyskland	Blockregn	1 h, följt av 1–8 h torrperiod	-

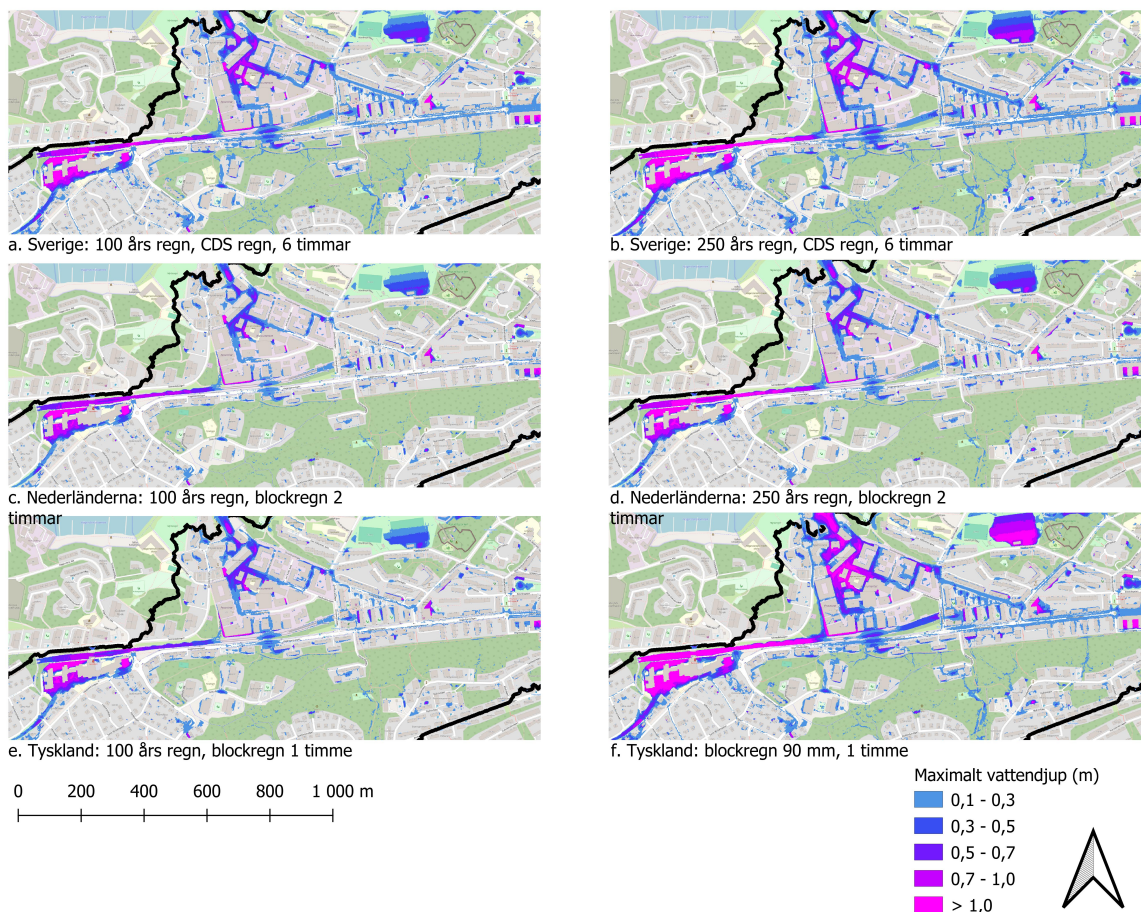
4.2 Resultat från modelleringsstudien

I denna del presenteras resultaten från de olika modelleringsscenarierna över båda modelleringsområdena. I bilaga 7.3 finns även beräkningsresultaten för regnvolymen och koncentrationstiden som låg grund till utformningen av scenariernas olika regnsekvenser.

4.2.1 Örnsberg

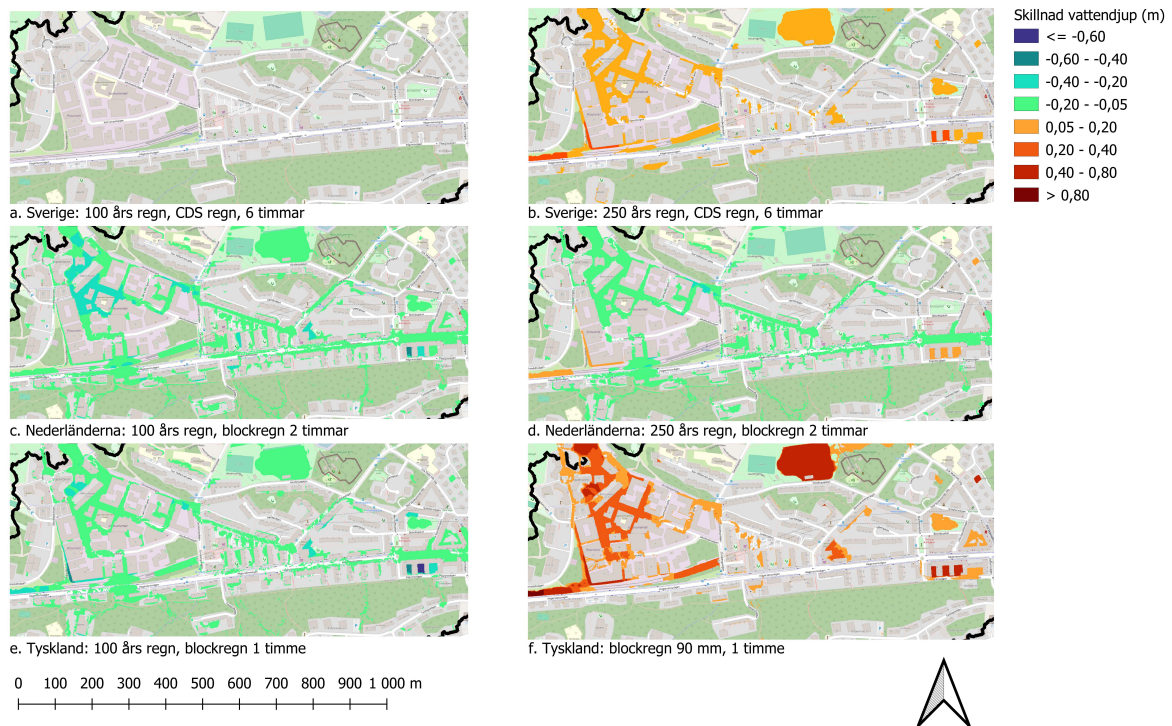
I detta avsnitt presenteras resultaten för modelleringen över Örnsberg. Det kommer innehålla kartor och tabeller som beskriver vattendjup, vattenhastighet och vattenflöde för de olika scenarierna. Alla kartor är inzoomade till områden där skillnader för de olika scenarierna framträder tydligast. Dessutom är kartorna relativt små för att möjliggöra att alla figurer ryms. Därmed finns större figurer i bilaga 7.4.1 för Örnsberg. Under avsnitt 7.4.3 i bilagor hittas även tabeller som beskriver hur många observationspunkter som hade högre respektive lägre värden än de svenska scenarierna.

I figur 12 syns sex stycken kartor som beskriver vattendjupet över Örnsberg för samtliga scenarier. Vattendjupen är indelade i intervall som börjar vid 0,1 m och högsta kategorin är över 1 meter.



Figur 12: Det maximala vattendjupet i meter för de olika scenarierna över Örnberg. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

Vid Sveriges 100 års scenario (a) dominerar vattendjup mellan 0,1 och 0,7 meter, även om flera områden når djup över 1 meter. För 250 års regnet (b) blir områden med vattendjup över 1 meter mer omfattande, och högre vattendjup blir tydligare. Vid Nederländernas 100 års regn (c) ligger vattendjupen främst inom intervallet 0,1 till 0,7 meter, med färre och mer begränsade områden över 1 meter, även om dessa förekommer. Nederländernas 250 års regn (d) resulterar i en större utbredning av områden med vattendjup över 1 meter, och fler ytor får ett vattendjup över 0,1 meter jämfört med 100 års regnet. Generellt har Sveriges 100 och 250 års regn fler områden med vattendjup över 1 meter jämfört med motsvarande scenarier för Nederländerna. Tysklands 100 års scenario (e) liknar Nederländernas 100 års regn vad gäller vattendjup, med få tydliga skillnader. Däremot resulterar det intensiva 90 mm/h-regnet (f) i en kraftig ökning av både omfattningen och spridningen av vattendjup över 1 meter, vilket ger klart högre vattendjup än de flesta andra scenarier. I figur 13 visualiseras skillnaderna i vattendjup genom att använda Sveriges 100 års scenario som referens. Figuren tydliggör om de andra scenarierna har högre eller lägre vattendjup än Sveriges 100 års scenario, vilket underlättar jämförelser och gör variationerna lättare att observera.



Figur 13: Vattendjupsskillnaden mellan Sveriges 100 års scenario (referens) och de andra scenarierna över Örnsberg. Skalan har negativa värden om Sveriges 100 års nederbörd hade högre vattendjup medans den har positiva värden om scenariot har högre vattendjup än de svenska. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

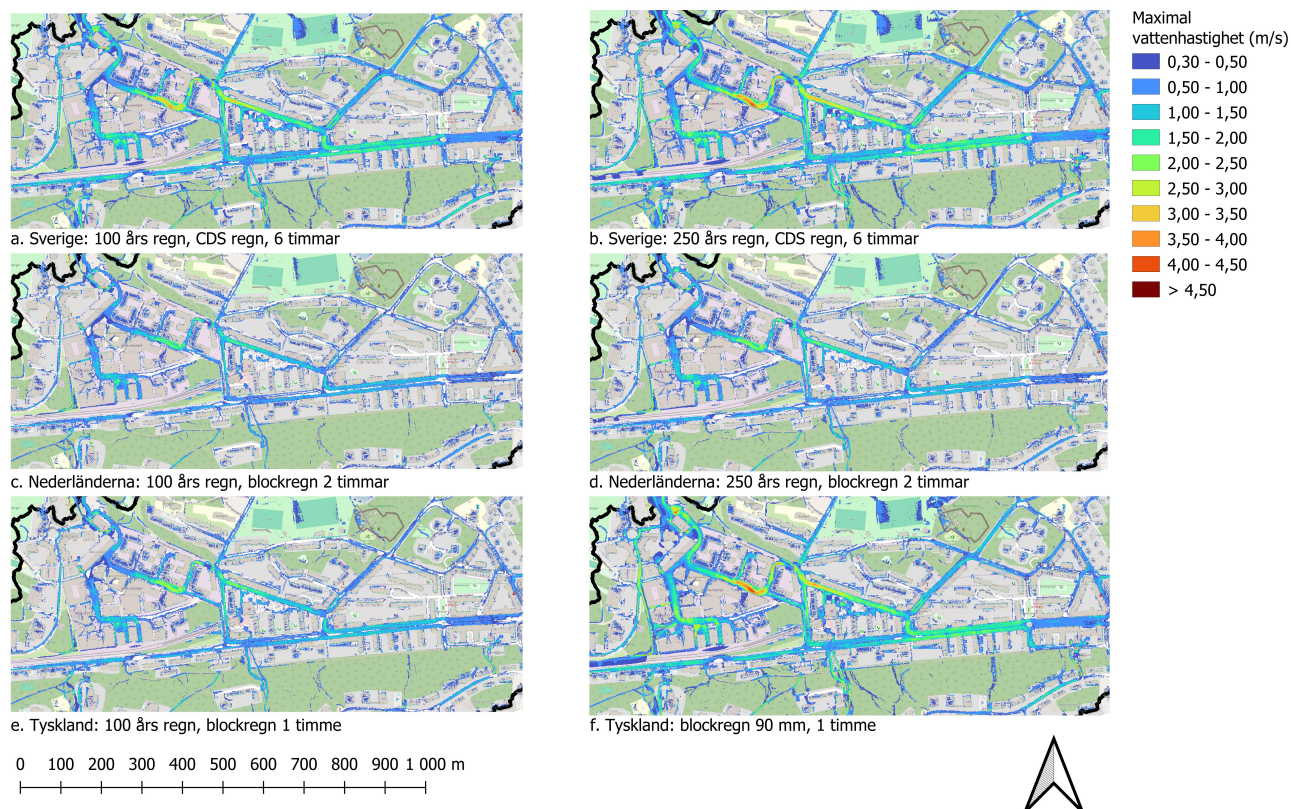
I figuren observeras att Sveriges 250 års scenario (b) generellt hade 0,05 till 0,20 meter högre vattendjup än Sveriges 100 års scenario, med några ytor som hade upptill 0,40 meter högre vattendjup. För Nederländernas 100 års scenario (c) ligger vattendjupet, jämfört med Sveriges 100 års scenario, mellan 0,05 och 0,40 meter lägre. Även Nederländernas 250 års scenario (d) har generellt lägre värden där de flesta ytor ligger mellan 0,05 och 0,20 meter under Sveriges 100 års scenario, dock finns det några ytor som har 0,05 till 0,20 meter över Sveriges 100 års scenario. Tysklands 100 års scenario (e) har endast lägre vattendjup än Sveriges scenario, där de flesta ytor har 0,05 till 0,20 meter under Sveriges vattendjup. Några ytor har mer än 0,60 meter lägre vattendjup än det Svenska 100 års scenariot. Tysklands intensitetsbaserade scenario (f) uppnår betydligt högre vattendjup än Sveriges 100 års scenario, där vissa ytor har ett vattendjup som är mer än 0,80 meter högre, dock ligger de flesta ytor mellan 0,05 och 0,40 meter högre. I tabell 12 syns värden för vattendjupet i 18 olika observationspunkter för samtliga scenarier över Örnsberg. De högst uppmätta vattendjupet är fetmarkerat för respektive scenario.

Tabell 16: Vattendjupet i meter för samtliga scenarier över Örnsberg. Det högst observerade vattendjupet är fetmarkerat i tabellen.

Observations- punkt	Sverige, 100 år	Sverige, 250 år	Nederländerna, 100 år	Nederländerna, 250 år	Tyskland, 100 år	Tyskland, 90 mm/h
1	1,10	1,22	0,87	0,95	0,94	1,43
2	0,77	0,92	0,64	0,77	0,60	1,28
3	0,52	0,64	0,43	0,52	0,37	0,89
4	0,89	0,95	0,79	0,89	0,68	1,18
5	2,19	2,27	2,09	2,20	2,01	2,53
6	0,49	0,57	0,41	0,51	0,40	0,62
7	0,51	0,63	0,43	0,52	0,39	0,88
8	0,46	0,49	0,43	0,48	0,40	0,59
9	0,28	0,31	0,22	0,23	0,24	0,29
10	0,94	1,07	0,88	1,08	0,70	1,41
11	0,48	0,51	0,35	0,37	0,39	0,48
12	0,54	0,61	0,48	0,52	0,45	0,67
13	0,63	0,74	0,40	0,50	0,47	0,91
14	0,40	0,54	0,21	0,25	0,28	0,58
15	1,42	1,46	1,40	1,41	1,40	1,53
16	0,51	0,59	0,45	0,49	0,45	0,78
17	0,20	0,23	0,13	0,14	0,15	0,20
18	0,81	0,90	0,65	0,68	0,70	0,94
Medelvärde	0,77	0,87	0,65	0,71	0,63	0,96

För Sveriges 100 års scenario varierar vattendjupet i observationspunkterna från 0,2 meter (mätpunkt 17) och största vattendjup på 2,19 meter (mätpunkt 5). För 250 års scenariot är lägsta observerade djupet 0,23 meter vid mätpunkt 17 och högsta observerade djupet 2,27 meter i mätpunkt 5. Nederländernas scenarier visar något lägre vattendjup än Sveriges scenarier. Vid 100 års regnet ligger djupen mellan 0,13 meter vid mätpunkt 17 och 2,09 vid mätpunkt 5. Vid 250 års regnet ökar vattendjupen och har istället intervallet 0,14 meter till 2,20 meter för samma observationspunkter. Tysklands 100 års scenario varierar vattendjupen mellan 0,15 meter vid mätpunkt 9 och 2,01 meter vid mätpunkt 5. För 90 mm på en timme scenariot är intervallet mellan 0,2 meter vid mätpunkt 17 och 2,53 meter vid mätpunkt 5. För samtliga scenarier observerades att mätpunkt 5 hade de största vattendjupen. Generellt ser man i tabellen att Sverige har högst vattendjup, och att Nederländerna och Tyskland har ganska likt för samma återkomsttid.

I figur 14 syns resultaten från modelleringen av vattenhastigheter i m/s för olika scenarier över Örnsberg. Vattenhastigheterna är indelade i 10 intervall som startar från 0,33 m/s till över 4,67 m/s.



Figur 14: Den maximala vattenhastigheten i meter per sekund för de olika scenarierna över Örnberg. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.a

För Sveriges 100 års scenario (a) ligger vattenhastigheterna huvudsakligen mellan 0,30 och 1,50 m/s, med vissa områden som når hastigheter mellan 2,00 och 2,50 m/s, och en central del som uppnår hastigheter på cirka 3,00–3,50 m/s. Vid 250 års regnet (b) är högre hastigheter mer framträdande, med fler områden som når intervall över 2,50 m/s, inklusive centrala delar som nu uppnår en hastighet på cirka 4,00–4,50 m/s. Nederländernas 100 års scenario (c) visar liknande fördelning av vattenhastigheter som Sveriges 100 års scenario, dock generellt med något lägre hastigheter. Hastigheterna verkar främst ligga under 2,50 m/s, utan några områden som överstiger detta intervall. Vid 250 års regnet (d) observeras något högre hastigheter än vid 100 års scenariot, men dessa håller sig fortfarande under 3,00 m/s, vilket innebär en lägre hastigheter jämfört med Sveriges 250 års scenario. För Tysklands 100 års scenario (e) är vattenhastigheterna jämförbara med Nederländernas modellering. Majoriteten av hastigheterna ligger mellan 0,30 och 1,50 m/s, med endast ett fåtal områden som når hastigheter över 2,00 m/s. För Tysklands 90 mm scenario (f) ökar utbredningen av högre hastigheter något, och kartan liknar Sveriges 250 års scenario, med vattenhastigheter som når intervall mellan 2,50 och 3,50 m/s, men även vissa områden över 4,00 m/s. Generellt visar de svenska scenarierna en större spridning av höga hastigheter, medan de nederländska och tyska scenarierna tenderar att visa lägre hastigheter med begränsad utbredning av de högre intervallen. Skillnader i vattenhastighet mellan scenarierna jämfört med Sveriges 100 års scenario illustreras i figur 15.



Figur 15: Vattenhastighetsskillnaden mellan Sveriges 100 års scenario och respektive scenario över Örnberg. Om negativa värden så är hastigheten lägre än Sveriges 100 års scenario, medans om det är positiva värden är hastigheterna högre. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

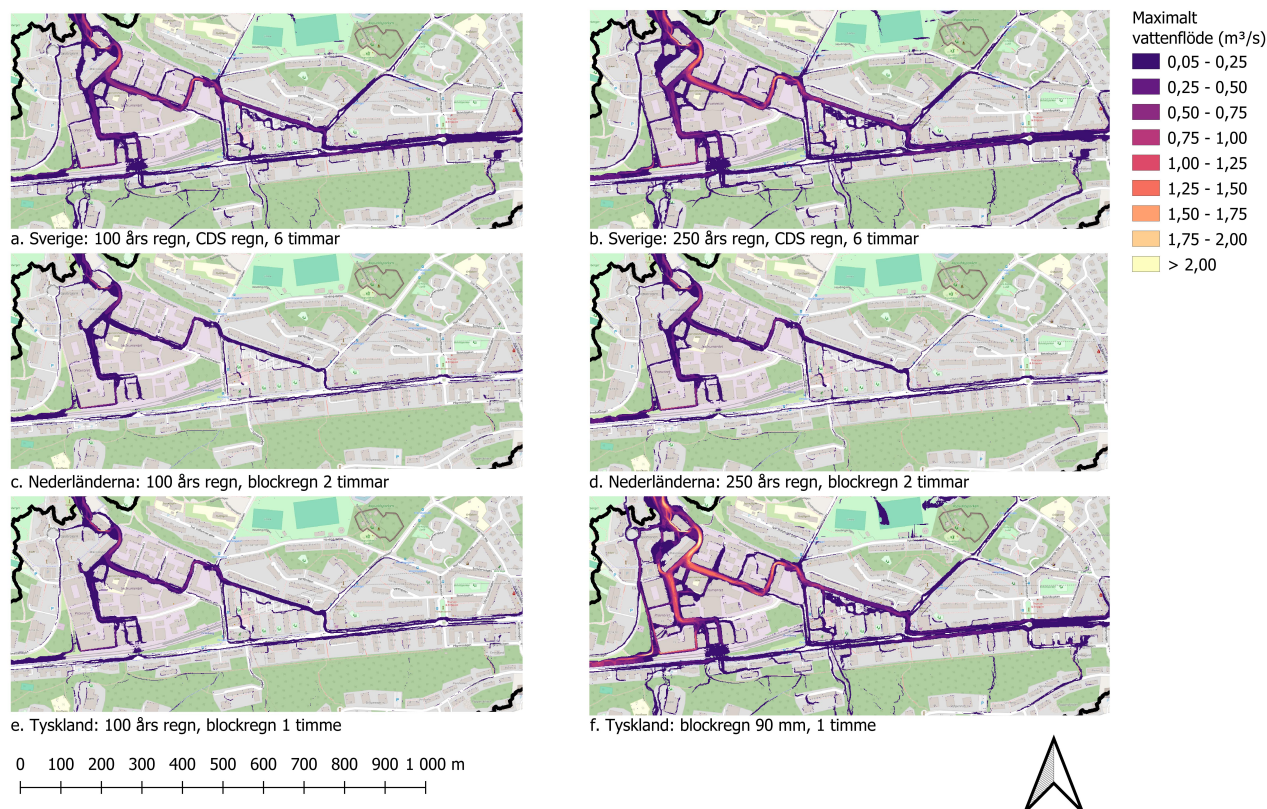
I figuren framgår det att hastigheterna generellt är 0,05–0,50 m/s högre för Sveriges 250 årsscenario (b) jämfört med Sveriges 100 årsscenario. För Nederländernas 100 årsscenario (c) är hastigheterna på de flesta platser lägre än i Sveriges 100 årsscenario, med en generell minskning på 0,05–1,00 m/s. Dock kan vissa gula områden i figuren observeras, vilket indikerar att det på vissa ytor förekommer hastigheter som är 0,05–0,50 m/s högre än i Sveriges 100 årsscenario. För Nederländernas 250 årsscenario (d) liknar kartan i stort Nederländernas 100 årsscenario, men fler ytor präglas av den gula färgen. I Tysklands 100 årsscenario (e) är hastigheterna generellt lägre, med en minskning på 0,05–1,00 m/s. Liknande Nederländerna finns dock vissa ytor som uppvisar en hastighetsökning på upp till 0,50 m/s. Tysklands extrema intensitetsbaserade scenario (f) visar att majoriteten av ytorna har hastigheter som är upp till 0,50 m/s högre än i Sveriges 100 årsscenario. Vissa områden uppvisar dock hastigheter med upp till 2,00 m/s högre värden. I tabell 17 presenteras data från 18 observationspunkter, där samtliga scenarier inkluderas och den högsta vattenhastigheten markeras med fet stil.

Tabell 17: Vattenhastigheten i m/s för samtliga scenarier över Örnsberg.

Mätpunkt	Sverige, 100 år	Sverige, 250 år	Nederländerna, 100 år	Nederländerna, 250 år	Tyskland, 100 år	Tyskland, 90 mm/h
1	0,47	0,57	0,20	0,31	0,29	0,68
2	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,08
3	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03
4	0,07	0,08	0,04	0,05	0,05	0,09
5	0,35	0,34	0,40	0,50	0,52	0,79
6	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
7	0,07	0,07	0,05	0,05	0,06	0,07
8	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,07
9	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
10	0,03	0,05	0,03	0,04	0,05	0,06
11	0,19	0,18	0,20	0,26	0,29	0,34
12	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04
13	0,79	0,77	0,74	0,81	0,90	1,44
14	2,00	2,15	1,23	1,27	1,33	2,54
15	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05
16	0,70	0,77	0,38	0,42	0,47	1,04
17	0,20	0,23	0,06	0,07	0,12	0,24
18	0,16	0,21	0,10	0,11	0,12	0,21
Medelvärde	0,31	0,34	0,19	0,22	0,25	0,46

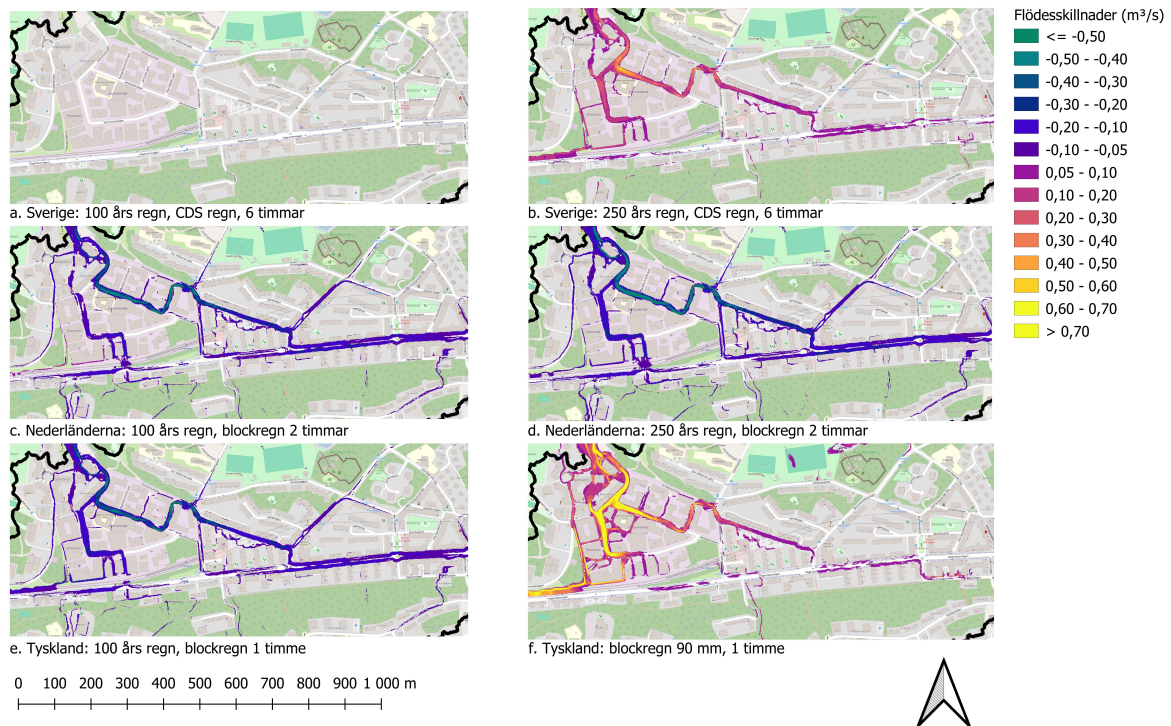
För Sveriges 100 års scenario varierar de observerade vattenhastigheterna från 0,01 m/s till 2,00 m/s för mätpunkt 6 respektive 14. De högsta hastigheterna observeras vid observationspunkterna 13, 14 och 16. Vid 250 års regnet ligger de observerade hastigheterna mellan intervallet 0,02 m/s vid mätpunkt 6 till 2,15 m/s vid mätpunkt 14. I Nederländernas 100 års scenario varierar hastigheterna mellan 0,02 m/s (mätpunkt 6 och 12) till 1,23 m/s (mätpunkt 14). De högsta hastigheterna observerades för detta scenario i mätpunkt 13 och 14. Vid 250 års scenariot ligger hastigheterna inom intervallet 0,02 m/s (mätpunkt 6) till 1,27 m/s vid mätpunkt 14. Ökningarna för Nederländernas scenarier är mindre omfattande än Sveriges scenarier. För Tysklands 100 års regn är hastigheterna generellt sätt lägre än för Sveriges men lite högre än Nederländernas. Med ett intervall på 0,02 m/s (mätpunkt 6) och 1,33 m/s (mätpunkt 14), alltså är högsta värdet dock 0,1 m/s högre än Nederländernas. Vid scenariot om 90 mm/h ökar hastigheterna markant och nått sitt högsta värde vid 2,54 m/s vid mätpunkt 14, lägsta observerade fanns i mätpunkt 6 med 0,03 m/s för detta scenario. Mätpunkt 14 har konsekvent de högsta vattenhastigheterna i alla scenarier. För samma återkomsttid har Sverige generellt högre vattenhastigheter än Nederländernas och Tysklands nederbörd.

I figur 16 syns modelleringen av vattenflöden i m³/s för de olika scenarierna över Örnsberg. Vattenflödena är indelade i 7 kategorier från 0,05 m³/s till över 2,00 m³/s.



Figur 16: Det maximala vattenflödet i kubikmeter per sekund för de olika scenarierna över Örnberg. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

För Sveriges 100 års scenario (a) ligger de flesta vattenflöden mellan 0,05 och 0,75 m^3/s , med vissa områden som når upp till 1,25 m^3/s . Vid 250 års scenariot (b) ökar vattenflödena, här kan flera flöden över 1,75 m^3/s observeras. För Nederländernas 100 års scenario (c) visar de flesta flöden också ett intervall mellan 0,05 och 0,75 m^3/s , med färre områden som når flöden över 1,00 m^3/s jämfört med Sveriges scenarier. Det är även flera områden som inte uppnår något flöde över 0,05 m^3/s jämfört med Sverige. Vid 250 års scenariot (d) är flödena större och mer omfattande än 100 års scenariot, dock observeras högre flöden i Sveriges 100 års scenario jämfört med Nederländernas 250 års scenario. Tysklands 100 års scenario (e) har generellt lägre flöden än Sveriges och lite högre än Nederländernas. De flesta områden ligger inom intervallet ligger även här mellan 0,05 och 0,75 m^3/s . Vid Tysklands 90 mm/h regn (f) ökar utbredningen av flödena. Här når flera områden flöden över 2,00 m^3/s . I figur 17 syns även en figur som visar scenariernas flödesskillnad jämfört med Sveriges 100 års scenario.



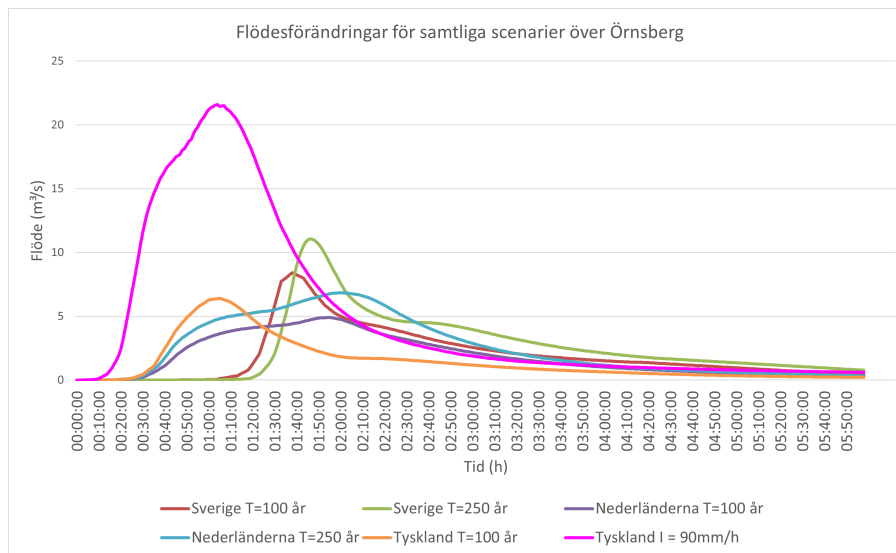
Figur 17: Skillnaderna i vattenflöde över Örnsberg jämfört med Sveriges 100 års scenario som motsvarar nollpunkten. Om negativa värden är det lägre flöden än det svenska 100 års scenario, medans om det positiva värden är det högre flöden. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figuren observeras att Sveriges 250 års scenario (b) har för det mesta mellan $0,05$ och $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ högre flöden än Sveriges 100 års scenario. Med några ytor mellan $0,60$ till $0,70 \text{ m}^3/\text{s}$ högre. Nederländernas 100 års scenario (c) har endast lägre flöden än Sveriges 100 års scenario. Där de flesta ytor ligger mellan $0,10$ och $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ lägre än Sverige, med vissa ytor som är $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ lägre. Samma sak gäller för Nederländernas 250 års scenario (d), dock med flera ytor som har lägre skillnad till det svenska 100 års scenariot. Tysklands 100 års scenario (e) är likt Nederländernas scenarier, med samma intervall för skillnader mot det svenska. Dock har Tysklands färre ytor med $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ skillnad mot det Svenska. Tyska 100 års scenariot ligger mest mellan $0,05$ och $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ lägre. Tysklands 90 mm/h scenario (f) har betydligt högre flöden än Sverige 100 års scenario. Där stora delarna av ytor uppvisar ett flöde som är över $0,70 \text{ m}^3/\text{s}$ högre än Sveriges 100 års scenario. För en tydligare jämförelse syns tabell 18 där 18 observationspunkter tagits för samtliga scenarier och högsta flödet är fetmarkerat.

Tabell 18: Vattenflödet i m³/s för samtliga scenarier över Örnsberg.

Mätpunkt	Sverige, 100 år	Sverige, 250 år	Nederländerna, 100 år	Nederländerna, 250 år	Tyskland, 100 år	Tyskland, 90 mm/h
1	0,52	0,69	0,18	0,29	0,27	0,96
2	0,02	0,02	0,01	0,01	0,06	0,02
3	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02
4	0,04	0,06	0,02	0,03	0,01	0,07
5	0,17	0,26	0,07	0,09	0,03	0,34
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01
7	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02
8	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
9	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
10	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,04
11	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,06
12	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
13	0,31	0,56	0,18	0,27	0,19	1,28
14	0,80	1,14	0,25	0,31	0,37	1,35
15	0,03	0,04	0,01	0,02	0,02	0,05
16	0,24	0,46	0,04	0,05	0,06	0,80
17	0,04	0,05	0,01	0,01	0,01	0,04
18	0,13	0,19	0,06	0,07	0,08	0,19
Medelvärde	0,14	0,20	0,05	0,07	0,07	0,27

För Sveriges 100 års scenario varierar vattenflödet mellan 0,00 m³/s (mät punkt 6) och 0,80 m³/s (mät punkt 14). Högsta observerade flödena kunde synas i mät punkt 1, 13, 14 och 16. Vid Sveriges 250 års scenario varierade flödena mellan 0,00 m³/s och 1,14 m³/s för samma observationspunkter. För Nederländernas 100 års var lägsta respektive högsta mät punkt i samma som för Sveriges, intervallet låg mellan 0,00 m³/s och 0,25 m³/s. För Nederländernas 250 års scenario var intervallet mellan 0,00 m³/s och 0,31 m³/s för samma observationspunkter. En mindre markant ökning jämfört med Sveriges scenarier. För Tyskland varierar vattenflödena mellan 0,00 m³/s (mät punkt 8) och 0,37 m³/s (mät punkt 14). Högsta observerade flödet var större för Tyskland än Nederländerna men Sveriges var klart högre för samma återkomsttid. För Tysklands 90 mm scenario ökar flödena markant och varierar mellan 0,01 m³/s till 1,35 m³/s för mät punkt 6 respektive 14. Sverige uppvisar högst flöden för samma återkomsttider. I figur 18 visas ett diagram som representerar flödet för ett tvärsnitt vid Örnsbergs utlopp varierar över hela modelleringsperioden.



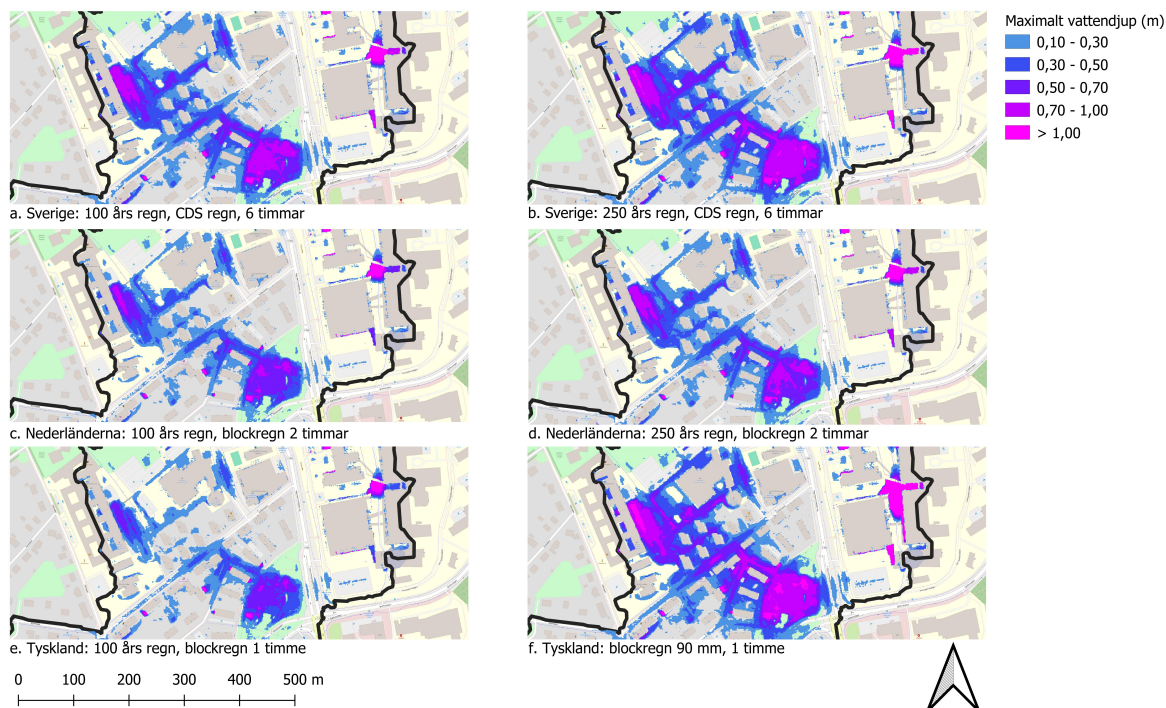
Figur 18: Vattenflödet över tid vid Örnsbergs utlopp för samtliga scenarier. Där x-axeln beskriver tiden och y-axeln beskriver vattenflödet.

För Sveriges 100 års scenario (röd linje) observeras en flödestopp på cirka m^3/s , som inträffar ungefär 1,5 timmar efter regnets början. Avrinningen sker därefter långsamt och pågår i flera timmar. För Sveriges 250 årsscenario (grön linje) är flödestoppen något högre, cirka $11 \text{ m}^3/\text{s}$, och inträffar strax efter tidpunkten som 100 års scenariot hade, runt 1 timme och 50 minuter efter regnstart. För Nederländernas 100 års scenario (lila linje) är flödena generellt lägre än i de svenska scenarierna, med en flödestopp på cirka $5 \text{ m}^3/\text{s}$ som inträffar efter cirka två timmar. För Nederländernas 250 årsscenario (blå linje) är flödestoppen något högre, cirka $7 \text{ m}^3/\text{s}$, och inträffar vid ungefär samma tidpunkt. I Tysklands 100 årsscenario (orange linje) nås en flödestopp på cirka $7 \text{ m}^3/\text{s}$ efter ungefär en timme. För Tysklands intensitetsbaserade scenario med 90 mm/h (rosa linje) är flödestoppen betydligt högre, cirka $22 \text{ m}^3/\text{s}$, och inträffar efter cirka en timme.

4.2.2 Uppsala

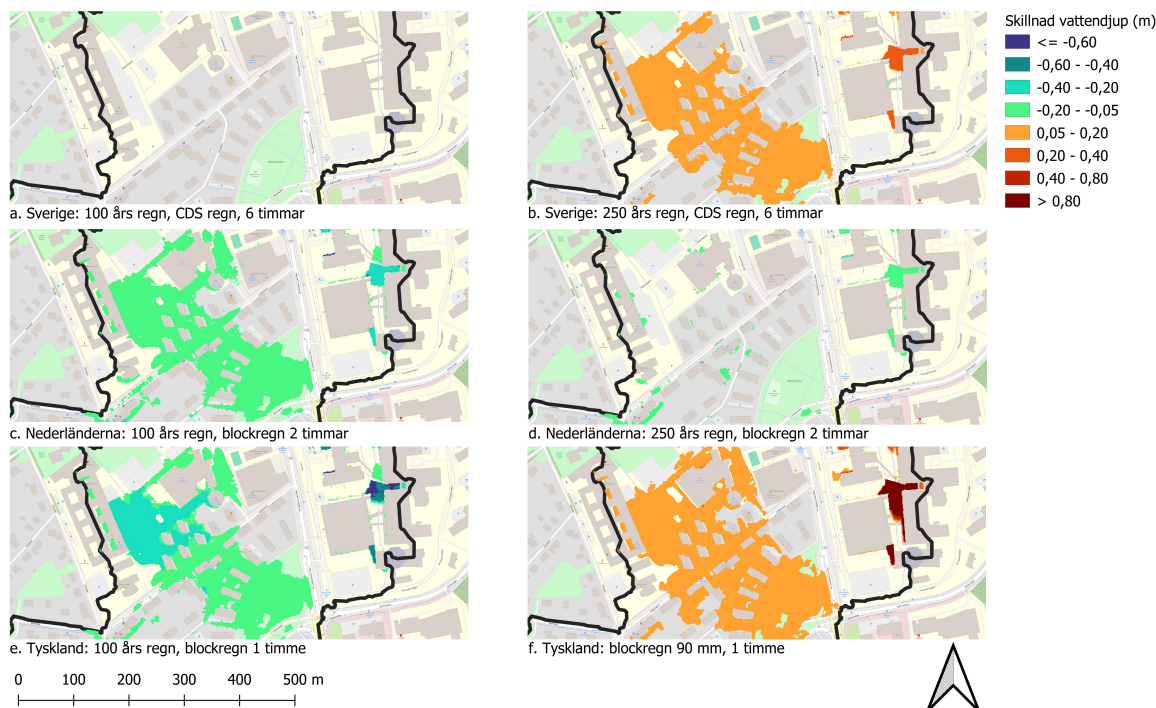
Nedan kommer resultaten för modelleringen presenteras för vattendjup, vattenhastighet och vattenflöde över Uppsala. Alla kartor är inzoomade till områden där skillnaderna framträder tydligast. I bilaga 7.4.2 syns även större bilder över majoriteten av kartorna eftersom det kan vara svårt att läsa av i dessa som presenteras i resultatet. Under avsnitt 7.4.3 i bilagor hittas även tabeller som beskriver hur många observationspunkter som hade högre respektive lägre värden än de svenska scenarierna.

I figur 19 illustreras resultaten för modelleringen av vattendjup för de olika scenarierna i Uppsala och visar det maximala översvämningdjupen. Vattendjupen är uppdelade i fem kategorier som startar på 0,1 meter och slutar i kategorin över 1 meter.



Figur 19: Resultaten för det maximala vattendjupen i Uppsala. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

För Svenska 100 års scenariot (a) visas det att det förekommer områden med vattendjup över 1 meter. Majoriteten av de drabbade områdena har dock vattendjup mellan 0,1 och 0,7 meter. Vid 250 års scenariot (b) ökar både omfattningen och utbredningen av områden med vattendjup över 1 meter. Högre vattendjup är mer spridda, och de områden som redan var drabbade vid 100 års scenariot påverkas i ännu större utsträckning. För Nederländerna visar 100 års scenariot (c) att vattendjup över 1 meter förekommer i några delar av området, dock relativt begränsat. För 250 års scenariot (d) ökar både antalet områden med djup över 1 meter och utbredningen av djup mellan 0,5 och 1 meter. För Tysklands 100 års scenario (e) visar att det finns begränsat med områden med ett vattendjup över 1 meter, och majoriteten av ytan har vattendjup mellan 0,1 och 0,7 meter. I scenariot med en nederbördsintensitet på 90 mm/h (f) blir områden med djup över 1 meter betydligt större och mer framträdande. För tydligare observationer och jämförelser se figur 20 som uppvisar skillnaden i vattendjup för respektive scenario jämfört med Sveriges 100 års scenario.



Figur 20: Vattendjupsskillnaden mellan Sveriges 100 års scenario (referens) och de andra scenarierna i Uppsala. Skalan har negativa värden om Sveriges 100 års nederbörd hade högre vattendjup medans den har positiva värden om scenariot har högre vattendjup än de svenska. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

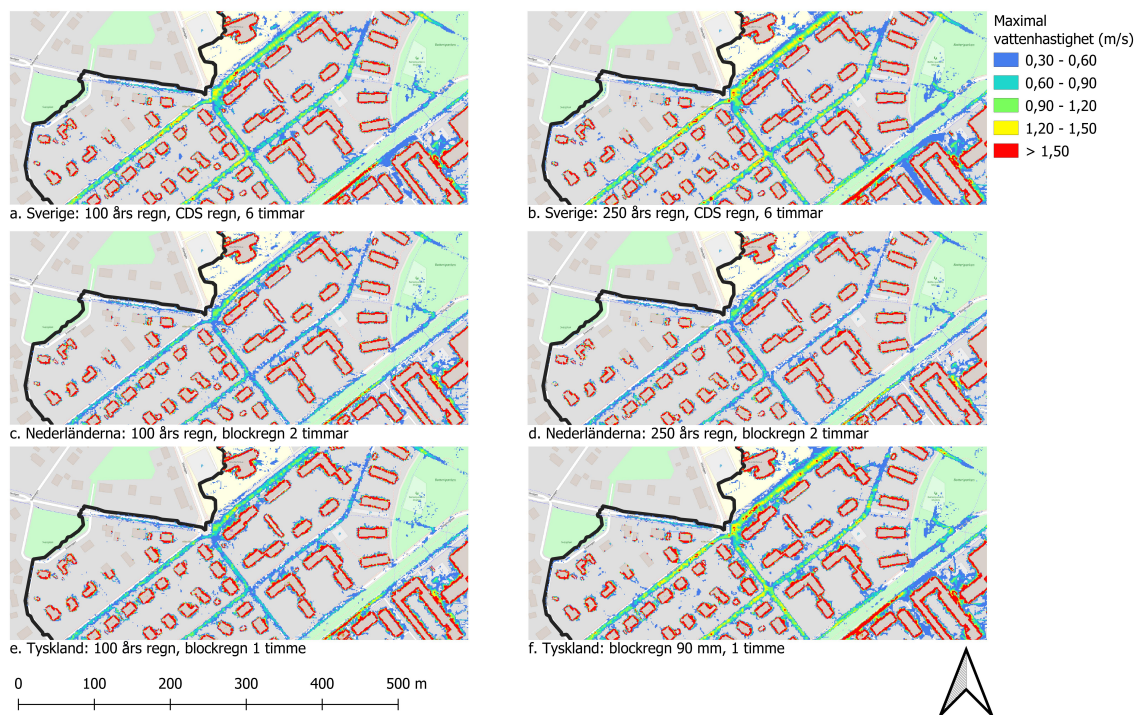
I figuren kan det observeras att Sveriges 250 årsscenario (b) generellt uppvisar ett vattendjup som är 0,05 till 0,20 meter högre än 100 årsscenario. Vissa områden visar dock ett vattendjup som är upp till 0,40 meter högre. För Nederländernas 100 årsscenario (c) är vattendjupet generellt lägre än Sveriges 100 årsscenario, med skillnader på 0,05 till 0,20 meter. På vissa områden uppmäts skillnader mellan 0,20 och 0,40 meter lägre. Nederländernas 250 årsscenario (d) uppvisar i stort sett samma vattendjup som Sveriges 100 årsscenario, vilket innebär att mycket få ytor visar någon förändring. På de få ytor där skillnader finns är vattendjupet 0,05 till 0,20 meter lägre än Sveriges 100 årsscenario. Detta innebär att de ytor som överskrider en meters vattendjup i figur 19 beror på att Nederländernas höjd är något högre än Sveriges, vilket precis orsakar en övergång till en meters vattendjup. Tysklands 100 årsscenario visar generellt ett vattendjup som är 0,05 till 0,40 meter lägre än Sveriges 100 årsscenario, med vissa områden som uppvisar mer än 0,60 meter lägre vattendjup. Däremot visar Tysklands 90 mm/h scenario (f) generellt högre vattendjup än Sveriges 100 årsscenario, med en ökning på 0,05 till 0,20 meter. I vissa områden noteras vattendjup som överstiger 0,80 meter. Resultaten från modelleringen av vattendjup vid 15 olika observationspunkter i Uppsala visar tydliga skillnader mellan scenarierna för Sverige, Nederländerna och Tyskland. Tabell 19 redovisar vattendjupen i meter vid dessa punkter, där det högsta vattendjupet är markerat i fetstil.

Tabell 19: Vattendjup från 15 observationspunkter under olika scenarion i Uppsala.

Mätpunkt	Sverige, 100 år	Sverige, 250 år	Nederländerna, 100 år	Nederländerna, 250 år	Tyskland, 100 år	Tyskland, 90 mm/h
1	1,96	2,28	1,58	1,82	1,36	4,58
2	0,38	0,54	0,18	0,28	0,08	0,66
3	0,49	0,52	0,46	0,48	0,46	0,53
4	1,29	1,65	0,83	1,15	0,51	1,90
5	0,60	0,61	0,55	0,60	0,50	0,68
6	0,86	0,96	0,72	0,82	0,57	1,02
7	0,58	0,68	0,45	0,53	0,40	0,74
8	0,75	0,84	0,62	0,70	0,56	0,90
9	0,12	0,14	0,07	0,08	0,08	0,15
10	1,34	1,40	1,32	1,35	1,28	1,47
11	0,05	0,07	0,01	0,02	0,02	0,06
12	0,28	0,31	0,46	0,36	0,30	0,37
13	0,34	0,46	0,27	0,37	0,22	0,78
14	0,18	0,22	0,08	0,10	0,10	0,24
15	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
Medelvärde	0,64	0,75	0,52	0,60	0,42	0,98

För Sveriges scenarier visar tabellen att vattendjupen vid en återkomsttid på 100 år varierar mellan 0,02 meter (mät punkt 15) och 1,96 meter (mät punkt 1). Vid en återkomsttid på 250 år ligger vattendjupen i intervallet 0,02 meter (mät punkt 15) till 2,28 meter (mät punkt 1). För Nederländerna varierar vattendjupen för 100 årsscenario mellan 0,00 meter (mät punkt 15) och 1,58 meter (mät punkt 1). Vid en återkomsttid på 250 år är vattendjupet fortsatt 0,00 meter vid mät punkt 15 och når 1,82 meter vid mät punkt 1. För Tysklands 100 årsscenario varierar vattendjupen från 0,01 meter (mät punkt 15) till 1,36 meter (mät punkt 1). I det scenario som baseras på en intensitet av 90 millimeter per timme ligger vattendjupen mellan 0,01 meter (mät punkt 15) och 4,58 meter (mät punkt 1). Tabellen visar att de högsta uppmätta vattendjupen vid varje scenario återfinns vid mät punkt 1, medan de lägsta vattendjupen konsekvent observeras vid mät punkt 15. Trots att Nederländerna verkar ha större utspridning av områden täckt över 1 meter, har Sverige högre vattendjup för de olika observationspunkterna med samma återkomsttid.

I figur 21 visas resultaten från modelleringen av vattenhastigheten (m/s) för de olika scenarierna över Uppsala. Hastigheten är kategoriserad i fem intervall, som börjar vid 0,3 m/s upp till 1,5 m/s och över.



Figur 21: Resultaten från modellering med avseende på den maximala vattenhastighet i m/s i Uppsala. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

För Sveriges 100 års scenario (a) dominerar vattenhastigheter mellan 0,3 och 0,9 m/s. Högre hastigheter över 1,2 m/s förekommer främst i smala stråk. För 250 års scenariot (b) förekommer högre hastigheter mer framträdande och utbredda, detta observeras genom flera röda stråk i figur b. För Nederländernas 100 års scenario (c) förekommer främst vattenhastigheter mellan 0,3 och 0,6 m/s. Hastigheter över 1,2 m/s är få och begränsade till specifika punkter, dock observerad en del områden mellan 0,9 och 1,2 m/s. Vid 250 års scenariot (d) är det svårt att utifrån kartorna observera skillnader i vattenhastigheterna, det ser i princip likadant ut som 100 års scenariot. För Tysklands 100 års scenario (e) ser det relativt likt ut som Nederländernas 100 års scenario. Majoriteten av hastigheterna ligger mellan 0,3 och 0,6 m/s, men finns ändå en del områden med hastigheter mellan 0,9 och 1,2 m/s. Däremot visar scenariot med en intensitet på 90 mm/h en tydlig ökning i vattenhastighet. Högre hastigheter över 1,2 m/s är vanligare i detta scenario, men utifrån kartan är det en knapp ökning jämfört med Sveriges 250 års regn. Sveriges scenarier har generellt högre vattenhastigheter för samma återkomsttid. För tydligare jämförelser mellan skillnaderna i hastighet, se figur 22. Figuren visar hastighetsskillnaden mellan Sveriges 100 års scenario och respektive scenario.



Figur 22: Vattenhastighetsskillnaden mellan Sveriges 100 års scenario och respektive scenario i Uppsala. Om negativa värden så är hastigheten lägre än Sveriges 100 års scenario, medans om det är positiva värden är hastigheterna högre. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

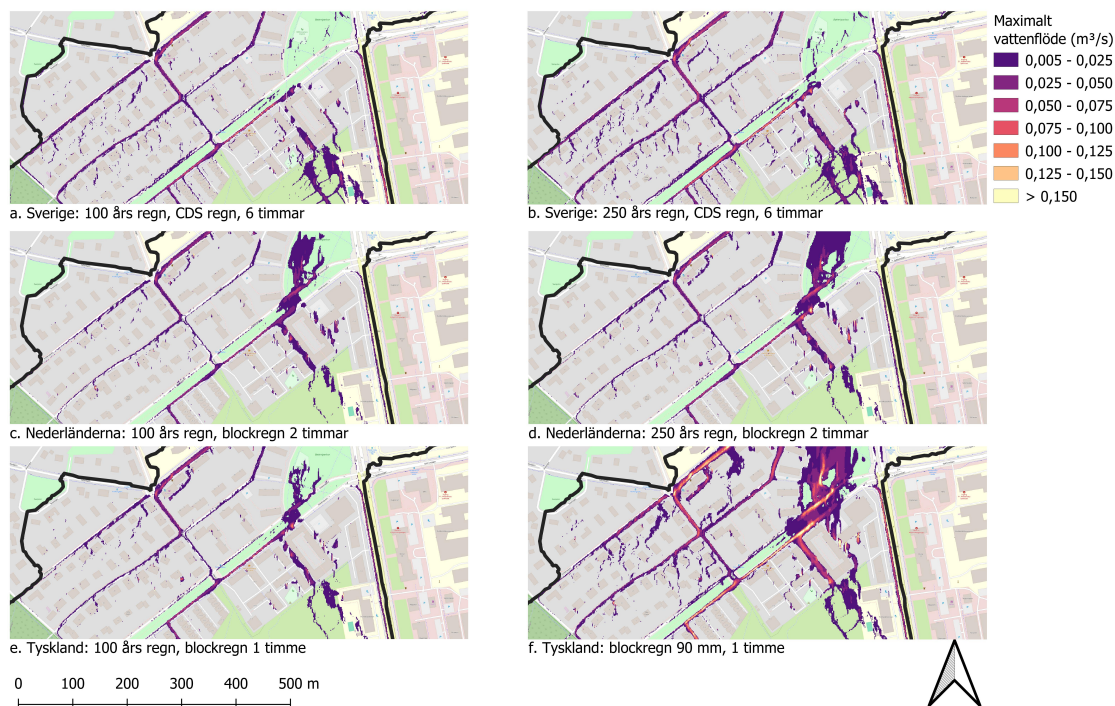
I figuren observeras att Sveriges 250 års scenario (b) generellt har mellan 0,05 och 0,50 m/s snabbare vattenhastighet än 100 års scenariot. Nederländernas 100 års scenario (c) observeras att majoriteten av ytorna har 0,05 till 0,50 m/s lägre hastighet än Sveriges 100 års scenario, med några ytor som är upp till 1 m/s lägre. Nederländernas 250 års scenario (d) uppvisar i princip samma sak, dock med färre ytor som har upp till 1,00 m/s lägre. För både Nederländernas scenarier kan lite gult observeras, alltså finns några få ytor som har högre hastighet än Sveriges 100 års scenario. Tysklands 100 års scenario (e) uppvisar även den att majoriteten av ytorna generellt är mellan 0,05 och 0,50 m/s lägre än det svenska 100 års scenariot. Även den med några få ytor som täcks av 0,50 m/s högre än det svenska. För Tysklands 90 mm/h scenario (f) uppvisas att majoriteten av ytorna ligger mellan 0,05 och 0,50 m/s högre än svenska 100 års scenariot. Vidare har även vattenhastigheten tagits fram för samma observationspunkter. I tabell 20 syns värdena för vattenhastigheten i meter per sekund för 15 olika observationspunkter inom Uppsalas , där högsta värdet är fetmarkerat.

Tabell 20: Vattenhastigheten i m/s från 15 observationspunkter under olika scenarion i Uppsala.

Mätpunkt	Sverige, 100 år	Sverige, 250 år	Nederländerna, 100 år	Nederländerna, 250 år	Tyskland, 100 år	Tyskland, 90 mm/h
1	0,46	0,47	0,49	0,55	0,50	0,83
2	0,33	0,40	0,18	0,19	0,23	0,34
3	0,36	0,19	0,06	0,13	0,22	0,12
4	0,41	0,45	0,25	0,30	0,36	0,44
5	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18
6	0,10	0,16	0,11	0,16	0,10	0,20
7	0,37	0,44	0,18	0,20	0,23	0,42
8	0,07	0,05	0,05	0,06	0,07	0,11
9	0,52	0,57	0,29	0,33	0,35	0,55
10	0,20	0,20	0,10	0,13	0,10	0,53
11	0,93	1,12	0,34	0,42	0,44	1,13
12	0,77	0,70	1,52	2,36	0,83	1,28
13	0,06	0,11	0,02	0,19	0,02	0,08
14	0,87	1,00	0,77	0,087	0,79	1,03
15	0,52	0,54	0,05	0,27	0,31	0,49
Medelvärde	0,39	0,45	0,27	0,39	0,33	0,53

För Sveriges 100 års scenario (a) varierar vattenhastigheten mellan 0,06 meter per sekund vid mätpunkt 13 och 0,93 meter per sekund vid mätpunkt 11. Vid Sveriges 250 års scenario (b) ökar den högsta hastigheten till 1,12 meter per sekund (mätpunkt 11), medan lägsta vattenhastighet uppmättes vid mätpunkt 8 och hade ett värde på 0,05 meter per sekund. För Nederländernas 100 års scenario (c) så observeras lägsta hastigheten till 0,02 meter per sekund för mätpunkt 13, till högsta värdet på 1,52 meter per sekund vid mätpunkt 12. För 250 års scenariot (d) observerades högsta och lägsta värde i samma observationspunkter och de hade värden på 0,02 meter per sekund respektive 2,36 meter per sekund. För Tysklands 100 års scenario (e) är vattenhastigheten som lägst 0,02 meter per sekund vid mätpunkt 13 och som högst 0,83 meter per sekund vid mätpunkt 14. I scenariot med en nederbördsintensitet på 90 mm/h (f) observeras högre vattenhastigheter, där den lägsta är 0,08 meter per sekund vid mätpunkt 13 och den högsta 1,28 meter per sekund vid mätpunkt 12. Generellt visar mätpunkt 13 konsekvent de lägsta vattenhastigheterna i alla scenarier, medan de högsta varierar mellan mätpunkt 11 för Sveriges scenarier och mätpunkt 12 för Nederländernas och Tysklands scenarier.

I figur 23 visas resultaten från modelleringen av vattenflöden i m³/s för samtliga scenarier i Uppsala. Flödena är indelade i sju intervall där det lägsta är 0,005 m³/s och upp till 0,150 m³/s eller över.



Figur 23: Det maximala vattenflödet i m^3/s för samtliga scenarier i Uppsala. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

För Sveriges 100 års scenario (a) så är flödena främst inom intervallet 0,005 och 0,050 m^3/s . Högre flöden över 0,100 m^3/s , förekommer i vissa specifika områden men svåra att se. Vid 250 års regnet (b) är flödena mer omfattande och sprids ut lite mer, med fler områden som uppnår flöden över 0,100 m^3/s . För Nederländernas 100 års scenario (c) ligger flödena huvudsakligen mellan 0,005 och 0,050 m^3/s . Flödet vid grönområdet till den vänstra över kanten i kartan är mer utspritt är för Sveriges scenarion. Vid 250 års regnet (d) blir flödena mer utbredda och högre, med flera områden som uppnår över 0,150 m^3/s . För Tysklands 100 års scenario (e) dominerar flöden mellan 0,005 och 0,050 m^3/s , och den beter sig relativt likt Nederländernas men med lite mindre spridning av flöden. Däremot visar scenariot med 90 mm/h (f) markant högre flöden, med flera områden där flöden över 0,150 m^3/s förekommer. I figur 24 syns flödesskillnaderna för de olika scenarierna där Sveriges 100 års scenario applicerats som nollpunkt.



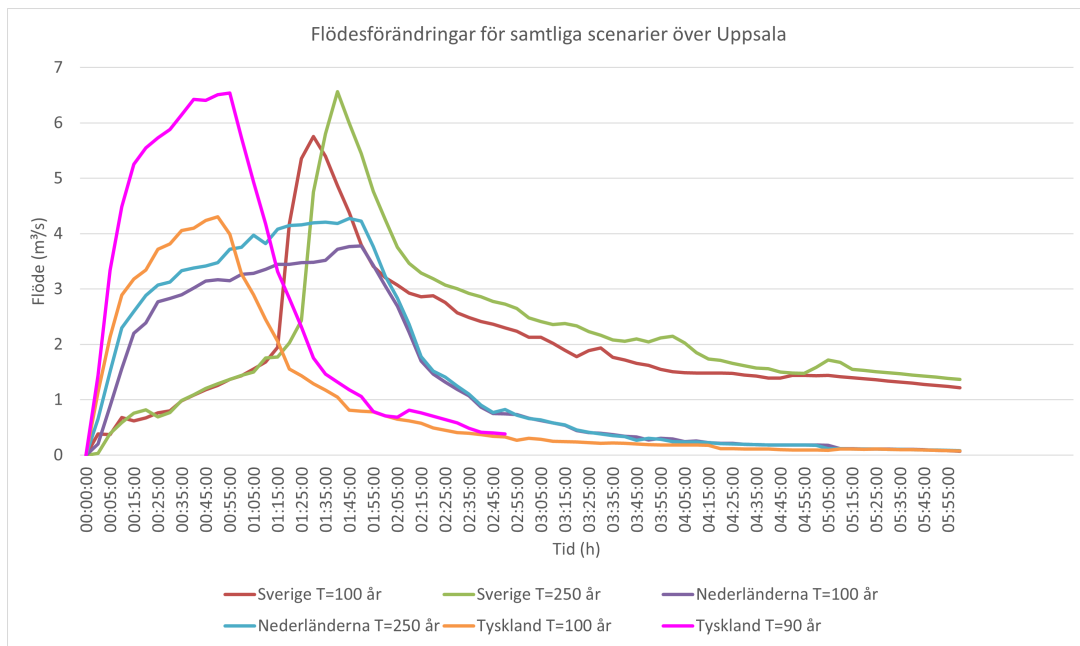
Figur 24: Skillnaderna i vattenflöde över Uppsala jämfört med Sveriges 100 års scenario som motsvarar nollpunkten i Uppsala. Om negativa värden är det lägre flöden än det svenska 100 års scenario, medans om det är positiva värden är det högre flöden. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figuren kan det observeras att Sveriges 250 års scenario (b) generellt har flöden som är upp till $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ högre än Sveriges 100 års scenario. Med vissa ytor som till och med är $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ lägre än 100 års scenariot. För Nederländernas 100 års scenario (c) uppvisar de flesta ytor att vattenflödet är $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ lägre än Sveriges 100 års scenario, dock täcks en del av ytorna med flöden som är $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ högre och som högst $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$ högre. För Nederländernas 250 års scenario (d) är lik Nederländernas 100 års scenario, dock breder de högre flödena ut sig. I denna kan även flöden upp till $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ högre observeras. För Tysklands 100 års scenario (e) är majoriteten av flödena $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ lägre än Sveriges 100 års scenario, dock med vissa ytor som har flöden som istället är $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ högre. För Tysklands 90 mm/h scenario (f) är majoriteten av ytorna täck av flöden som är $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ högre än Sveriges 100 års scenario. Dock uppvisas flera ställen som har flöden upp till $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ högre. Även vattenflödet togs fram för samma 15 observationspunkter. I tabell 21 syns värdena för vattenflödet i kubikmeter per sekund inom Uppsalas avrinningsområde.

Tabell 21: Vattenflödet i m³/s från 15 olika observationspunkter från samtliga scenarion i Uppsala.

Mätpunkt	Sverige, 100 år	Sverige, 250 år	Nederländerna, 100 år	Nederländerna, 250 år	Tyskland, 100 år	Tyskland, 90 mm/h
1	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
2	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
5	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
6	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
7	0,02	0,03	0,02	0,01	0,00	0,04
8	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03
9	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04
10	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,06
11	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,04
12	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,03	0,05	0,04	0,06	0,06	0,16
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Medelvärde	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03

För samtliga scenarier fanns flera observationspunkter som uppvisade ett flöde på 0,00 kubikmeter per sekund, alltså är det lägsta värdet för samtliga scenarier. Högsta värden observerat för Sveriges 100 års scenario är 0,04 m³/s (mät punkt 12) och för 250 års scenariot 0,05 m³/s (mät punkt 14). För Nederländernas 100 års scenario observerades högsta flödet i 0,04 m³/s (mät punkt 14) och för 250 års scenariot 0,06 m³/s i samma mät punkt. För Tyskland 100 års scenario var högsta i 0,06 m³/s för mät punkt 14 och för scenariot med en intensitet på 90 mm/h var högsta uppmätta 0,16 m³/s för samma mät punkt. Generellt uppvisar mät punkt 14 de högsta vattenflödena i alla scenarier förutom för Sveriges 100 års scenario där det är mät punkt 12. Mät punkt 15 visar konsekvent 0,00 m³/s för alla scenarier. I figur 25 syns även en graf som visar hur flödet förändrar sig över tid för samtliga scenarion vid ett tvärsnitt för avrinningsområdets utlopp.



Figur 25: En graf som innehåller samtliga scenarier över Uppsala. Där tiden är på x-axeln och flödet är på y-axeln.

För Sveriges 100 års scenario observeras att toppflödet är cirka $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ och för 250 års scenariot är toppflödet cirka $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$, för båda nås det efter cirka 1 timme och 45 minuter. För Nederländernas 100 års scenario observeras det att toppflödet är cirka $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$ och för 250 års scenariot cirka $4,1 \text{ m}^3/\text{s}$ som för båda nås efter cirka två timmar. För Tysklands scenarier nås toppflödet efter cirka en timme, för 100 års scenariot är toppflödet cirka $4,1 \text{ m}^3/\text{s}$ och för 90 mm/h scenariot är det cirka $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

5 Diskussion

I detta avsnitt presenteras diskussionen av resultaten med avseende på att besvara frågeställningar och uppfylla arbetets syfte. Det första avsnittet av diskussionen besvarar frågeställning 1 och 2, för att se vilka likheter och olikheter som finns från de olika ländernas rekommendationer och bygger på resultaten i litteraturstudien. Det andra avsnittet besvarar frågeställning 3 som syftar till att besvara hur modelleringarna skiljer sig åt och hur det bör övervägas i de svenska rekommendationerna. Avsnitt 3 sammanfattar de två avsnitten och ger förslag till eventuella förbättringar av de svenska rekommendationerna för skyfall. Avsnitt 4 beskriver arbetets förbättringsmöjligheter och begränsningar som kan ha påverkat arbetet, och sista avsnittet i diskussionen handlar om hur studien kan fortsätta.

5.1 Likheter och olikheter mellan ländernas parametrar

Detta avsnitt beskriver likheter och olikheter mellan de olika ländernas rekommendationer. Tanken är att det ska besvara frågeställning 1 och 2. Det fokuserar främst på återkomsttid, markens råhet och infiltration, men även viss fokus på andra parametrar som har funnits i ländernas rekommendationer. Det är parametrar som modellens upplösning, regnets varaktighet, regnets utformning och klimatfaktor.

5.1.1 Återkomsttid

För återkomsttider observerades att samtliga länder hade en rekommendation att kartera ett 100 års regn. Flera länder, såsom Sverige, Finland, Norge, Tyskland och Nederländerna, rekommenderade dock ett bredare spann av återkomsttider för att se hur olika nederbördshändelser påverkade avrinningsområdet. Till exempel föreslår Sverige ett intervall på 50–1000 år men ger inga specifika riktlinjer för hur återkomsttider inom detta intervall bör väljas. Detta skiljer sig från Finland, som mer tydligt specificerar ett 100- och 200 års regn, och Nederländerna, som rekommenderar modellering av tre scenarier: 100-, 250- och 1000 års regn. Norge och Tyskland tillför ytterligare ett perspektiv genom att inkludera intensitetsbaserade rekommendationer. Norge föreslår kartläggning av regn med en intensitet på 60–80 mm på en timme för tätbebyggda områden, medan Tyskland inkluderar ett extremscenario med 90 mm på en timme, motsvarande ett svenskt 1500 års regn enligt denna studies metod. Detta är särskilt intressant med tanke på att intensiva nederbördshändelser förväntas bli vanligare och mer intensiva till följd av klimatförändringar. Danmark, Finland och Sveriges mindre detaljerade val av återkomsttider upplevs begränsande jämfört med de bredare och mer extrema intervall som används i Norge, Tyskland och Nederländerna. Sverige har ett intervall upp till 1000 år så rekommendationen finns, dock hade det kunnat som Nederländerna och Tysklands rekommendera att man bör kartera för de högre intervallen istället för att endast ha med det i ett rekommenderat spann.

I urbana miljöer, där hårdgjorda ytor dominerar, är infrastrukturen ofta inte dimensionerad för regn med högre återkomsttider än 100 år, vilket kan leda till översvämningar som leder till stor fara för människor och natur. Det är svårt att bygga infrastruktur som kan hantera ett extremt regn, men sådana extrem scenarier har ett värde genom att identifiera var farliga vattenflöden och vattendjup uppstår. Till exempel kan modellering av extremscenarier hjälpa kommuner och räddningstjänster att planera skyddsåtgärder och insatser, vilket kan minska konsekvenserna om händelsen sker.

Forskning stödjer vikten av att inkludera fler och högre återkomsttider i modellering, exempelvis visar en studie att kombinationen av extrem nederbörd och urbanisering förstärker risken för översvämningar i tätorter och därför är det viktigt att veta hur ett sådant scenario beter sig i

avrinningsområdet (Crisci m. fl., 2002). Norges, Nederländernas och Tysklands mer omfattande modelleringsstrategier kan därför ses som inspirationskällor för Sverige. Genom att inkludera scenarier med högre återkomsttider och intensiteter kan svenska skyfallsmodeller bli bättre anpassade till klimatförändringar och bidra till mer kunskap om hur en tätort ska bereda sig på extrema skyfallshändelser.

5.1.2 Råhet

I de flesta analyserade länder används Manningtal som standardmetod för att beskriva markens råhet. Sverige rekommenderar användning av Manningtal med ett startvärde för varje marktyp, som kan justeras med $\pm 20\%$ för att kunna anpassa till lokala förhållanden. För asfalterade ytor rekommenderas exempelvis ett värde på $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Detta ligger i linje med Norge, som anger ett intervall på $60\text{--}80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, och Finland, vars intervall för asfalt sträcker sig mellan $62,5$ och $76,9 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Dessa länder har alltså snarlika rekommendationer med liknande intervall. Nederländerna använder också Manningtal men har ett annat tillvägagångssätt. Nederländerna anger ett brett intervall för asfalt, mellan $33,3$ och $100,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, med ett referensvärde (startvärde) på $66,7 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, vilket är mycket nära det svenska förslaget. Deras detaljerade uppdelning av markanvändning, som att inkludera kategorier för lekplatser och stadsparker, ger dock en mer precis kontext för att anpassa värden baserat på lokala förhållanden, vilket är en fördel vid modellering av områden med komplexa markstrukturer. Danmark saknar en nationellt enhetlig standard, vilket gör det svårt att jämföra med Sveriges mer tydliga riktlinjer. För Tyskland saknas specifik information om huruvida de använder Manningtal eller en alternativ metod.

Valet av Manningtal har visat sig ha en stor påverkan på hur vatten rör sig i avrinningsområden (Ye m. fl., 2018). Forskning pekar på att anpassade intervall, som de som används i Finland och Nederländerna, erbjuder en mer precis representation av variationen i markens råhet. Exempelvis inkluderar Nederländerna ett bredare spann för asfalt, vilket reflekterar deras insikt om att råheten kan variera kraftigt beroende på specifika markförhållanden, som nylagd eller sliten yta. På samma sätt har studier visat att modellernas noggrannhet förbättras betydligt när Manningtal justeras för lokala förhållanden, exempelvis genom att särskilja mellan lutande och plana ytor (Ye m. fl., 2018).

Sveriges metod, där Manningtal justeras med $\pm 20\%$, är ett steg i rätt riktning men kan anses för generell för att fånga variationerna i olika typer av markanvändning. Genom att inkludera mer flexibla och detaljerade intervall, likt de i Finland och Nederländerna, kan modellernas precision förbättras avsevärt. Ett möjligt tillvägagångssätt skulle vara att införa separata spann för äldre asfalt eller en tydligare beskrivning när ett värde ska justeras upp respektive ned och skulle bättre spegla hur markytans råhet påverkar vattenflöden. Detta skulle inte bara minska osäkerheter utan också möjliggöra mer realistiska flödesanalyser och därmed förbättra modelleringen.

5.1.3 Infiltration

Infiltration är en avgörande parameter inom skyfallsmodellering, och resultaten visar att Sverige har en mycket flexibel metod med breda intervall för infiltrationskapacitet ($0\text{--}36\,000 \text{ mm/h}$). För enklare analyser föreslår Sverige även ett schablonavdrag, där infiltrationskapaciteten multipliceras med en faktor mellan $0,7$ och 1 . Detta gör det möjligt att utföra både avancerade och förenklade modelleringsscenarier beroende på behov. Schablonavdraget fungerar bra som ett enklare alternativ när en fullständig infiltrationsmodul inte är nödvändig, men mer detaljerade modeller kräver mer kunskap för att välja korrekt värde.

I Finland används en annan förenklad metod med avrinningskoefficienter som komplement

till infiltrationsmoduler. Avrinningskoefficienten uttrycker hur stor andel av nederbörden som blir ytavrinning och kan användas för att uppskatta flöden utan att ta hänsyn till markens mer komplexa egenskaper som infiltrationskapacitet och porositet (Tegelberg och Svensson, 2013). För urbana miljöer, där infiltrationen ofta är minimal, kan detta vara en effektiv metod, särskilt när markanvändningen domineras av hårdgjorda ytor (Tegelberg och Svensson, 2013). Däremot tar avrinningskoefficienter inte hänsyn till faktorer som markens fuktighet eller porositet, vilket gör infiltrationsmodulen mindre detaljerad. Även om Finland har utfört fältmätningar för att ge bra värden för avrinningskoefficienterna, så borde en detaljerad infiltrationsmodul som Sverige har vara mer korrekt för att beskriva verkligheten och därmed få en noggrannare modellering.

En intressant aspekt av Danmarks metod som hänvisar till DHI och deras modell MIKE+ är inkluderingen av parametrar som läckhastighet och markens mäktighet. Dessa parametrar kan förbättra modellens förmåga att beskriva ytavrinning, något som är svårt att åstadkomma med bara avrinningskoefficienter eller enklare modeller. Läckhastighet beskriver transporten av vatten genom djupare jordlager, medan markens mäktighet påverkar hur mycket vatten som kan lagras innan mättnad uppstår. Att inkludera sådana parametrar i Sveriges riktlinjer skulle kunna höja modellernas noggrannhet då man utförligare beskriver markens egenskaper.

Norge och Nederländerna erbjuder också intressanta perspektiv. Norge förenklar infiltrationsmoduleringen genom att använda ett standardvärde för grönytor på 10^{-5} m/s (36 mm/h), vilket gör deras metod snabbare att implementera men mindre detaljerad. Nederländerna kombinerar enklare och mer avancerade metoder genom att ange både referensvärden och intervall, vilket ger användaren en tydlig startpunkt. Även om dessa metoder kan vara bra för modeller med lägre detaljeringsgrad, så är den svenska och danska infiltrationsmodulen mer detaljerad eftersom den beskriver markens egenskaper mer noggrant. Detta möjliggör därmed mer detaljerade analyser. En nackdel dock med att ha en så tydlig infiltrationsmodul är att det kan beskriva fel om man väljer fel värden, och eftersom vissa intervall för de svenska rekommendationerna är så stora kan de ge helt fel effekt på verkligheten där man både kan överskatta och underskatta värden. Därmed finns det en poäng att ibland använda schablonavdrag eller ett satt värde som Norge.

Tysklands betoning på årstidsvariationer är också relevant för Sverige. I norra Sverige påverkar tjäle och frusen mark infiltration under stora delar av året, medan södra Sverige har ett mildare klimat med högre infiltration året om (Klart.se, 2024). Med klimatförändringar som ökar sannolikheten för skyfall även under andra delar av året än sommaren, blir det allt viktigare att ta hänsyn till årstidsvariationer i infiltrationsmodulerna. Idag rekommenderar MSB främst att skyfallsmodellering ska utföras för sommaren.

Sverige har en stark grund i sin metod för infiltration, med möjlighet till både avancerade och förenklade analyser genom en infiltrationsmodul respektive ett schablonavdrag. Samtidigt finns det utrymme för förbättringar genom att inkludera fler parametrar, som läckhastighet och markens mäktighet, och genom att utveckla tydligare riktlinjer för hur intervall och parametrar ska användas. Även tydligare rekommendationer gällande skyfallskartering i olika årstider hade varit givande.

5.1.4 Andra viktiga parametrar

Sverige rekommenderar både Chicago Design Storms (CDS) och blockregn. CDS-regn föredras i de flesta fall eftersom de efterliknar naturliga intensitetsvariationer och därför är mer realistiska. Blockregn, med sin konstanta intensitet, används främst för worst-case-scenarier där systemens maximala kapacitet testas. Båda regntyperna har sina styrkor och kompletterar varandra. Länder som Nederländerna och Tyskland använder främst blockregn, ofta i kombination

med torrperioder följt efter nederbördshändelsen, vilket kan vara en bra metod för att studera återhämtningstiden hos marken och systemen efter regnhändelser. Att införa torrperioder som en standarddel i svenska modeller skulle förbättra förståelsen av markens återhämtningsförmåga. Det är dock inte konstigt att Nederländerna och Tyskland väljer blockregn som är kortare och mer intensivt, eftersom det är mer frekvent i centrala Europa än i Norden (Svenskt Vatten, 2012).

Sverige har ett brett intervall för regnvaraktigheter, från 5 minuter till 24 timmar. Detta ger stor flexibilitet och möjliggör anpassning till olika typer av analyser. Kortare regnvaraktigheter, som 1–2 timmar, rekommenderade i Tyskland och Nederländerna, är särskilt effektiva för att analysera toppflöden och kritiska belastningar i urbana system. Dessa varaktigheter framhäver intensiva flöden och identifierar sårbara punkter i systemens kapacitet. Längre varaktigheter, som de på upp till 24 timmar, är bättre om man är intresserad av de samlade effekterna av markmättnad och total avrinning. Detta är av stor betydelse för att förstå den långsiktiga effekten av extrem nederbörd och planera åtgärder för stabil samhällsutveckling. På så vis kan Sveriges stora spann för varaktighets rekommendationer anses vara bra, eftersom det inkluderar effekterna för korta och långa varaktigheter. Den svenska varaktigheten baseras ofta på koncentrationstiden, som är anpassad efter avrinningsområdets egenskaper också.

Klimatfaktorn är en viktig komponent i skyfallsmodellering eftersom den tar hänsyn till effekterna av framtida klimatförändringar. Sverige använder faktorer baserade på IPCC:s RCP-scenarier, med värden som varierar från 10 % för korta regn till 40 % för längre varaktigheter inom scenariot RCP 8.5. Detta ger en god representation av framtida risker men är ganska lågt jämfört med vissa andra länder. Danmark använder i vissa fall klimatfaktorer på upp till 100 %, vilket representerar ett worst-case scenario där nederbörden fördubblas jämfört med dagens nivåer. Eftersom forskningen tyder på att det kommer bli ökad nederbörd, kan det vara rimligt att ha ännu kraftigare klimatfaktorer än de Sverige rekommenderar.

Höjd- och modellupplösning är avgörande för att fånga småskaliga detaljer i urbana miljöer. Sveriges rekommenderade höjdmodellupplösning på 1–2 kvadratmeter och modellupplösning på 2 x 2 kvadratmeter. Länder som Nederländerna och Tyskland tillämpar dock ofta noggrannare upplösningar på ner till 1x1 kvadratmeter i tätbebyggda områden, vilket gör det möjligt att simulera småskaliga strukturer som trottoarkanter och brunnar med större noggrannhet. Sverige kan överväga att tillämpa liknande högupplösta modeller i särskilt kritiska områden, såsom urbana områden och känsliga infrastrukturer. Dock när man väljer en sådan noggrannhet tar modelleringen generellt längre tid.

5.2 Analys av modelleringen

Denna del är till för att besvara den tredje och sista frågeställningen, och ska därmed besvara hur resultaten skiljer sig åt från olika länder vid modellering och om det kan vara en grund till att kanske utveckla den svenska modellen. Denna diskussion utgår ifrån båda modelleringssområdena. Sedan följer även två underrubriker som även ger en tydligare förklaring till varför de områden som valdes gjordes och varför de scenarion som valdes prioriterades.

5.2.1 Vattendjup

I Örnsberg, där markanvändningen domineras av hårdgjorda ytor och glacial lera, genererade Sveriges CDS-regn ett maximalt vattendjup på 2,19 meter för ett 100 årsregn. Detta var högre än Nederländernas blockregn, som nådde 2,09 meter, och Tysklands blockregn, som uppvisade 2,01 meter för deras respektive 100 års scenarion. Vid mät punkt 1 var skillnaden mellan metoderna också tydlig, Sveriges CDS-regn resulterade i 1,10 meter, medan Nederländerna och Tyskland

låg på 0,87 meter respektive 0,94 meter. Denna punkt visar en återkommande trend: den svenska metoden uppvisar högre vattendjup för samma återkomsttid. För Sveriges 250 års regn, uppmättes ett maximalt vattendjup på 2,27 meter, vilket är högre än Nederländernas blockregn för samma scenario (2,20 meter). Vilket styrker argumentet om att Sveriges scenarion skapar större vattendjup. Däremot blir kontrasten klart större när man jämför med Tysklands 90 mm/h scenario, där vattendjupet nådde 2,53 meter. Här blir det tydligt att intensiteten i Tysklands metod skapar en betydande skillnad. En skillnad på 26 cm, som kan verka liten på papper men i verkligheten kritisk när vatten flödar med hastighet och kraft. Detta tyder på vikten av att modellera extrema scenarier, eftersom de kan ge insikter i hur områden påverkas av extrem nederbörd. I Uppsala, där jordarten domineras av postglacial sand och det finns fler grönytor, visar även på samma trend. Sveriges CDS-regn för ett 100 årsscenario genererade ett maximalt vattendjup på 1,96 meter, jämfört med Nederländernas 1,58 meter och Tysklands 1,36 meter. För Sveriges 250 års regn nådde vattendjupet 2,28 meter, medan Nederländernas blockregn stannade vid 1,82 meter. Tysklands 90 mm/h scenario producerade extrema vattendjup på 4,58 meter, en skillnad på hela 2,3 meter jämfört med Sveriges 250 års regn. Detta indikerar ännu en gång vikten av att inkludera mer extrema scenarion.

Markens infiltrationskapacitet och användning har stor påverkan på vattendjupen. Örnsberg, med sin höga andel hårdgjorda ytor (48%) och låg infiltrationskapacitet på grund av glacial lera, uppvisade i de flesta fallen högre vattendjup för de olika scenarierna jämfört med Uppsala, där postglacial sand och vegetationsytor dominerade. I Uppsala fanns en del sänkor som fungerade som vattenreservoarer, vilket förklarar de extrema vattendjup som uppmättes lokalt trots områdets generellt bättre infiltration. Tysklands 90 mm/h scenario, med sitt extrema vattendjup på 4,58 meter i Uppsala, är något som bör tas seriöst och sådana extrema scenario bör eventuellt inkluderas för Sveriges med tanke på hur stor skillnad som observerades från Sveriges 250 års scenario.

Att Sveriges CDS-regn för det mesta ger högre vattendjup visar på innebörden av regnets design. Utifrån modelleringen tyder det på att CDS-regnet skapar mer intensiva vattendjup för samma återkomsttid, och att man därmed antagligen bör fortsätta prioritera det för känslighetsanalyser. Dock tyder Nederländernas och Tysklands rekommendationer för mer intensiva regn också en funktion, då man kunde observera en större spridning av högre vattendjup för Nederländernas scenarion i Uppsala. Då vattendjupen var betydligt lägre för Sveriges 250 års regn jämfört med Tysklands 90 mm regn, indikerar det att högre återkomsttider bör inkluderas. Sveriges rekommendation för återkomsttid går dock upp till 1000 år för känslighetsanalyser, så något som hade varit intressant att studera är ett svenskt CDS-regn med återkomsttid på 1000 år jämfört med Tysklands 90 mm regn. På så vis hade man kunnat se om det hade fått mer extrem effekt på vattendjupen.

5.2.2 Vattenhastighet

Resultaten från modelleringen visar att Sveriges CDS-regn generellt ger högre vattenhastigheter än Nederländernas och Tysklands blockregn, men det finns intressanta undantag. För 100 års scenariot i Örnsberg uppmättes topphastigheter på 2,0 m/s för Sverige, 1,23 m/s för Nederländerna och 1,33 m/s för Tyskland. Det svenska regnet hade tydligt högre hastigheter här. I Uppsala var dock situationen annorlunda, Nederländerna visade den högsta hastigheten med 1,52 m/s, medan Sverige och Tyskland låg på 0,93 m/s respektive 0,83 m/s. Det var oväntat och kan bero på lokala skillnader mellan modelleringsområdena. För 250 års scenarierna observerades samma trend i Örnsberg vilket var att Sveriges regn gav den högsta hastigheten med 2,15 m/s, jämfört med Nederländernas 1,27 m/s. Tyskland stack dock ut med sitt extrema 90 mm/h

scenario som nådde 2,54 m/s. I Uppsala var det däremot Nederländernas regn som hade högst hastighet med en topphastighet på 2,36 m/s, högre än Sveriges 1,12 m/s. Trots detta var det svenska regnet generellt det som producerade högst hastigheter för de flesta punkter. Detta styrks även utifrån hastighetskartan över Uppsala. Om man studerar kartan med hastighetsskillnader kan det observeras att majoriteten av Nederländernas 250 års scenario till och med har lägre hastigheter än Sveriges 100 års scenario. Därmed är topphastigheterna lokala och inte utspridda i modellen. Tysklands 90 mm/h scenario uppnådde sin topphastighet på 1,28 m/s, men i kartan med hastighetsskillnader observeras ungefär samma hastigheter och spridning som Sveriges 250 års scenario.

Skillnaderna kan bero på att Örnsberg har fler hårdgjorda ytor, vilket gör att vattnet rinner av snabbare och genererar högre hastigheter. I Uppsala, som har mer grönområden och mindre urbaniserad mark, kan regnets intensitet ha spelat en större roll, vilket gynnade Nederländernas blockregn i vissa områden. Höga vattenhastigheter är farliga eftersom de kan orsaka erosion och skador på byggnader och infrastruktur. Det är därför viktigt att stresstesta extrema scenarier, som Tysklands 90 mm/h regn även i Sverige. Sådana tester hjälper till att identifiera svaga punkter i våra miljöer och förbättra beredskapen för intensiva skyfall. Genom att inkludera dessa i svenska modeller kan man bättre förstå och hantera de utmaningar som framtida extremväder kan innebära.

5.2.3 Vattenflöde

Sveriges CDS-regn tenderar att generera högre toppflöden och längre avrinningstider jämfört med blockregnen från Nederländerna och Tyskland. I Örnsberg, där markanvändningen domineras av hårdgjorda ytor och jordarten till stor del består av glacial lera med låg infiltrationskapacitet, uppnådde Sveriges 100 års scenario en topp på 8 m³/s efter cirka 1,5 timmar för ett tvärsnitt vid utloppet. Flödet avtog sedan gradvis, vilket visar på en långsam avrinning. För 250 års scenariot nådde toppflödet 11 m³/s, vilket var en tydlig ökning. Nederländernas 100 års blockregn genererade en flödestopp på 5 m³/s, medan deras 250 års scenario nådde 7 m³/s, båda uppnådde toppflöde efter cirka två timmar. Tysklands 100 års scenario uppnådde en topp på 7 m³/s, men deras 90 mm/h scenario producerade ett extremt toppflöde på 22 m³/s inom en timme, vilket understryker hur intensivt regn kan få förödande effekter. Generellt visar det på att toppflödet för utloppet skedde strax efter den mest intensiva delen av regnet var över. Anledningen till att värdena för flödena är så pass höga jämfört med kartan och tabellen är eftersom det är flödet på ett tvärsnitt och inte i en punkt, såsom observationspunkterna är framtagna. I Uppsala, där jordarten är mer genomsläpplig och markanvändningen inkluderar fler grönytor, var flödena generellt lägre. Sveriges 100 års scenario visade ett toppflöde på 5,8 m³/s, medan deras 250 års scenario nådde 6,5 m³/s, båda efter cirka 1 timme och 50 minuter. Nederländernas 100 års scenario hade en flödestopp på 3,8 m³/s, medan deras 250 års scenario nådde 4,1 m³/s, båda inom två timmar. Tysklands 100 års scenario visade ett toppflöde på 4,1 m³/s, medan deras 90 mm/h scenario nådde en topp på 6,5 m³/s efter bara en timme. Skillnaderna mellan områdena reflekterar hur markens infiltrationskapacitet, topografi och regnets intensitet påverkar flödet i ett område. I Uppsala är flödesskillnaderna mellan de olika scenarierna inte lika stora om man jämför med Örnsberg, vilket antagligen är eftersom det är mer hårdgjorda ytor i Örnsberg jämfört med Uppsala, vilket gör att mer vatten infiltrerar i Uppsala istället för att flöda på ytan.

Tabellen med observationspunkterna (18 och 21) visade inte på speciellt höga flöden och med liten variation mellan de olika ländernas scenarion. Kartorna visade dock på att det var mer spridning av vattenflöden för Nederländernas och Tysklands scenarion jämfört med Sveriges,

framförallt i Uppsala. Vilket tyder på att blockregn skapar mer utspridda flöden men med lägre flödes hastigheter. Dessa resultat visar på tydliga för- och nackdelar med de olika scenarierna. Sveriges CDS-regn, som genererar höga toppflöden, är särskilt användbara för att identifiera kritiska punkter i avrinningssystemen. Detta gör att det kan vara värt att inkludera blockregn med kort varaktighet för att observera hur stor spridningen av vattenflöden kan vara.

Tysklands 90 mm/h scenario illustrerar ännu en gång värdet av att modellera extrema händelser. Det höga toppflödet på 22 m³/s i Örnsberg och 6,5 m³/s i Uppsala visar hur system kan överbelastas av mycket intensiva regn på kort tid. Att inkludera extrema scenarier, som Tysklands 90 mm/h, skulle ge Sverige bättre underlag för att förbereda sig för framtida klimatförändringar, där mer intensiva och oförutsägbara skyfall förväntas. Detta kan användas för att dimensionera och klara av sällsynta men potentiellt förödande händelser. Genom att inkludera CDS-regnens och blockregnens tyder resultaten att man kan analysera största spridningen av vattenflöden och flödestoppar, vilket kan vara bra för att skapa en stabil och hållbar strategi för att hantera både dagens och framtidens översvänningsrisker.

5.2.4 Modellerings val

De modelleringsscenarier som valdes speglar de parametrar som ansågs skilja sig mest från de svenska scenarierna. Sveriges 100 års regn valdes eftersom det är standard enligt MSB:s riktlinjer. 250 års regnet inkluderades för att möjliggöra en direkt jämförelse med Nederländernas blockregn, som också modellerades för 100 och 250 års återkomsttid. Blockregnen, med sin varaktighet på två timmar följt av en torrperiod som Nederländerna rekommenderade, var en intressant kontrast till Sveriges CDS-regn som baseras på koncentrationstiden. För Tyskland användes ett 100 års blockregn och ett extremt 90 mm/h scenario. 100 års regnet inkluderades för jämförelse och på grund av att det ingick i deras rekommendationer, medan 90 mm/h valdes för att studera effekterna av ett mycket intensivt regn, som representerar ett extremfall utöver Sveriges vanliga modeller. Tysklands tredje scenario om fokus på ledningsnät valdes bort eftersom ledningsnät inte inkluderades i denna studie. Att inkludera 1000 års regn som Nederländerna rekommenderade, samt ett 1000 års regn med Sveriges standard hade varit intressant att studera och jämföra. Dock på grund av tid valdes dessa bort, och Tysklands 90 mm/h regn fick representera de mer extrema scenarierna. Rekommendationerna för Danmark och Finland gällande återkomsttid ansågs vara såpass lika de svenska att de inte var intressanta för modellering. Norges intensitetsbaserade lösning om att modellera nederbörd mellan 60-80 mm/h hade varit intressant, men på grund av tid prioriterades Tysklands intensitetsbaserade metod istället. Modelleringen för infiltration och råhet hade också varit intressant, men även här var det tiden som satte begränsningar för antalet möjliga scenarion att modellera. Eftersom de var mer lika de svenska, valdes de bort.

Valet av Örnsberg och Uppsala som modelleringsområden gjordes för att möjliggöra jämförelser under liknande klimatförhållanden, eftersom båda ligger inom SMHI:s klimatregion sydöst. Det huvudsakliga syftet var att kunna använda samma regndata för båda områdena, vilket minskar osäkerheten och gör det möjligt att fokusera på skillnader kopplade till markens egenskaper istället. Genom att ha samma nederbördsstatistik kunde analysen bättre isolera effekterna av infiltrationskapacitet, markanvändning och topografi. Örnsberg valdes eftersom det är ett tätbebyggt område i Stockholmsregionen med hög andel hårdgjorda ytor och en jordartsprofil dominerad av glacial lera. Detta gör det till ett typiskt exempel på ett urbant område med låg infiltrationskapacitet. Området har också en blandning av naturliga och artificiella ytor, vilket gör det särskilt intressant för att studera ytavrinning och toppflöden under intensiva regn. Uppsala valdes för att ge en kontrast till Örnsberg, med ett område som har större andel

genomsläppliga jordarter, inklusive postglacial sand och isälvssediment. Dessutom har Uppsala en högre andel naturliga ytor och färre hårdgjorda ytor, vilket möjliggjorde jämförelser mellan hur olika marktyper påverkar resultat som vattendjup, hastigheter och flöden.

5.3 Förslag på förbättringar av svenska rekommendationerna för skyfallsmodellering

För att förbättra MSB:s rekommendationer för skyfallskartering och göra dem mer stabila och anpassade till både dagens och framtidens behov kan flera viktiga förändringar föreslås baserat på resultaten från denna studie. En möjlig uppdatering är att inkludera mer extrema regnscenarier, som Tysklands 90 mm/h scenario. Detta regn som motsvarar nästan ett 1500 års regn enligt SMHI:s senaste statistik (Olsson m. fl., 2017), ger inblick i hur områden påverkas av extrem nederbörd som Sverige inte är vana vid. Även om sådana regn inte inträffar ofta, visar resultaten på betydligt högre vattendjup, hastigheter och flöden. Till exempel genererade Tysklands 90 mm/h scenario betydligt högre vattendjup i modellerna jämfört med Sveriges 250 års CDS-regn, vilket understryker vikten av att stresstesta system under mer extrema förhållanden. Med ökande nederbördsmängder kopplade till klimatförändringar är detta särskilt relevant. Dessutom är 90 mm/h inte jättelångt ifrån det svenska nederbördsrekordet på 86,3 mm på en timme. Därmed är det inte helt orimligt att med framtidens klimatförändringar uppnå sådana intensiva nederbördshändelser. Det är dock viktigt att rekommendationer för återkomsttid och skyfallsstatistik fortsätter arbetas fram utifrån svenska förhållanden. Även om MSB idag rekommenderar att analysera två scenarier med återkomsttider mellan 50 och 1000 år, skulle det kunna vara mer värdefullt att ställa tydliga krav på känslighetsanalyser med högre återkomsttider, istället för att enbart framställa detta som en rekommendation.

Utformningen av nederbörden kan också vara intressant att utvärdera vidare. Utifrån modelleringarna syntes att CDS-regnen som Sverige hade fick högre vattendjup för samma återkomsttider. Därmed bör Sverige antagligen fortsätta med det som huvudsaklig metod för känslighetsanalyser. Dock var Nederländernas och Tysklands metod med blockregn intressant då kartorna med flöden påvisade större spridning. Även Nederländerna och Tysklands rekommendation om att inkludera en torrperiod efter nederbörden var intressant, eftersom det ger en bra bild av när marken återhämtat sig från nederbörden. Detta är något som hade kunnat inkluderas i den svenska metoden.

En annan eventuell förbättring handlar om infiltrationsmodellering. Sveriges nuvarande metod använder schablonavdrag eller en avancerad infiltrationsmodul. Att göra som Finland som har avrinningskoefficienter känns inte speciellt relevant om det inte är för enkla modeller. För känslighetsanalyser som bör vara detaljerade är det nog mest rimligt att fortsätta med en avancerad infiltrationsmodul. Där hade det dock varit intressant om man gjorde som Danmark som använder sig av läckhastighet och markens mäktighet. Även om detta verkar utföras till stor del av svenska experter hade Sveriges rekommendationer kunnat införa referensvärden för dessa parametrar också. Sveriges höga intervall för infiltrationshastighet är bra då man kan anpassa marken efter lokala förhållanden. Dock krävs mycket kunskap för att veta vilket värde som bör appliceras. Därmed hade MSB kunnat införa en beskrivning av hur värdena bör anpassas efter specifika förhållanden. När intervallen är så stora som de är idag gör det att man lätt både kan underskatta och överskatta markens infiltrationsförmåga. En annan aspekt är att noggrannare ta med årsvariationer som nämns för Tyskland, genom att rekommendera skyfallsmodellering året om och inte bara för sommaren när marken inte är mättad.

För råhetskoefficienterna (Manningstal) hade ett markspecifikt intervall kunnat anges istället.

Nederländernas och Finlands metod där intervallet är anpassat efter specifik markanvändning ger mer utrymme till att anpassa mer noggrant istället för Sveriges som är $\pm 20\%$ för samtliga markanvändningsområden. Detta är något som hade kunnat ses över i de svenska rekommendationerna.

Klimatanpassning är en annan aspekt som hade kunnat utvecklas. Sveriges klimatfaktorer, baserade på RCP-scenarier är välgrundade och bra men framtidens klimatförändringar kan komma och kräva ännu mer aggressiva påslag för nederbörden. Inspiration kan tas från Danmark som har en klimatkoefficient upp till 100 %, för att ha ett worst-case scenario.

Sammanfattningsvis visar denna studie att MSB:s riktlinjer generellt är bra men att de kan utvecklas vidare genom att inkludera en bredare variation av återkomsttider, samt genom att förfinas parametrar för infiltration och råhet. Hade detta gjorts skulle Sverige bli ännu mer förberedda om situationen skulle ske.

5.4 Förbättringsmöjligheter och begränsningar i studien

Trots att studien strävat efter noggrannhet finns flera förbättringsområden och begränsningar som kan påverka resultaten och slutsatserna. En av de största utmaningarna har varit att samla korrekt och komplett information om andra länders rekommendationer. Även om stor vikt har lagts vid att granska och dubbelkolla källor, finns risken att viss information har gått förlorad eller misstolkats, särskilt vid användning av översättningstjänster. Som ytterligare begränsning har studien inte tagit hänsyn till vissa specifika parametrar som kan variera mellan länder och som kan påverka jämförelsen. Länder som Nederländerna och Tyskland har sannolikt fler detaljerade riktlinjer och rekommendationer som inte hittats, vilket kan påverka helhetsbilden. Ett samarbete med experter från respektive land skulle kunna minska risken för misstolkningar och ge en mer tydlig bild av deras metoder.

Modellen för Uppsala har skapats baserat på tillgänglig data, men en tydlig begränsning är att inget fältbesök genomfördes i området. Dock kan poängteras att studiens huvudsakliga syfte var en jämförelse av egenskaper mellan områden, snarare än att ge en exakt analys av översvämningsrisken i Uppsala. Därmed har modellerna anpassats för att spegla typiska egenskaper i området snarare än att exakt representera det. Ändå skulle ett framtida fältbesök kunna ge mer detaljerad data och öka modellens tillförlitlighet. Örnsberg modellen gavs till mig av Tyréns, denna är gjord av experter inom området men på grund av det kan jag inte intyga att modellerna skapats exakt likadant även om det försökt återskapas så gott som möjligt.

I modellerna har ledningsnät inte inkluderats, detta gör antagligen att alla värden blir mer extrema eftersom inget rinner undan i de systemen. I verkligheten finns ledningsnät som fångar upp mycket av vattnet.

5.5 Fortsättningsarbete

För att vidareutveckla och förbättra de svenska rekommendationerna för skyfallskartering finns ett stort antal områden att utforska. Med klimatförändringarna som ökar både intensitet och frekvens av skyfall är detta arbete mer relevant än någonsin. De svenska riktlinjerna behöver anpassas och vidareutvecklas för att möta framtidens utmaningar, och detta arbete kan ligga till grund för flera förbättringsmöjligheter.

En första förbättring är att fördjupa studien av markens råhet och infiltration. Dessa parametrar har stor inverkan på hur vattenflöden beter sig på ytan och kan förbättras ytterligare i modellen. Att fortsätta arbetet och studera riktvärden för markens mäktighet och läckhastighet hade kunnat

vara ett nästa steg. En känslighetsanalys av råhetsvärden, där man jämför Sveriges $\pm 20\%$ justering med de satta max- och minvärden som används av andra länder, skulle kunna undersöka om de svenska riktlinjerna behöver anpassas ytterligare. Att analysera vilka markanvändningskategorier som inkluderas i modellerna är också relevant, där vissa kategorier som används internationellt kanske bör övervägas att inkluderas i de svenska rekommendationerna.

Ett annat område som kan utvecklas är att utöka analysen till fler länder. Denna studie har fokuserat på europeiska länder, där samtliga förutom Norge är medlemmar i EU och därför följer liknande standarder. Att studera länder med liknande klimat, såsom Kanada och USA kan eventuellt ge nya perspektiv och metoder som kan inspirera de svenska rekommendationerna. Dessa länder lär också ha metoder för skyfallskartering och modeller för att hantera extrema regnhändelser. Dessutom utvecklas forskningen på detta område snabbt, och genom att inkludera den senaste vetenskapliga litteraturen kan de svenska rekommendationerna hållas uppdaterade och välgrundade.

Ett intressant nästa steg vore också att utveckla och utvärdera fler scenarier för den svenska modellen. Denna studie har visat vikten av att använda flera extrema regnscenarier för att vara förberedd i ett worst-case scenario. Att identifiera vilka scenarier som är mest relevanta för Sverige och hur de ska utformas är en möjlig fortsättning på detta arbete. Detta skulle kunna inkludera både extrema scenarier, som Tysklands 90 mm/h-regn, och mer specifika variationer baserade på års- och säsongsvariationer.

6 Slutsats

Skyfallskartering är ett verktyg för att förstå och hantera översvämningsrisker, särskilt i ett föränderligt klimat där intensiva nederbördshändelser förväntas bli allt vanligare. Den svenska modellen för skyfallskartering, med fokus på CDS-regn och återkomsttider mellan 50 och 1000 år, är väl anpassad till svenska förhållanden och erbjuder en stabil grund för riskbedömning och planering. Samtidigt visar detta arbete att det finns utvecklingspotential för att stärka riktlinjerna ytterligare.

Ett av de viktigaste resultaten är att inkludera mer extrema scenarier, såsom Tysklands 90 mm/h scenario, för att stresstesta området vid ovanliga förhållanden. Att bredda modellen med sådana scenarier skulle säkerställa att svenska kommuner och myndigheter är bättre rustade för sällsynta men potentiellt förödande skyfall. Detta är särskilt relevant i en framtid där klimatförändringar antagligen kommer göra att mer intensiva regn blir allt vanligare. Markens egenskaper, såsom infiltration och råhet, är också centrala områden som kan förbättras i den svenska modellen. Resultaten pekar på att en mer detaljerad modellering av dessa parametrar, med tydligare riktlinjer och referensvärden, skulle kunna minska osäkerheten och skapa bättre prognoser. Att inkludera fler parametrar, som läckhastighet och mäktighet, samt att utföra en noggrannare känslighetsanalys på råhetskoefficienter och infiltration, kan ge värdefulla insikter och stärka modellerna.

Det är också tydligt att skyfallskartering är ett forskningsområde med hög relevans i framtiden. Tekniken och datan som används för att modellera översvämningsutveckling snabbt, och nya metoder och verktyg kan studeras i framtida rekommendationer. Klimatanpassning kommer att kräva kontinuerliga förbättringar av både metoder och modeller, vilket gör detta till ett område i stort behov av utveckling. Att stärka Sveriges skyfallsmodellering är inte bara viktigt för att hantera dagens utmaningar utan också för att säkerställa framtiden.

Sammanfattningsvis visar detta arbete att Sverige redan har en stark grund i sin skyfallskartering, men att det finns utrymme för förbättringar och utveckling. Genom att integrera internationella perspektiv, bredda analysen av parametrar och anpassa modellerna till framtidens klimatutmaningar kan Sveriges riktlinjer bli ännu starkare. Skyfallskartering är inte bara en teknisk fråga utan ett viktigt verktyg för att skydda samhällen mot ökande översvämningsrisker.

Referenser

- Andrés-Doménech, I. (2019). *A Comparison of Design Storms for Urban Drainage System Applications*. I: Water. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w11040757>. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/332379049_A_Comparison_of_Design_Storms_for_Urban_Drainage_System_Applications.
- Berg, Moseley och Haerter (2013). *Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures*. I: Nature Geoscience 6. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/ngeo1731>. Tillgänglig: <https://www.nature.com/articles/ngeo1731#citeas>.
- Boulomytis, V. T. G., A. C. Zuffo, J. G. Filho och M. A. Imteaz (2017). *Estimation and calibration of Manning's roughness coefficients for ungauged watersheds on coastal floodplains*. I: International Journal of River Basin Management. DOI: https://doi.org/https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1080%2F15715124.2017.1298605?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6InB1YmxpY2F. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/314247087_Estimation_and_calibration_of_Manning%27s_roughness_coefficients_for_ungauged_watersheds_on_coastal_floodplains.
- Boverket (2021). *Hårdgjorda ytor*. Tillgänglig: https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/platser/hardgjorda/?utm_source (hämtad 2024-12-06).
- contributors, O. (2024). *OpenStreetMap-data*. Tillgängligt under Open Database License (ODbL). Hämtat via Scalgo Live. Tillgänglig: <https://www.openstreetmap.org>.
- Crisci, A., B. Gozzini, F. Meneguzzo, S. Pagliara och G. Maracchi (2002). *Extreme rainfall in a changing climate: regional analysis and hydrological implications in Tuscany*. eng. I: Hydrological processes 16.6, s. 1261–1274. ISSN: 0885-6087.
- Deltares (2010). *Building the Netherlands Climate Proof: Urban Areas*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-10-02. Deltares.
- (2018). *Overstromingsrisico's door Ten behoeve van de voorlopige risicobeoordeling ikv EU-Richtlijn Overstromingsrisico's*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-10-02. Deltares.
- DHI (2024). *MIKE+ User Guide: 2D Overland Flow*. Available at https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2024/Cities/MIKE_Plus_2DOverland.pdf. DHI Group. Tillgänglig: https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2024/Cities/MIKE_Plus_2DOverland.pdf.
- (u.å). *MIKE+*. Tillgänglig: <https://www.dhigroup.com/technologies/mikepoweredbydhi/mikeplus> (hämtad 2024-11-06).
- Dyrrdal, A. V. och E. J. Førland (2019). *Klimapåslag for korttidsnedbør*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-09-25. Norsk klimaservicesenter. Tillgänglig: <https://klimaservicesenter.no/kss/laer-mer/klimapaslag>.
- Feltelius, V. (2023). *SMHI ser över klimatfaktorer för extrem korttidsnederbörd*. Tillgänglig: <https://vaguiden.se/2023/09/smhi-ser-over-klimatfaktorer-for-extrem-korttidsnederbord/> (hämtad 2024-11-27).
- Fergus, T., K. A. Hoseth och E. Sæterbø (2019). *Vassdragshåndboka*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-09-25. Norsk klimaservicesenter. Tillgänglig: <https://klimaservicesenter.no/kss/laer-mer/klimapaslag>.
- Forsyning, G. (2016). *Urban Climate change guidelines*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-10-01. DHI. Tillgänglig: <https://www.dhigroup.com/upload/publications/misc/Urban-Climate-Change-Guidelines-DHI.pdf>.

- García-Bartual, R. och I. Andrés-Doménech (2017). *A two-parameter design storm for Mediterranean convective rainfall*. I: Hydrology and Earth System Sciences. DOI: <https://doi.org/doi:10.5194/hess-21-2377-2017>. Tillgänglig: <https://hess.copernicus.org/articles/21/2377/2017/hess-21-2377-2017.pdf>.
- I&W, S. ministerie van och S. RIONED (2020). *Standaarden voor de stresstest wateroverlast (herzien o.b.v. nieuwe neerslagstatistiek 2019)*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-10-02. Deltaprogramma.
- kaupunki, I. (2013). *ILKKA-hanke, Turku*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-10-01. Ilmastonestävä kaupunki. Tillgänglig: https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files/alueellinen_hulevesisuunnitelma.pdf.
- Kind, C., T. Kaiser, M. Riese, P. Bubeck, E. Müggenburg, A. Thieken, L. Schüller och R. Fleischmann (2019). *Vorsorge gegen Starkregenereignisse und Maßnahmen zur wassersensiblen Stadtentwicklung – Analyse des Standes der Starkregenvorsorge in Deutschland und Ableitung zukünftigen Handlungsbedarfs*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-10-01. Umwelt Bundesamt. Tillgänglig: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vorsorge-gegen-starkregenereignisse-massnahmen-zur>.
- Kind, C., N. L. Neumann, T. Naumann, S. Kunze och H. Sieker (2023). *Adaptation Standard: Diskussion des Anpassungsbedarfs ausgewählter Normen und Richtlinien bezüglich Folgen des Klimawandels Themen: Sommerlicher Wärmeschutz, Schutz der technischen Gebäudeausrüstung, Talsperren, Regenversickerung und -rückhalteräume*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-10-01. Umwelt Bundesamt. Tillgänglig: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/adaptation-standard-diskussion-des>.
- Klart.se (2024). *Tjäle - Prognoser och information*. Senast besökt 2024-12-09. Tillgänglig: <https://www.klart.se/tjale/>.
- Klimaatteffectatlas (u.å). *Urban Infiltration Opportunities*. Accessed: 2024-09-26. Tillgänglig: <https://www.klimaatteffectatlas.nl/en/urban-infiltration-opportunities> (hämtad 2024-09-26).
- Krvavica, N. och J. Rubinic (2020). *Evaluation of Design Storms and Critical Rainfall Durations for Flood Prediction in Partially Urbanized Catchments*. I: Water. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w12072044>. Tillgänglig: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/7/2044>.
- Krüger, L. Water, B. Paludan, DHI och V. Syd (2022). *En kagebog for analyser af klimaændringers effekter på oversvømmelser i byer*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-10-01. DAN-VA. Tillgänglig: <https://www.danva.dk/media/8367/2022-04-06-klimakagebog-3-samlet.pdf>.
- Kuntaliitto (2012). *Urban Climate change guidelines*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-10-01. Kuntaliitto. Tillgänglig: <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2012/1481-hulevesiopas>.
- Kystdirektoratet (2016). *Kortlægning af erosion og oversvømmelse*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-10-01. Kystdirektoratet. Tillgänglig: <https://kyst.dk/publikationer/erosion/kortlaegning-af-erosion-og-oversvoemmelse>.
- Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper*. I: Statens geotekniska institut. Tillgänglig: <https://www.sgi.se/globalassets/publikationer/info/pdf/sgi-i1.pdf>.
- Mehta, O., M. L. Kansal och D. S. Bisht (2022). *A comparative study of the time of concentration methods for designing urban drainage infrastructure*. I: AQUA-Water Infrastructure, Ecosystems and Society. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.2166/aqua.2022.107>. Tillgänglig: <https://iwaponline.com/aqua/article/71/10/1197/90789/A-comparative-study-of-the-time-of-concentration>.

- miljødirektoratet (2024). *Kartlegg risiko for skade og besluttningsbehov for tiltak*. Tillgänglig: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/for-myndigheter/overvannshandtering/kartlegg-risikobildet/> (hämtad 2024-09-30).
- Ministerium für Umwelt (2018). *Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-10-01. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Tillgänglig: https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/arbeitshilfe_kommunales_starkregenrisikomanagement_2018.pdf.
- Moglen, G. och A. Mejía (2010). *Impacts of the spatial distribution of imperviousness on the hydrologic response of an urbanizing basin*. I: Hydrological processes. Tillgänglig: <https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.its.uu.se/doi/full/10.1002/hyp.7755>.
- Morbideilli, R., C. Corradini, C. Saltalippi, A. Flammini, J. Dari, Govindaraju och R. S. (2018). *Rainfall Infiltration Modeling: A Review*. I: Water 10.12. ISSN: 2073-4441. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10121873>. Tillgänglig: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/12/1873>.
- MSB (2023). *Metod för skyfallskarartering av tätorter: vägledning*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-09-13. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Tillgänglig: <https://rib.msb.se/filer/pdf/30510.pdf>.
- NVE (2023). *Modul F1.003: Hydraulisk analyse og vannlinjeberegning*. Tillgänglig: <https://veiledere.nve.no/sikringshandboka/moduler/modul-f1-003-hydraulisk-analyse-og-vannlinjeberegning/> (hämtad 2024-09-25).
- Olsson, J., P. Berg, L. S. Anna Eronn, J. Södling, L. Wern och W. Yand (2017). *Extremregn i nuvarande och framtida klimat*. I: Klimatologi 47. Tillgänglig: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.165084!/Klimatologi_47%20Extremregn%20i%20nuvarande%20och%20framtida%20klimat%20Analyser%20av%20observationer%20och%20framtidsscenarier.pdf.
- Pedersen, T. B., R. Bratlie, I. J. Verbaan, B. Sandal, S. T. Solbrå, T. G. Hagerup, A. M. Röttorp, A. Fleig, M. Stickler, P. E. Sommer-Erichson, E. V. Dalen, I. C. Storteig, K. Tvedalen, L. W. Dören och S. J. Langsjøvold (2022). *Rettleiar for handtering av overvatn i arealplanar*. Available at https://publikasjoner.nve.no/veileder/2022/veileder2022_04.pdf. Noregs vassdrags- og energidirektorat. Norge.
- QGIS documentation (2024). *Introducing GIS*. Tillgänglig: <https://docs.qgis.org/3.34/en/docs/#> (hämtad 2024-11-28).
- Sanz-Ramos, Bladé, González-Escalona, Olivares och Aragón-Hernández (2021). *Interpreting the Manning Roughness Coefficient in Overland Flow Simulations with Coupled Hydrological-Hydraulic Distributed Models*. I: Water. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13233433>. Tillgänglig: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/23/3433>.
- Scalco (u.å.[a]). *Sweden*. Tillgänglig: https://scalco.com/live/sweden?res=2048&ll=20.839938%2C61.635592&lrs=lantmateriet_topowebb_nedtonad (hämtad 2024-11-06).
- (u.å.[b]). *Vi är Scalco*. Tillgänglig: <https://scalco.com/sv/om-oss> (hämtad 2024-10-31).
- Seneviratne, S., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S. Vicente-Serrano, M. Wehner och B. Zhou (2021). "Chapter 11: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate".

- I: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Utg. av Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J., Maycock, T., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. och Zhou, B. Cambridge, United Kingdom och New York, NY, USA: Cambridge University Press. Tillgänglig: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-11/>.
- SMHI (2023a). *Jordens huvudklimat*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/jordens-klimat> (hämtad 2024-11-15).
- (2023b). *RCP scenarier*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatmodeller-och-scenarier/rcp-er-den-nya-generationen-klimatscenarier-1.32914> (hämtad 2024-12-02).
 - (2023c). *Småskalig hydrologisk modellering*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/forskning/forskningsenheter/hydrologisk-forskning/urbanhydrologisk-riskbedomning-1.130299> (hämtad 2024-10-11).
 - (2024a). *Skyfall*. Tillgänglig: <https://www.klimatanpassning.se/klimatanpassa/vagledning-for-klimatanpassning/hantera-risker/skyfall-1.89213> (hämtad 2024-09-26).
 - (2024b). *Svenska nederbördsrekord*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/svenska-nederbordsrekord/svenska-nederbordsrekord-1.6660> (hämtad 2024-10-22).
- Svenskt Vatten (2012). *Regnintensitet i Europa med fokus på Sverige - ett klimatiförändringsperspektiv*. Tekn. rapport. Tillgänglig från Svenskt Vatten. Svenskt Vatten. Tillgänglig: https://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2012-16.pdf.
- (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten: Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem*. Publikation P110. Svenskt Vatten AB.
- Tegelberg, L. och G. Svensson (2013). *Utvärdering av Svenskt Vattens rekommenderade sammanvägda avrinningskoefficienter*. Tekn. rapport 2013-05. Rapporten diskuterar avrinningskoefficientens påverkan av hårdgjorda ytor i urbana miljöer. Stockholm, Sverige: Svenskt Vatten Utveckling. Tillgänglig: https://www.svensktvatten.se/globalassets/arbeten-och-projekt/utvecklingsarbete/svu-rapporter/2013_05.pdf.
- Tvedalen, K., I. Storteig, A. K. Fleig, O. F. Holt och T. B. Pedersen (2023). *Kartläggning av fare fra overvann*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-09-30. NVE. Tillgänglig: https://publikasjoner.nve.no/veileder/2023/veileder2023_02.pdf.
- WSP (2018). *Skyfallsmodellering Stockholm stad*. Tekn. rapport. Accessed: 2024-11-01. Stockholm vatten och avfall.
- Ye, A., Z. Zhou, F. M. Jinjun You och Q. Duan (2018). *Dynamic Manning's roughness coefficients for hydrological modelling in basins*. I: *Hydrology Reserch*. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.2166/nh.2018.175>. Tillgänglig: <https://iwaponline.com/hr/article/49/5/1379/38878/Dynamic-Manning-s-roughness-coefficients-for>.

7 Bilagor

7.1 Tabeller från litteraturstudie

Tabell 22: I tabellen visas några av de sökord som används för att få fram relevanta vetenskapliga artiklar.

Svenska termer	Engelska termer
Skyfallskartering	Flood Mapping/ Cloudburst Mapping/ Extreme Rain Mapping
Riktlinjer för skyfallsmodellering	Guidelines for Stormwater Modeling
Återkomsttid	Return Period
Råhet	Soil Roughness
Infiltrationskapacitet	Infiltration Capacity
Markanvändning	Land Use
Hydrologiska parametrar	Hydrological Parameters
Klimatscenario	Climate Scenarios
Markegenskaper	Soil Characteristics
Regnscenarier	Rainfall Scenarios
Infiltrationsmodellering	Infiltration Modeling

Tabell 23: I tabellen finns information om de myndigheter och kommuner som använts för att hitta ländernas rekommendationer gällande skyfallskartering.

Land	Myndighet	Beskrivning
Sverige	Myndigheten för samhällsskydd och beredskap	Ansvarar för riktlinjer och metodik för skyfallskartering.
Sverige	Svenskt vatten	Ger rekommendationer och riktlinjer för vatten- och avloppshantering.
Sverige	Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut	Tillhandahåller klimatdata och väderprognoser.
Norge	Norges vassdrags- og energidirektorat	Ansvarar för vattenresurser och översvänningsrisker.
Danmark	Kystdirektoratet	Ansvarar för kustskydd och översvänningshantering.
Danmark	Danish hydraulic institute	Institut som tillhandahåller modelleringsverktyg.
Finland	Kuntaliitto	Ger stöd och riktlinjer till kommuner för hantering av översvämningar och klimatanpassning
Tyskland	Landesamt für Umwelt i Brandenburg	Regional myndighet som ansvarar för miljö- och översvänningshantering i delstaten Brandenburg.
Tyskland	Umweltbundesamt	Federala miljömyndigheten som ger riktlinjer för miljöskydd och klimatanpassning i hela Tyskland.
Nederländerna	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat	Myndighet för infrastruktur och vattenförvaltning, ansvarar för övergripande vattenhantering och översvämningsskydd.
Nederländerna	Rijkswaterstaat	Tillhör ovanstående myndighet, ansvarar specifikt för vattenvägar, översvämningsskydd och underhåll av infrastruktur.

7.2 Indata för Uppsala modellen

I denna del sammanfattas de värden som applicerades för markens råhet och infiltration i Uppsala modellen.

I tabell 24 beskrivs de värden som jag antog för Manningstal.

Tabell 24: I tabellen visas värdena för Mannings tal som applicerades för att beskriva markens råhet. Markanvändningen från Lantmäteriet använder inte samma begrepp som MSB gör, därmed finns även kolumnen "egen kommentar" som beskriver hur jag valde att översätta dem till MSB:s tabell.

Markanvändning enligt Lantmäteriets karta	Mannings tal M ($m^{1/3}/s$)	Egen kommentar
Berg i dagen	30	Finns i MSB:s
Vatten	50	"Vattenytor" i MSB:s tabell
Övrigt asfalterad	40	Övriga vägar och hårdgjorda ytor i MSB:s
Gles vegetation	20	Övrig öppen mark med låg vegetation i MSB:s
Tät vegetation	5	Skog, åkermark med buskar i MSB:s
Asfalterad väg	70	Vägar i MSB:s
Oasfalterad väg	40	Övriga vägar och hårdgjorda ytor i MSB:s
Byggnader	15	Övrig bebyggelse i MSB:s

I tabell 25 syns sammanfattad de värden som valdes till Uppsala modellen för infiltration.

Tabell 25: I tabellen visas valet av värden för de olika jordarternas infiltrationshastighet, läckhastighet, zondjup, porositet och initiala mättnadsgrad.

Jordart	Infiltrationshastighet (mm/h)	Läckhastighet (mm/h)	Zondjup (m)	Porositet	Initial mättnadsgrad (%)	Egen kommentar
Fyllning	0.036	36.000	0.300	0.200	30	Fyllning klassas som morän. På grund av att fyllning oftast är kompakterad valdes ett lågt värde för infiltrationshastighet. Porositeten valdes till medelvärde.
Glacial lera	0.018	0.360	0.300	0.600	35	Valde medelvärden för MSB:s rekommendationer för ler.
Glacial silt	30.000	0.360	0.300	0.450	30	Glacial silt är mer kompakterad än vanlig silt. Därmed valdes ett lägre värde för infiltrationshastighet, medan porositeten valdes till medelvärde.
Isälvsediment	360.000	360.000	0.300	0.400	15	Isälvsediment klassas inom grus och sand, men kan innehålla finare jordarter. Valde högsta värdet för silt som infiltrationshastighet, också inom sandintervallet. Samma metod för porositet.
Isälvsediment, sand	360.000	360.000	0.300	0.400	15	Klassades inom samma kategori som ovan; samma värden valdes.
Postglacial sand	360.000	360.000	0.300	0.400	15	Klassades inom samma kategori som ovan; samma värden valdes.
Sandig morän	36.000	36.000	0.300	0.250	20	Valde de högsta värdena för morän för infiltrationshastighet och porositet, eftersom dessa även ligger inom kategorin för sand.
Urberg	5.000	0.000	0.000	0.100	10	Valde medelvärde för porositet och nästan lägsta värdet för infiltrationshastighet eftersom urberg släpper genom mycket lite vatten.
Vatten	0.000	0.000	0.000	0.000	100	Följde MSB:s rekommendationer.
Hårdgjorda ytor	0.000	0.000	0.000	0.000	0	Antogs vara helt ogenomsläppliga.

7.3 Beräkningsresultat

I tabell 26 syns resultaten för koncentrationstiden för CDS regnen, dessa brukar avrundas till hela timmar vilket jag valde att göra. Därmed ser man även avrundningen i tabellen.

Tabell 26: I tabellen syns den beräknade koncentrationstiden uträknad utifrån beskrivningen i metoden. Eftersom det är lättare att använda sig av hela timmar så avrundades de till närmsta heltal.

Plats	Koncentrationstid (h)	Avrundad koncentrationstid (h)
Örnsberg	6,41	6
Uppsala	5,86	6

Efter att ha beräknat koncentrationstiden kunde regnvolymen (ackumulerade regnet) och intensiteten för de olika regnen beräknas. Resultaten av dessa finns i tabell 27.

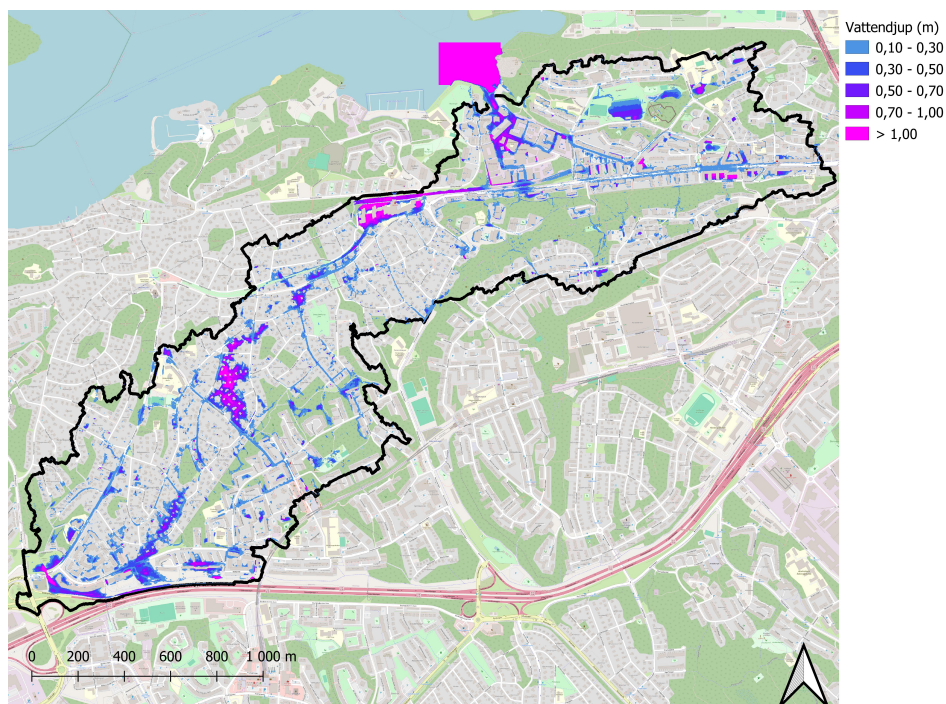
Tabell 27: I tabellen finns värdena för beräknade regnvolymen och intensiteten för de scenarion som skulle modelleras. För de nederländska och tyska scenarierna så finns värden för både regnvolymen och intensiteten. Eftersom den totala regnvolymen delades ut över olika intensiteter, finns den inte med i tabellen.

Scenario	Regnvolym (mm)	Intensitet (mm/h)
Sverige, T = 100 år	65,23	-
Sverige, T = 250 år	79,77	-
Nederländerna, T = 100 år	46,06	23,03
Nederländerna, T = 250 år	56,62	28,31
Tyskland, T = 100 år	36,99	36,99
Tyskland, 90 mm/h	90,00	90,00

7.4 Kartor

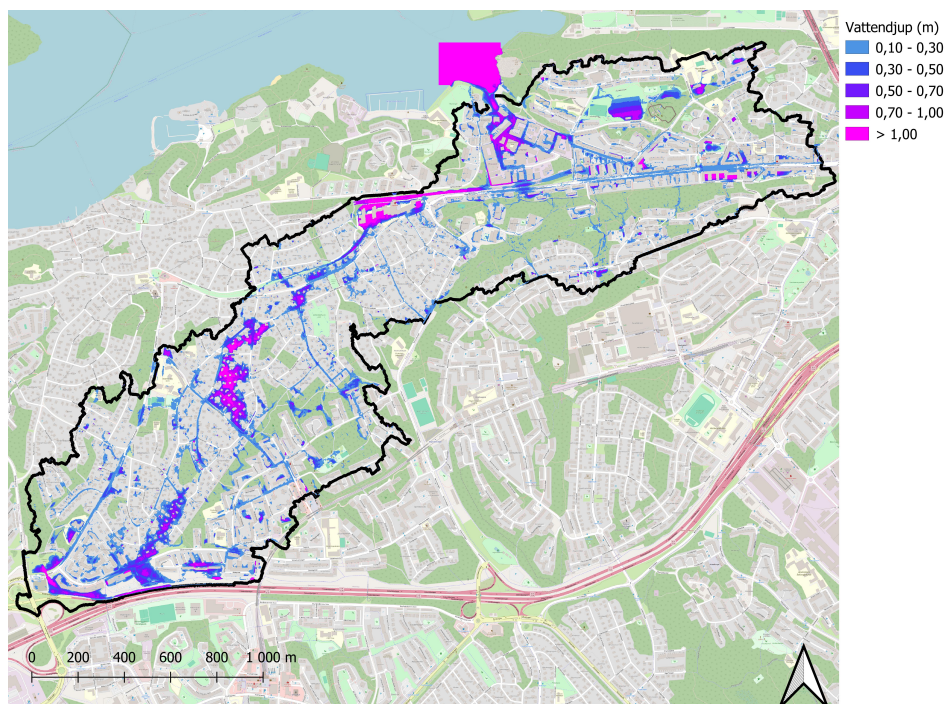
7.4.1 Kartor Örnsberg

Under följande del inkluderas samtliga kartor för hela Örnsbergs avrinningsområde i ett större format än från det som visas i rapportens resultatdel. De första 6 figurerna representerar vattendjup, de 6 därefter vattenhastighet och de sista 6 vattendjup. I figur 26 syns vattendjupet för Sveriges 100 års scenario.



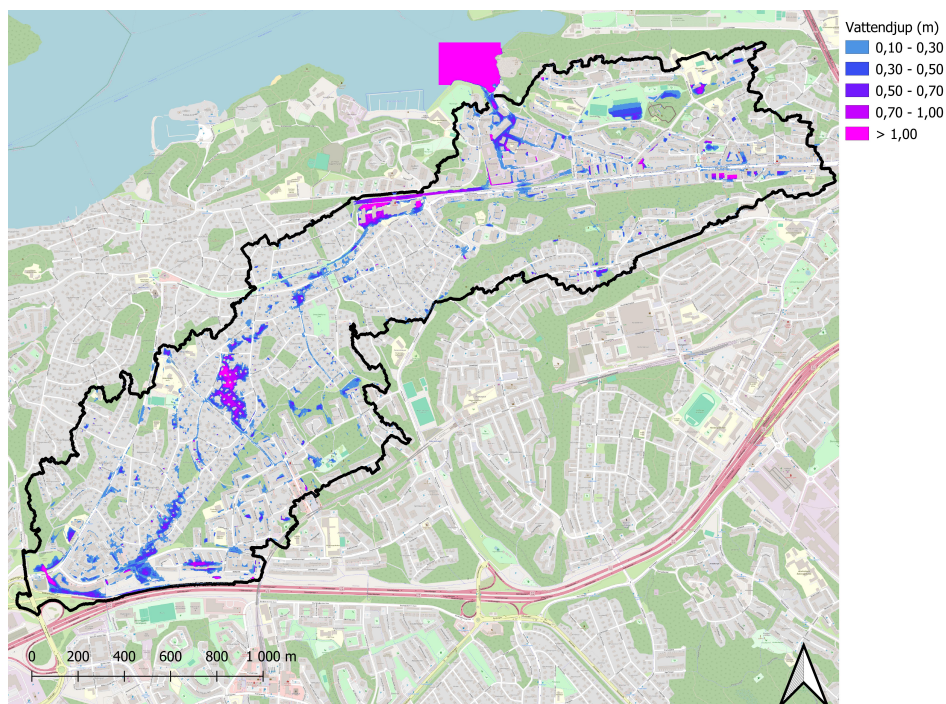
Figur 26: I figuren syns vattendjupet för Örnberg över hela avrinningsområdet vid Sveriges 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 27 syns vattendjupet för Sveriges 250 års scenario över Örnberg.



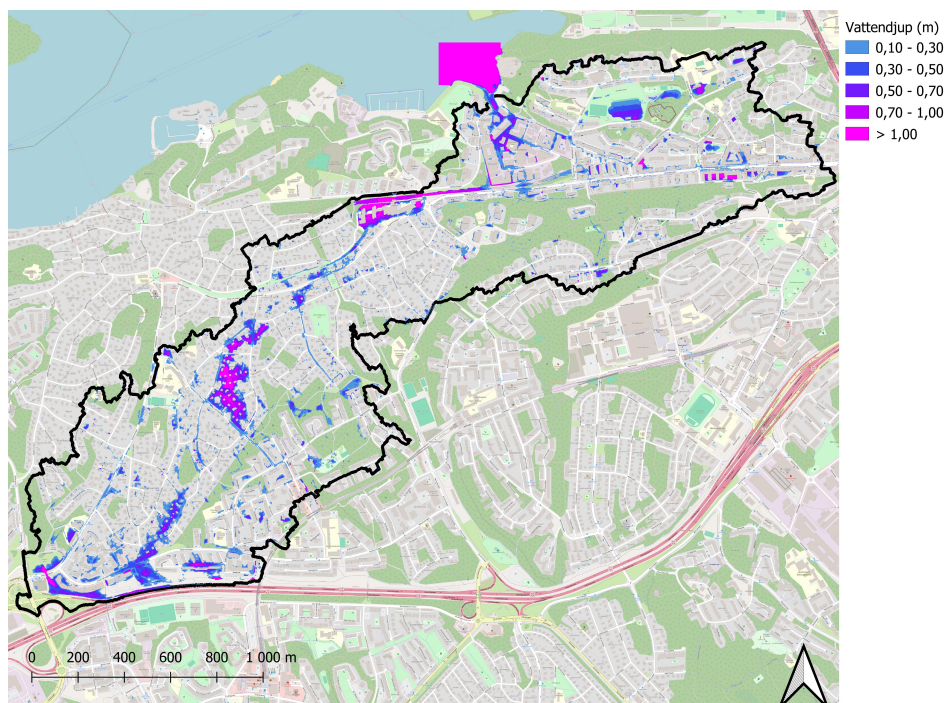
Figur 27: I figuren syns vattendjupet för Örnberg över hela avrinningsområdet vid Sveriges 250 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 28 syns vattendjupet för Nederländernas 100 års scenario över Örnberg.



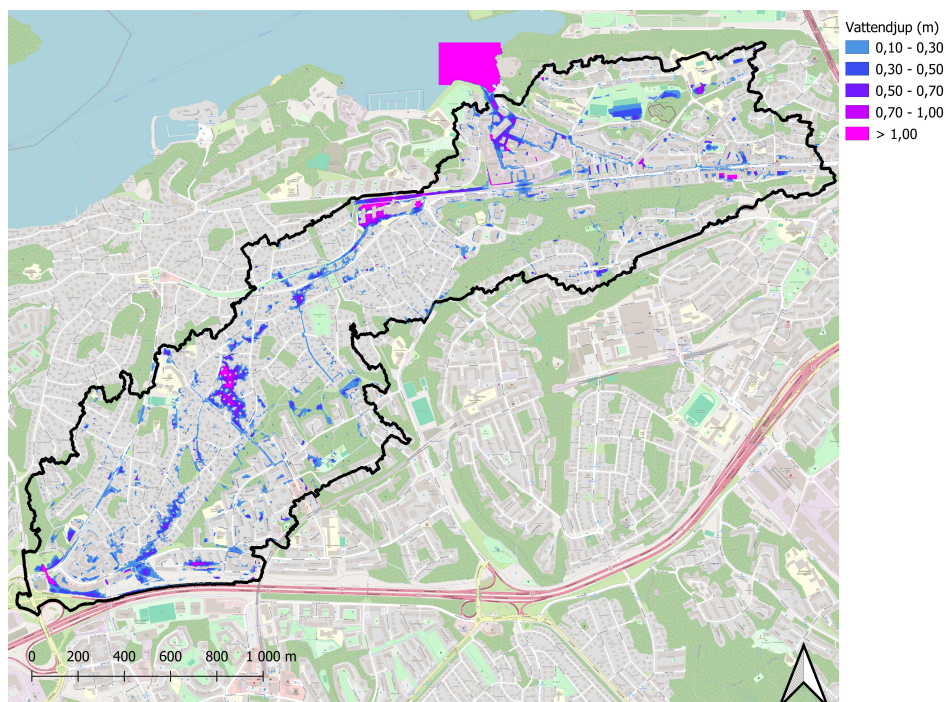
Figur 28: I figuren syns vattendjupet för Örnberg över hela avrinningsområdet vid Nederländernas 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 29 syns vattendjupet för Nederländernas 250 års scenario över Örnberg.



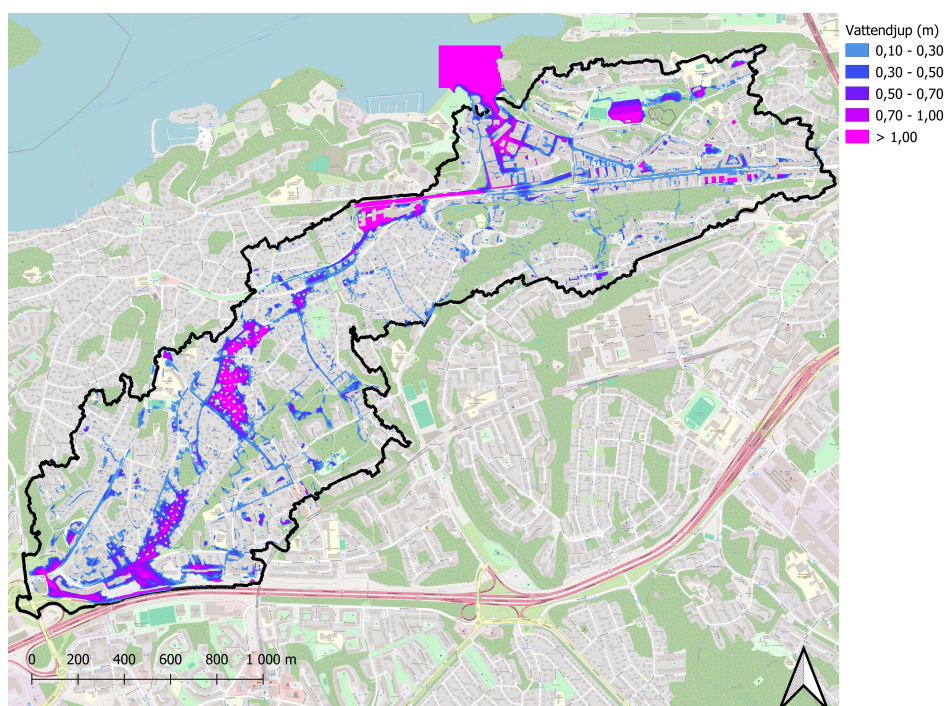
Figur 29: I figuren syns vattendjupet för Örnberg över hela avrinningsområdet vid Nederländernas 250 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 30 syns vattendjupet för Tysklands 100 års scenario över Örnsberg.



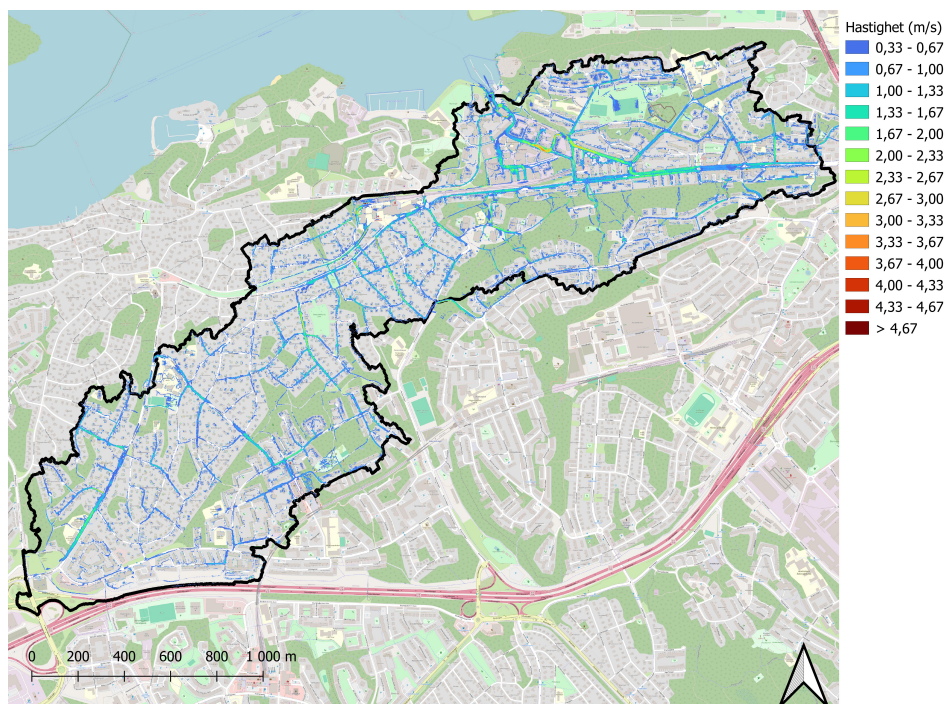
Figur 30: I figuren syns vattendjupet för Örnsberg över hela avrinningsområdet vid Tysklands 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 31 syns vattendjupet för Tysklands intensitetsbaserade scenario som motsvarar 90 mm på en timme över Örnsberg.



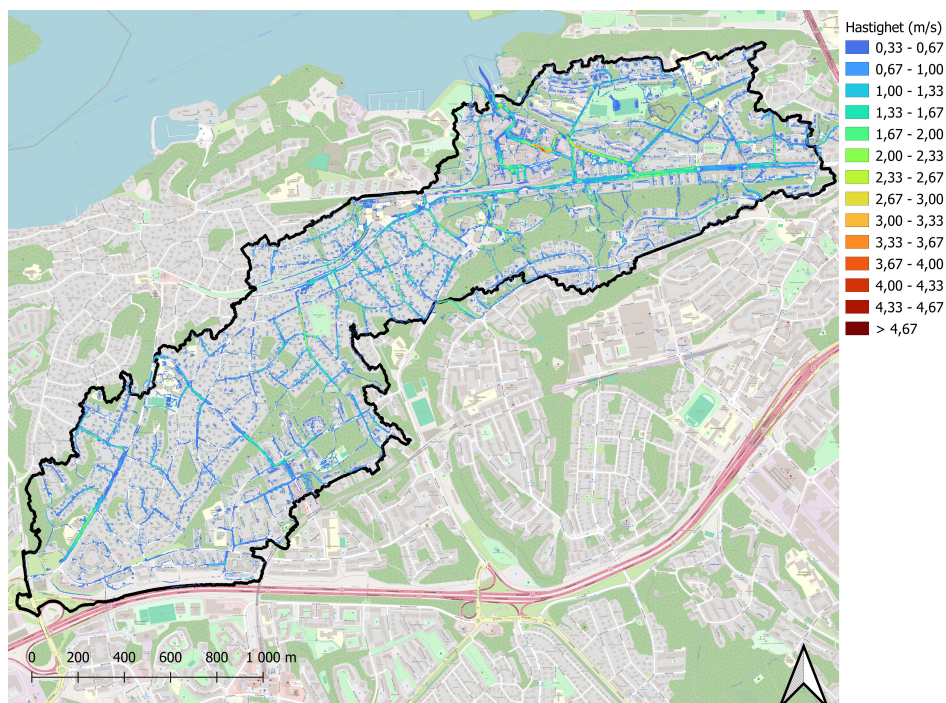
Figur 31: I figuren syns vattendjupet för Örnsberg över hela avrinningsområdet vid Tysklands 90 mm per timme scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 32 syns vattenhastigheten för Sveriges 100 års scenario över Örnberg.



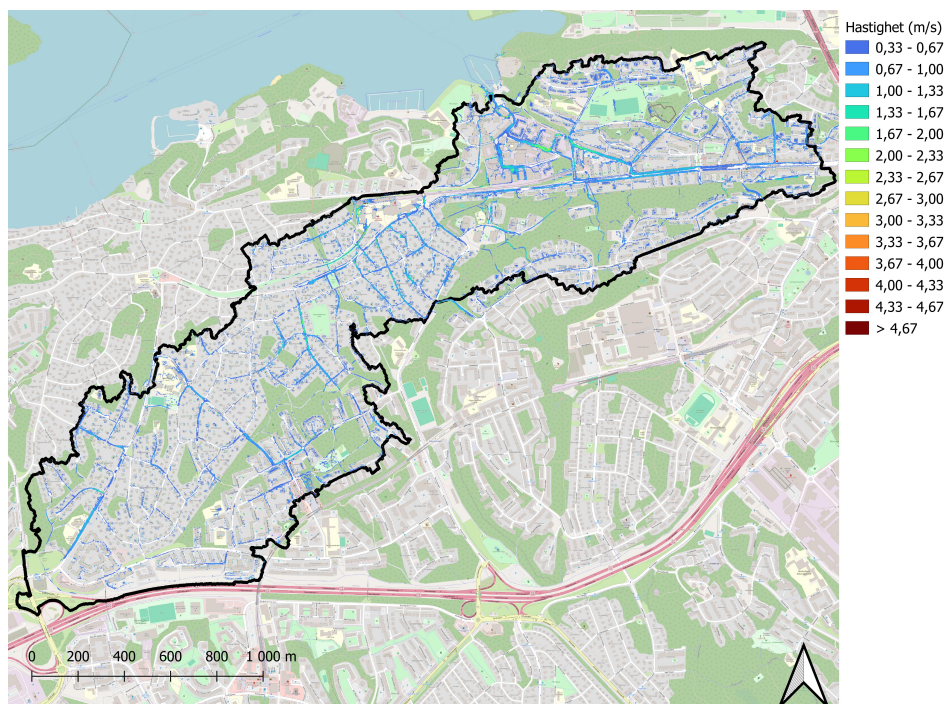
Figur 32: I figuren syns vattenhastigheten för Örnberg över hela avrinningsområdet vid Sveriges 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 33 syns vattenhastigheten för Sveriges 250 års scenario över Örnberg.



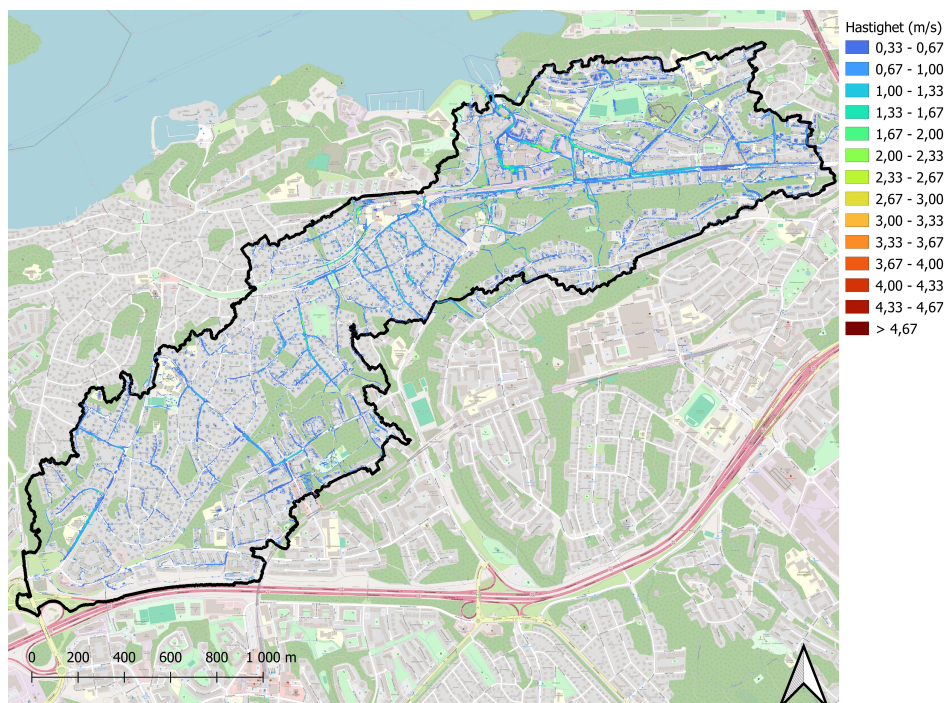
Figur 33: I figuren syns vattenhastigheten för Örnberg över hela avrinningsområdet vid Sveriges 250 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 34 syns vattenhastigheten för Nederländernas 100 års scenario över Örnsberg.



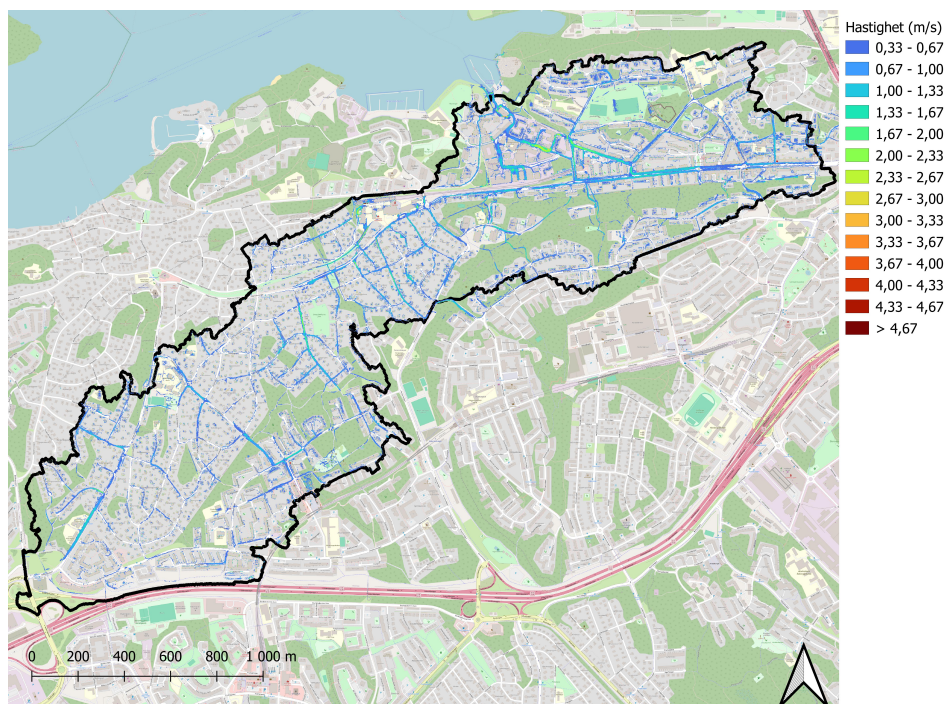
Figur 34: I figuren syns vattenhastigheten för Örnsberg över hela avrinningsområdet vid Nederländernas 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 35 syns vattenhastigheten för Nederländernas 250 års scenario över Örnsberg.



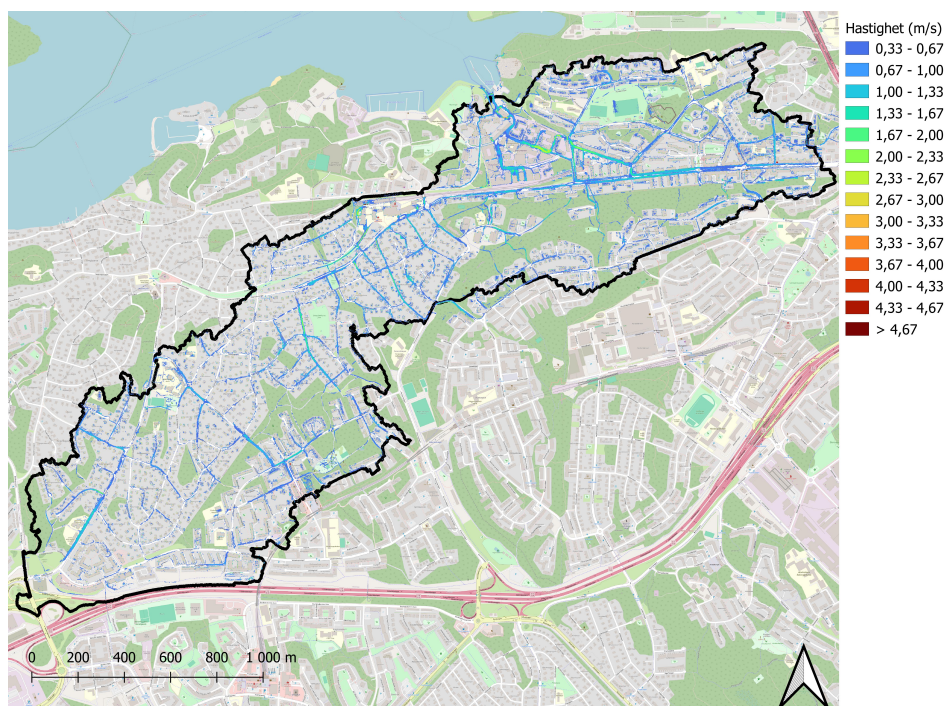
Figur 35: I figuren syns vattenhastigheten för Örnsberg över hela avrinningsområdet vid Nederländernas 250 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 36 syns vattenhastigheten för Tysklands 100 års scenario över Örnsberg.



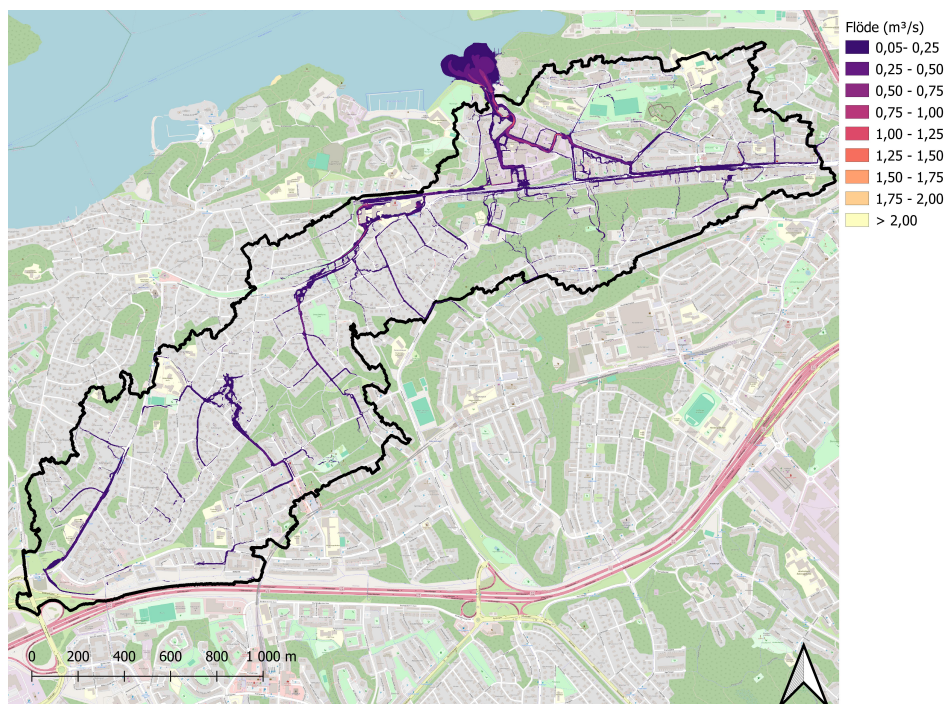
Figur 36: I figuren syns vattenhastigheten för Örnsberg över hela avrinningsområdet vid Tysklands 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 37 syns vattenhastigheten för Tysklands intensitetsbaserade scenario 90 mm per timme över Örnsberg.



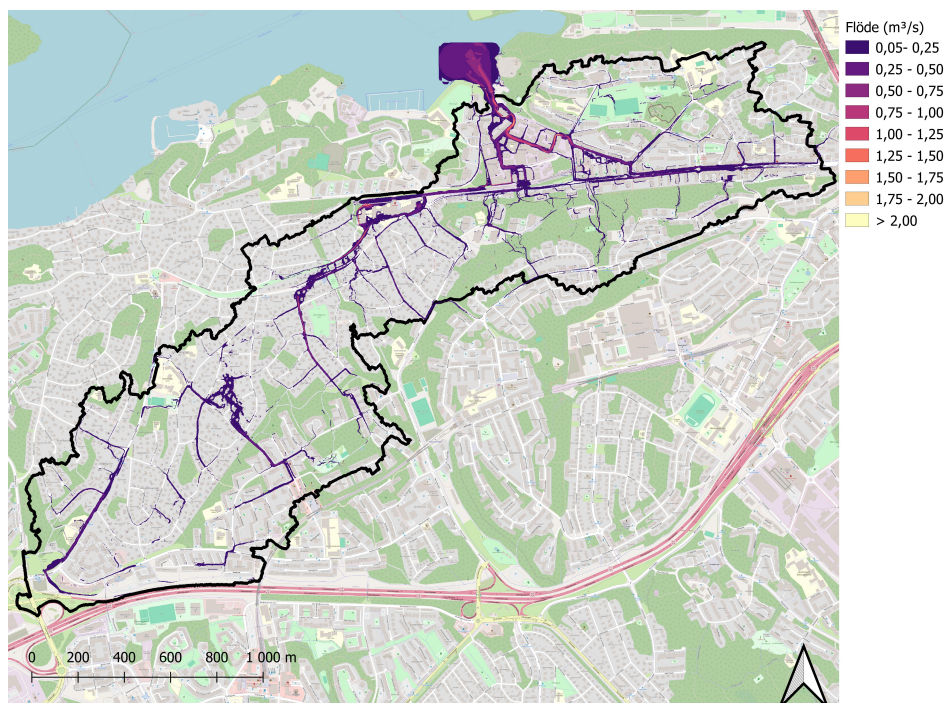
Figur 37: I figuren syns vattenhastigheten för Örnsberg över hela avrinningsområdet vid Tysklands 90 mm på en timme scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 38 syns vattenflödet för Sveriges 100 års scenario över Örnberg.



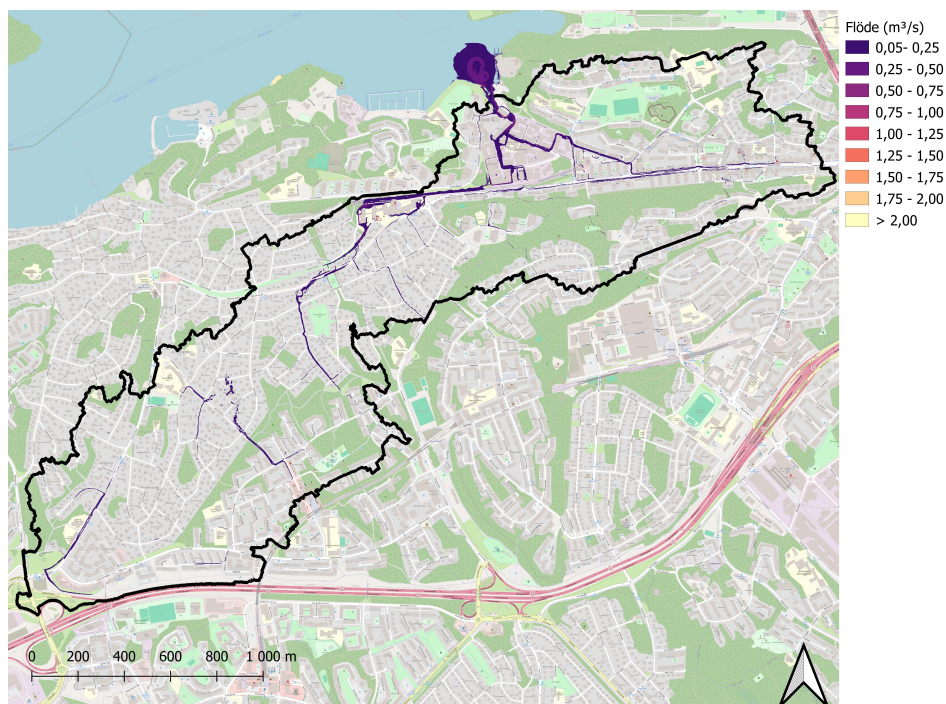
Figur 38: I figuren syns vattenflödet för Örnberg över hela avrinningsområdet vid Sveriges 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 39 syns vattenflödet för Sveriges 250 års scenario över Örnberg.



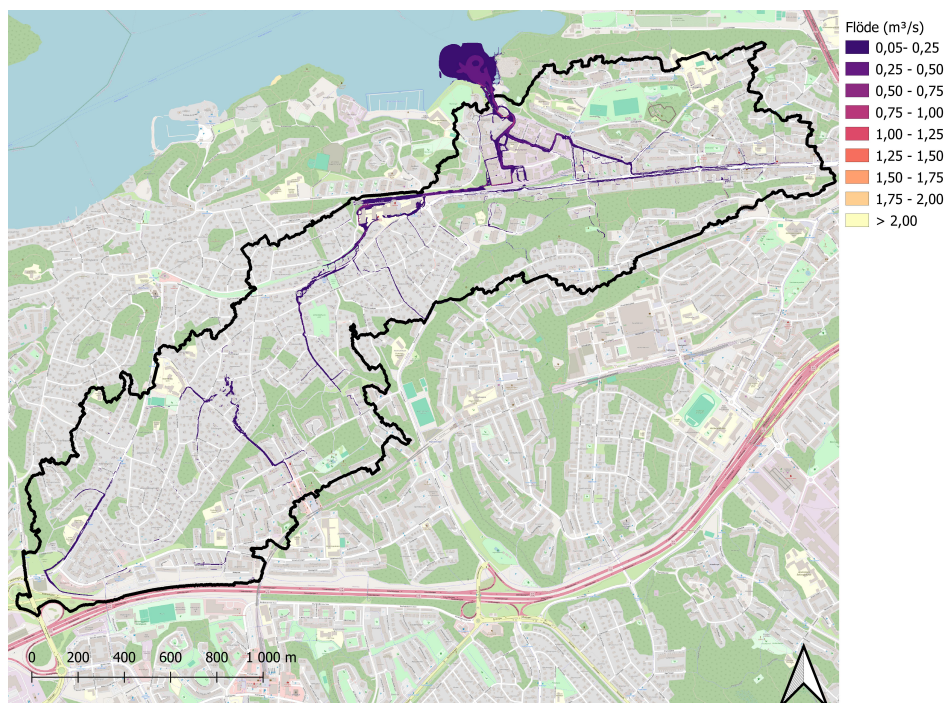
Figur 39: I figuren syns vattenflödet för Örnberg över hela avrinningsområdet vid Sveriges 250 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 40 syns vattenflödet för Nederländernas 100 års scenario över Örnsberg.



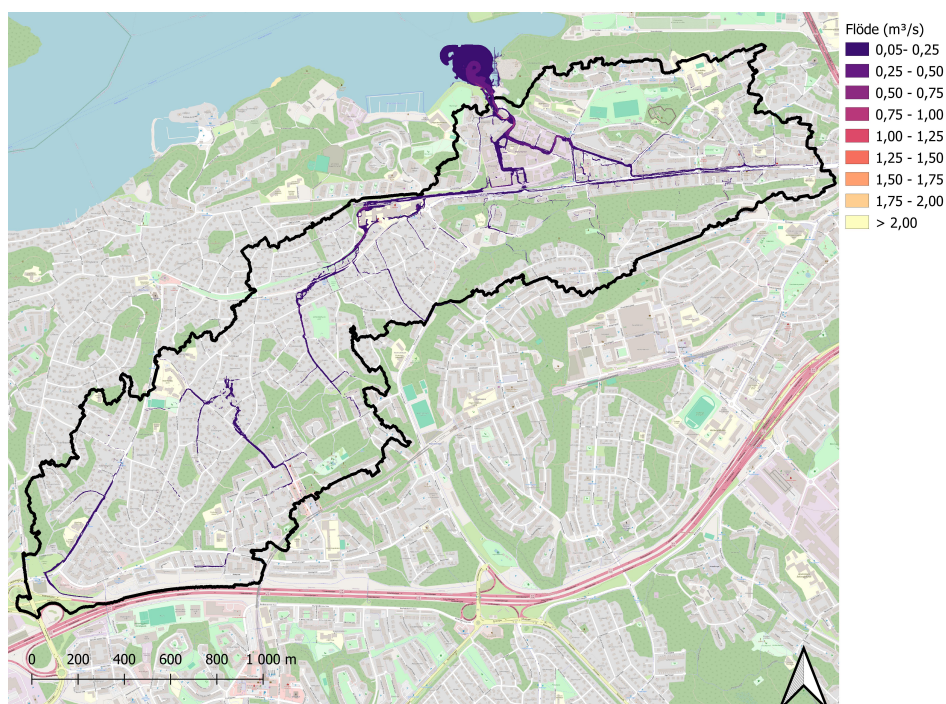
Figur 40: I figuren syns vattenflödet för Örnsberg över hela avrinningsområdet vid Nederländernas 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 41 syns vattenflödet för Nederländernas 250 års scenario över Örnsberg.



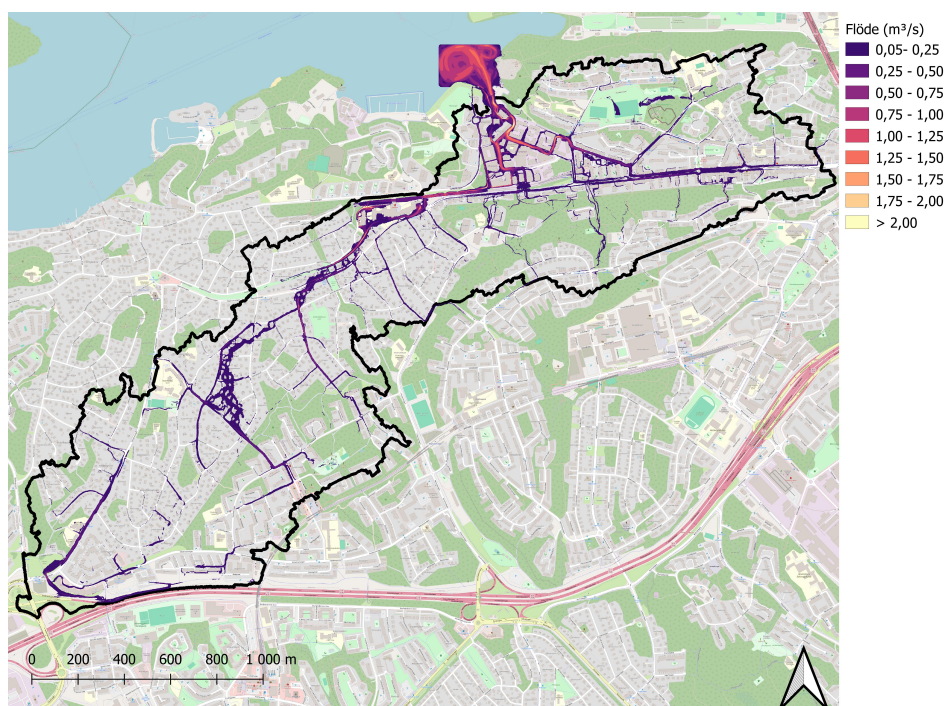
Figur 41: I figuren syns vattenflödet för Örnsberg över hela avrinningsområdet vid Nederländernas 250 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 42 syns vattenflödet för Tysklands 100 års scenario över Örnberg.



Figur 42: I figuren syns vattenflödet för Örnberg över hela avrinningsområdet vid Tysklands 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

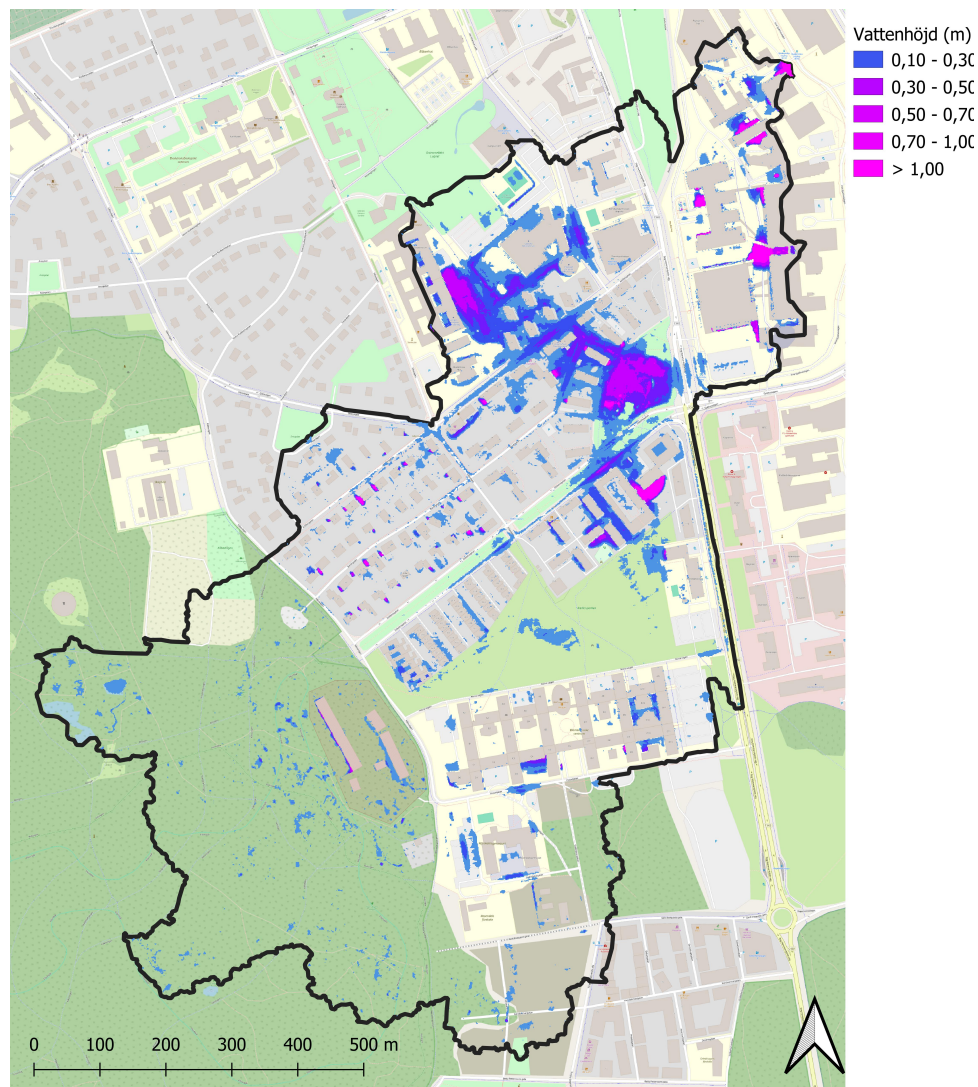
I figur 43 syns vattenflödet för Tysklands intensitetsbaserade scenario som är 90 mm på en timme över Örnberg.



Figur 43: I figuren syns vattenflödet för Örnberg över hela avrinningsområdet vid Tysklands intensitetsbaserade scenario på 90 mm på en timme. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

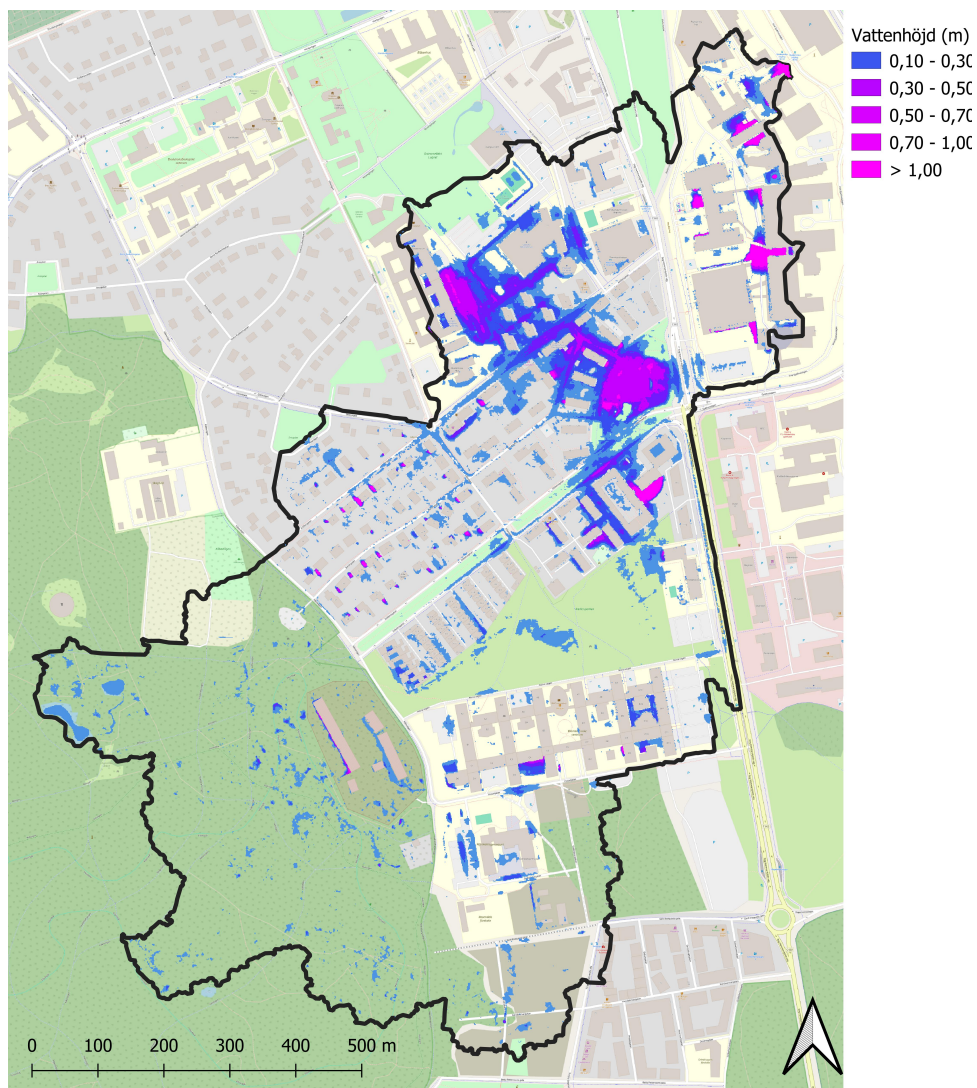
7.4.2 Kartor Uppsala

Under följande del inkluderas samtliga kartor för hela Uppsalas avrinningsområde i ett större format än från det som visas i rapportens resultatdel. De första 6 figurerna representerar vattendjup, de 6 därefter vattenhastighet och de sista 6 vattendjupet. I figur 44 syns vattendjupet för Sveriges 100 års scenario.



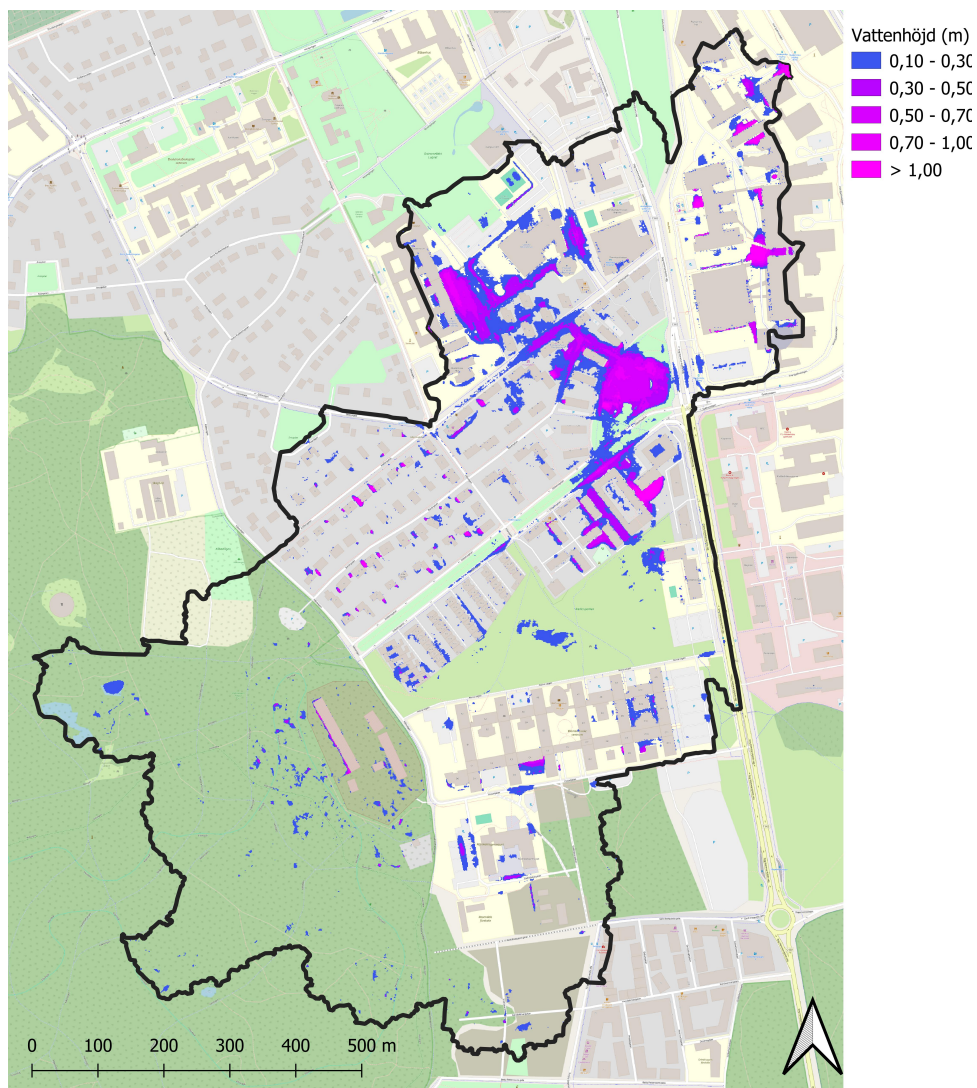
Figur 44: I figuren syns vattendjupet för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Sveriges 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 45 syns vattendjupet för Sveriges 250 års scenario över Uppsala.



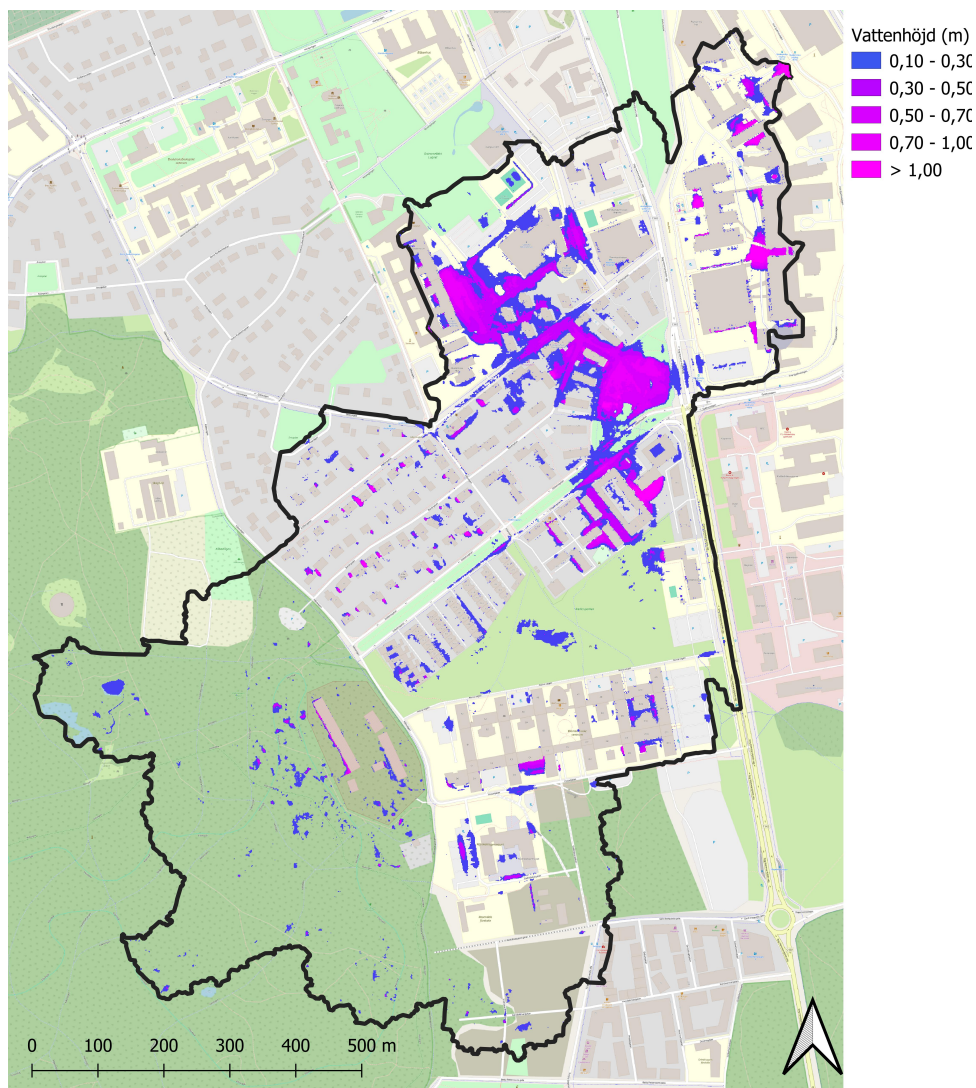
Figur 45: I figuren syns vattendjupet för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Sveriges 250 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 46 syns vattendjupet för Nederländernas 100 års scenario över Uppsala.



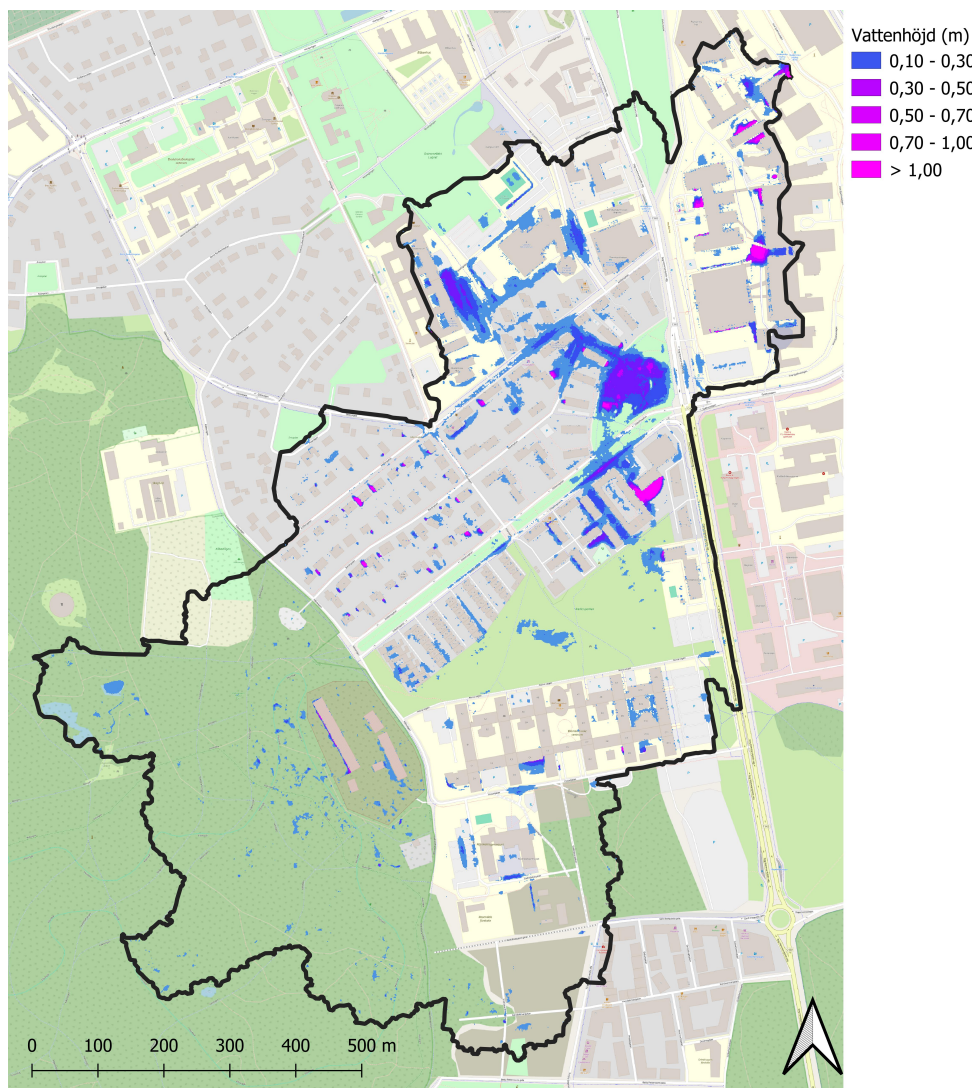
Figur 46: I figuren syns vattendjupet för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Nederländernas 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 47 syns vattendjupet för Nederländernas 250 års scenario över Uppsala.



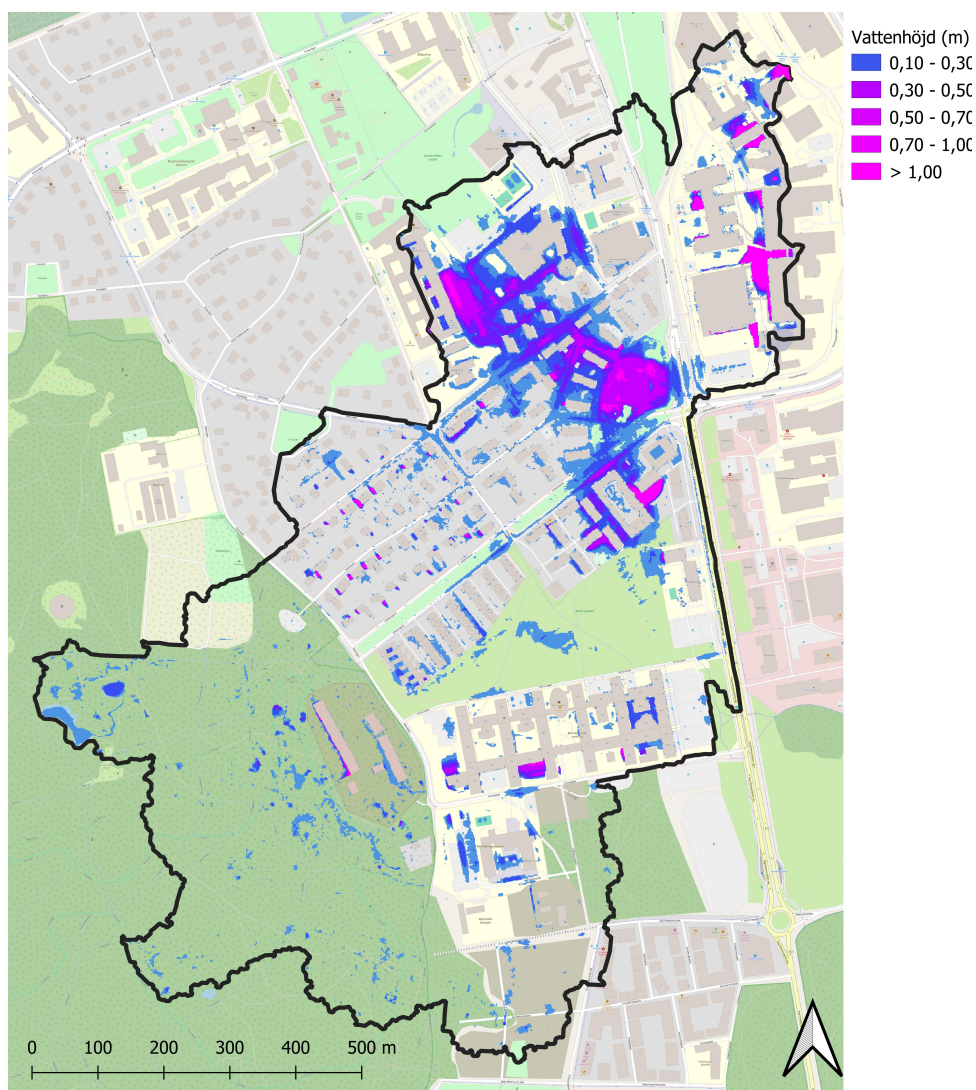
Figur 47: I figuren syns vattendjupet för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Nederländernas 250 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 48 syns vattendjupet för Tysklands 100 års scenario över Uppsala.



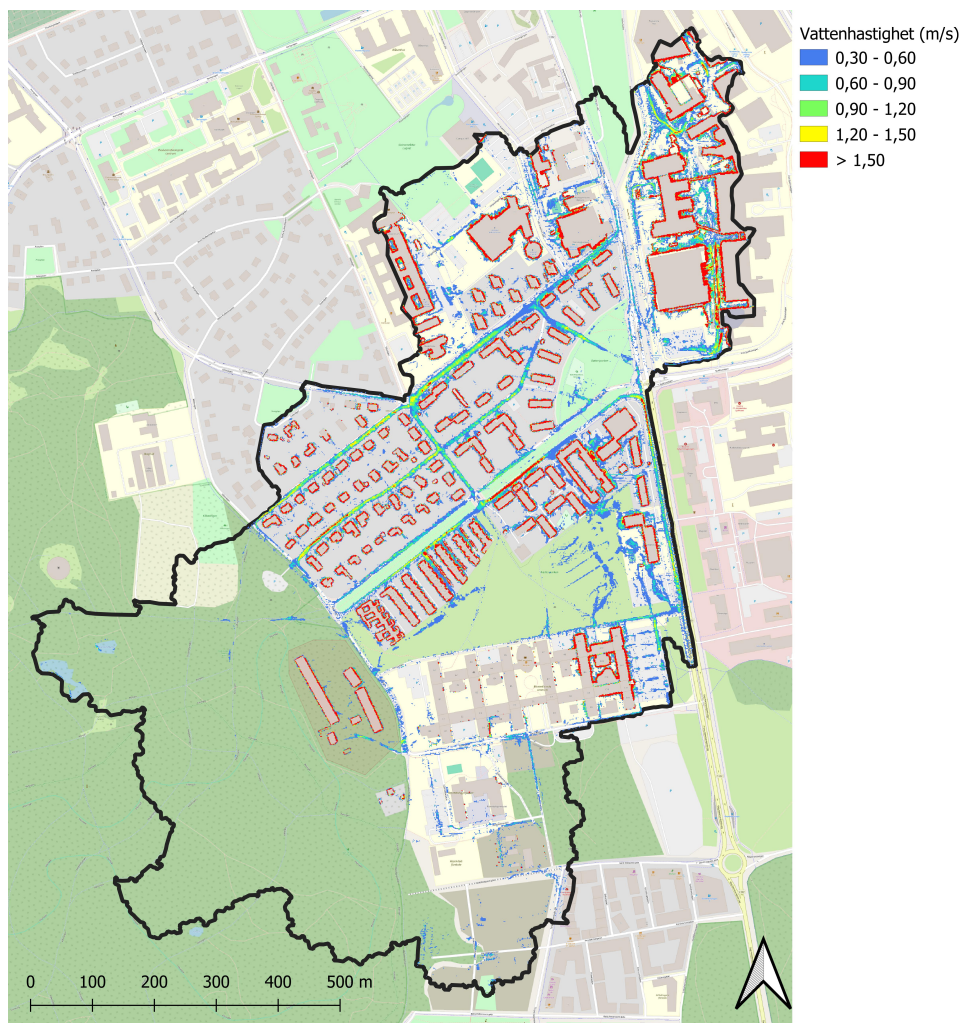
Figur 48: I figuren syns vattendjupet för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Tysklands 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 49 syns vattendjupet för Tysklands intensitetsbaserade scenario som motsvarar 90 mm på en timme över Uppsala.



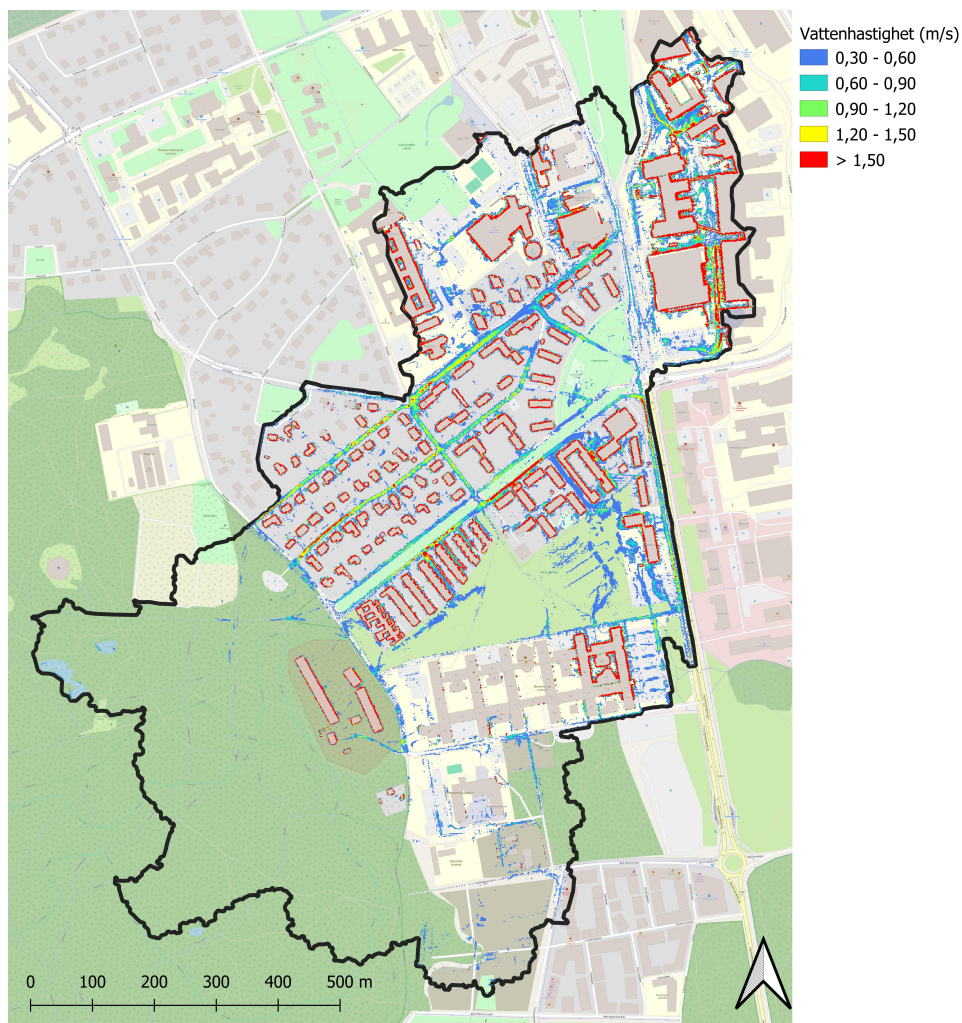
Figur 49: I figuren syns vattendjupet för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Tysklands 90 mm per timme scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 50 syns vattenhastigheten för Sveriges 100 års scenario över Uppsala.



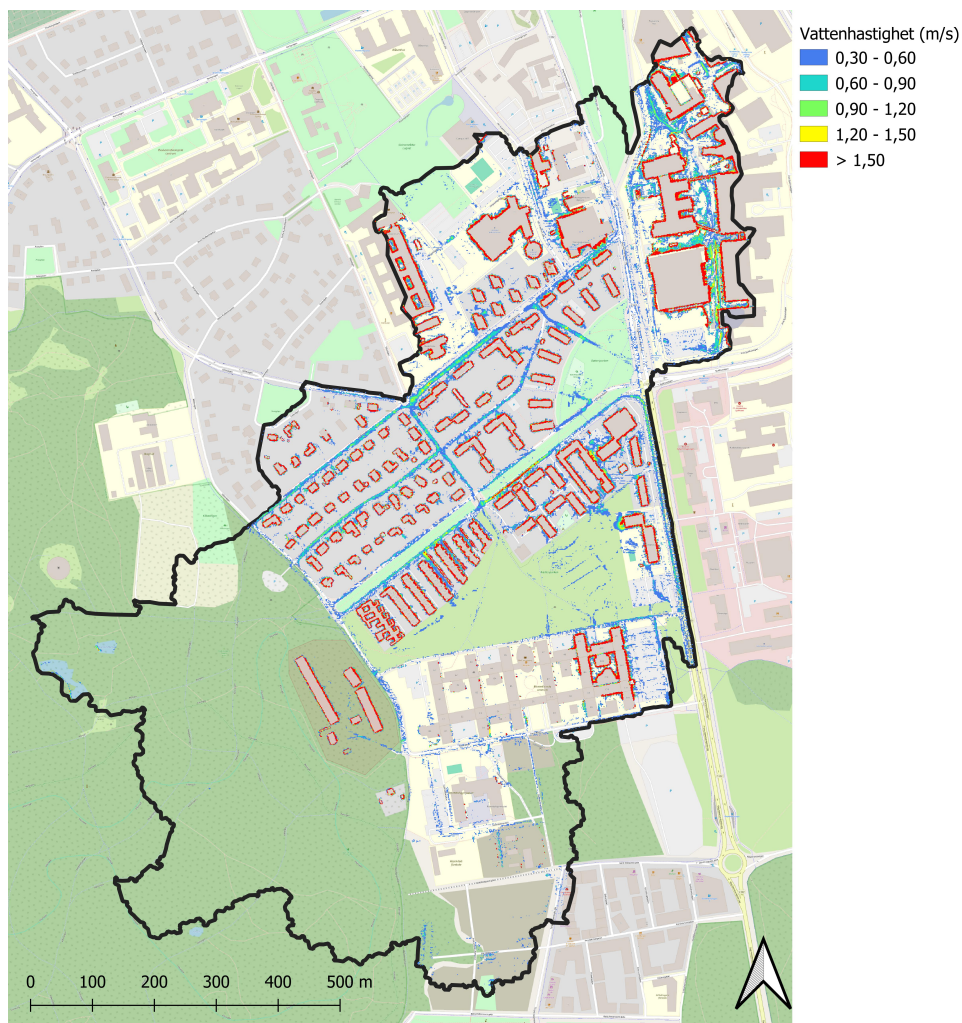
Figur 50: I figuren syns vattenhastigheten för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Sveriges 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 51 syns vattenhastigheten för Sveriges 250 års scenario över Uppsala.



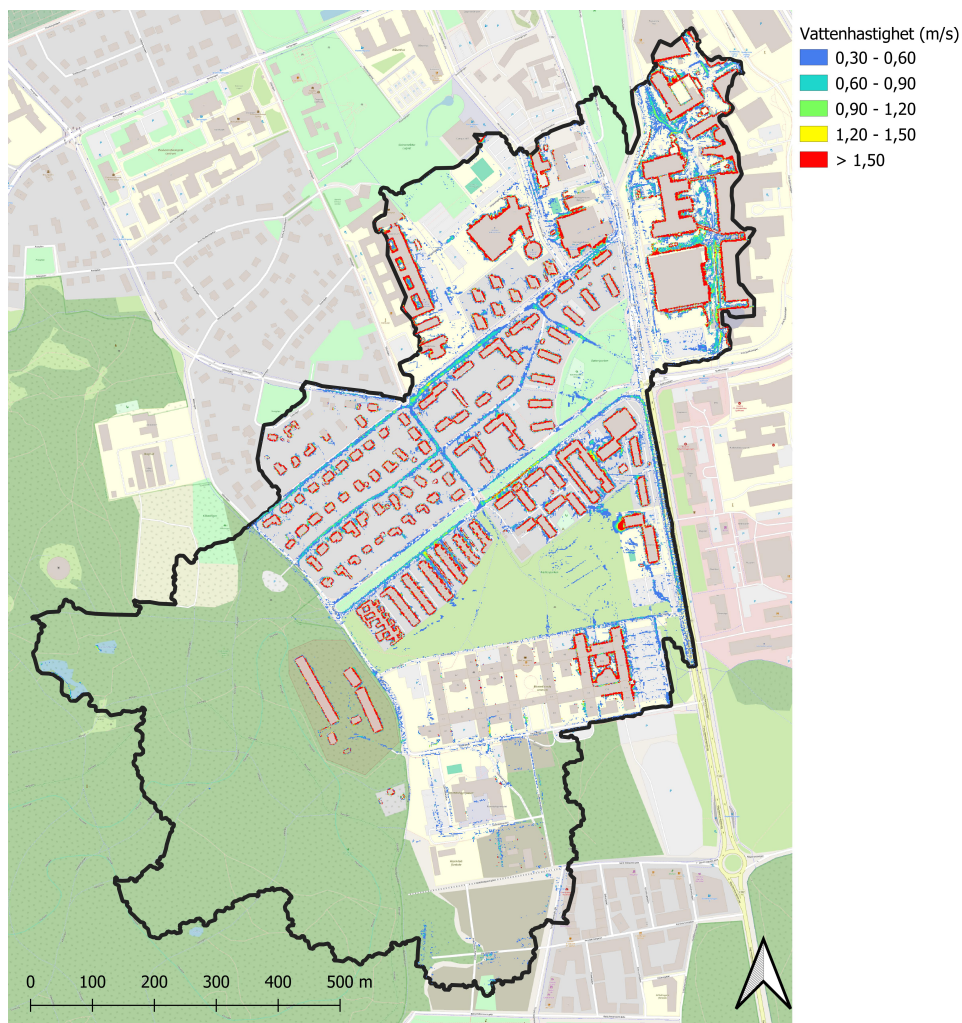
Figur 51: I figuren syns vattenhastigheten för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Sveriges 250 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 52 syns vattenhastigheten för Nederländernas 100 års scenario över Uppsala.



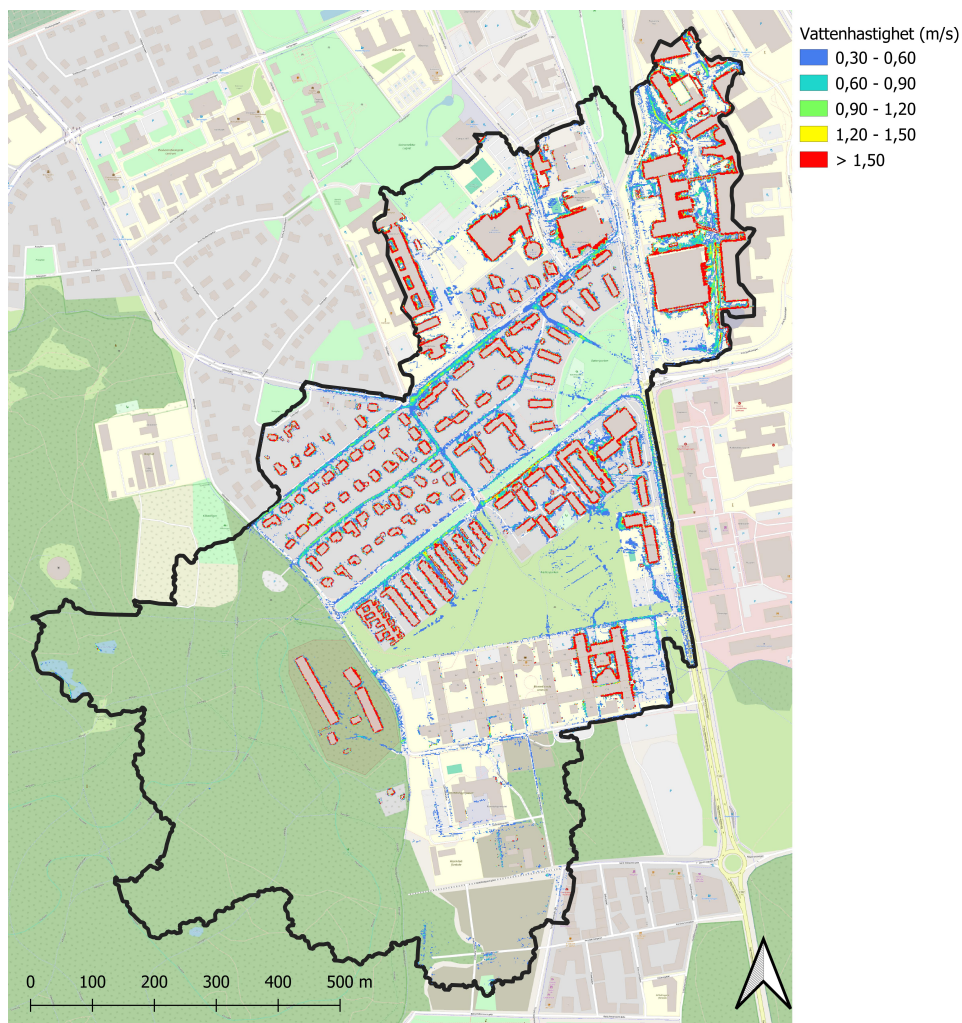
Figur 52: I figuren syns vattenhastigheten för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Nederländernas 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 53 syns vattenhastigheten för Nederländernas 250 års scenario över Uppsala.



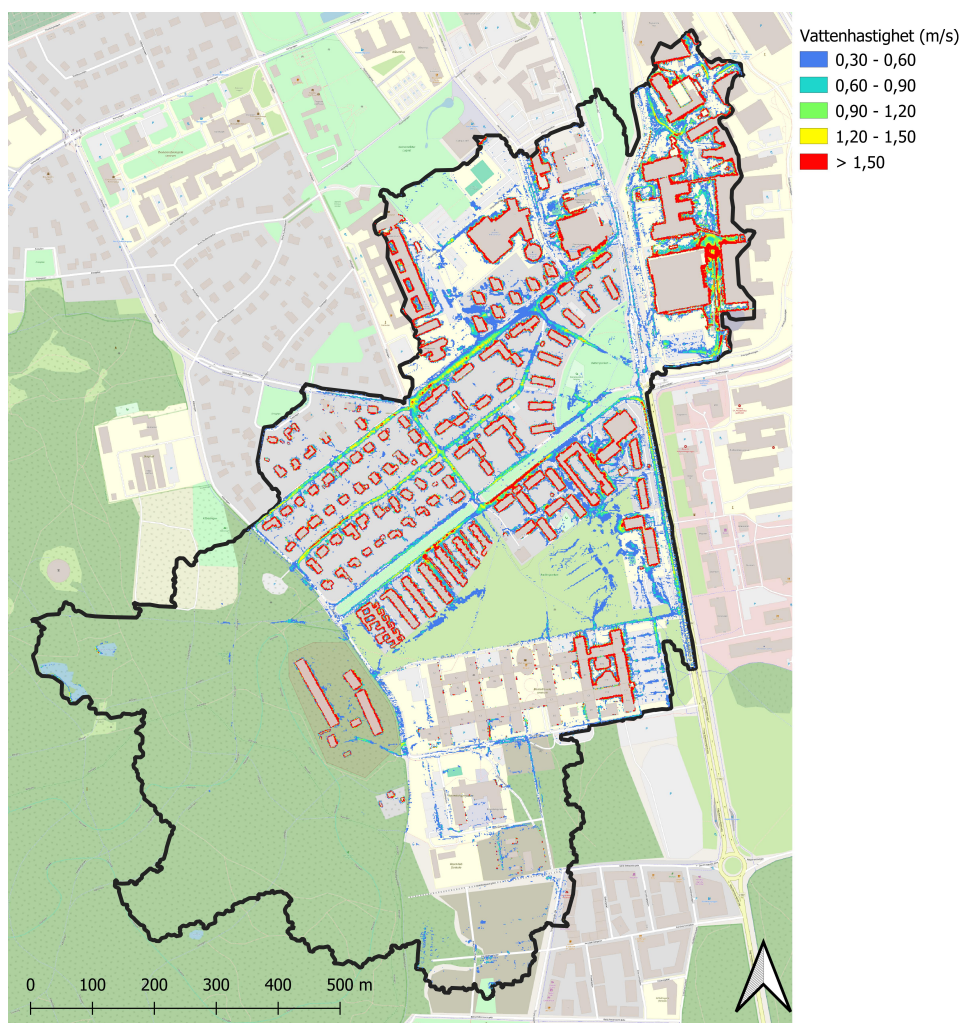
Figur 53: I figuren syns vattenhastigheten för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Nederländernas 250 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 54 syns vattenhastigheten för Tysklands 100 års scenario över Uppsala.



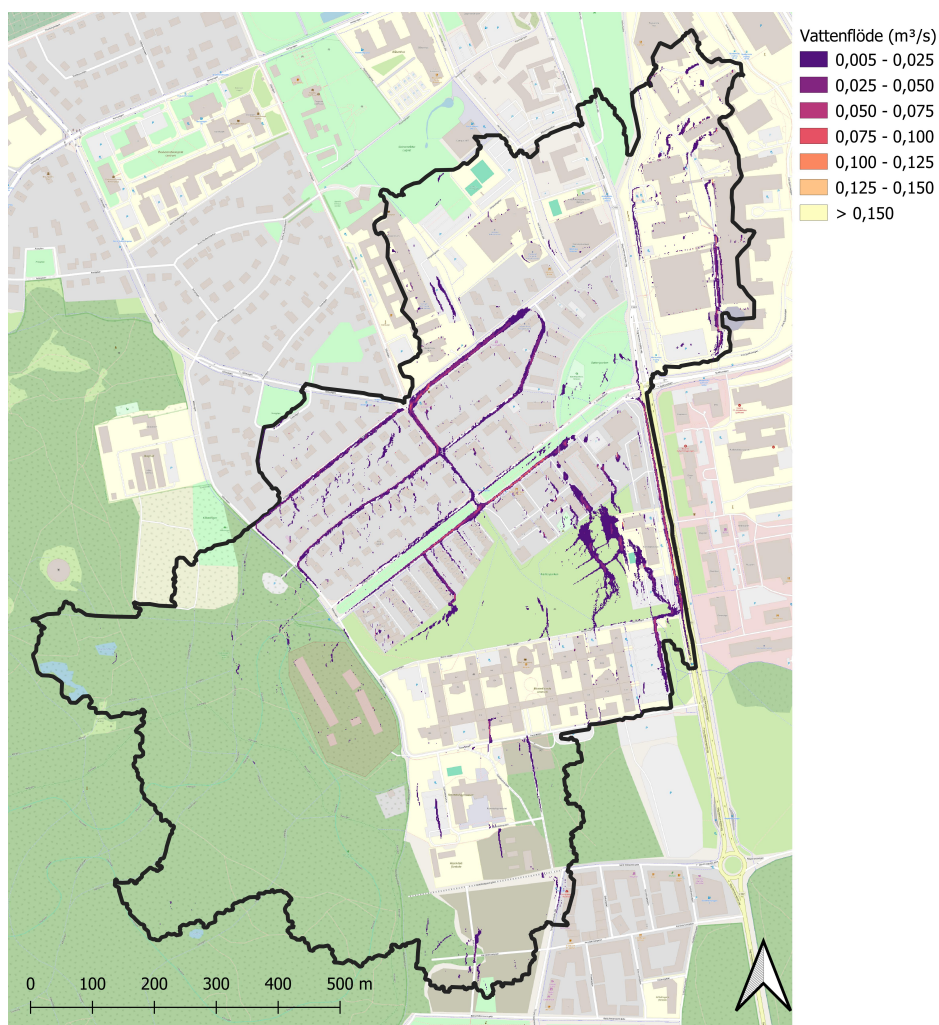
Figur 54: I figuren syns vattenhastigheten för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Tysklands 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 55 syns vattenhastigheten för Tysklands intensitetsbaserade scenario 90 mm per timme över Uppsala.



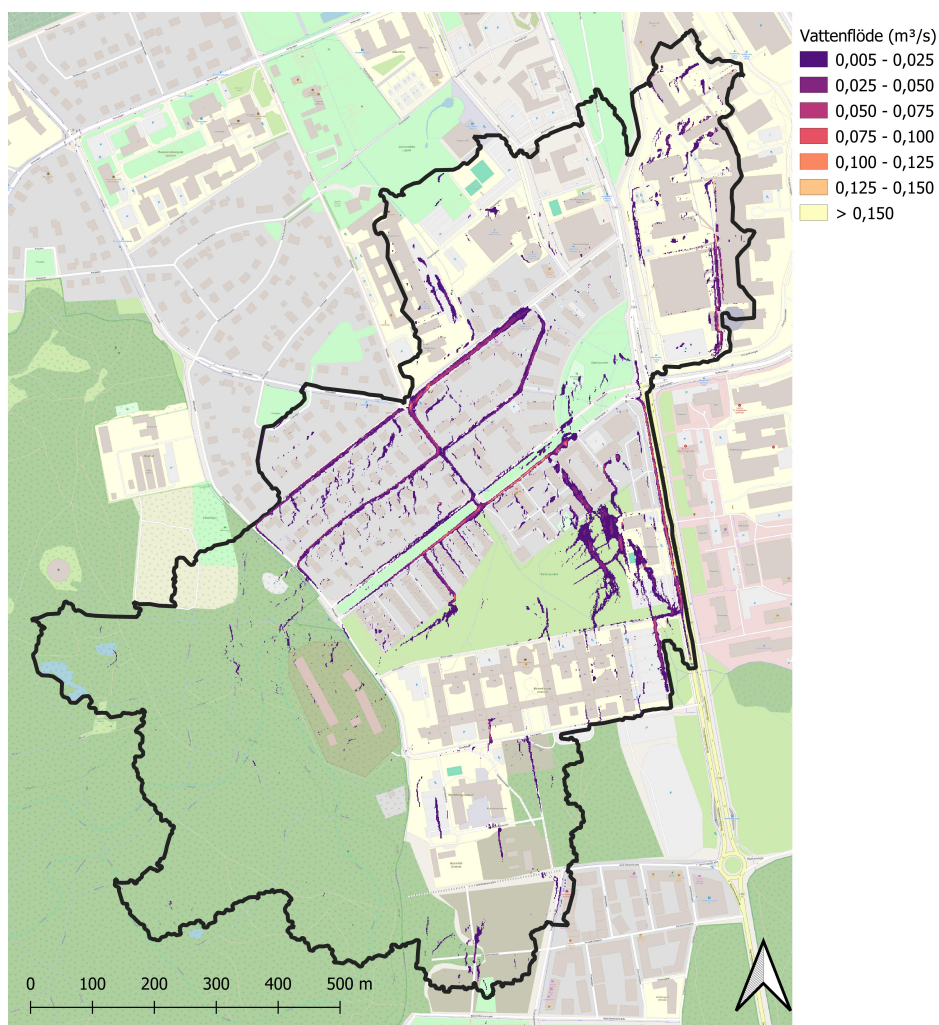
Figur 55: I figuren syns vattenhastigheten för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Tysklands 90 mm på en timme scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 56 syns vattenflödet för Sveriges 100 års scenario över Uppsala.



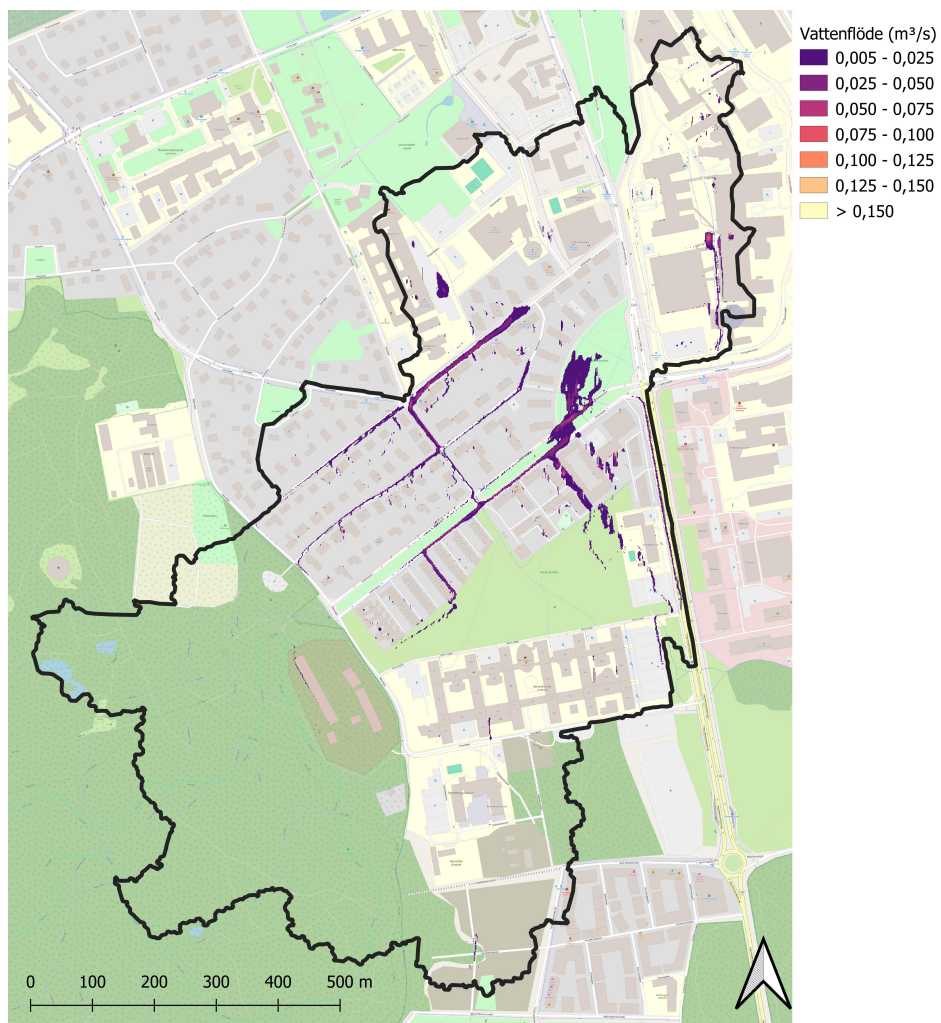
Figur 56: I figuren syns vattenflödet för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Sveriges 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 57 syns vattenflödet för Sveriges 250 års scenario över Uppsala.



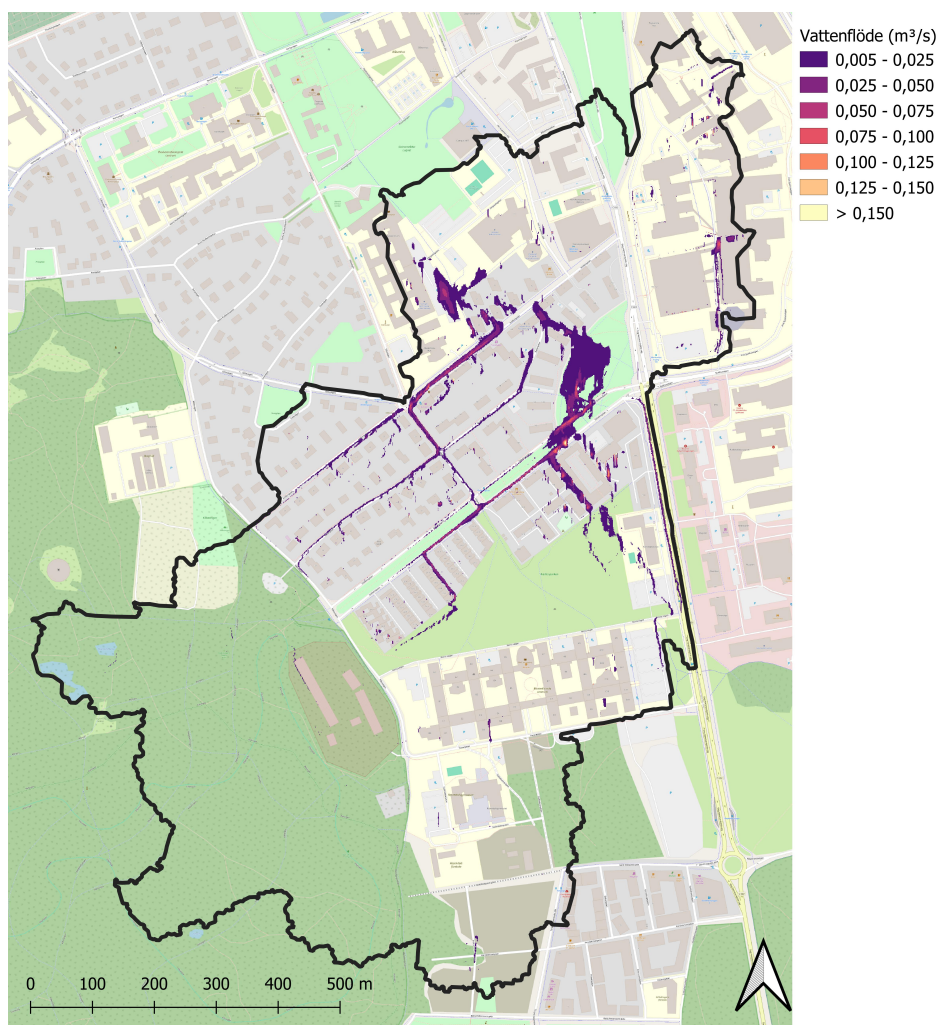
Figur 57: I figuren syns vattenflödet för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Sveriges 250 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 58 syns vattenflödet för Nederländernas 100 års scenario över Uppsala.



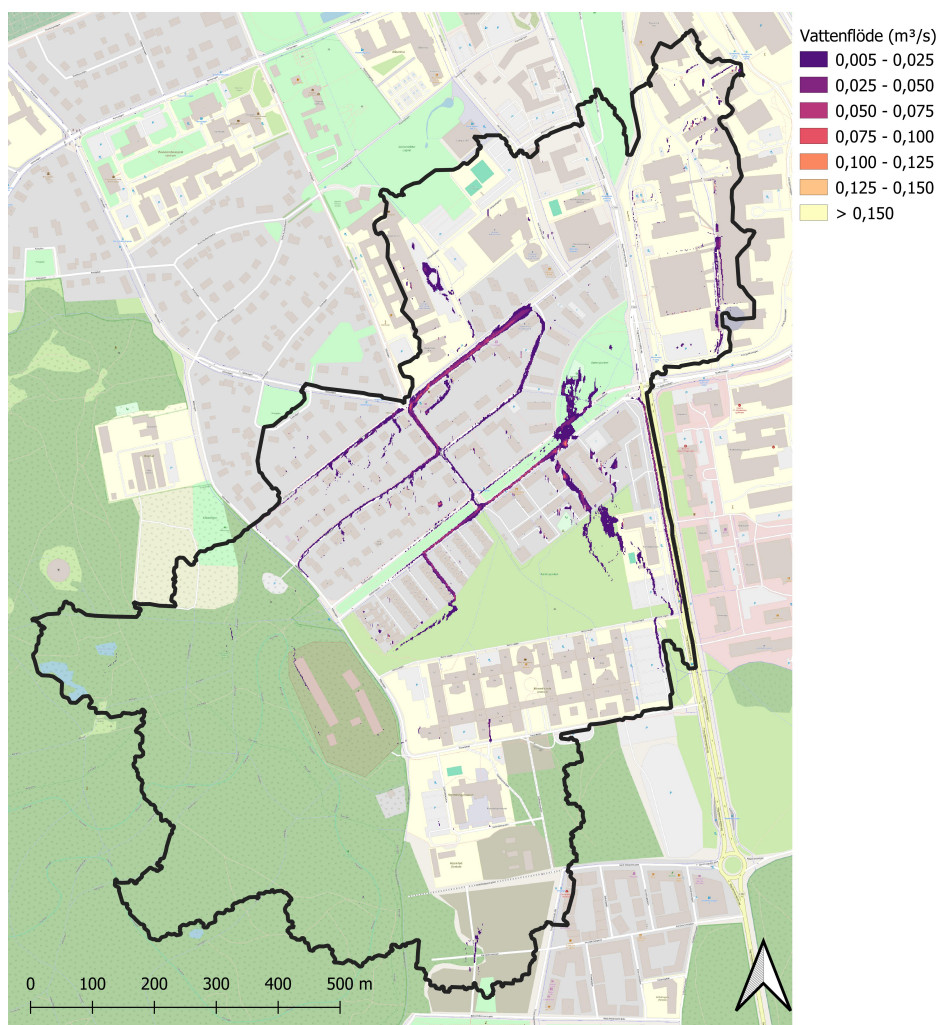
Figur 58: I figuren syns vattenflödet för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Nederländernas 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 59 syns vattenflödet för Nederländernas 250 års scenario över Uppsala.



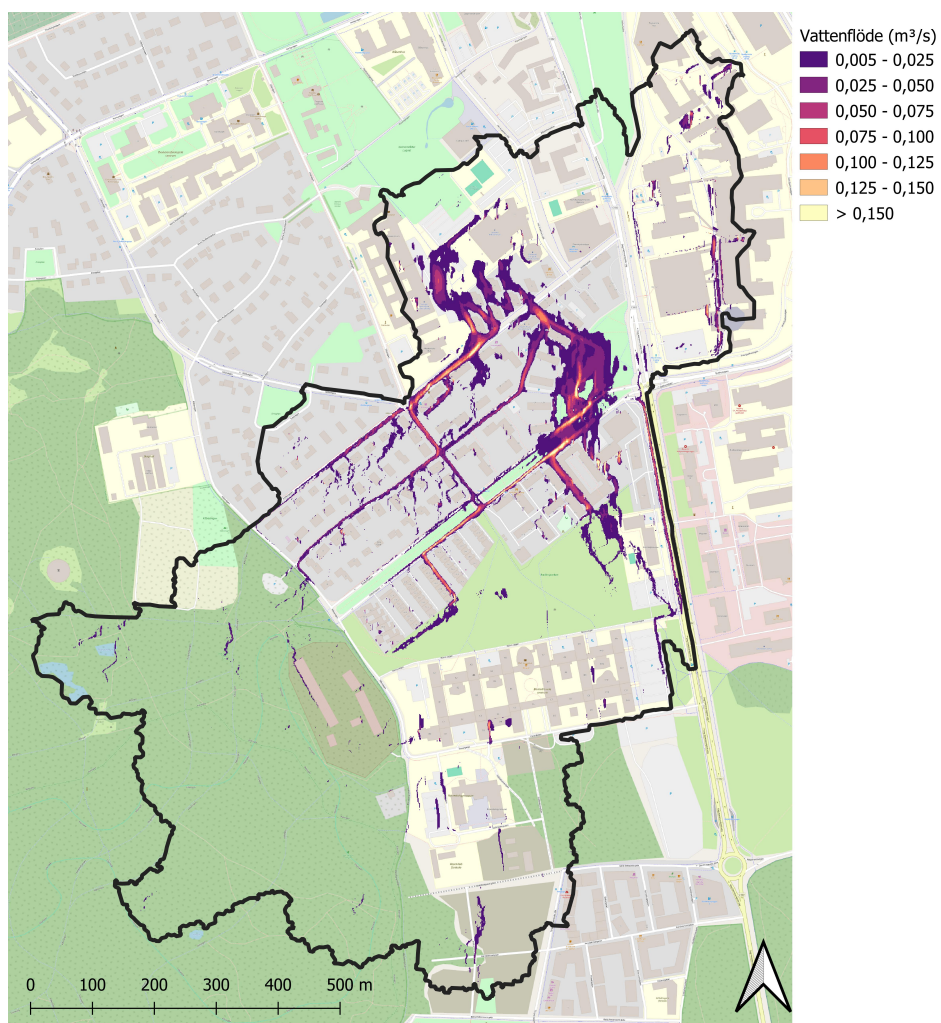
Figur 59: I figuren syns vattenflödet för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Nederländernas 250 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 60 syns vattenflödet för Tysklands 100 års scenario över Uppsala.



Figur 60: I figuren syns vattenflödet för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Tysklands 100 års scenario. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

I figur 61 syns vattenflödet för Tysklands intensitetsbaserade scenario som är 90 mm på en timme över Uppsala.



Figur 61: I figuren syns vattenflödet för Uppsala över hela avrinningsområdet vid Tysklands intensitetsbaserade scenario på 90 mm på en timme. Bakgrundskartan kommer från OpenStreetMap contributors, 2024.

7.4.3 Sammanställning modelleringsstudiens observationspunkter

Detta avsnitt sammanfattar observationspunkterna. I tabell 28 syns en sammanställning om hur många av Nederländernas och Tysklands 100 års scenarier som hade högre/lägre/samma värde för respektive parameter jämför med Sveriges 100 års scenario. Tabellen är för både Örnsberg och Uppsala.

Tabell 28: I tabellen syns en sammanfattning över antal observationspunkter som hade högre, lägre eller samma värde som Sveriges 100 års scenario. Detta är alltså en sammanfattning över alla 100 års scenarion.

Område	Scenario	Parameter	Observationspunkter >Sverige	Observationspunkter <Sverige	Observationspunkter = Sverige
Örnsberg	Nederländerna T = 100 år	Vattendjup	0	18	0
Örnsberg	Nederländerna T = 100 år	Vattenhastighet	4	12	4
Örnsberg	Nederländerna T = 100 år	Vattenflöde	0	16	2
Örnsberg	Tyskland T = 100 år	Vattendjup	0	18	0
Örnsberg	Tyskland T = 100 år	Vattenhastighet	6	8	4
Örnsberg	Tyskland T = 100 år	Vattenflöde	3	13	2
Uppsala	Nederländerna T = 100 år	Vattendjup	1	14	0
Uppsala	Nederländerna T = 100 år	Vattenhastighet	4	11	0
Uppsala	Nederländerna T = 100 år	Vattenflöde	4	4	7
Uppsala	Tyskland T = 100 år	Vattendjup	1	14	0
Uppsala	Tyskland T = 100 år	Vattenhastighet	3	10	2
Uppsala	Tyskland T = 100 år	Vattenflöde	2	4	9

I tabell 29 syns en sammanställning om hur många av Nederländernas och Tysklands extrem scenarion var högre/lägre/samma som svenska 250 års scenariot. Med extrem scenarion menas Nederländernas 250 års scenario och Tysklands 90 mm per timme scenario. Tabellen är för både Örnsberg och Uppsala.

Tabell 29: I tabellen syns en sammanfattning över antal observationspunkter som hade högre, lägre eller samma värde som Sveriges 250 års scenario. Detta är alltså en sammanfattning över alla extrema scenarion: Nederländernas 250 års scenario och Tysklands 90 mm på en timme.

Område	Scenario	Parameter	Observationspunkter		
			>Sverige	<Sverige	= Sverige
Örnsberg	Nederländerna T = 250 år	Vattendjup	1	17	0
Örnsberg	Nederländerna T = 250 år	Vattenhastighet	3	11	4
Örnsberg	Nederländerna T = 250 år	Vattenflöde	0	16	2
Örnsberg	Tyskland I = 90 mm/h	Vattendjup	15	3	0
Örnsberg	Tyskland I = 90 mm/h	Vattenhastighet	14	1	3
Örnsberg	Tyskland I = 90 mm/h	Vattenflöde	11	2	3
Uppsala	Nederländerna T = 250 år	Vattendjup	1	14	0
Uppsala	Nederländerna T = 250 år	Vattenhastighet	5	9	1
Uppsala	Nederländerna T = 250 år	Vattenflöde	3	7	5
Uppsala	Tyskland I = 90 mm/h	Vattendjup	13	2	0
Uppsala	Tyskland I = 90 mm/h	Vattenhastighet	8	7	0
Uppsala	Tyskland I = 90 mm/h	Vattenflöde	7	2	6