Riskbild 2 Södermanland

Skyfall, lokala avrinningsförhållanden och extrema havsvattenstånd

Rapport 2013:24

LÄNSSTYRELSEN
Södermanlands län

Länsstyrelsen i Södermanlands län har tagit fram ett planerings-underlag som avser att underlätta arbetet med klimatanpassning inom fysisk planering. Rapporten beskriver extremnederbörd, lokal avrinning och stigande havsnivåer vid ett förändrat klimat i Södermanland.

Rapporten är ett samverkansprojekt mellan Länsstyrelsen i Södermanland och SMHI (Sveriges meteorologiska institut).

Projektledare från Länsstyrelsen har varit Kaj Hellner och Kristoffer Hallberg har lett uppdraget från SMHI.

I projektgruppen har följande personer deltagit:
Från SMHI: Kristoffer Hallberg, Jörgen Jones, Signild Nerheim, Gunn Persson, Jonas Sjögren och Elin Sjökvist.

Från Länsstyrelsen har följande personer varit behjälpliga vid granskning av rapportarbetet: Torbjörg Sekse, Patrik Nissen och Lars Jonsson.

Vid frågor kontakta:
Kaj Hellner, Plan och Byggfunktionen
Samhällsbyggnadsenheten, Länsstyrelsen
Telefon: 010-223 43 31

Utgivningsår: 2013

ISSN: 1400-0792

Rapport nr: 2013:24

Grafisk form och produktion: bybloo.se

Förord

”Sannolikt va, det betyder väl nåt som är likt sanning. Men riktigt lika sant som sanning är det inte om det är sannolikt.”

Så började Tage Danielsson sin monolog i revyn ”Under dubbelgöken” 1979. Temat för sannolikhetsmonologen var en kärnkraftsolycka i Harrisburg, USA. Monologen tillkom inför Sveriges folkomröstning om kärnkraft. Argument som åberopades inför folkomröstningen byggde ofta på resonemang om sannolikheter oavsett vilken uppfattning som företräddes.

I Köpenhamn inträffade ett skyfall 2010 som var mycket ovanligt, följande år 2011 blev det ännu värre: ett osannolikt skyfall! Hur kan detta komma sig? Sannolikhetsresonemang kan vara svåra om man inte är specialist. Inom klimatanpassning använder forskarna t.ex. begreppet återkomsttid dvs. händelser som uppstår olika ofta. Det går aldrig att förutse exakt när och var en ovanlig händelse kommer att inträffa-däremot kan man beräkna sannolikheterna för att händelserna ska inträffa. Kan vi mot denna bakgrund planera, trots osäkerheter och vad kan vi faktiskt veta om framtidens utmaningar till följd av ett förändrat klimat?

Klimatförändringarna ställer nya krav på samverkan mellan företrädare för kommunernas olika verksamhetsområden så att konsekvenser av extremhändelser kan begränsas. Förvaltningsövergripande samordning behöver omfatta både akuta händelser och förebyggande åtgärder. Vad sker om gatorna till förskolan blir översvämmade eller elen till ett sjukhus slås ut pga. ett skyfall? När ett 100-års regn inträffar vad händer med VA-systemen i kommunerna? Hur ska samhällsinsatserna i det kommunala klimatanpassningsarbetet prioritteras?

Det är när frågorna bryts ned på lokal nivå som vi börjar förstå hur viktigt det är att arbeta förebyggande och öka vår kunskap om hur vi kan klimatanpassa våra samhällen. Planeringsunderlaget visar en avrinningsanalys för att avgränsa markområden som behöver detaljstuderas om t.ex. ett skyfall skulle inträffa.

Det digitala verktyg som finns att tillgå idag är också mycket användbara för att lokalisera kustavsnitt som behöver ses med lång planeringshorisont. Länsstyrelsen i Södermanland och SMHI bidrar med underlag till kommunerna längs länets kust som riktar blicken in mot nästa sekelskifte. När den globala havsnivåhöjningen studeras i detalj för sörmlandskusten tillkommer lokalt olika stora påslag som beror av topografi m.m. Vår studie har redovisat referensnivåer och påslag var för sig så att de kommuner som vill, kan förfina beräkningarna ytterligare. Utifrån de resultat som hitintills framkommit överväger Länsstyrelsen att framöver höja vår rekommenderade grundläggningsnivå från dagens 2,20 m (RH 2000) till en långsiktigt mer robust nivå, efter att länets kustkommuner har beaktat och diskuterat föreliggande planeringsunderlag.

Sannolikt får vi efterhand en gemensam uppfattning om var bebyggelse kan placeras även om viss osäkerhet kan bestå, även i framtiden.

Nyköping i mars 2014

Liselott Hagberg
Landshövding

Innehållsförteckning

1 SAMMANFATTNING ... 6

2 BAKGRUND ... 6

3 SYFTE ... 7

4 Rekommendationer för fysisk planering ... 7

5 Ny nationell höjdmodell ... 8

6 Varaktighet, återkomsttid och sannolikhet ... 9

7 Extrem nederbörd ... 11

7.1 Extrem nederbörd i nuvarande klimat ... 13

7.2 Extrem nederbörd i framtida klimat ... 19

7.3 Framtida extrem nederbörd i Södermanland ... 21

8 Översvämning ... 23

8.1 Studieområden ... 25

8.2 Lokal ytavrinning ... 27

8.2.1 Eskilstuna ... 30

8.2.2 Flen ... 31

8.2.3 Gnesta ... 32

8.2.4 Katrineholm ... 33

8.2.5 Nyköping ... 34

8.2.6 Oxelösund ... 35

8.2.7 Strängnäs ... 36

8.2.8 Trosa ... 37

8.2.9 Vingåker ... 38

8.3 Kustöversvämning ... 39

8.3.1 Lokala effekter av vind och vågor ... 41

8.3.2 Nyköping ... 45

8.3.3 Oxelösund ... 46

8.3.4 Trosa ... 47

8.3.5 Höjdzoner ... 47

9 SLUTSATSER ... 49

10 REFERENSER ... 50

11 BILAGOR ... 51

Bilaga 1 Extrem nederbörd ... 51

Bilaga 2 Extrem nederbörd i framtida klimat ... 54

Bilaga 3 Karta 44-52 (lokal avrinning och lågpunkter)

Bilaga 4 Karta 53-55 (HHW i RH2000 år 2010 och 2100) karta 56-59 (höjdzoner) och kartor A1-F6 (HHW i RH2000 år 2010 och 2100)

1 Sammanfattning

Som en del i det pågående arbetet med klimatanpassning i Södermanland samverkar Länsstyrelsen med SMHI i syfte att ta fram underlag som kan underlätta klimatanpassning inom fysisk planering. Speciellt intresse ägnas skyfall, urban hydrologi och stigande havsnivåer. Lantmäteriet har tillhandahållit höjddata i form av Ny Nationell Höjdmodell (NNH) samt Fastighetskartan.

Baserat på mätningar vid meteorologiska stationer har extrem korttidsnederbörd beräknats för flera olika återkomsttider och varaktigheter. Extrem korttidsnederbörd kan förväntas bli vanligare och kraftigare som följd av de klimatförändringar som är troliga under detta sekel. Resultat från klimatmodeller pekar på att 20-25% ökad volym för korttidsnederbörd.

Ny Nationell Höjdmodell har visat sig användbar för att kostnadseffektivt analysera ytavrinning över stora områden. Denna utredning har fokuserat på de i Södermanland ingående kommunernas respektive huvudort. Totalt sett har över 1000 km^2 analyserats och i kartor redovisas möjliga flödesvägar för ytavrinning samt lågpunkter där vatten kan ansamlas.

Stigande havsnivå förskjuter extemavattenstånd uppåt till högre nivåer. Fler tätbebyggda områden i Södermanlands län påverkas. Uppskattningsvis berörs i dag ca 1000 st byggnader av ett vattenstånd med 100-års återkomsttid. Vid slutet av detta sekel bedöms motsvarande antal till ca 2500 st.

2 Bakgrund

Länsstyrelsen i Södermanlands län avser att fortsätta arbetet med klimatanpassning inom fysisk planering och är i behov av beslutsunderlag för förenkling av plan- och lovarbete speciellt inom vattenrelaterad verksamhet. Som del av det pågående arbetet med klimatanpassning efterfrågas med detaljerad information om urban hydrologi samt kustens påverkan av stigande havsnivå.

År 2011 bistod SGI och SMHI Länsstyrelsen med tjänster inom klimat och sårbarhetsanalys vilket resulterade i *Riskbild Södermanland* (Länsstyrelsen i Södermanlands län. 2012) vilken sammanfattar förväntade huvuddrag i ett framtida klimat för Södermanland. I *Riskbild Södermanland* behandlas grundläggande meteorologisk, hydrologisk och oceanografisk information för att fungera som ett grundmaterial för planering i långa tidsperspektiv.

I Sverige är kommunerna ansvariga för bortledande av vatten från samlad bebyggelse enligt lagen om allmänna vattentjänster. För detta ändamål finns olika lösningar som traditionellt omfattar både ledningsnät och öppna vattenvägar. Dessa system är ofta konstruerade för att klara av att hantera vattenflöden med en statistisk återkomsttid på 10 år, vilket i praktiken kan jämställas med nederbördssituationer med 10 års återkomsttid. Dag- och spillvattennät förändras ofta i takt med den fysiska planeringen i en stad. Förändringar kan medföra att kapaciteten i avledningssystemet förändras och det är viktigt att vara observant på var flaskhalsar kan uppstå. Det är vanligt att dagvattensystemen överbelastas vid intensiv nederbörd och att vattnet istället rinner av längs markytan och orsakar lokala översvämningar vilka ofta är förenade med stora kostnader. Att i förväg identifiera strategiska flödesvägar och område som ansamlar vatten kan i förlängningen bidra till att minska sårbarheten i dagvattensystem. I ett klimatanpassningsperspektiv är detta en viktig fråga då bedömningen från forskarsamhället är att extrem nederbörd troligtvis kommer att bli mer frekvent under innevarande sekel.

Lantmäteriet har på uppdrag av regeringen i detalj kartlagt höjdförhållandena i Sverige inom det pågående projektet Ny Nationell Höjdmodell (NNH). Resultatet är en noggrann digital höjdmodell som bland annat ger goda förutsättningar för att beskriva flöden av vatten i landskapet.

Länsstyrelsen i Södermanlands län och SMHI har upprättat ett samarbetsavtal avseende stöd i arbetet med klimatanpassning. Det övergripande syftet är att SMHI utifrån kompetens och erfarenhet ska hjälpa Länsstyrelsen att ta fram en regional bild av var i länets geografi det kan krävas fördjupade utredningar inom de sakområden som avser extremnederbörd (skyfall), lokala avrinningsförhållanden samt framtida havsnivåer. Som en beställning inom detta ramavtal har SMHI fått uppdraget att analysera extrem nederbörd (skyfall), lokala avrinningsförhållanden och havsnivå.

3 Syfte

Klimatanpassning handlar om att anpassa samhällets funktioner till såväl dagens som ett förväntat framtida klimat. Denna rapport syftar till att öka medvetenheten kring skyfall och ytavrinning i urbana miljöer samt påverkan på kusten av höga vattenstånd.

4 Rekommendationer för fysisk planering

En gemensam syn på hur hänsyn ska tas till översvämningsrisker vid fysisk planering är viktigt för att skapa ett robust samhälle som med tillräckliga marginaler kan fungera väl även under extrema situationer med kraftig nederbörd, höga flöden i vattendrag och höga havsvattenstånd. Med nuvarande kunskapsläge vet vi att klimatet är under förändring och planering i långa tidsperspektiv bör ta hänsyn till detta. Att anpassa samhällets funktioner till såväl dagens som ett förväntat framtida klimat är nödvändigt.

Länsstyrelserna i Mellansverige har tidigare arbetat gemensamt med risk- och säkerhetsfrågor en arbetsgrupp kallad Arbetsgrupp för riskhänsyn i samhällsplaneringen (AGRIS). AGRIS presenterade 2006 en vägledning vid fysisk planering: *Översvämningsrisker i fysisk planering-Rekomendationer för markanvändning vid nybebyggelse*. Vägledningen förordar en metod där markutnyttjande styrs med hänsyn till utsattheten för översvämning från sjöar och vattendrag i samband med höga flöden. Rekommendationerna är ett enkelt instrument för att visa var vilken typ av bebyggelse är lämplig utan att vidta speciella åtgärder för att motverka översvämning. I fall där man önskar lokalisera byggnader inom översvämningskänsliga områden rekommenderas riskanalys och skyddsåtgärder. I korthet:

- **Markområden med stor sannolikhet för översvämning**
  I områden som hotas av 100-årsflöde, dvs. där sannolikheten för översvämningar beräknas till 63 procent eller högre under en 100-årsperiod, bör det inte tillkomma någon bebyggelse alls, med undantag för enkla byggnader som garage och uthus.

- **Markområden med viss sannolikhet för översvämning**
  I områden som hotas av högsta dimensionerande flöde, dvs. där översvämningar beräknas ske mer sällan än vart hundrade år kan samhällsfunktioner av mindre vikt lokaliseras. Exempel är byggnader av lägre värde, byggnader av mer robust konstruktion, vägar med förbifartsmöjligheter, enstaka villor, fritidshus och mindre industrier med liten miljöpåverkan.

- **Markområden med låg sannolikhet för översvämning**
  Endast i områden som inte hotas av 100-årssflöde eller högsta dimensionerande flöde bör riskobjekt och samhällsfunktioner av betydande vikt lokaliseras. Detta kan vara offentliga byggnader, t.ex. sjukhus, vårdhem, skolor, infrastruktur av stor betydelse såsom riksvägar och andra vägar utan reella förbifartsmöjligheter, järnväg, VA/avfallsanläggningar, el- /teleanläggningar samt industrier med stor miljöpåverkan eller andra industriområden. Även sammanhållen bostadsbebyggelse bör placeras ovanför nivån för högsta dimensionerande flöde.

Tyngdpunkten i vägledningen (Länsstyrelserna, 2006) är på områden kring sjöar och vattendrag samt översvämningar av dessa, men konceptet bör kunna tillämpas även för robust planering med hänsyn tagen till ytavrinning och kustöversvämning där så är aktuellt. Likanande ansatser från andra län är *Stigande vatten –en handbok för fysisk planering i översvämningshotade områden* (Länsstyrelserna i Västra Götalands län och Värmlands län, 2013) som även tar hänsyn till kustområden samt effekter av ett förändrat klimat.

5 Ny Nationell Höjdmodell

Inom många olika samhällssektorer finns ett behov av detaljerad och noggrann höjdinformation. Speciellt inom översvämningsrelaterad planering och sårbarhetsanalyser är denna information viktig och behöver vara allmänt tillgänglig då de ytor som påverkas av översvämning till stor del bestäms av dessa ytors nivåer och är svåra att avgränsa med andra metoder.

Lantmäteriet arbetar sedan 2009 med att mäta in höjden av markytan baserat på flygburen laserskanning enligt en plan där de krav som ställs för användning inom klimatanpassnings- och andra miljöändamål särskilt beaktats. Laserskanning innebär att laserstrålar sänds ut från en sändare på ett flygplan, studsar mot markytan och reflekteras tillbaka upp mot flygplanet där de fångas upp av en mottagare. Genom mätningar på den reflekterade signalen kan höjden bestämmas mycket noggrant, i storleksordningen några centimeter. Genom att sända laserpulser mycket tätt erhålls ett moln av mätpunkter som var för sig har hög noggrannhet och ligger tätt. Ambitionen är att fram till 2015 framställa en rikstäckande höjdmodell av markytan.

Insamlade data redovisas i referenssystemen SWEREF 99 TM för plan och RH 2000 för höjd. Skanningsområdena är normalt i storleken 25 x 50 km. I princip skannas hela södra Sverige före eller efter lövperioden. Löv och tät vegetation tenderar annars att störa och förvränga laserstrålen med osäker mätdata som följd. Medelfel i plan, i 3D-punktmolnet, är ca 0,4 m i SWEREF 99 TM och medelfel i höjd är ca 0,1 m i RH 2000 på väldefinierade ytor. Punkttätheten inom ett stråk är minst 1pkt/2m² och maximalt 1pkt/m².

Data från NNH finns tillgängligt som olika produkter med något olika egenskaper. Beroende på tillämpningens karaktär kan det finnas skäl att föredra den ena eller andra produkten, se Tabell 1. Grid2+ är en bearbetad produkt där mätningarna generaliserats till ett rutnät med storleken 2 m x 2m ett sk *grid* , där medelfelet i höjd är bättre än 0,5 m. LAS är ett format som inte är generaliserat utan beskriver varje enskild mätpunkt som också har något högre noggrannhet än Grid2 +.

Tabell 1. Produkter ur Ny Nationell Höjdmodell

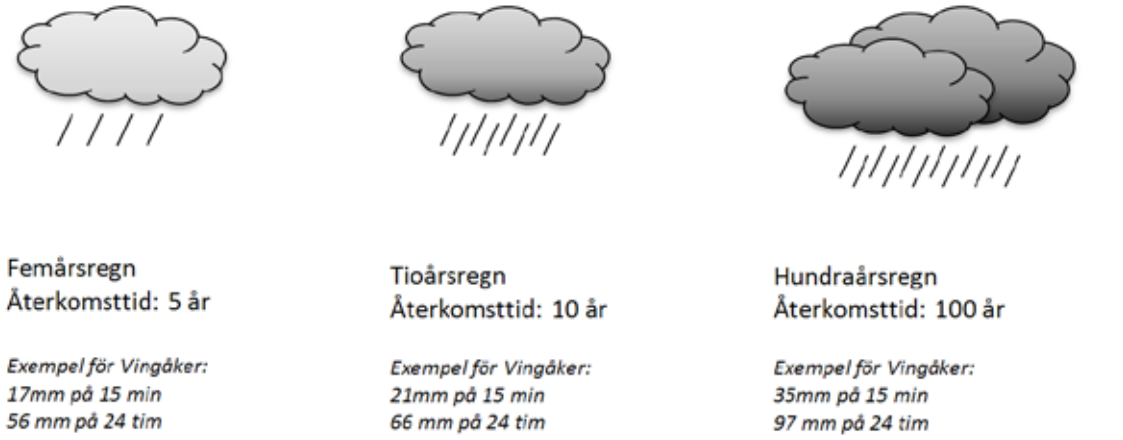
Produkt	Information
Grid2+	Kontinuerligt dataset för markytan Rutnät med upplösningen 2 m x 2 m Byggnader och flertalet broar är editerade
LAS	Diskret dataset från mätningar Enskilda mätpunkter med x, y, z Mätpunkter är klassade i grundläggande klasser

NNH består av detaljerade höjdmätningar som beskriver mark- eller vattenytan vid tillfället för mätningen. I takt med att tiden fortskrider sker också förändringar i marknivå, speciellt inom urbana områden. Det kan således vara viktigt att kontrollera att nycketobjekt inte har förändrats sedan tiden för mätningen. För tillämpningar inom hydrologi kan det t.ex. handla om väg-eller järnvägsbankar , invallningar etc. I föreliggande rapport har höjddata Grid 2+ från NNH använts som utgångspunkt.

NNH har använts i en rad olika tillämpningar inom fysisk planering och klimatanpassning. I *NNH och naturolyckor, Inventering av genomförda tillämpningar av den nya nationella höjdmodellen (NNH)* (Skytt, 2012) sammanställdes erfarenheter från såväl myndigheter, kommuner, universitet och företag. Det kan noteras att användning inom översvämningsrelaterade frågeställningar är vanligt och både inom riskanalys och projektering.

6 Varaktighet, återkomsttid och sannolikhet

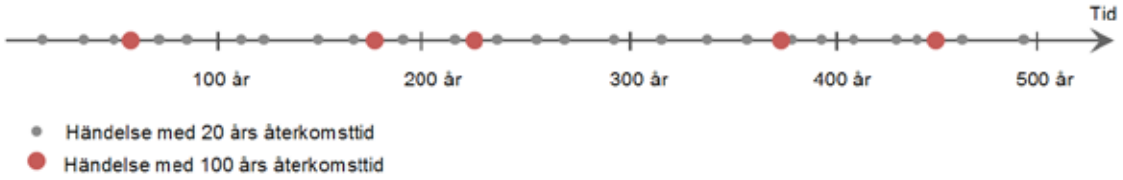
Begreppen återkomsttid och sannolikhet är centrala för diskussioner om extrem nederbörd och höga flöden, men terminologin skapar ibland missförstånd. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid. Återkomsttiden är alltså ett mått på hur ovanlig en händelse är. Stora kraftiga regn eller höga havsnivåer är ovanliga. Ju kraftigare regn eller ju högre vattennivå desto ovanligare är det att händelsen inträffar, detta förhållande uttrycks med begreppet återkomsttid. Begreppet innefattar sannolikheter och kan beräknas. Innebörden av begreppet exemplifieras utförligt i texten som följer. I figur 1 nedan illustreras extrem nederbörd med olika återkomsttid för Vingåker. På samma sätt kan höga havsvattenstånd illustreras vilket ses i figur 2, med exempel från Trosa.



Figur 1. Schematisk illustration av extrem nederbörd av olika återkomsttid samt exempel på Vingåker.

Figur 2. Schematisk illustration av havsnivå med olika återkomsttid, samt exempel för Trosa. Medelvattenstånd (MW) som streckad linje.

Att återkomsttiden är 100 betyder att en händelse av denna storleksordning sett över lång tid händer i genomsnitt en gång på hundra år. På samma sätt inträffar händelser med 20 års återkomsttid i genomsnitt en gång på 20 år (5 ggr per 100 år osv) sett över lång tid. I figur 3 nedan illustreras detta över en period av 500 år under vilken det rent statistiskt bör inträffa 25 st 20 års händelser och 5 st 100 års händelser. Notera det inte är jämnt 20 år resp 100 år mellan händelserna, utan ett genomsnitt över lång tid.



Figur 3. Schematisk illustration för hur extremhändelser kan fördelas över en längre tidsperiod.

Infrastruktur med lång livslängd exponeras under lång tid och således är den ackumulerade sannolikheten av stort intresse. Den ackumulerade sannolikheten kan betraktas som den risk objektet utsätts för under en följd av år.

Återkomsttiden för en händelse ger information om hur vanligt förekommande en händelse är. Eftersom kraftiga händelser såsom skyfall eller höga havsvattenstånd är relativt ovanliga kan man ur en händelses återkomsttid även utläsa hur kraftig händelsen är, exempelvis hur kraftigt ett regn är eller hur hög havsnivån är vid en extremsituation. Ett regn med hundra års återkomsttid är mycket kraftigare än ett regn med fem års återkomsttid. Vidare säger återkomsttiden för en händelse hur stor chans det är att den inträffar ett enskilt år. Sannolikheten för exempelvis ett 100-års regn är 1 på 100 dvs. 1% för varje enskilt år. Sannolikheten för exempelvis ett 5-års regn är 1 på 5 dvs. 20% för varje enskilt år. Sett över lång tid inträffar hundra händelser i snitt en gång per hundra år och fem års händelser i snitt vart femte år. Även händelser som är mycket ovanliga dvs. långa återkomsttider har faktiskt reell chans att inträffa om man ser till långa tidsperioder.

Den ackumulerade sannolikheten svarar på frågan om hur sannolikt det är att minst en händelse av en viss storleksordning under en viss tidsperiod inträffar. Genom att utnyttja återkomsttiden för att beskriva storleken på händelsen går det att visa den ackumulerade risken under en följd av år, vilket visas i Tabell 2. Sannolikheten för exempelvis ett 5-års regn är 1 på 5 d.v.s 20% för varje enskilt år. Den ackumulerade risken under flera år fås genom att summera risken för varje år. Sett över en period på 20 år bör det statistisk sett inträffat 4 st regn av 5-års återkomsttid. Det finns dock möjligheten att det inträffat både fler eller färre händelser av storleksordingen 5-års återkomsttid under denna period. Chansen att det inträffar minst en händelse av storleksordningen 5-års återkomsttid är 99%.

På samma sätt kan vi undersöka den ackumulerade sannolikheten för en hundraårshändelse, som kan uppfattas som en mycket ovanligt situation. Sannolikheten för exempelvis ett 100-års regn eller 100-års vattenstånd är 1 på 100 d.v.s 1% för varje enskilt år. Den ackumulerade risken under flera år fås genom att summera risken för varje år. Sett över en lång tidsperiod av inträffar dessa händelser 1 gång per 100 år. Det går ändå att räkna ut risken för att minst en händelse som är så kraftig som ett 100-årsvattenstånd ska inträffa under en 50 år period. Chansen att det inträffat minst en händelse av storleksordningen 100-års återkomsttid är 39% under en period av 50 år.

På samma sätt kan man resonera kring belastningar på t.ex. dagvattensystem som ofta är designade för att klara t.ex. ett 10-årsregn. Varje enskilt år är sannolikheten 10% för ett så kraftigt regn som ett 10 års regn, men sett i ett längre tidsperspektiv 20-50 år är det mycket sannolikt att en sådan händelse inträffar, då den ackumulerade sannolikheten är över 90%.

Tabell 2. Samband mellan återkomsttid, exponerad tid och ackumulerad sannolikheten under olika tidsperioden uttryckt i procent.

Återkomsttid (år)	Sannolikhet under 1 år	Sannolikhet under 5 år	Sannolikhet under 20 år	Sannolikhet under 50 år	Sannolikhet under 100 år
2	50	97	100	100	100
5	20	67	99	100	100
10	10	41	88	99	100
25	4	18	56	87	98
50	2	10	33	64	87
100	1	5	18	39	63

För nederbördsanalysen används begreppet varaktighet, i betydelsen den tidsperiod under vilken nederbörden summerats. Det säger ingenting om hur länge, i detta fall, det regnat dvs. regnskurens eller regnets tidslängd. Det är de maximala värdena per år som används i analysen. För varje enskilt år kan då värdena för de olika varaktigheterna härröra från samma nederbördstillfälle eller från olika tillfällen.

7 Extrem nederbörd

Nederbörd av extrem karaktär har stor påverkan på samhället. Såväl långa och lågintensiva som intensiva skyfall sätter ofta villkoren hur hus, dammar och annan infrastruktur anläggs. I urbana miljöer är detta tydligt i samband med korta intensiva nederbördshändelser då det blir uppenbart om vattenavledningen fungerar väl eller om tekniska försörjningssystem och infrastruktur påverkas negativt. Termen skyfall används ibland för att beskriva kraftiga nederbördssituationer och den definition som används av SMHI är minst 50 mm nederbörd på en timme eller minst 1 mm på en minut. Skyfall kan förekomma under alla årets månader men är vanligast under de varma sommarmånaderna. Då solen värmer marken, värms luften ovanför och luften stiger i bubblor s.k. konvektion. Är de atmosfäriska förhållandena gynnsamma kan dessa bubblor stiga 10-12 km och bilda stora åsk- eller bymoln (Wern, 2012), som kan ge mycket kraftig nederbörd på kort tid.

Dag- och spillvattensystem är ofta skräddarsydda till de områden där de placeras och till de vattenflöden som förväntas, s.k. underlag för flödesdimensionering. Dimensioneringsunderlag bör beskriva dagens förhållanden men också ge en blick in i framtiden. Tekniska system och infrastruktur anläggs vanligen för att användas under lång tid och ska då klara både dagens och morgondagens påfrestningar.

Årsmedelnederbörden över Södermanland förväntas öka upp till 20% jämfört med nuvarande situation (Länsstyrelsen i Södermanlands län, 2012) i takt med de klimatförändringar som förutspås av forskarsamhället. Nederbörd är dock till sin natur mycket variabel både mellan olika år och för olika platser. Sett över året förväntas den totala sommarnederbörden minska något medan den totala vinternederbörden ökar. Dock förväntar man sig kraftigare nederbörd sommartid d.v.s mer extrem nederbörd än vad som upplevs idag.

Nederbördsserier med hög upplösning har mycket stor betydelse för planering, analys och dimensionering av urbana vattensystem, oavsett om det är ledningsnät eller öppna lösningar. För god dimensionering och planering behövs statistiskt underlag i form av återkomst- varaktighets- och intensitetskurvor som beskriver såväl normal belastning som extremsituationer. Analyser av vattenflöden i ledningsnät sker idag till stor del med numeriska modeller och då finns möjligheten och behovet av att använda kontinuerliga nederbördsserier för att analysera ledningsnätets funktion.

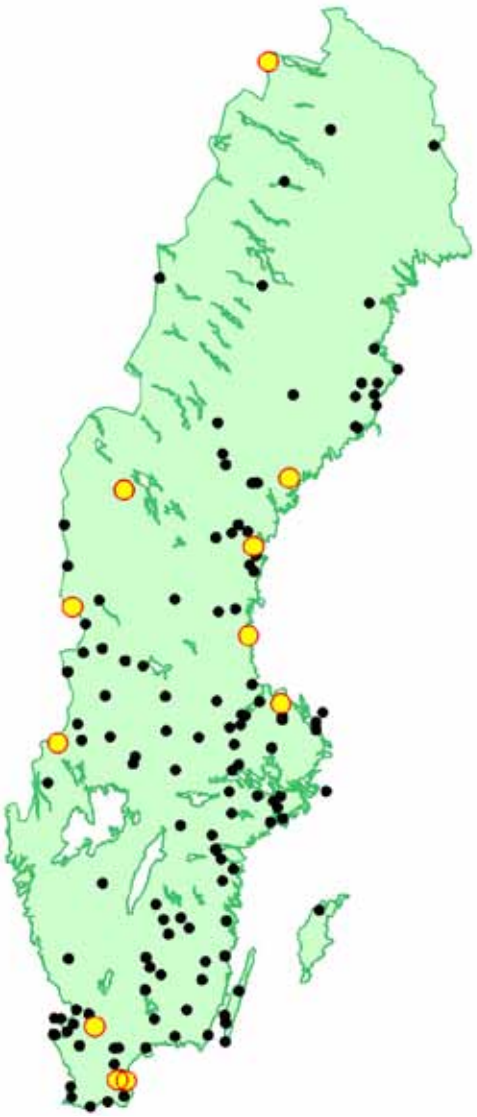
Eftersom både nederbördsintensitet och nederbördsmängd varierar kraftigt mellan närbelägna platser är sannolikheten för att upptäcka de mest extrema nederbördsmängderna beroende av hur tätt nätet av nederbördsstationer är. Nuförtiden har SMHI ett stationsnät med ca 700 st nederbördsstationer varav drygt 100 st är realtidsrapporterande s.k. automatstationer. Automatstationerna har bättre möjlighet att rapportera

korttidsnederbörd. Fördelningen av mätstationer över Sverige har varit ojämn. I äldre tid var stationsnätet mycket glest i främst nordvästra Norrland. Det är således viktigt att notera att de rekord som refereras till handlar om uppmätt nederbörd och att det är möjligt att de officiella rekordvärdena överskridits t.ex. inom de nederbördsrika västra fjälltrakterna. De högsta svenska noteringarna är:

- 15-minutershändelse
  40,2 mm nederbörd uppmättes i Daglösen 5 juli 2000.

- 1-dygns händelse
  198 mm nederbörd uppmättes i Fagerheden 28 juli 1997

I SMHIs rapportserier finns flertalet rapporter som belyser frågan om extrem nederbörd ur olika vinklar, exempelvis *Extrem arealnederbörd i Sverige 1881-1988* (Vedin H och Eriksson B, 1988). *Korttidsnederbörd i Sverige 1995-2008* (Wern och German 2009), *Extrem nederbörd i Sverige under 1 till 30 dygn* (Wern 2012). Från dessa arbeten har korttidsnederbördsrekord i tabell 4 samt figur 4 med karta över extrema nederbördshändelser hämtats. Figur 4 visar alla stationer som mellan åren 1961 och 2011 där det uppmätts minst 90 mm under ett dygn, totalt 129 stationer. Totalt 140 fall har registrerats (Wern 2012). Svarta prickar i kartan till höger visar vilka stationer som mätt minst 90 mm under ett dygn en gång medan gulröda prickar visar stationer som mätt minst 90 mm under ett dygn minst två gånger. Två stationer har drabbats av minst 90 mm tre gånger under perioden 1961-2011, Härnösand och Höglekardalen.



Figur 4. Stationer som mätt minst 90 mm (1961-2012) under ett dygn en gång (svarta prickar) och minst 90 mm under ett dygn minst två gånger (gulröda prickar). (efter Wern, 2012)

Tabell 3. Stationer som mätt minst 90 mm i Södermanlands län (1961-2012).

Datum	Station	mm	Länsnamn
2010-07-29	Mariefred	96,6	Södermanlands län
1972-07-02	Stenkvista	90,2	Södermanlands län
1997-07-28	Flen	104,5	Södermanlands län
2002-07-21	Åda	102,0	Södermanlands län

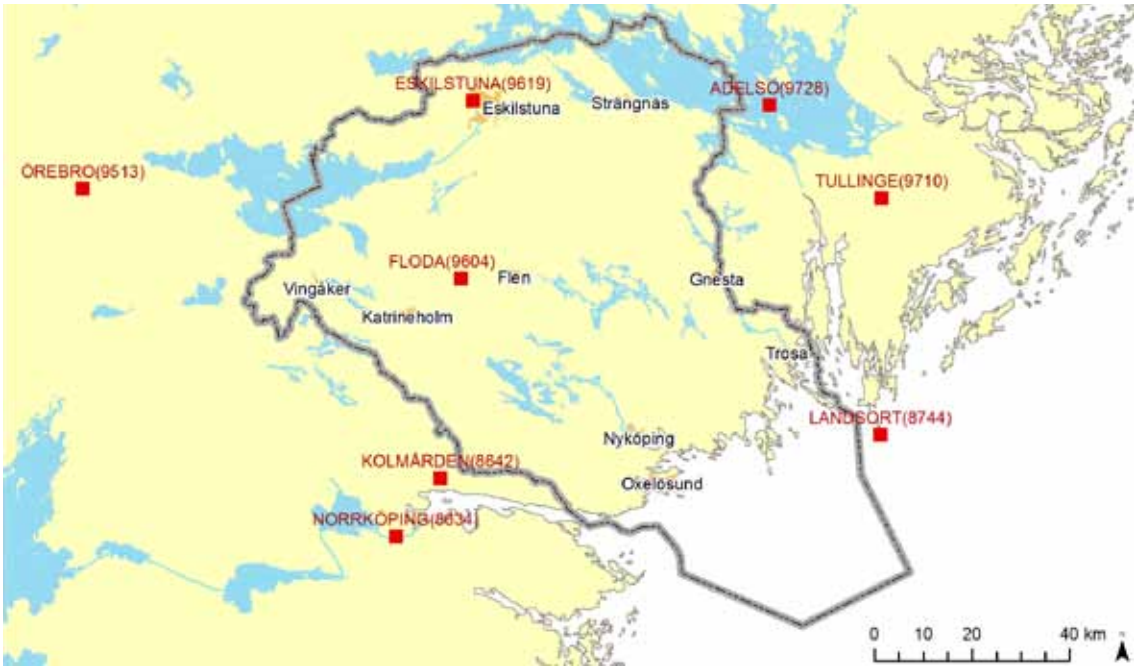
Tabell 4. Rekord från de SMHIs automatstationer (efter Wern och German, 2009)

Varaktighet	Datum	Station	Mängd (mm)
15-min	2000-07-05	Daglösen	40.2
30-min	2000-07-05	Daglösen	57.9
45-min	2000-07-05	Daglösen	61.1
60-min	2000-07-05	Daglösen	61.5
2-tim	2000-07-05	Daglösen	90.9
3-tim	2000-07-05	Daglösen	91.3
4-tim	2002-07-20	Kerstinbo	90.4
6-tim	2002-07-20	Kerstinbo	92.3
12-tim	2002-07-21	Kerstinbo	99.6
24-tim	1999-08-16	Hallands Väderö	125.3
48-tim	2002-07-22	Kerstinbo	151.3
96-tim	2002-07-23	Kerstinbo	175.8

Det kan noteras att det under skyfallet som inträffade i Köpenhamn den 2:a juli 2011 registrerades 150 mm under 1,5 timme (MSB, 2013). 150 mm motsvarar ungefär mängden som normalt faller under två månader sommartid.

7.1 Extrem nederbörd i nuvarande klimat

En analys av extrem korttidsnederbörd i dagens klimat har gjorts baserad på nederbördsmätningar utförda var 15 minut med fasta intervall (00, 15, 30, 45 minuter varje timme) från 8 stationer, figur 5. De har valts ut för att representera förhållandena i de södermanländska kommunerna Eskilstuna, Flen, Gnesta, Katrineholm, Nyköping, Oxelösund, Strängnäs, Trosa och Vingåker.



Figur 5. Nederbördsstationer i och omkring Södermanland.

För utvalda stationer har beräkningar av återkomsttider för tidsintervallen (varaktighet) 15 min, 30 min, 45 min, 1 tim, 2 tim, 3 tim, 4 tim, 6 tim, 12 tim och 24 tim nederbörd utförts. De använda stationerna upprättades 1995 med undantag av Eskilstuna som startade 2008. För denna station har därför närliggande stationer använts för att förlänga tidsserien. För övriga stationer har minst 13 år kunna utnyttjas, de flesta har 14 år eller mer. Vid statistisk återkomsttidsanalys av tidsserier brukar tumregeln vara att begränsa sig till dubbla tidsseriens längd. Osäkerheten är därför stor för de längre återkomsttiderna och då särskilt 50 och 100 år.

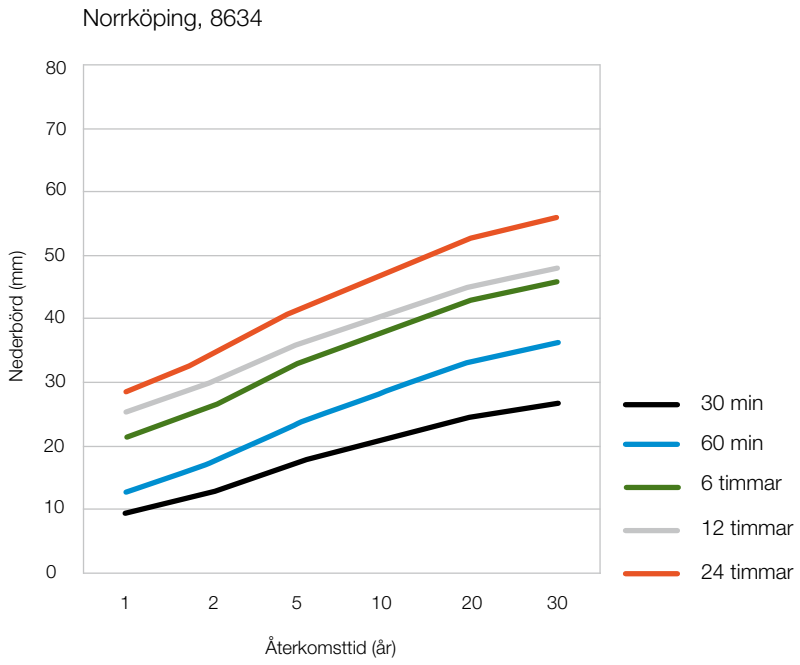
Den statistiska extremvärdesanalysen baseras på varje års maximala nederbördsmängd för respektive varaktighet. Alla maximala nederbördsmängder för samtliga stationer har inträffat under sommartid, vanligen juli-augusti. Det beror på den kraftiga skurnederbörd som då inträffar och som är kopplad till att det då råder varmare förhållanden.

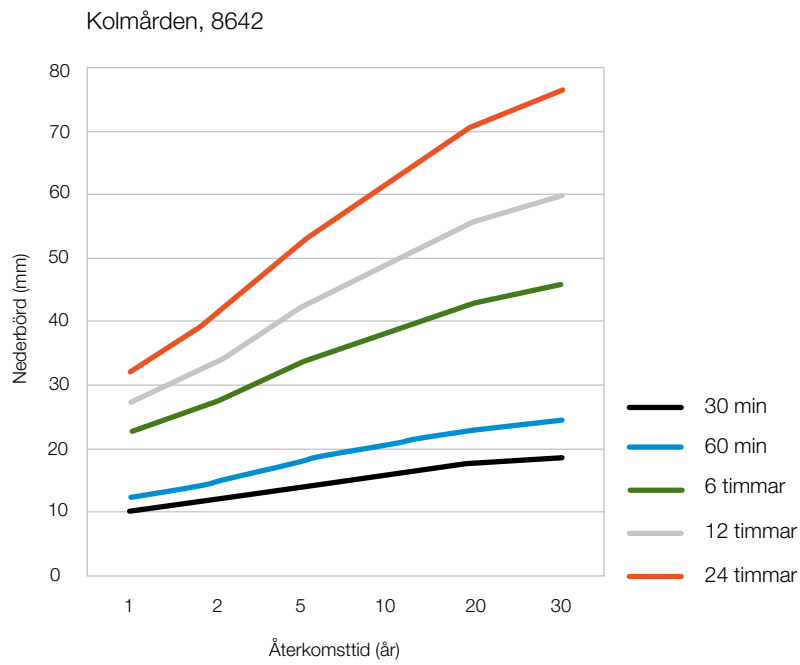
Det finns olika sätt att matematiskt beskriva karaktären av extrema nederbördshändelser för en viss mätstation, s.k. statistiska fördelningsfunktioner. I denna rapport redovisas värden från Gumbelfunktionen. Resultaten presenteras tabellvis för de respektive stationerna med de olika varaktigheterna och återkomsttiderna. För att markera att 50 och 100 års-värdena är mycket osäkra, är de skrivna med grå färg, se sidan 48, tabell 12.

De stationer som ingår i analysen listas i tabell 5 tillsammans med de kommuner de valts för att representera. Därefter följer figurer över nederbördsmängder med olika varaktighet och återkomsttid för respektive station, figur 6-figur 9. Se bilaga 1 för redovisning av motsvarande material i tabeller.

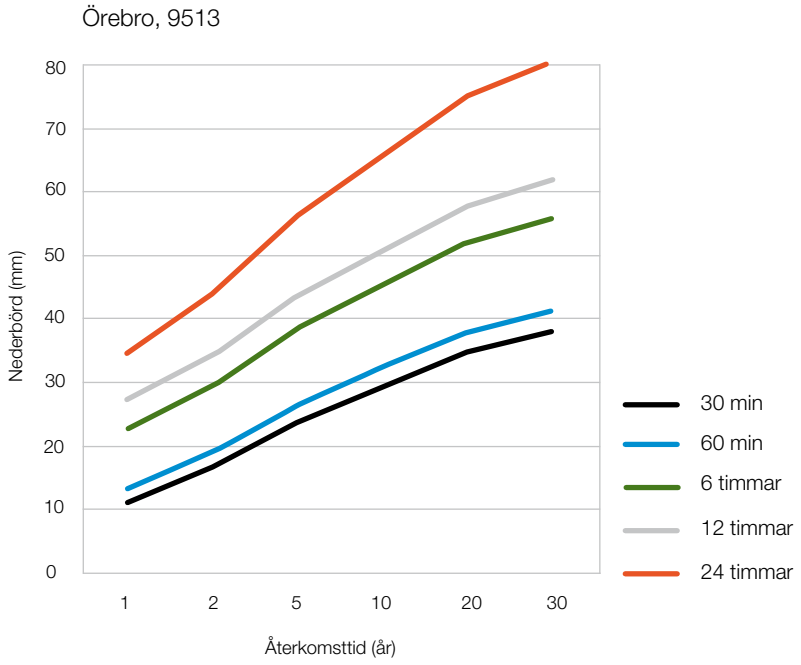
Tabell 5. Kommunerna i Sörmland och de SMHI-stationer som valts att representera dem samt stationens nummer.

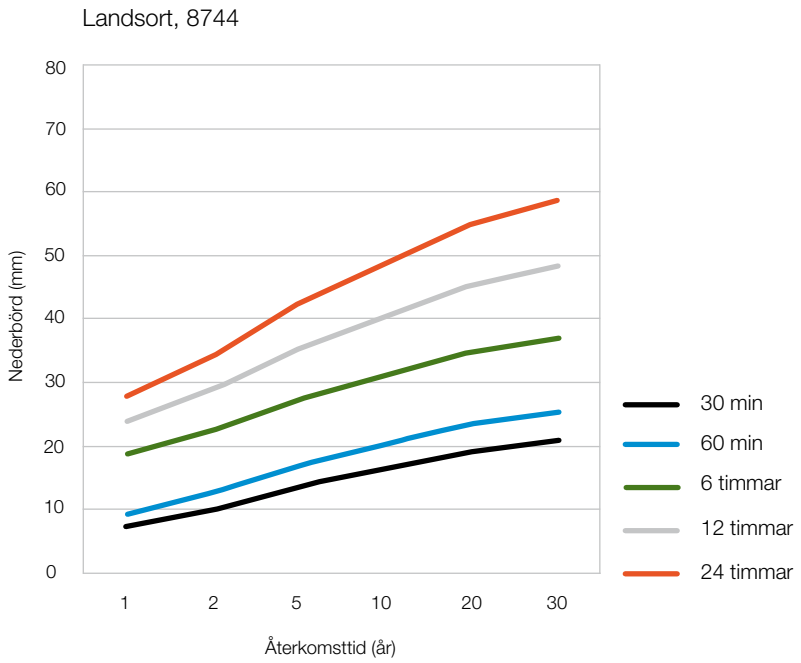
Kommun	Stationsnamn	Station
Katrineholm, Oxelösund, Nyköping	Norrköping	8634
Katrineholm	Kolmården	8642
Trosa	Landsort	8744
Vingåker	Örebro	9513
Flen	Floda	9604
Eskilstuna	Eskilstuna	9619
Gnesta	Tullinge	9710
Strängnäs	Adelsö	9728



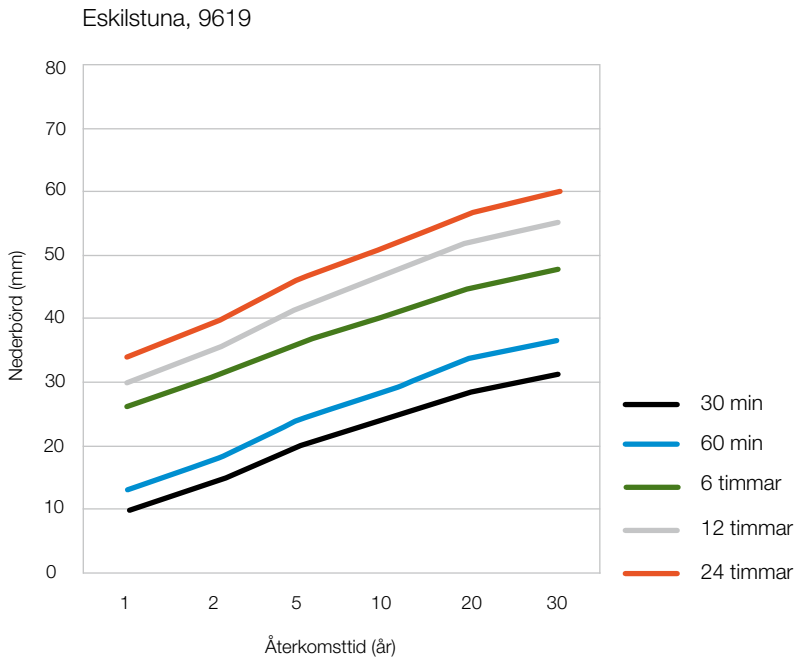


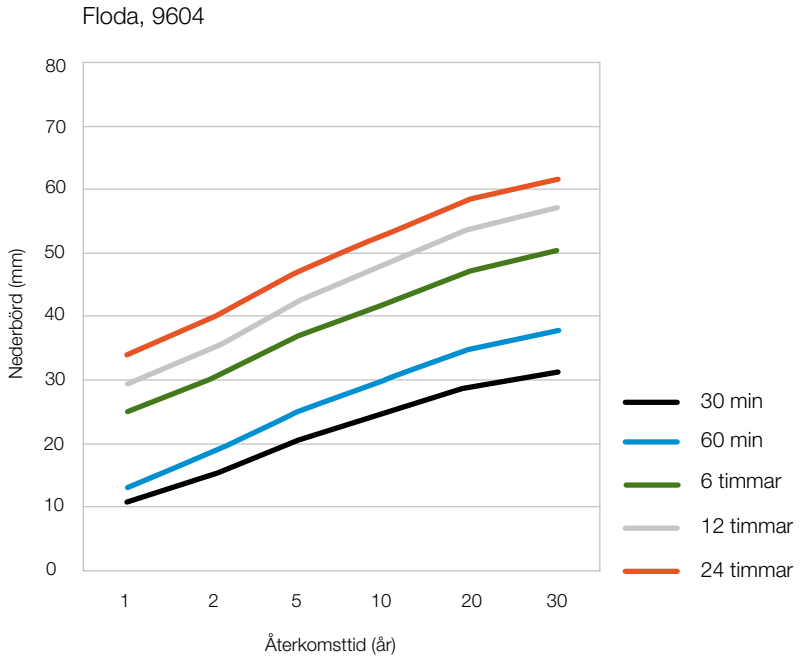
Figur 6. Nederbörd med varaktigheterna 30 minuter, 60 minuter (1 timme), 6 timmar, 12 timmar och 24 timmar för återkomsttiderna 1, 2, 5, 10, 20 och 30 år. De meteorologiska stationerna är Norrköping och Kolmården.



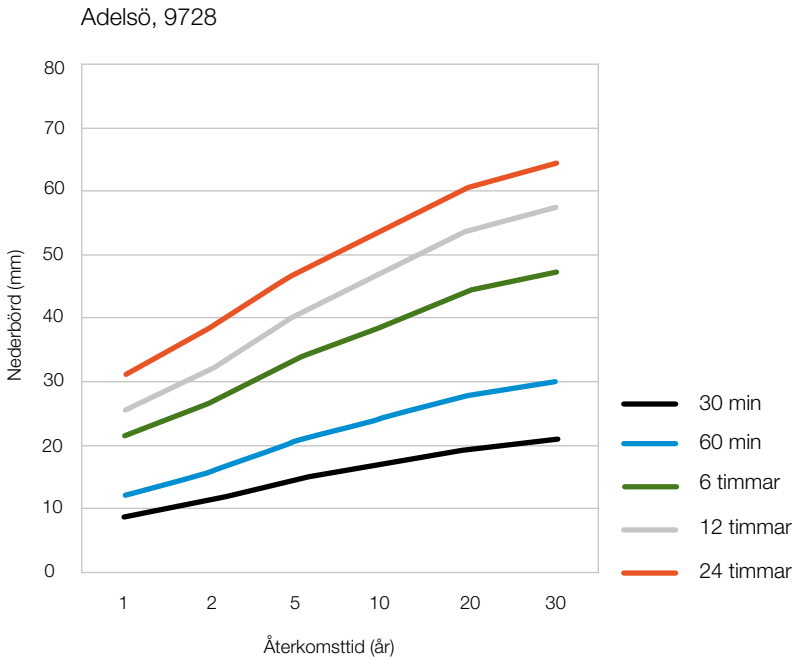


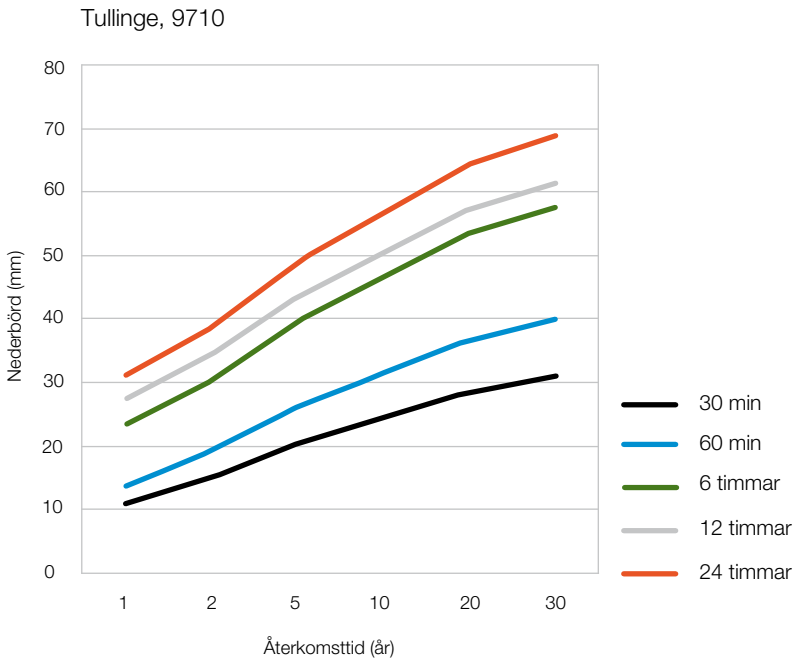
Figur 7. Nederbörd med varaktigheterna 30 minuter, 60 minuter (1 timme), 6 timmar, 12 timmar och 24 timmar för återkomsttiderna 1, 2, 5, 10, 20 och 30 år. De meteorologiska stationerna är Landsort och Örebro.





Figur 8. Nederbörd med varaktigheterna 30 minuter, 60 minuter (1 timme), 6 timmar, 12 timmar och 24 timmar för återkomsttiderna 1, 2, 5, 10, 20 och 30 år. De meteorologiska stationerna är Floda och Eskilstuna..





Figur 9. Nederbörd med varaktigheterna 30 minuter, 60 minuter (1 timme), 6 timmar, 12 timmar och 24 timmar för återkomsttiderna 1, 2, 5, 10, 20 och 30 år. De meteorologiska stationerna är Tullinge och Adelsö.

7.2 Extrem nederbörd i framtida klimat

För att bedöma hur klimatförändringen kan komma att påverka kortvariga intensiva regn har nederbördsdata från klimatscenarier analyserats. I den här rapporten har data från ett sex olika klimatmodellkörningar används. Samtliga är framtagna med SMHIs regionala klimatmodell RCA3 med ursprung i HIRLAM som är SMHIs operationella väderprognosmodell. Den regionala klimatmodellen RCAs förmågor har utvärderats i en rad studier och speciellt har nederbörd studerats av Samuelsson et al. (2011), Jeong et al. (2011), Walther et al. (2012). Korttidsnederbörd från klimatmodeller har använts i flera omfattande utredningar tillexempel av Olsson et al. (2010) och Hernebring et al. (2012)

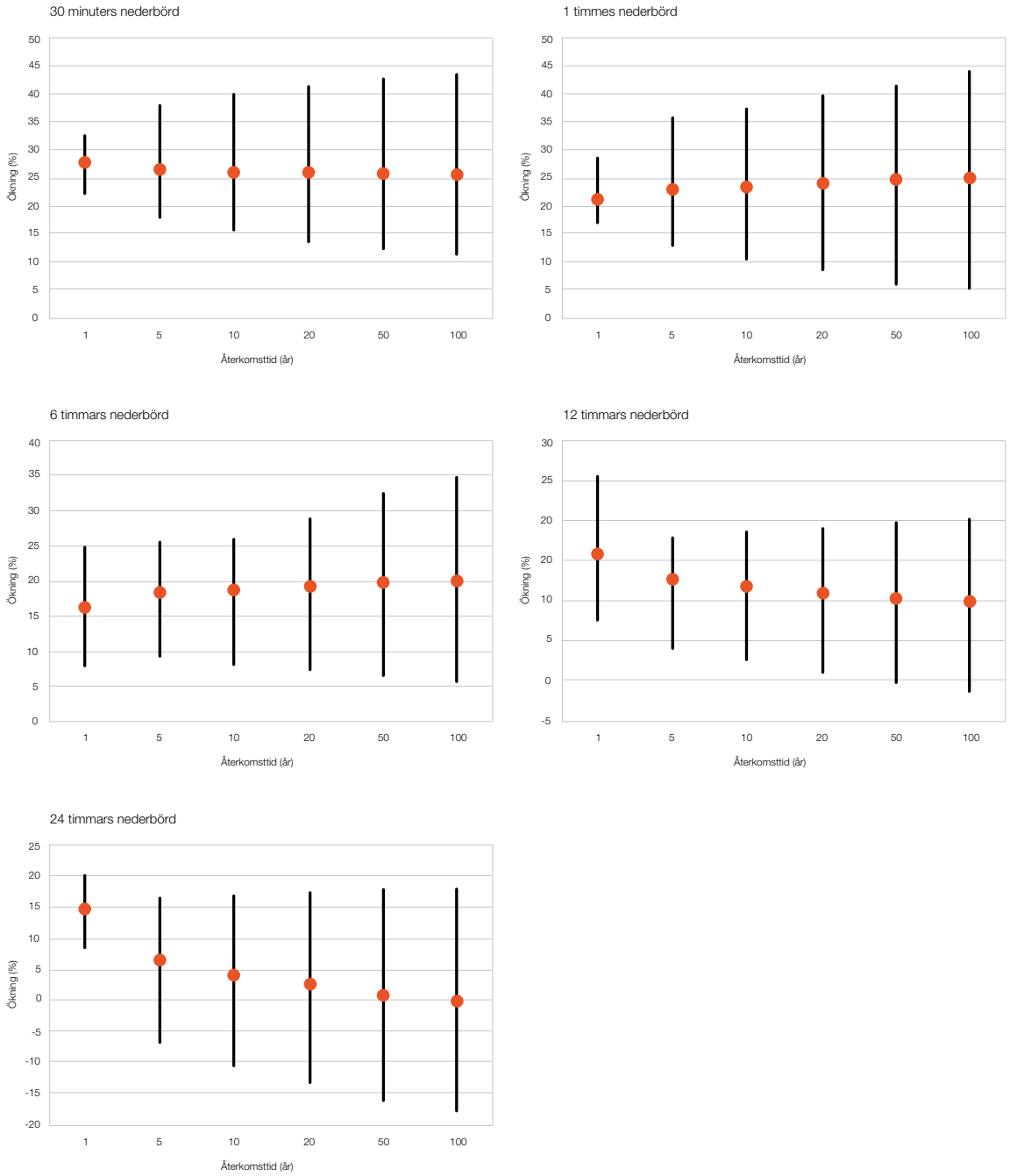
De klimatmodellkörningar som har använts för perioden 1961-2100 visas i tabell 6. Fyra av scenarierna har drivits med utsläppsscenario A1B, de övriga två har drivits med utsläppsscenario A2 respektive B2 (Tabell 6). Utsläppsscenarierna finns beskrivna i Nakićenović and Swart (2000) samt i *Riskbild Södermanland* (Länsstyrelsen i Södermanland, 2012). Den högsta tidsupplösning som sparas från de regionala klimatmodellkörningarna är 30-minuter, dvs. nederbörden är summerad för 30-minuters intervall.

Tabell 6. Regionala klimatscenarier analyserade med avseende på intensiv korttidsnederbörd.

Global klimatmodell	Regional klimatmodell	Utsläppsscenario
ECHAM5(1)	RCA3	A1B
ECHAM5(2)	RCA3	A1B
ECHAM5(3)	RCA3	A1B
HadCM3(Q0)	RCA3	A1B
ECHAM4	RCA3	A2
ECHAM4	RCA3	B2

För att studera korttidsnederbörden har fem modellgridrutor över Södermanland från klimatmodellerna valts ut. Upplösningen är 50 km × 50 km och rutorna går även utanför länets gränser. För var och en av gridrutorna har tidsserier med 30 minuter, 1 timme, 2 timmar, 6 timmar, 12 timmar och 24 timmars nederbörd extraherats ur modellresultaten för de två 30-årsperioderna: 1961-1990 (referensperiod) och 2071-2100. För varje serie har en extremvärdesanalys gjorts genom att beräkna varje års högsta 30-minuters intensitet. Serierna över de högsta 30-minutersvärdena har anpassats till en fördelningsfunktion (Gumbel) och därur beräknades värdena motsvarande 1, 5, 10, 20, 50 och 100 års återkomsttider. På samma sätt analyserades de övriga tidsserierna för de olika varaktigheterna. Metoden finns beskriven av Olsson och Foster (2013).

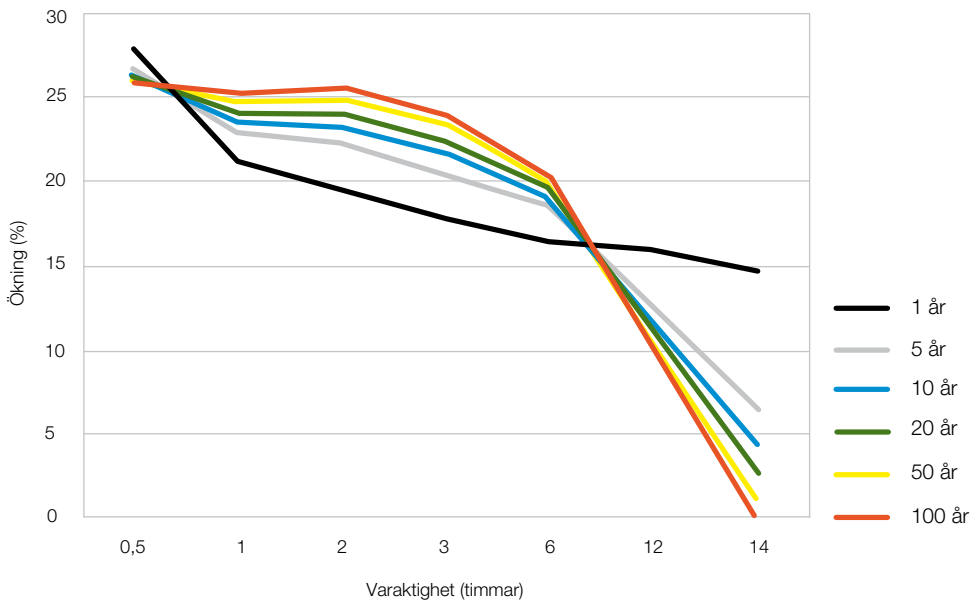
I figur 10 visas differensen mellan den framtida perioden 2071-2100 och referensperioden uttryckt som procent.



Figur 10. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i Södermanland (varaktighet 30 minuter, 1 timme, 6 timmar, 12 timmar och 24 timmar) från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år. Punkterna avser medelvärden för de sex klimatscenarierna som använts och linjerna visar spridningen mellan scenarierna.

Resultaten visar att den intensiva korttidsnederbörden kan förväntas öka då perioden 2071-2100 jämförts med perioden 1961-1990. Spridningen mellan olika klimatscenarierna är stor. Samtliga visar dock på ökande intensitet för korttidsnederbörd. För de längre varaktigheterna är ökningen mindre accentuerad. För varaktigheterna 30 minuter, 1 timme och 6 timmar visar samtliga scenarier på en ökning, även för de längre återkomsttiderna. För den kortaste varaktigheten (30 minuter) är ökningen i medeltal över 25% och för varaktigheten 1 timme syns en ökning med 20-25% i medeltal. För de längre varaktigheterna är ökningen lägre, 15-20% i medeltal för 6-timmars nederbörd respektive 10-15% i medeltal för 12-timmars nederbörd.

Den intensiva korttidsnederbörd som är årligt återkommande (återkomsttid 1 år) visar tydligast tendens till ökning, även för de längre varaktigheterna (figur 11). Man kan betrakta det som en allmän ökning av skurars regnmängd. För de skurar som är mindre vanligt förekommande ses ökad regnmängd för de med kortare varaktighet (30 min, 1 timme och 6 timmar) tydligt, men för de längre skurarna (12 och 24 timmar) är ökningen liten. Det ska tilläggas att för de längre återkomsttiderna är beräkningarna mycket osäkra.



Figur 11. Den procentuella förändringen av korttidsnederbörd i medeltal för olika varaktigheter och återkomsttiderna 1 år och 10 år. Det är medelvärdena för de sex scenarierna som här har använts (se även i figur 10).

Att förhöjd temperatur leder till ökade skurar stöds av en nyligen dokumenterad undersökning (Berg et al., 2013). Författarna undersökte beteendet hos olika typer av regnskurar vid varierande temperaturer. De kom fram till att typen konvektiv nederbörd (som vid sommaråskväder) intensifierades mycket snabbare vid ökade temperaturer, speciellt vid temperaturer kring 12 till 20°C. Kraftiga regnskurar påverkas mer av temperaturen än regn från större vidsträckta regnsystem. Mängden regn som kommer i de häftiga regnskurarna beror på den mängd vattenånga som finns i atmosfären. Vid högre temperaturer kan atmosfären innehålla mer vattenånga och då ökar möjligheten att det skapas kraftiga regnskurar.

7.3 Framtida extrem nederbörd i Södermanland

De medelvärden som framtagits för den extrema nederbördens förändring i framtida klimat (2071-2100) har applicerats på dagens extrema nederbördsvärden vilka presenterats i avsnitt 7.1. I tabell 9 listas de aktuella kommunerna och de mätstationer som valts för att representera förhållandena i respektive kommun. För Katrineholm används här medelvärdena stationerna Norrköping och Kolmården).

I tabell 7 redovisas tabeller för de respektive kommunerna och i bilaga 1 visas dessa värden i diagram.

Tabell 7. Extremnederbörd(mm) i framtida klimat (2071-2100) för respektive kommun. För information om de använda mätstationerna se Tabell 5.

Strängnäs	1 år	5 år	10 år	20 år	Trosa	1 år	5 år	10 år	20 år
30 min	12	19	22	25	**30 min**	10	17	21	24
1 tim	15	26	30	35	**1 tim**	11	21	25	29
6 tim	25	40	47	53	**6 tim**	22	32	37	42
12 tim	30	46	53	60	**12 tim**	28	40	45	50
24 tim	36	50	56	62	**24 tim**	32	45	51	57

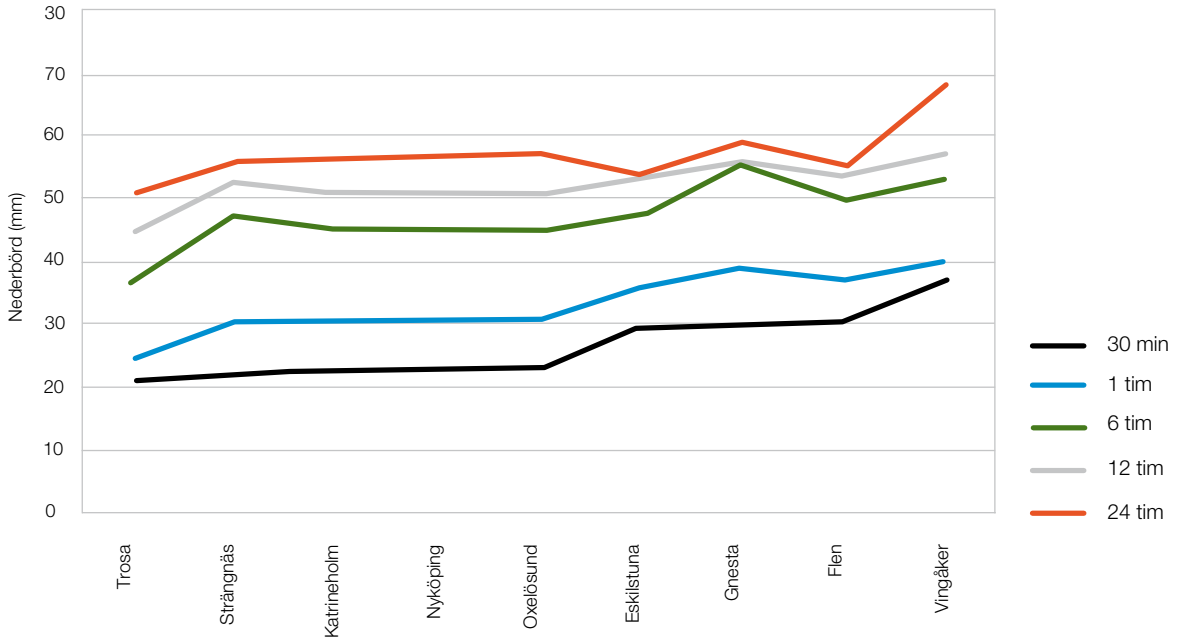
Vingåker	1 år	5 år	10 år	20 år	Flen	1 år	5 år	10 år	20 år
30 min	14	30	37	44	**30 min**	14	26	31	36
1 tim	16	32	40	47	**1 tim**	16	30	37	43
6 tim	26	44	53	62	**6 tim**	29	43	50	56
12 tim	32	49	57	64	**12 tim**	34	48	54	60
24 tim	39	60	68	77	**24 tim**	39	50	55	60

Eskilstuna	1 år	5 år	10 år	20 år	Gnesta	1 år	5 år	10 år	20 år
30 min	13	25	30	36	**30 min**	14	26	30	36
1 tim	16	30	36	42	**1 tim**	17	32	39	46
6 tim	30	43	48	53	**6 tim**	27	47	55	64
12 tim	35	47	53	58	**12 tim**	32	49	56	64
24 tim	39	49	54	58	**24 tim**	35	52	59	66

Katrineholm Nyköping Oxelösund	1 år	5 år	10 år	20 år
30 min	13	20	23	27
1 tim	15	26	31	35
6 tim	26	39	45	51
12 tim	31	45	51	56
24 tim	35	50	57	64

De framräknade värdena visar att nederbörd med återkomsttid 30 år i dagens klimat motsvarar ett 10-årsregn i framtidsklimatet och att nederbörd med återkomsttid 10 år i dagens klimat motsvaras av ett 5-årsregn i framtidsklimatet. Det stämmer generellt väl för alla orter och varaktigheter.

En jämförelse mellan kommunerna visar att Trosa (Landsort) visar de lägsta nederbördsvärdena och Vingåker (Örebro) de största nederbördsvärdena.



Figur 12. Nederbörd (mm) med återkomsttid 10 år för varaktigheterna 30 minuter, 1 timme, 6, 12 respektive 24 timmar för kommuner i Södermanland i framtida klimat (2071-2100).

8 Översvämning

Studier inom översvämningsanalys syftar ofta till att identifiera områden eller objekt som kan komma att påverkas av vatten på ett oönskat sätt. Detta kan göras på olika sätt och varje metod har olika för- respektive nackdelar. I praktiken är det vanligt att de metoder som används väljs för att balansera utredningskostnad och sökt detaljeringsgrad på lämpligt sätt. I somliga situationer kan det vara värdefullt att översiktligt analysera och utvärdera stora områden medan det i andra situationer är viktigt med högsta möjliga detaljeringsgrad t.ex. kring ett enskilt skyddsvärt objekt. Traditionellt sett har mer eller mindre detaljerade hydrauliska beräkningar i ledningsnät, vattendrag och hav varit den dominerade metoden. Exempel på olika metoder som man frekvent använder för urbana översvämningsanalyser ses i figur 13.

Figur 13. Vanligt förekommande metoder för analys av översvämningsrisker i urbana miljöer.

Denna studie syftar till att behandla samtliga kommuners huvudorter med avseende på ytavrinningsförhållanden baserat på detaljerad landskapsinformation från Ny Nationell Höjdmodell (NNH) och Fastighetskartan. Analysen har utförts i ett Geografiskt Informationssystem (GIS).

Studier av lokala avrinningsförhållanden fokuserar på markytans höjdförhållanden och lutning för att visa områden dit vattenflöden koncentreras och platser där vatten samlas vid kraftiga nederbördssituationer. Dessa områden är viktiga att kartlägga för att:

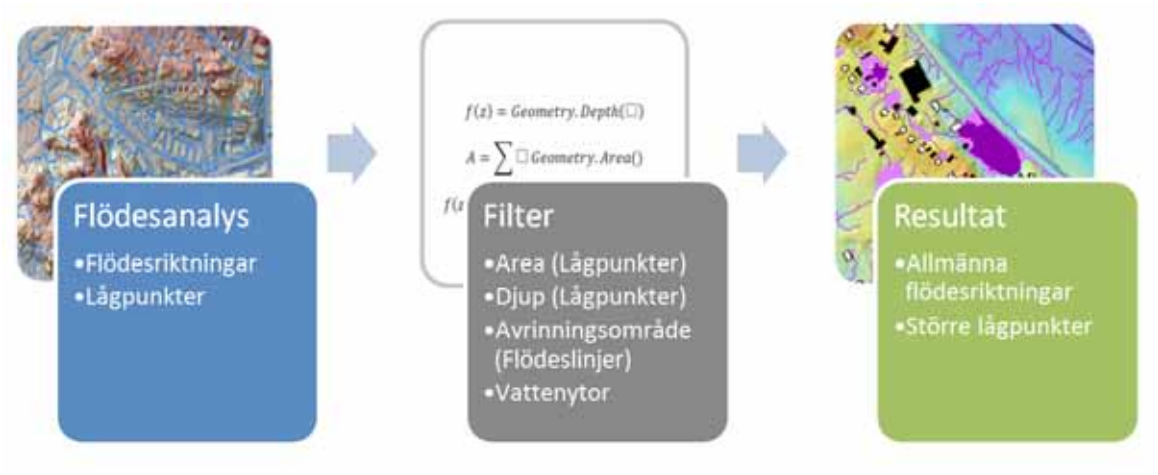
- Identifiera flödesvägar för ytavrinning.
- Visa kritiska punkter i dräneringssystemet vägtrummor, kulvertar etc.
- Identifiera områden som kan användas för att fördröja vattnets väg mot spill- och dagvattennät.
- Bedöma naturliga flödesriktningar i områden som ännu ej exploaterats.
- Identifiera områden vars bebyggelse bör omfattas av särskilda överväganden såsom strukturell och/eller verksamhetsmässig anpassning till översvämningssituationer.
- Planera fältbesök för att kontrollera dräningsförhållanden vid strategiska punkter.

För att studera lokala avrinningsmönster analyseras topografisk information. Detaljerade höjdmodeller för huvudorter i respektive kommun i länet har kombinerats med information ur Fastighetskartan från Lantmäteriet. Genom att arbeta in viktiga objekt som normalt inte finns i höjdmodellerna (broar, underfarter etc.) har ett bättre urbanhydrologiskt underlag skapats, se figur 14.

Figur 14. Dataharmonisering och förbearbetning av GIS-data samt GIS-analys

Genom att bilda ett nätverk av lokal avrinningsriktning erhålls ett potentiellt strömningsnätverk där vatten med stor sannolikhet tar sig fram i händelse av ytavrinning. Detta kan vidare vara till hjälp i situationer där dräneringsmöjligheterna måste förbättras eller kompletteras med strategiska åtgärder. Genom att studera avrinningsriktningen kan både information om uppströms och nedströms liggande områden beaktas.

Resultaten från GIS-analysen behöver bearbetas för att harmonisera med noggrannheten i indata samt underlätta tolkning av resultaten, se figur 15. Ett viktigt moment är att tillämpa olika filterfunktioner för att sortera bort objekt som bedöms vara av mindre betydelse eller ligga utanför höjdmodellens noggrannhet. Följande filter har tillämpats:



Figur 15. Efterbearbetning av resultat från GIS-analys

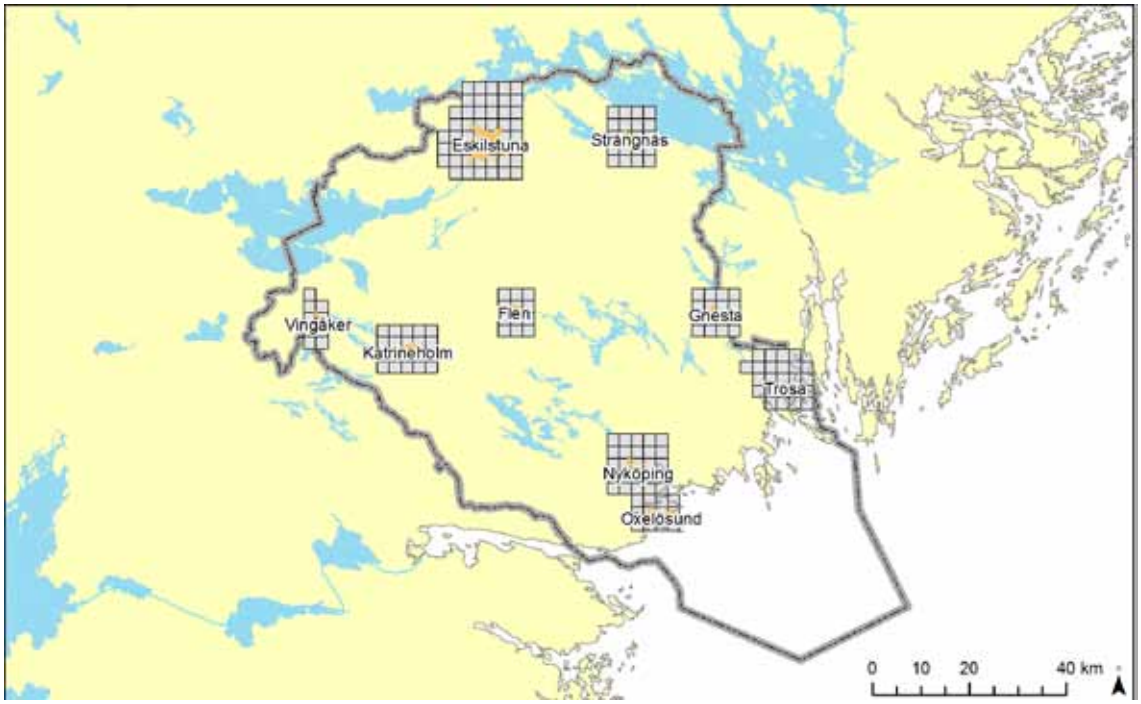
Metodens stora fördelar är att det snabbt och kostnadseffektivt går att analysera stora områden och bilda sig en uppfattning om vilka områden som kan ansamla vatten. En nackdel är att det inte finns en entydig koppling till de nederbördsintensiteter eller nederbördsmängder som ger upphov till respektive vattenansamling. Det har inte varit möjligt att ta hänsyn till öppna dagvattenlösningar då t.ex. kommunala primärkartor inte varit tillgängliga för SMHI.

8.1 Studieområden

För att studera översvämningsproblematik har frågeställningen avgränsats till områden kring respektive kommuns huvudort samt kuststräckan. Detaljerade höjdmodeller för analys av ytavrinning har tagits fram. Höjdmodellerna är baserade på NNH och modifierade med uppgifter från Fastighetskartan enligt Figur 14. De respektive höjdmodellernas omfattning framgår av figur 16. I praktiken omfattade de hela det som område som idag är tätbebyggt samt någon kilometer buffertzon. Totalt sett har ca 1200 km^2 analyserats med avseende på ytavrinning och ca 1400 km^2 medavseende på kustöversvämning.

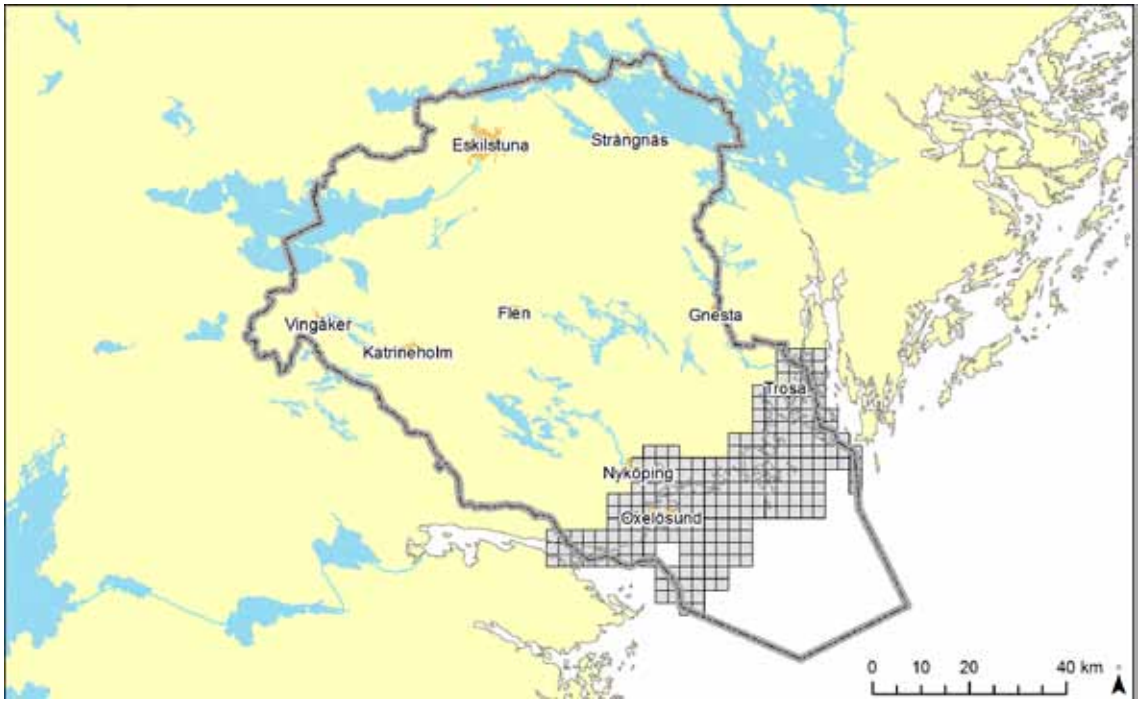
Tabell 8.Områdesindelning för analys av lokala ytavrinningsförhållanden

Tätort	Area (km^2)
Eskilstuna	306
Flen	75
Gnesta	100
Katrineholm	125
Nyköping	156
Oxelösund	75
Strängnäs	125
Trosa	150
Vingåker	63



Figur 16. Omfattning av lokala detaljerade höjdmodeller(grå) för ytavrinningsanalys.

Analysen av höga havsvattenstånd har utförts för området som visas i figur 17, vilket omfattar ca 1400 km^2.



Figur 17. Omfattning av detaljerad höjdmodell(grå) för kartering av höga havsvattenstånd.

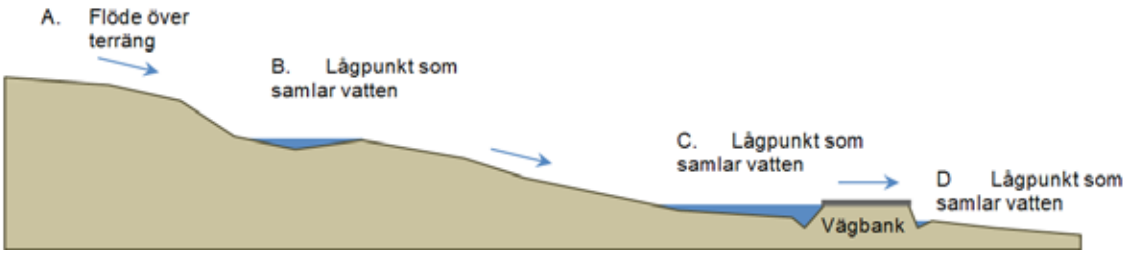
8.2 Lokal ytavrinning

Ytavrinning sker i huvudsak då marken vattenmättats och nederbörd inte kan infiltrera i marken utan istället följer lokala sluttningsriktningen nedåt. Detta sker vanligast under skyfall eller långvarigt blöta perioder. Det kan också vara så att vatten lokalt lämnar en naturlig eller konstgjord ordinarie transportväg genom att t.ex brädda ifrån ledningsnät eller kanaler och därefter flöda ytledes över terrängen.

Genom analys av terrängmodellen kan såväl lokala flödesvägar som lågpunkter där vatten kan samlas lokaliseras. Det är viktigt att förstå grunderna i analysen för att dra korrekta slutsatser av resultatet. Huvudprincipen för flöden över en digital höjdmodell framgår i figur 18 som visar en sluttning sedd från sidan. Vattnet följer sluttningens brantaste riktning och fyller upp lokala sänkor, s.k. lågpunkter. En lågpunkt är ett område i terrängen som är omgärdat av högre liggande områden på alla sidor d.v.s en grop varifrån vatten inte kan ta sig med mindre än att fylla upp lågpunkten. Flödesriktningen är den väg vattnet strömmar i en digital höjdmodell. Speciellt intressant blir detta i urbana eller semi-urbana miljöer som påverkats av infrastruktur. Vägbankar, järnvägsbankar och olika typer av byggnader blockerar vanligtvis naturliga flödesvägar och tvingar vattnet att söka andra vägar, t.ex. runt större byggnader. På samma sätt styr dikningar och dagvattensystem vatten till sträckningar som kanske inte skulle utnyttjats utan mänskliga ingrepp. I figur 18 syns en naturlig lågpunkt (B) samt två konstgjorda lågpunkter (C och D), som är diken i anslutning till en väg. Notera att eftersom ingen information om vägtrumma har arbetats in i höjdmodellen behöver vattnet fylla upp hela lågpunkten uppströms vägbanken (C) innan det kan rinna över vägbanan till punkt (D) och vidare. Det är vanligt att vägbankar etc. har trummor eller liknande för att släppa igenom vatten vid viktiga punkter. För somliga dikningar och mindre vattendrag beskrivs inte dessa genomförningar, varken i NNH eller fastighetskartan varpå det i resultaten kommer att visas som en lågpunkt även om det i verkligheten finns dränering.

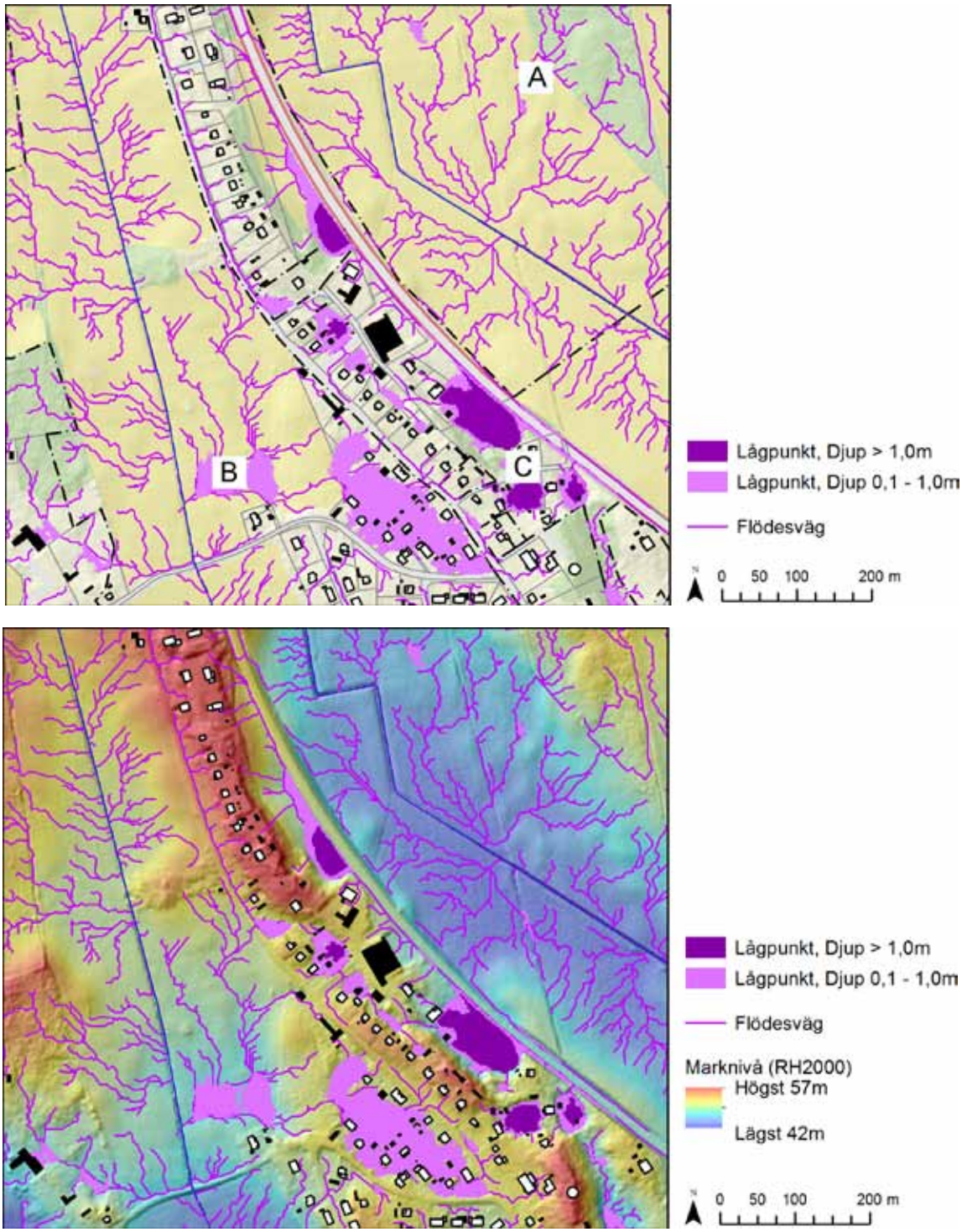
Det är rimligt att analysera terrängen utan att samtliga vägtrummor etc. beskrivs i detalj eftersom dessa i regel inte dimensionerats för extrema situationer och det är troligt att de kommer begränsa vattenflödet med höga uppströmsnivåer som följd. Analysen kan således sägas beskriva en situation där dessa transportvägar är antingen allvarligt överbelastade eller ur funktion.

Det kan tolkas som en brist i metoden att stora områden som identifieras som lågpunkter centralt i tätorterna trots att det är känt att det finns existerande dräneringssystem. Det faktum att dessa viktiga dräneringsvägar (t.ex. kulvertar) utelämnats och ger oacceptabla konsekvenser och kan därmed understryka vikten av att upprätthålla god funktion på dessa kända dräneringsvägar. Områden som markeras som lågpunkter behöver inte nödvändigtvis vara översvämningsytor beroende på markens lokala infiltrationsförmåga. Vid skyfall är det dock vanligt att även naturmark, som vanligtvis har god infiltrationskapacitet, blir vattenmättad.



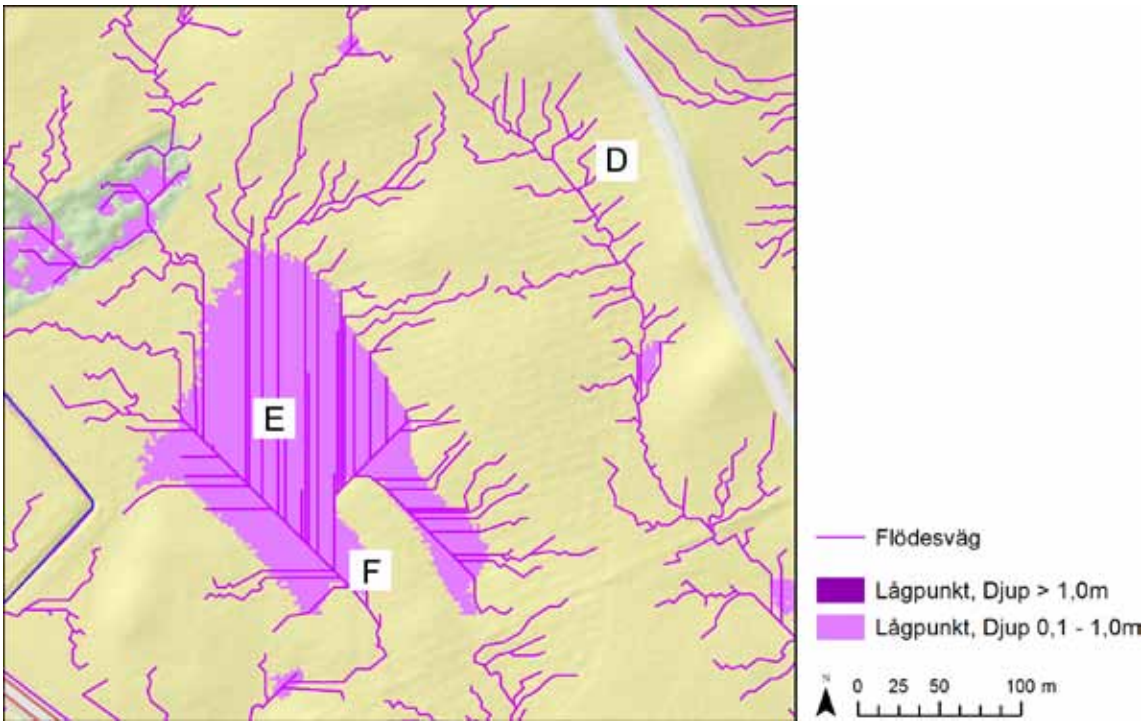
Figur 18. Principskiss över hur avrinningsanalys med digital höjdmodell

Resultaten presenteras i första hand som kartor och digitala kartskikt. I figur 19 visas ett typiskt exempel med både lågpunkter och flödesvägar. Punkt A visar flödesvägar över terrängen i ett öppet landskap. I den undre bilden visas markens höjd och det framgår att lokala områden med något lägre marknivå identifierats som lågpunkter, t.ex. punkt B och punkt C.



Figur 19. Exempel på resultat från ytavrinningsanalys överlagrat Fastighetskartan (överst) samt höjdmodell (nederst).

Den metod som beräknar flödeslinjer och lågpunkter i en höjdmodell arbetar iterativt utefter förutbestämda mönster. I områden med sluttning överensstämmer flödesriktningarna med en intuitiv bild, från höga områden mot lägre i ett trädlikt mönster (punkt D). Lågpunkter (område E) definieras i princip av höjden i utloppspunkten (punkt F). Metoden fyller lågpunkten till erforderlig nivå men som en bieffekt av detta ignoreras flödesriktningarna inuti lågpunkten vilket ger flödesriktningar som är starkt generaliserade. I praktiken är detta inte något viktigt avsteg från verkligheten då flödesriktningen är mer diffus i områden med vattenmättad mark och eller stående vatten. Flödesvägarna i en urban miljö styrs vid sidan av markytans förhållanden även av byggnader och vägar, vilket visas i figur 21.



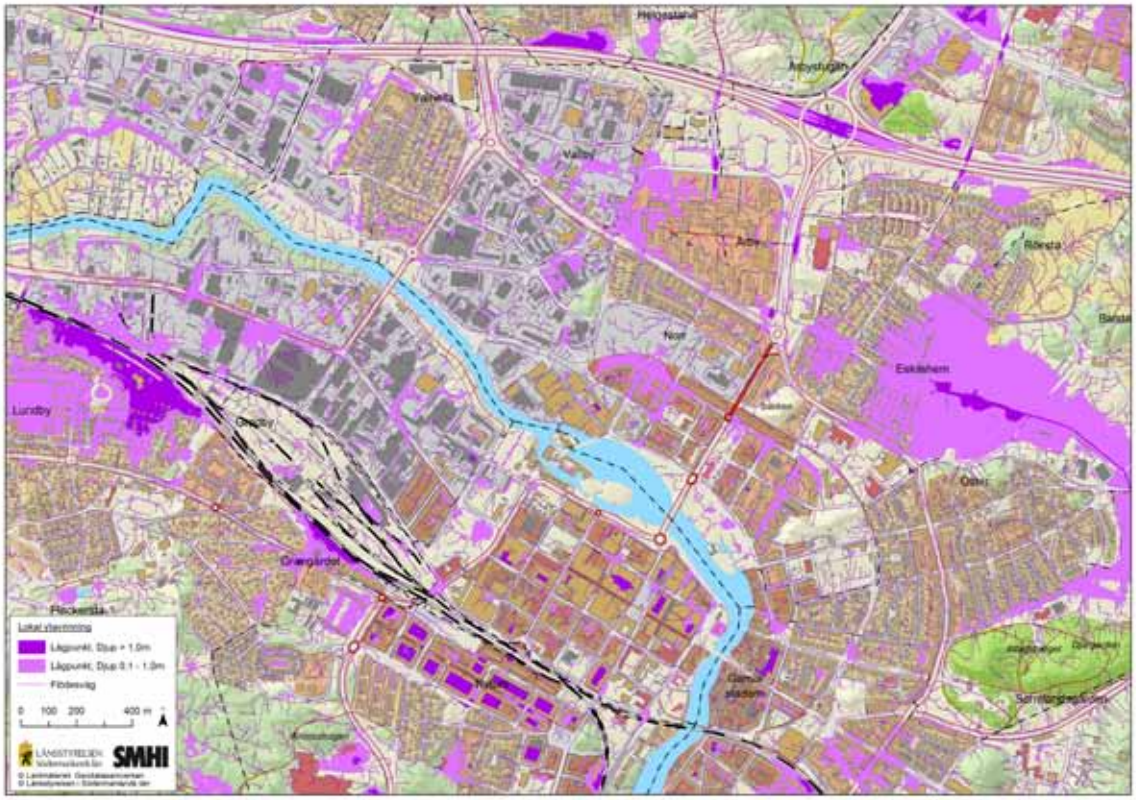
Figur 20. Exempel på flödesriktning i lågpunkter.

Figur 21. Exempel på flödesriktningar och lågpunkter i urban miljö.

8.2.1 Eskilstuna

I Eskilstuna finns ett antal områden som kan komma att samla vatten i samband med skyfall då kraftig ytavrinning sker. Resultaten från avrinningsanalysen presenteras i figur 22, där främst områden söder om järnvägen vid Lundby samt områden kring Eskilshem markerats.

Eskilstunaån rinner genom centrala staden och ytavrinning från stor del av staden når ån.

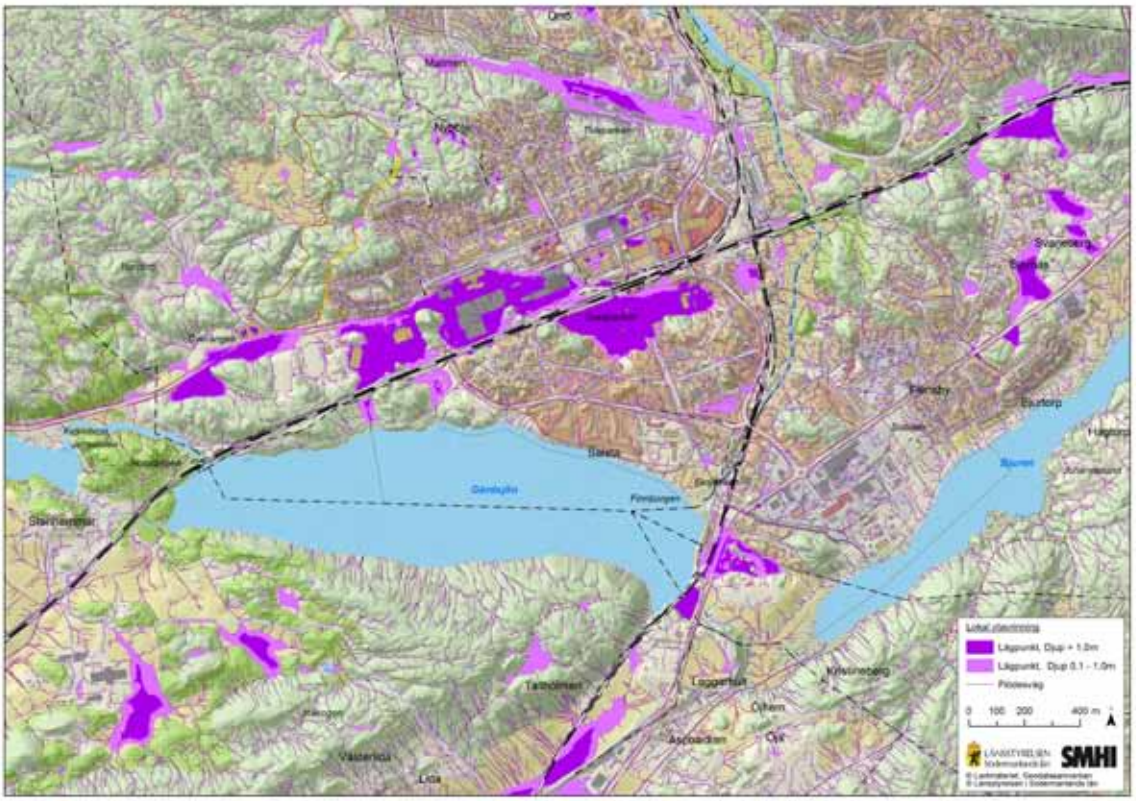


Figur 22. Lokala flödesvägar för ytavrinning och lågpunkter i Eskilstuna.

8.2.2 Flen

I Flen indikerar analysen flera större områden med begränsade möjligheter till ytledes dränering, vilket figur 23 visar. Exempelvis framträder både Svea parken och området norr om järnvägen som är avhängiga andra dräneringsvägar för att undvika vattensamlingar vid skyfall.

Ytavrinning från centrala Flen sker i första hand till sjöarna Gårdssjön och Bjuren men även till Flensån. I såväl nord-sydlig som i öst-västlig riktning finns avdelningar på grund av järnvägsbankar och vägbankar.

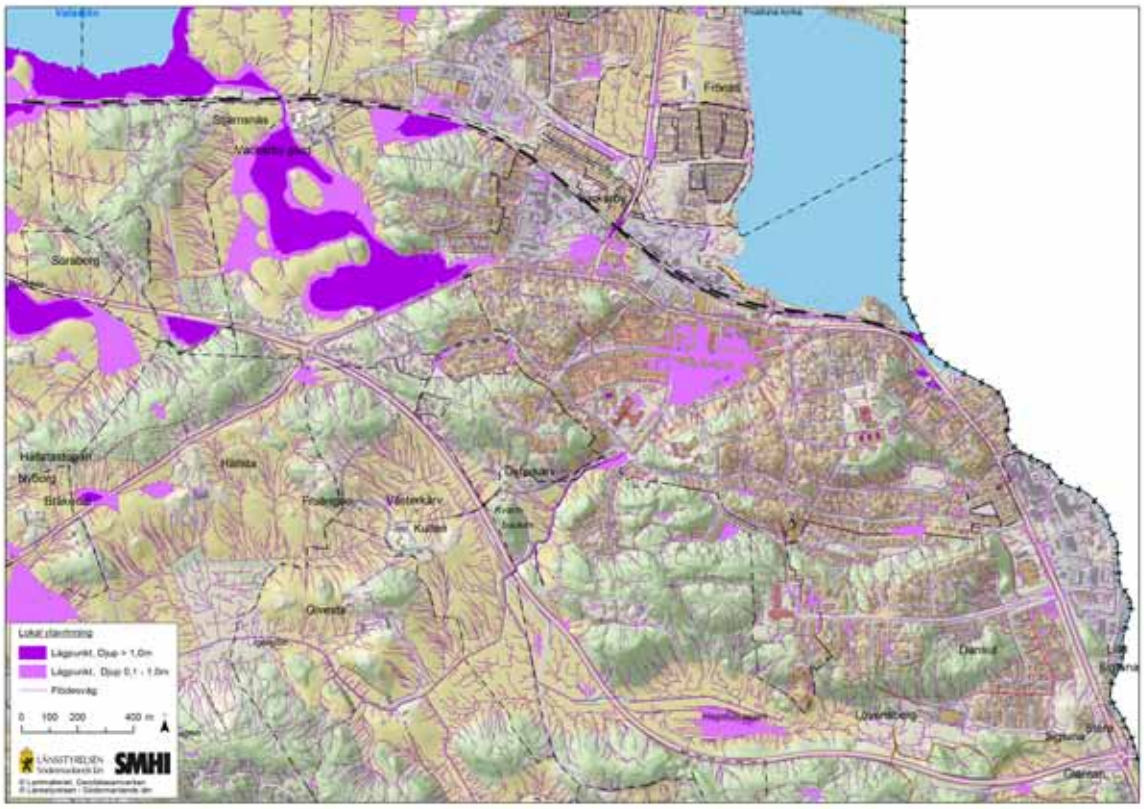


Figur 23. Lokala flödesvägar för ytavrinning och lågpunkter i Flen.

8.2.3 Gnesta

I figur 24 visas lågpunkter i närområdet kring Gnesta. Ett större område norr om västra Storgatan visar hur viktig funktionen hos kulverteringen är för att undvika vattensamlingar uppströms vägen, såsom indikeras av figuren. Söder om Stora Torget finns ett lågt liggande område. Utanför tätorten finns ett antal lågpunkter som redan i dag indikeras som sankmark.

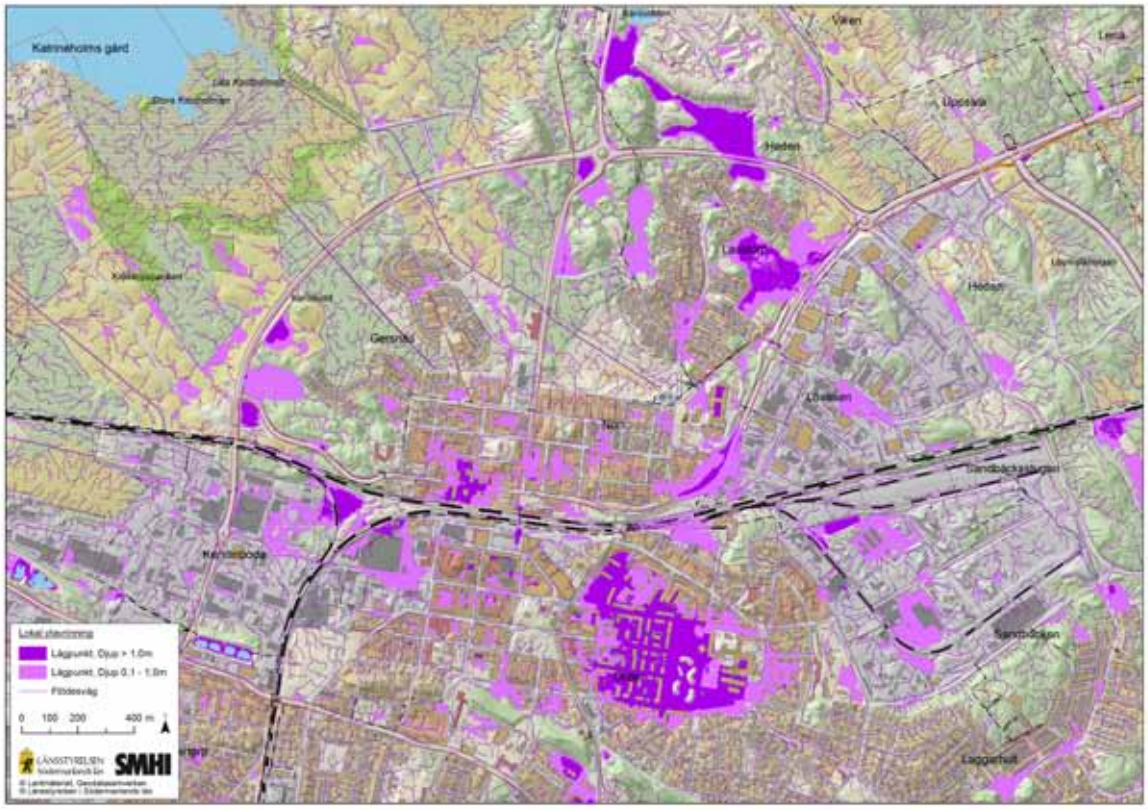
Vatten från centrala Gnesta har potential att ledas till Frösjön. Ytavrinning från flera områden styrs i hög grad av järnvägsbank eller vägbank vilket koncentrerar ytvatten till särskilda platser där dessa kan passeras via genomförningar. Marieströmsån går öppet fram till stadens utkant varefter den rinner i kulvert under centrala staden.



Figur 24. Lokala flödesvägar för ytavrinning och lågpunkter i Gnesta.

8.2.4 Katrineholm

I Katrineholm indikerar analysen ett antal större områden med begränsade möjligheter att dränera ytledes vilket visas i figur 25. I de centrala delarna utmärker sig stadsdelen Öster. I utkanten av Katrineholm är det främst längs högre vägbankar som vatten kan ansamlas, t.ex. vid Lasstorp och Heden. Dessa områden är således beroende av dränering med hjälp av ledningsnät eller kulvertar för att inte ackumulera vatten.

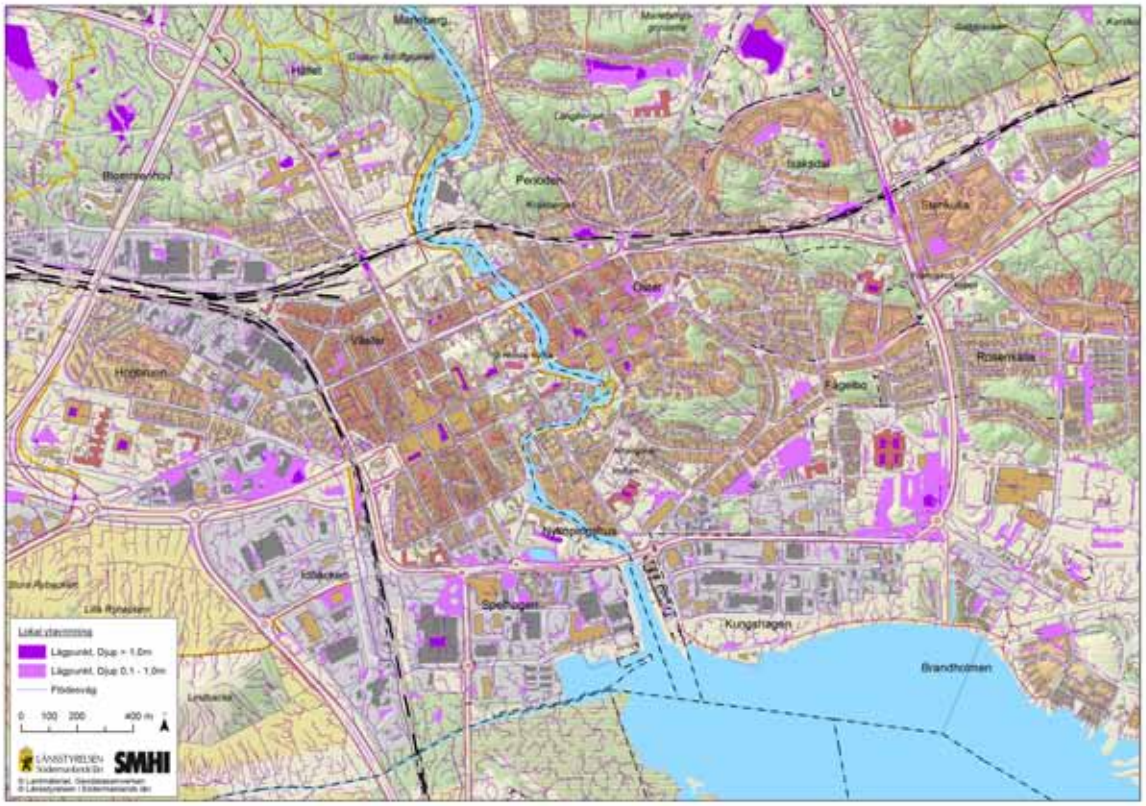


Figur 25. Lokala flödesvägar för ytavrinning och lågpunkter i Katrineholm.

8.2.5 Nyköping

Resultatet för ytavrinningsanalysen för Nyköping visas nedan i figur 26. Generellt sett är det mindre områden som ackumulerar vatten. Mindre områden kring Brandkärr och längs järnvägen dränerar mindre väl ytledes vilket framgår av figuren.

Topografin i Nyköping samt närheten till såväl Nyköpingsån och Östersjön är positivt för avledning av vatten som rinner ovanpå markytan.

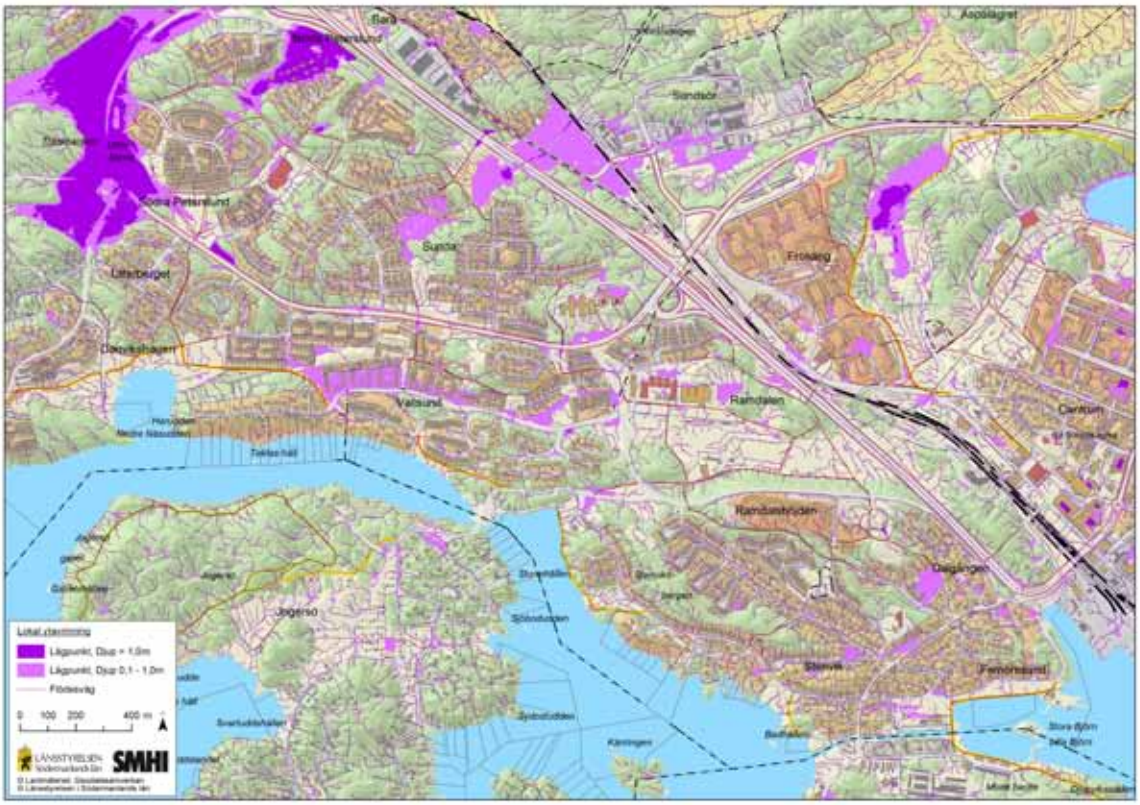


Figur 26. Lokala flödesvägar för ytavrinning och lågpunkter i Nyköping.

8.2.6 Oxelösund

I Oxelösund finns ett antal områden som kan komma att samla vatten under skyfall då kraftig ytavrinning sker. Resultaten pekar på att områden kring bland annat Peterslundvägen, Hagtornsvägen och Baravägen inte dräneras väl enbart ytledes, utan att dränering via ledningar etc. är viktigt för att undvika vatten-samlingar.

Närheten till Östersjön medför att vatten från de flesta områden i Oxelösund har relativt kort rinnsträcka innan det når havet. För att kontrollerat avleda ytvatten finns således goda förutsättningar.

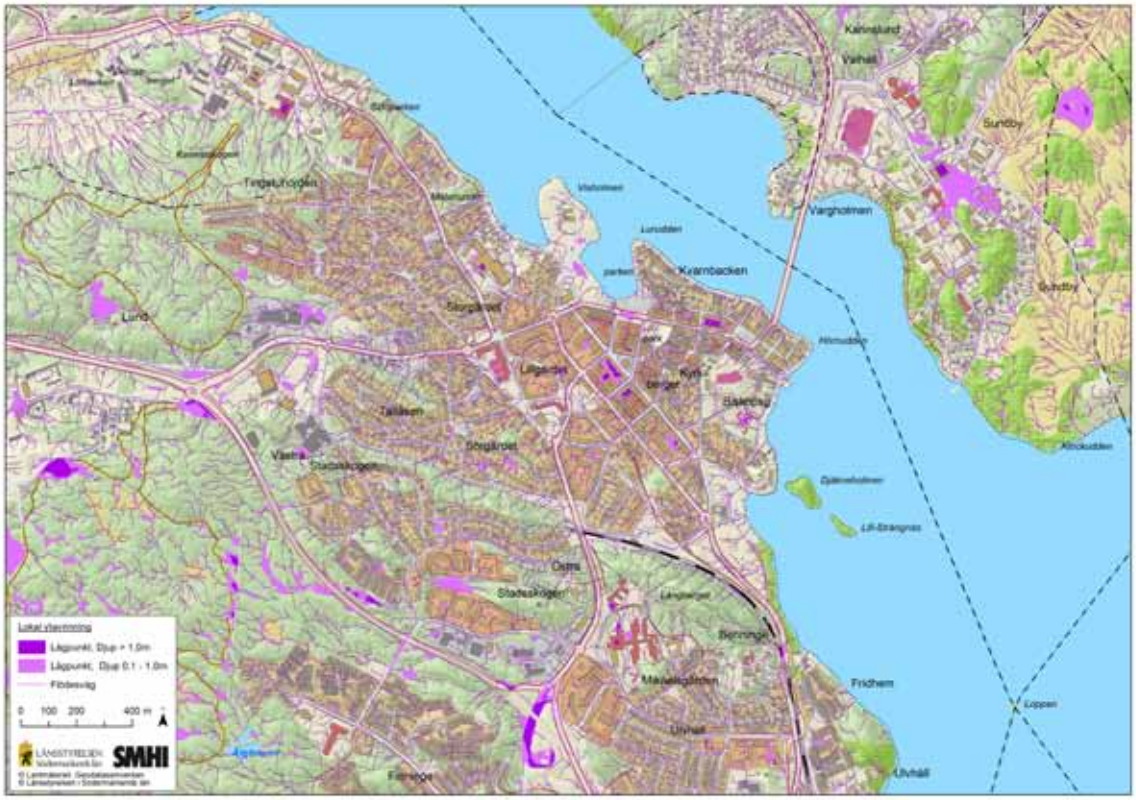


Figur 27. Lokala flödesvägar för ytavrinning och lågpunkter i Oxelösund.

8.2.7 Strängnäs

I figur 28 visas de lågpunkter som analysen resulterat i för Strängnäs. Ett antal lågpunkter i anslutning till några större vägar har identifierats där dräneringen är beroende av vägtrummor eller andra lokala lösningar för omhändertagande av vatten.

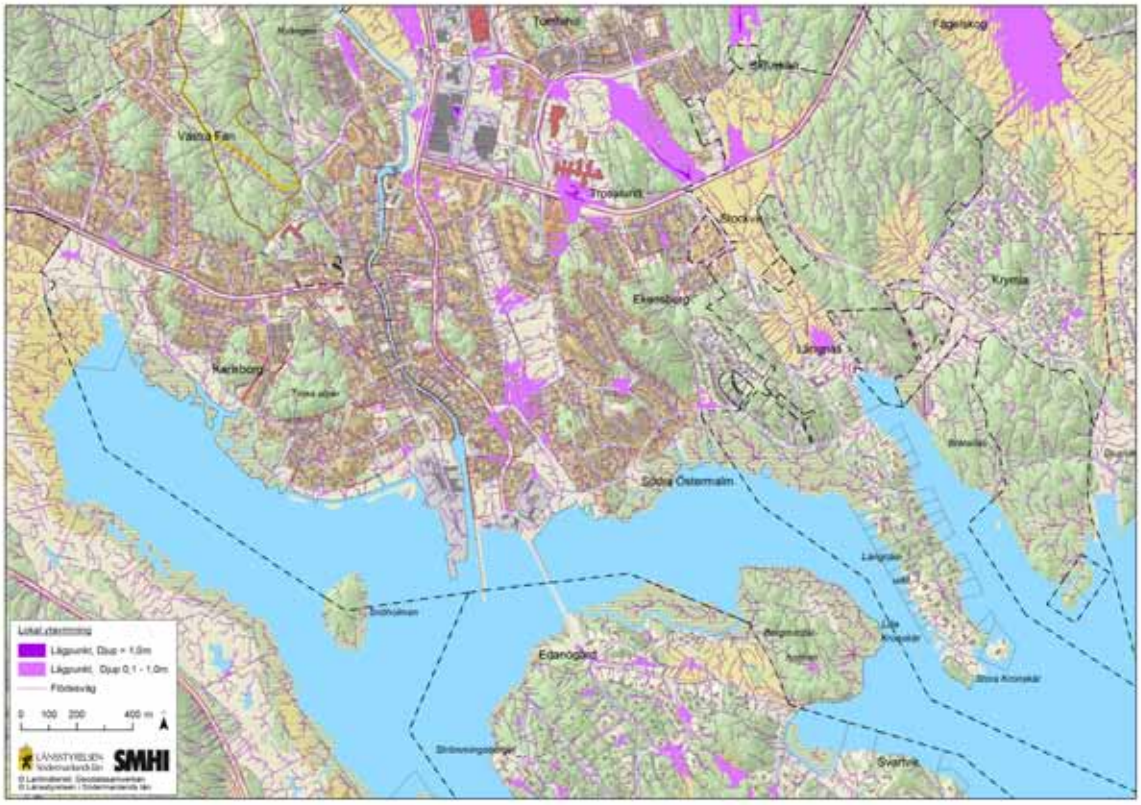
Den branta topografin i stora delat av Strängnäs medför att vatten snabbt leds undan, främst till Mälaren. Topografin och den snabba avrinningen medför dock även att vatten ansamlas fort där flödeshinder uppstår exempelvis om vid kulvertar eller vägtrummor.



Figur 28. Lokala flödesvägar för ytavrinning och lågpunkter i Strängnäs.

8.2.8 Trosa

I Trosa verkar ytavrinning kunna ske utan att betydande områden ackumulerar vatten. Mindre lågpunkter finns i området kring Trosalund vilket syns i figur 29. Vatten som rinner ytledes kan från de flesta områden avledas till Trosaån eller direkt till Östersjön.

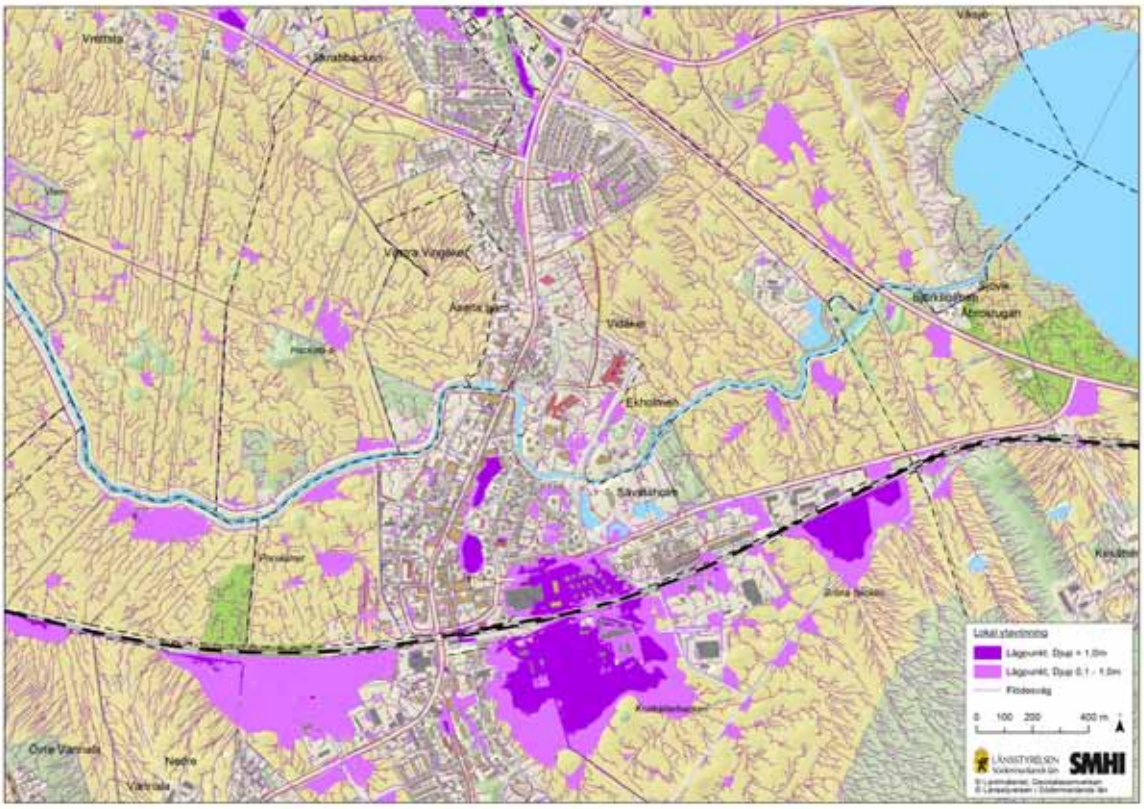


Figur 29. Lokala flödesvägar för ytavrinning och lågpunkter i Trosa.

8.2.9 Vingåker

För Vingåker indikerar analysen ett antal större områden som lågpunkter med begränsade möjligheter att dränera ytledes, främst söder om järnvägen, se figur 30. Dessa områden är således beroende av dränering med hjälp av ledningsnät eller kulvertar under järnvägsbanken för att inte ackumulera vatten.

Området kring tätorten är relativt flack vilket medför att ytavrinning sker långsammare än i mer kuperad terräng.



Figur 30. Lågpunkter Vingåker.

8.3 Kustöversvämning

Extrema vattenstånd uppkommer ofta till följd av lågt luftryck, vind och tidvatten som tillsammans med vågor för in vatten i på land. Den sammantagna effekten av dessa faktorer kan medföra att kustnära områden översvämmas. För Södermanlands kuststräcka är de dominerade drivkrafterna lufttryck, vind och vågor medan tidvatteneffekten är försumbar. Höga vattenstånd uppkommer i regel i samband med lågtryck och pålandsvind. Extrema vattenstånden varar normalt i storleksordningen 3-6 timmar.

Stigande havsnivå är en förändring på global nivå och som även kommer att påverka Sveriges kust. Trenden med stigande havsnivå syns i såväl svenska mätningar som i globala mätningar från satellit. Sedan 1991 är nivåökningen ca 3mm/år även om forskningsresultat sedan 2003 visat på lite lägre ökningstakt. I Skandinavien dämpas havsnivåhöjningen något av landhöjningen, men även med hänsyn till detta erhålls på sikt en havsnivåhöjning. Det är också viktigt att understryka att havsnivå inte kommer sluta stiga 2100 (Stensen mfl, 2010).

Oftast är det inte ökningen i medelnivån som orsakar problem utan snarare att extremnivåerna förskjuts uppåt till högre nivåer. Ett annat sätt att uttrycka det är att återkomsttiden för en given nivå minskar, d.v.s nivån blir vanligare. I Riskbild Södermanland (Länsstyrelsen i Södermanlands län, 2012) behandlades frågan om framtida havsnivåer se tabell 9 och tabell 10 nedan.

Kustöversvämningar uppkommer oftast på samma geografiska platser och de direkta effekterna är i regel begränsade till lågt liggande områden även om sekundära påverkan kan omfatta andra områden om dess infrastuktur, kommunikationsvägar och tekniska försörjningssystem passerar översvämmade områden. I och med den nära kopplingen till geografin är det ofta möjligt att på förhand identifiera riskområden och verka för strategiskt planering av exempelvis bebyggelse.

Tabell 9. Vattenstånd för olika återkomsttider för Södermanlands kust år 2011. Nivåerna är i höjdsystemet RH2000 och kompenserade för landhöjningen.

	Karakteristiska vattenstånd år 2012 (RH2000)			
	Medevatten-stånd	**Återkomsttid 10 år**	**Återkomsttid 50 år**	**Återkomsttid 100 år**
Södermanland	0,08	0,84	0,99	1,05

Tabell 10. Förväntade vattenstånd för olika återkomsttider för Södermanlands kust år 2100. Nivåerna är i höjdsystemet RH2000 och kompenserade för landhöjningen.

	Karakteristiska vattenstånd år 2100 (RH2000)			
	Medevatten-stånd	**Återkomsttid 10 år**	**Återkomsttid 50 år**	**Återkomsttid 100 år**
Norra Södermanland	0,70	1,43	1,58	1,64
Södra Södermanland	0,73	1,46	1,61	1,67

Extrema vattenstånd i havet uppstår i regel till följd av passagen av ett kraftigt lågtryck och området som påverkas av förhöjda havsnivåer är av storleksordningen hundratals kilometer, även om utbredningen av de mest extrema nivåerna kan vara mer begränsat. I tillägg till havsnivå med 100-års återkomsttid redovisas nedan tilläggseffekterna från vind- och vågeffekter för de största orterna längs Södermanlands kust. För fysisk planering är det av stor betydelse att förstå de olika bidragen till höga vattennivåer och hur de kan samverka längs en given kuststräcka. Kustens utseende och exponering har stor betydelse för hur mycket olika faktorer bidrar till höga vattenstånd.

Havsvattenstånd med 100-års återkomsttid baseras på mätdata. SMHIs vattenståndsstationer är placerade så att värdet representerar vattenståndet opåverkat av våghöjden vid öppna kusten. Lokala effekter och vågor kan därför komma att ge högre vattenstånd lokalt än det som angetts utifrån mätningar. För att bedöma extrema havsvattenstånd summeras den regionalt förhöjda havsnivån med eventuella vinduppstuvningseffekter i trånga vikar och vågeffekter. För vissa platser kan det även vara relevant att ta hänsyn till våguppspolning på land. Högt vattenstånd i havet kan dessutom leda till högre nivåer vid vattendragens mynning då den höga havsnivån påverkar vattenföringen.

Ovan nämnda faktorer berör vattennivån i sig. Till skattningarna av nämnda faktorer läggs ofta en säkerhetsmarginal för att ta hänsyn till osäkerhet i beräkningsmetodik, naturligt variation samt vattenståndsdrivande faktorer som utelämnats. Två eller fler av effekterna är sällan betydelsefulla samtidigt: De högsta våghöjderna uppnås i allmänhet längs en öppen kust där det inte tillkommer en tilläggseffekt för vinduppstuvning. Vinduppstuvning förekommer i trånga, grunda vikar där våghöjderna dämpas.

Utgångspunkten i bedömningen är medelvattenytan, vilken i allmänhet är väl känd för dagens klimat. För framtidens klimat är nivån långt mer osäker, och den framtida utvecklingen beskrivs av olika klimatscenarier. För närvarande är medelvattenytan lägre än den var 1990, men inom 5-10 år kommer havsnivån längs Södermanland att börja stiga jämfört med nuvarande nivå. Det kommer dröja till ca år 2040 är medelvattenytan vid samma nivå som den var 1990.

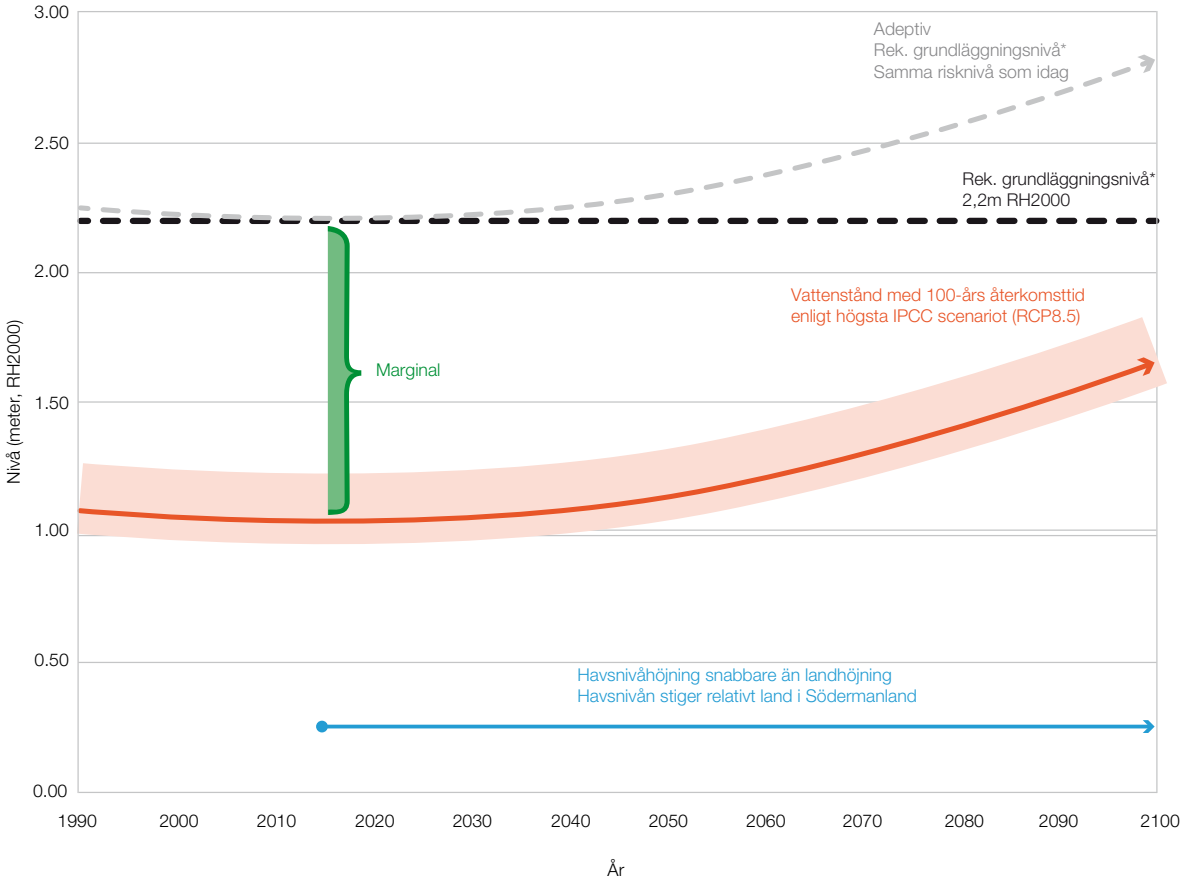
8.3.1 Lokala effekter av vind och vågor

För att beskriva ett extremt regionalt vattenstånd analyseras vanligtvis en längre mätserie från regionen för att ta fram vattenstånd med 100- eller 200-års återkomsttid. För Södermanlands län har mätserien från Landsort legat till grund för beräkningen av vattenståndet med 100-års återkomsttid.

Våghöjderna har beräknats med en s.k. solfjädersmetod. Då mäts avståndet från den aktuella platsen i en radie, och en aktuell stryklängd eller blåssträcka räknas ut. I metoden jämförs fler olika beräkningsmetoder och resultatet vägs samman utifrån kunskaper om de olika metoderna. Vinduppstuvning i en vik eller från vågor beror på vindhastighet och kustens utformning, och beräknas med empiriska metoder. Vinduppstuvningen har tidigare beräknats för Nynäshamn, och vi gör antagandet att samma nivå gäller för Trosa. Som underlag för vågberäkningar har vindstatistik från Landsort använts.

Valet av säkerhetsmarginal hänger ihop med hur medelvattenytans höjning betraktas. Till viss del finns det en outsagd marginal i och med att havsvattenståndets höjning för närvarande inte är lika snabb som i den projektion som beräknas för 2100 som en högsta gräns. Detta betyder inte att nivån inte kommer att uppnås, utan att den kan komma att passeras vid ett senare tillfälle än just sekelskiftet. I vissa fall med lång planeringshorisont kan även medelvattenytans nivå 2200 vara av intresse.

I figur 31 illustreras utvecklingen av framtida extremvattenstånd med 100-års återkomsttid för Södermanland tillsammans med Länsstyrelsens nuvarande rekommendation för lägsta grundläggningsnivå, 2,20m i RH2000. Det framgår av figuren att den marginal som idag finns mellan 100-årsvattenstånd och rek. grundläggningsnivå minskar framöver. För närvarande är marginalen drygt 1m och enligt utvecklingsscenariot nedan minskar denna till ca 0,5 m i slutet av seklet. Om man önskar att bibehålla samma säkerhetsmarginal som idag är det nödvändigt att riktlinjerna för fysisk planering successivt följer förväntad utveckling av havsvattenståndet. Speciellt bör scenarier över havsnivån utveckling beaktas vid planering av objekt eller bebyggelse med stort skyddsvärde eller betydande livslängd.



Figur 31. Framtida utveckling av vattenstånd med 100-års återkomsttid i förhållande till nuvarande rekommenderade grundläggningsnivå.

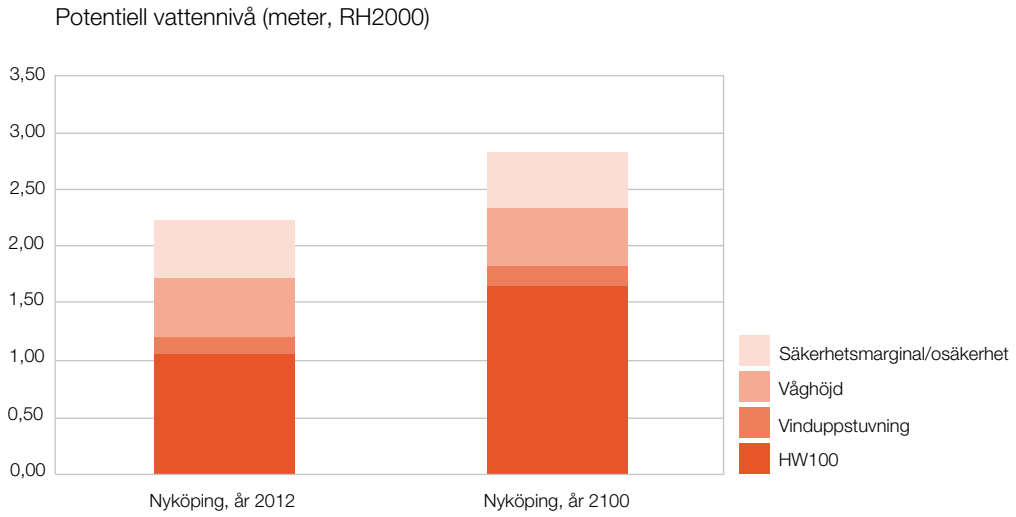
I tabell 11 nedan visas de tillkommande lokala faktorer som bidrar till förhöjda vattennivåer vid Nyköping, Oxelösund och Trosa. Största summan av de faktorer som anses kunna sammanfalla redovisas. För beräkning i Nyköping antas en situation med extermhögvattenföring ej sammanfalla med hundraårsvattenstånd i havet. Summeringen av lokala påslag visar att det sammantagna påslaget av vind- och vågeffekter tillsammans med en osäkerhetsmarginal fordrar ytterligare ca 1,2-1,5 m utöver det regionala hundraårsvattenståndet i havet.

Tabell 11. Lokala tillägg för vind och vågeffekter vid Nyköping, Oxelösund och Trosa

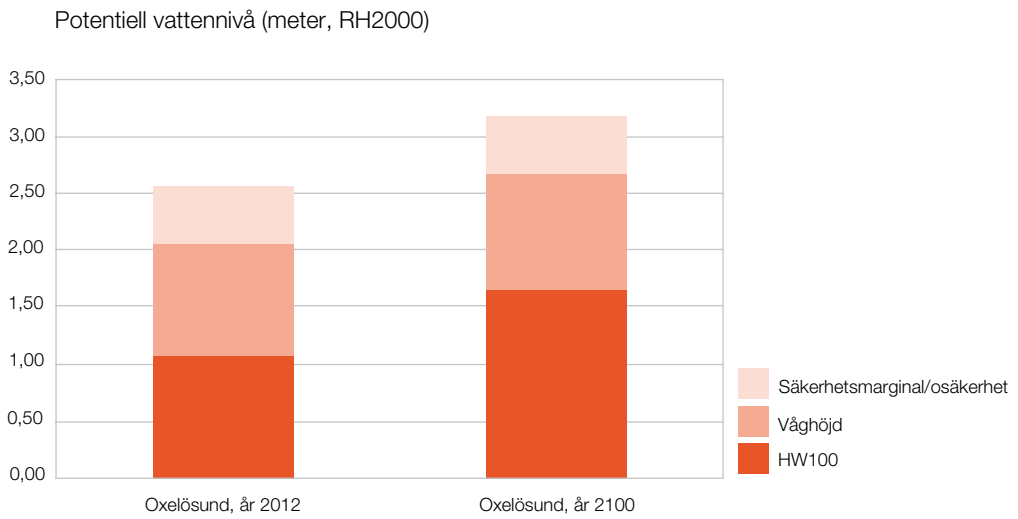
Kustort	Påslag vind-uppstuvning (m)	Påslag vågor* (m)	Påslag vattenföring** (m)	Påslag säkerhets-marginal (m)	Summa lokala påslag (m)
Nyköping	0-0,17	0-0,5	0-0,29	0,50	1,17
Oxelösund	-	0-1,0	-	0,50	1,5
Trosa	0-0,17	0-0,5	-	0,50	1,17

** Vågpåslag för Oxelösund har inte beräknats och kan även tänkas bli högre än 1 m*
***Högvattenföring i Nyköpingsån, Kilaån och Svärtaån medför dämning i Linuddsundet och Skanssundet*

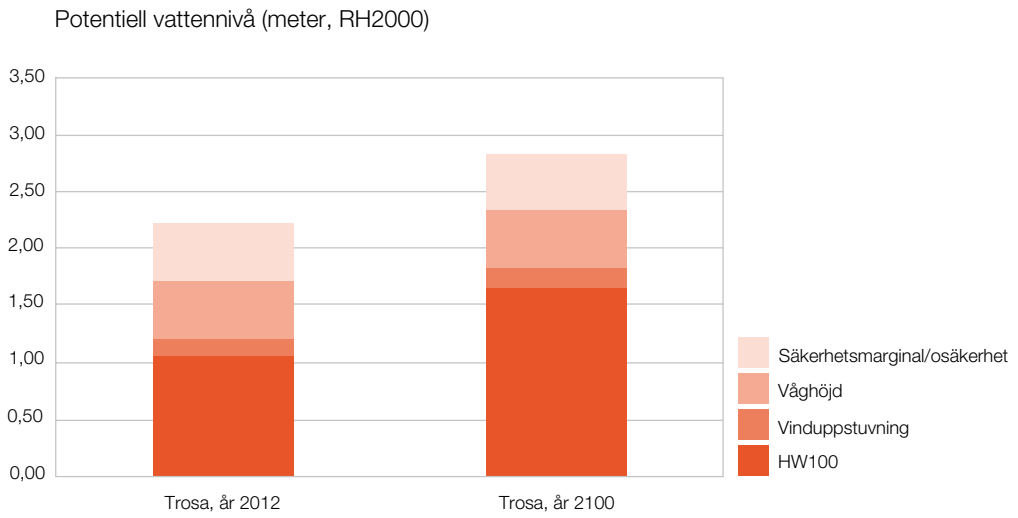
Beräkningar visar att det lokala påslagen är av olika karaktär för olika kustorter, med något högre värden i Oxelösund vilket främst beror på platsens förutsättningar för större vågor. I figur 32 till figur 34 nedan visas havsnivåerna med hundra års återkomsttid för Nyköping, Oxelösund och Trosa tillsammans med respektive lokala påslag enligt tabell 11



Figur 32. Potentiell vattennivå för Nyköping för kombinationen av hundraårsvattenstånd och lokala påslag orsakade av våg- och vindeffekter.

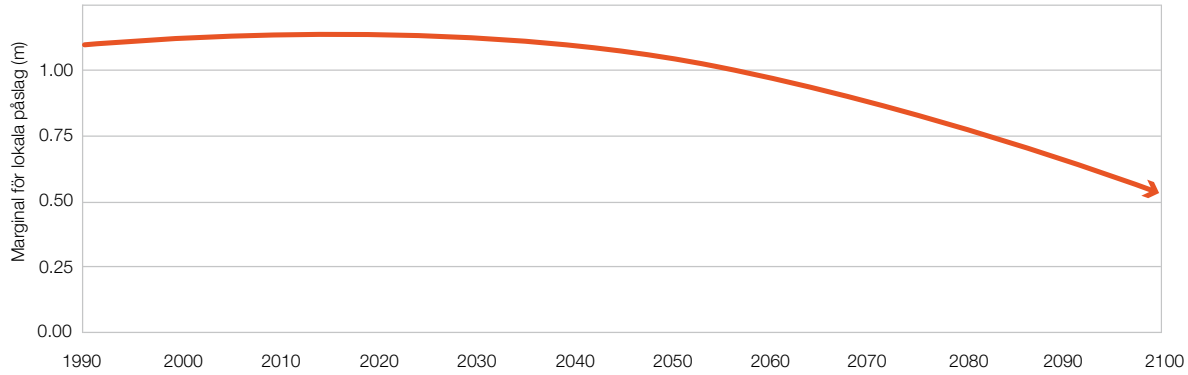


Figur 33. Potentiell vattennivå för Oxelösund för kombinationen av hundraårsvattenstånd och lokala påslag orsakade av våg- och vindeffekter.



Figur 34. Potentiell vattennivå för Trosa för kombinationen av hundraårsvattenstånd och lokala påslag orsakade av våg- och vindeffekter.

Utvecklingen i tiden för marginalen mellan rekommenderade lägsta grundläggningsnivå 2,20 m RH2000 och beräknat hundraårsvattenstånd enligt IPCC högsta scenario visas i figur 35.

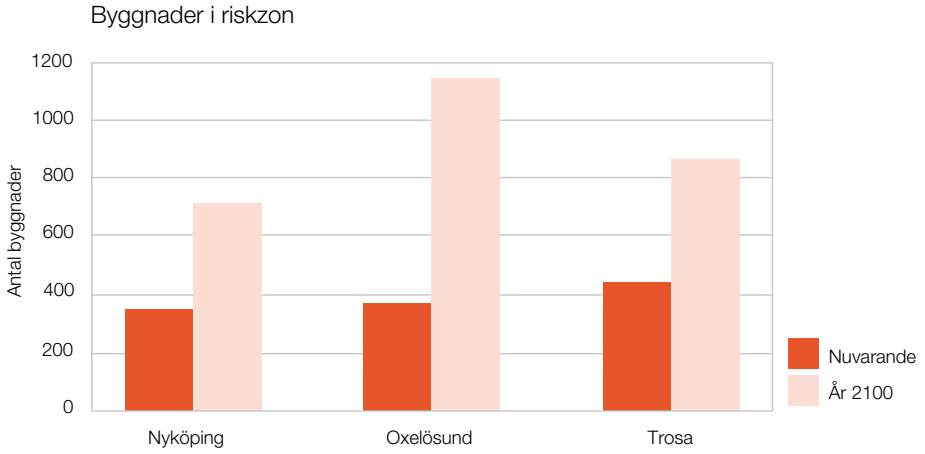


Figur 35. Marginal mellan nuvarande rek. grundläggningsnivå (+2,20m RH2000) och havsvattenstånd med hundra års återkomsttid.*

Marginalen understiger 1,10 m ca år 2040 och marginalen understiger 1,00 m ca år 2065.

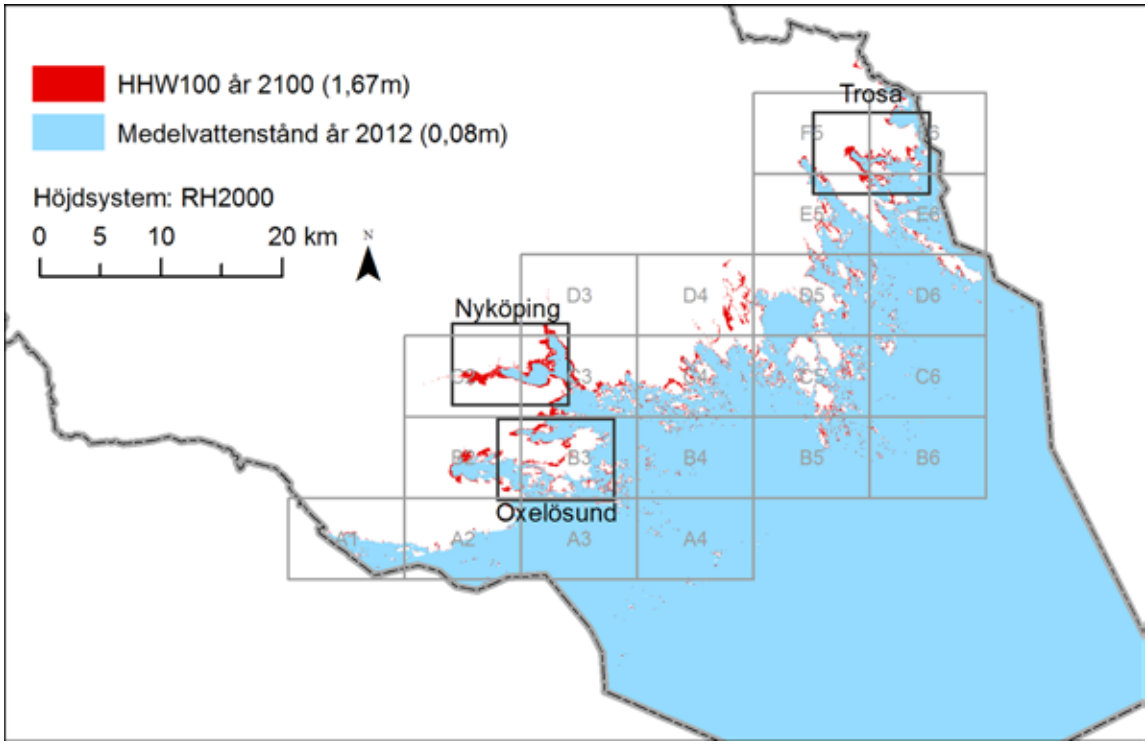
I den senaste rapporten ”*Assessment report 5”* (IPCC, 2013) från IPCC bekräftas de siffor som använts som underlag i *Riskbild Södermanland* (Länsstyrelsen, 2012). Vidare slås det också fast att det redan sker en höjning av havsnivåerna och att havet troligtvis kommer fortsätta att stiga långt efter år 2100 till följd av den pågående globala uppvärmningen.

I länet är det främst tre kommuner som har kustbebyggelse som direkt kan påverkas av förhöjda havsnivåer, Nyköping, Trosa samt Oxelösundskommun. I figur 36 visas antalet byggnader som kan komma att påverkas av ett havsvattenstånd med hundra års återkomsttid i både nuvarande och framtida klimat.



Figur 36. Antal byggnader som direkt påverkas av havsvattenstånd med 100 års återkomsttid (HW100) för nuvarande situation samt för motsvarande för år 2100.

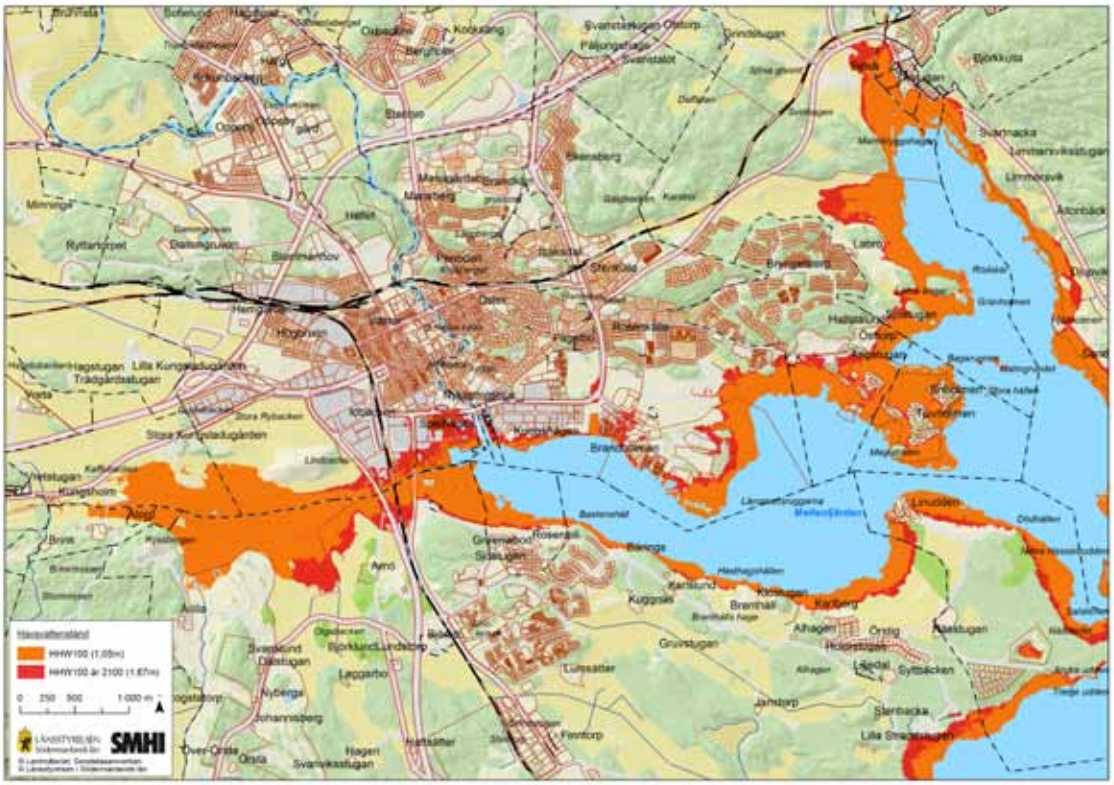
Områden som idag är land och ligger under framtida extremnivåer har färgats in på kartor för att åskådliggöra vilka geografiska områden som kan förväntas påverkars av högre extremvattenstånd, se figur 37 til figur 40 nedan. I detaljkartor visas Nyköping, Oxelösund samt Trosa i högre upplösning. Detaljkartor för hela kusten finns i bilaga 4.



Figur 37. Översikt över områden som kommer påverkas av extrema havsvattenstånd till följd av globalt stigande havsnivå. Nyköping, Oxelösund samt Trosa redovisas även som detaljkartor nedan. Övriga kartorA1-F6 i bilaga 4.

8.3.2 Nyköping

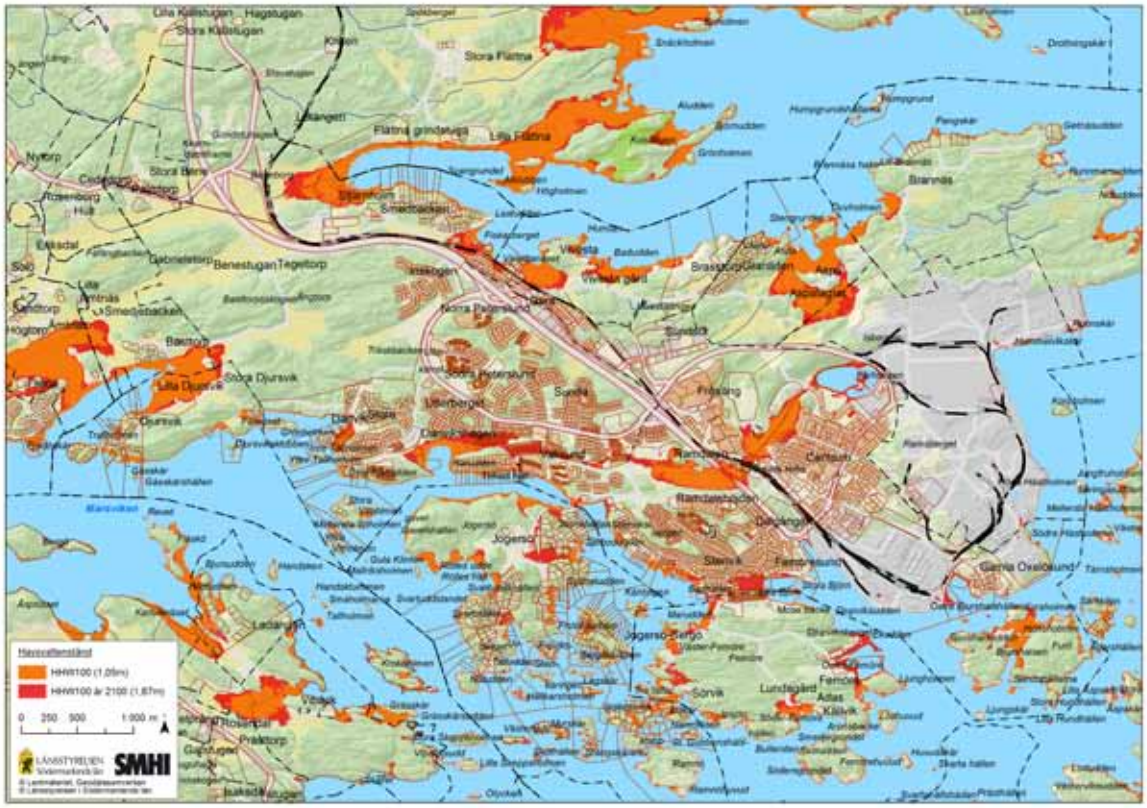
Under nuvarande situation finns det stora områden som riskerar att påverkas av höga havsvattenstånd, se figur 38. Området kring Kilaåns mynning tillsammans med området på Brandholmen och Tjuvholmen är exempel på sådana områden. Höga vattenstånd mot slutet av seklet kan även förväntas påverka industriområdet Idhagen främst på sjösidan av Arnövägen och Hamnvägen



Figur 38. Havsvattenstånd med 100 års återkomstid för Nyköping.

8.3.3 Oxelösund

Under nuvarande situation förefaller det som om det endast är mindre områden som påverkas av höga havsvattenstånd, se figur 39. I ett framtida klimat med högre havsvattenstånd skulle områden såsom Femöresund, Vallsund kunna påverkas. Eventuellt även området Ramdalen om havsvatten ges möjlighet att kommunicera över dessa avstånd.



Figur 39.Havsvattenstånd med 100 års återkomstid för Oxelösund.

8.3.4 Trosa

För de förhållanden som råder idag finns riskområdet främst i södra Trosa kring Trosaåns mynning samt somliga fastigheter på Öbolandet, se figur 40. I ett framtida klimat med högre havsvattenstånd bedöms stora delar av Trosa kunna påverkas vid extremsituationer. Speciellt tillkommer områden nordöst om Trosaåns mynning samt områden på Öbolandet.

Figur 40. Havsvattenstånd med 100 års återkomsttid för Trosa.

8.3.5 Höjdzoner

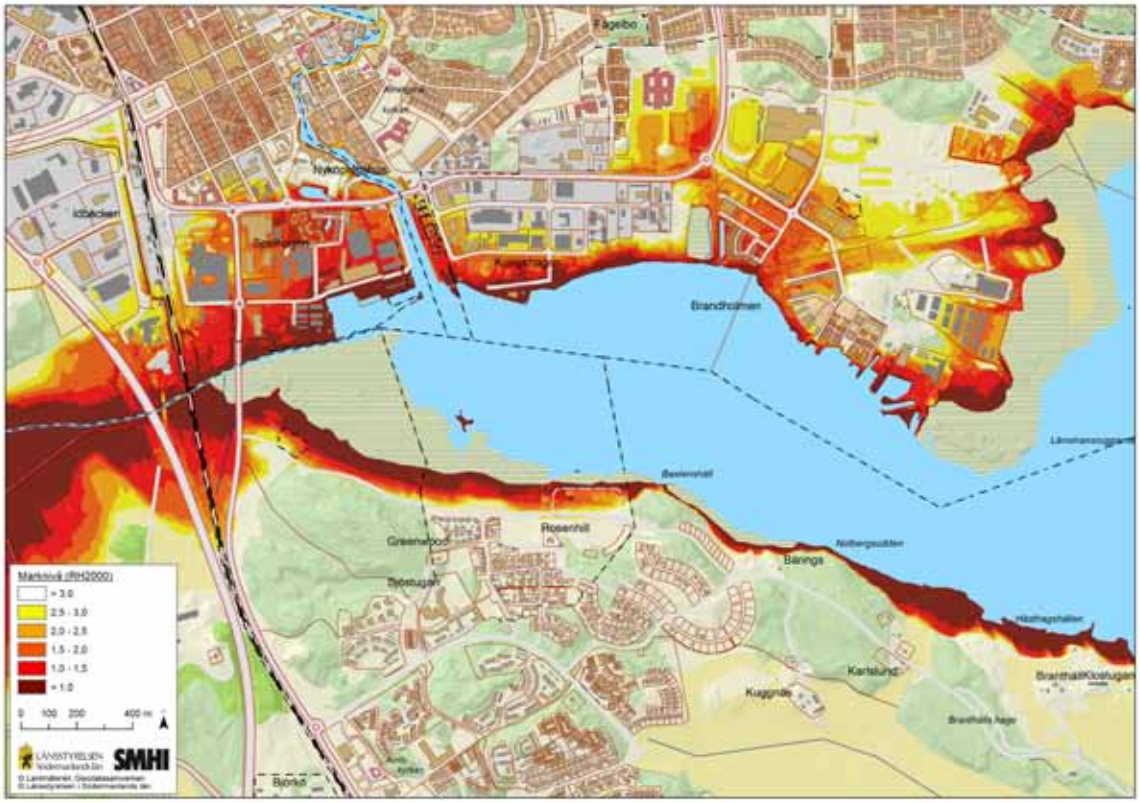
För fysiskplanering av mer övergripande karaktär kan markytans nivå vara av intresse, speciellt i kustområden där översvämningsrisker tenderar att förändras i takt med global havsnivåhöjning. I rekommendationer och vägledningar för fysisk planering refereras frekvent till vattennivåer med 100 års återkomsttid men också säkerhetsmarginaler av olika typ, t.ex. för att ta hänsyn till vindeffekter, vågeffekter, globalt förhöjda havsvattenstånd eller säkerhetsmarginal av mer allmän karaktär. Genom att översiktligt redovisa marknivån kan säkerhetsmarginaler för stora områden relativt enkelt bedömas.

I figur 41 till figur 43 visas marknivåer för centrala delar av Nyköping, Oxelösund och Trosa. Genom att visa markytans nivå med olika färg är det möjligt att överblicka vilka områden som är lågt respektive relativt högt liggande. Höjdzoner om 0,5m i intervallet 1-3m RH2000 har färgats in.

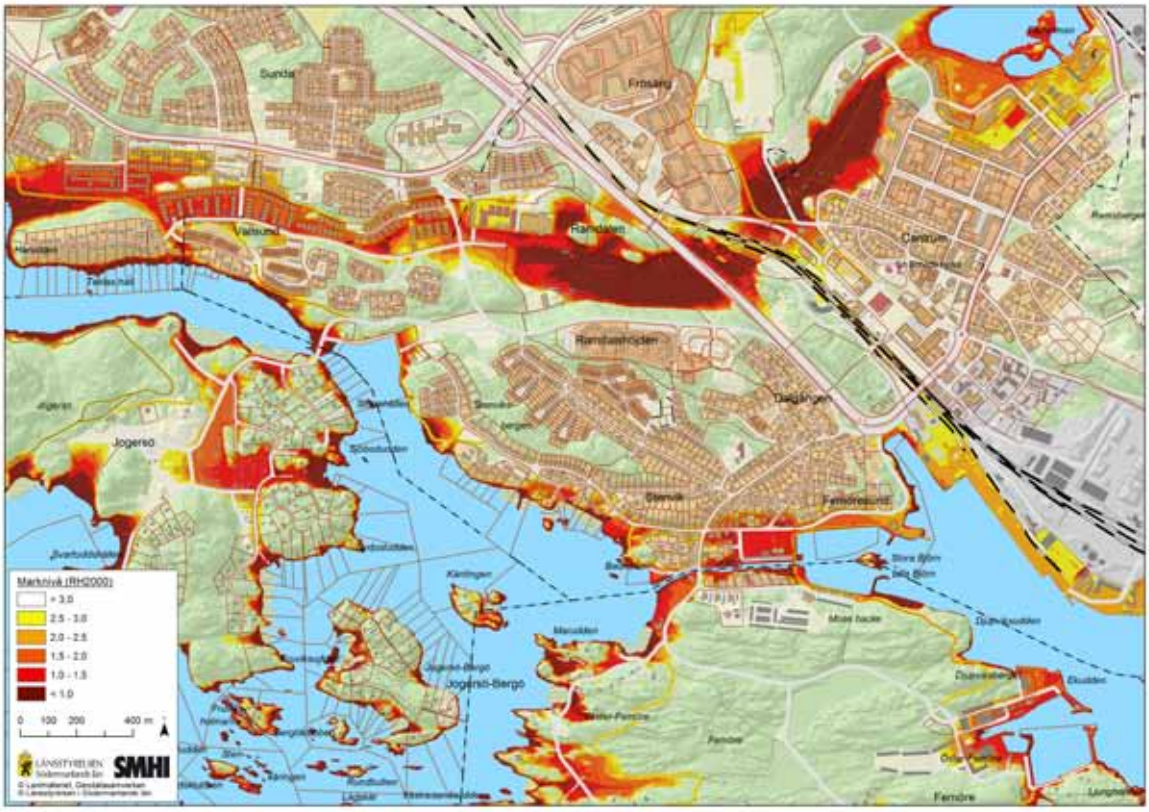
För området kring Nyköping framgår att många stora områden ligger ovanför alla undersökta höjdzoner. Lågt liggande områden är Kiladalen, Spelhagen, Kungshagen samt delar av Brandholmen. Zonen upp till +3m är markant större än zonen upp till +2m speciellt för området Brandholmen.

Stora delar av Oxelösund är liksom Nyköping beläget på höjder ovanför alla höjdzoner. Valldalen och Ramdalen utgör undantag och är lågt belägna. Zonen upp till +3m är markant större än zonen upp till +2m och sträcker sig till områden som ligger relativt långt från havet.

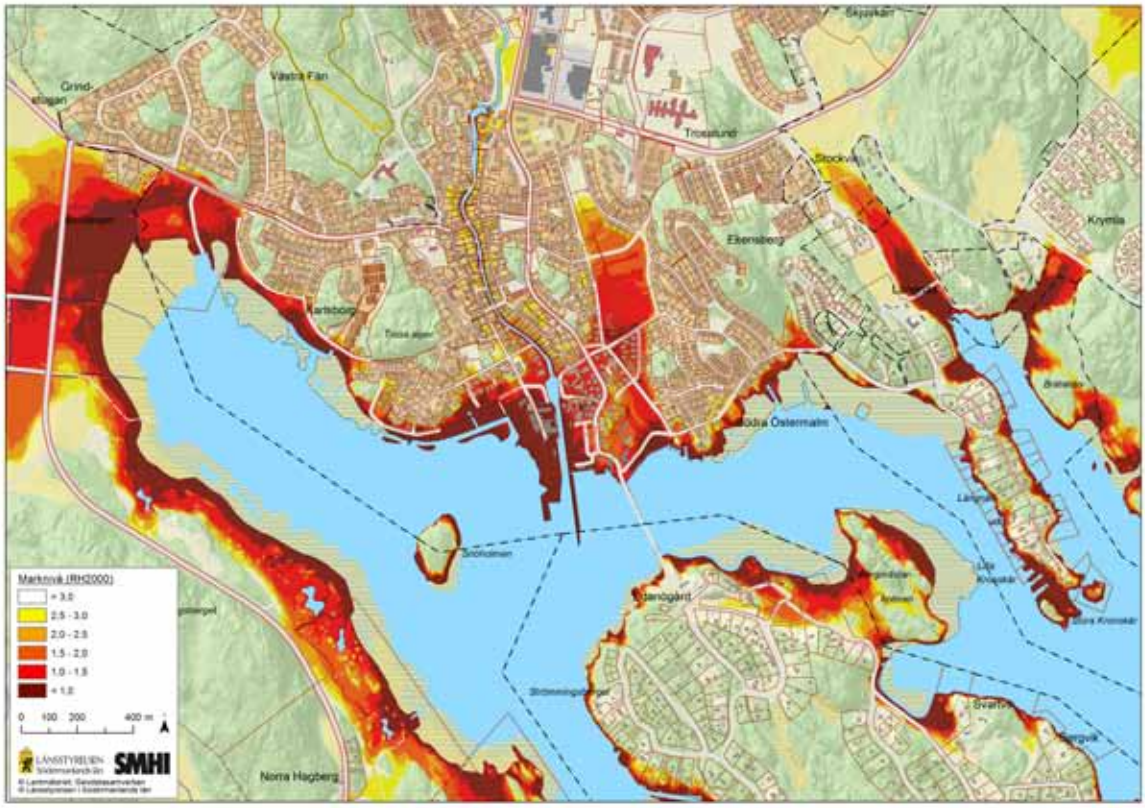
I området kring Trosa är topografin mindre stark och det finns centralt liggande områden som är lågt belägna. Generellt är samma områden som framträder oavsett för zonen upp till +2m och zonen upp till +3m även om storleken på den senare är något större.



Figur 41. Marknivå för Nyköping indelat i höjdzoner, höjdsystem RH2000.



Figur 42. Marknivå för Oxelösund indelat i höjdzoner, höjdsystem RH2000.



Figur 43. Marknivå för Trosa indelat i höjdzoner, höjdsystem RH2000.

9 Slutsatser

Baserat på mätningar av nederbörd representativa för Södermanland är extrem 15minuters nederbörd av 10-års återkomsttid ca 15 mm och motsvarande med 100-årsåterskomsttid ca 30 mm.

Extrem korttidsnederbörd kan förväntas bli vanligare och kraftigare som följd av de klimatförändringar som är troliga under detta sekel. Resultat från klimatmodeller pekar på att 20-25% ökad volym för korttidsnederbörd. Det är troligt att belastningen på system som används för att leda bort regnvatten kommer att öka. Områden där dag- och spillvattennät i nuvarande situation är behäftade med problem kommer sannolikt att överbelastas oftare i framtiden.

Ny Nationell Höjdmodell kan användas för att kostnadseffektivt analysera ytavrinning över stora områden. I resultaten är det möjligt att identifiera strömningsvägar och områden där vatten i samband med extrem nederbörd och efterföljande ytavrinning kan komma att ansamlas. Flera potentiella områden i och omkring tätorterna i länet har identifierats. Många av dessa områden ligger i anslutningen till väg- eller järnvägsbankar.

Globalt stigande havsnivå förskjuter extrema vattenstånd uppåt till högre nivåer trots den motverkande effekten av landhöjning. Flera tätbebyggda områden i Södermanlands län kan påverkas under sådana extremsituationer. Resultaten visar att det finns ett stort antal byggnader som direkt kommer påverkas av höga havsvattenstånd och att antalet riskerar att mer än fördubblas i takt med stigande havsnivåer. Uppskattningsvis berörs i dag ca 1000 st byggnader av ett vattenstånd med 100-års återkomsttid. Vid slutet av detta sekel bedöms motsvarande antal till ca 2500 st.

Kartor med höjdzoner har tagits fram för Nyköping, Oxelösund och Trosa. Genom att visualisera marknivån kan säkerhetsmarginaler till extrema havsvattenstånd tydligt åskådliggöras.

10 Referenser

Berg P., Moseley C., and Haerter J.O .. 2013. Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures, Nature Geoscience., doi:10.1038/ngeo1731

Jeong, J.-H., Walther, A., Nikulin, G., Chen, D. and Jones, C., 2011. Diurnal cycle of precipitation amount and frequency in Sweden: observations versus model simulations. Tellus 63A, 664-674.

Hernebring C., Dahlström B., Kjellström E. 2012. Regnintensitet i Europa med fokus på Sverige – ett klimatförändringsperspektiv. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2012-16.

Lindahl, S. 100-årsvattenstånd i Stadsfjärden, Nyköping. SMHI Dnr: 2004/1009/204

Länsstyrelsen i Stockholm län mfl. 2006. Översvämningsrisker i fysisk planering -Rekommendationer för markanvändning vid nybebyggelse

Länsstyrelsen i Södermanlands län. 2012. Riskbild Södermanland. Rapport nr: 2012:6

Länsstyrelserna i Västra Götalands län och Värmlands län. 2013. Stigande vatten –en handbok för fysisk planering i översvämningshotade områden. Publ nr. 2011:72(Västra Götalands län) 2011:22 (Värmlands län)

Nakićenović N., and R. Swart (eds.) 2000. Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.

Olsson J. och Foster K. 2013. Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige. SMHI Klimatologi Nr 6.21 s.

Olsson J., Dahne J., German J., Westergren B., von Scherling M., Kjellson L., Ohls F., Olsson A. 2010. En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem. SMHI Klimatologi Nr 3, 2010

Postgård U. 2013. Pluviala översvämningar Konsekvenser vid skyfall över tätorter -En kunskapsöversikt. Publikationsnummer MSB567-13, ISBN 978-91-7383-347-9

Samuelsson P., Gollvik S. and Ullerstig A. 2006. The land-surface scheme of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). Report in Meteorology 122, SMHI. SE-601 76 Norrköping, Sweden, 25 pp.

Skytt, V. 2012. NNH och naturolyckor , Inventering av genomförda tillämpningar av den nya nationella höjdmodellen (NNH) - med fokus på naturolyckor och katastrofriskreducerande arbete. MSB360 - april 2012

Stensen, B., Andréasson, J., Bergström, S., Dahné, J., Eklund, D., German, J., Gustavsson, H., Hallberg, K., Martinsson, S., Nerheim, S. och Wern, L. 2010. Regional klimatsammanställning – Stockholms län. SMHI, Rapport Nr 2010-78

Vedin H och Eriksson B .1988. Extrem arealnederbörd i Sverige 1881-1988. SMHI Meteorologi Nr 76, 1988

Walther, A., Jeong, J.-H., Nikulin, G., Jones, C. and Chen, D., 2012. Evaluation of the warm season diurnal cycle of precipitation over Sweden simulated by the Rossby Centre regional climate model RCA3. Atmospheric Research. In press. Doi: 10.1016/j.atmosres.2011.10.012.

Wern L och German J. 2009. Korttidsnederbörd i Sverige 1995-2008. SMHI Meteorologi Nr 139/2009.

Wern L. 2012. Extrem nederbörd i Sverige under 1 till 30 dygn. SMHI Meteorologi Nr 143/2012.

11 Bilagor

Bilaga 1 Extrem nederbörd

Tabell 12. Nederbördsmängder(mm) för olika varaktigheter och återkomsttider för mätstationerna listade i Tabell 5

Norrköping, 8634	**Återkomsttid (år)**							
Varaktighet	**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**30**	**50**	**100**
15 min	7.2	9.5	12.6	14.9	17.2	18.6	*20*	*23*
30 min	9.5	13.0	17.7	21.2	24.7	26.8	*29*	*33*
45 min	11.1	15.1	20.4	24.4	28.4	30.7	*34*	*38*
1 tim	12.7	17.6	23.9	28.8	33.6	36.4	*40*	*45*
2 tim	15.8	21.0	27.9	33.1	38.3	41.3	*45*	*50*
3 tim	17.7	23.3	30.7	36.2	41.8	45.0	*49*	*55*
4 tim	18.9	24.3	31.6	37.1	42.6	45.8	*50*	*55*
6 tim	21.4	26.4	33.0	38.0	43.0	45.9	*50*	*55*
12 tim	25.6	30.2	36.2	40.8	45.3	48.0	*51*	*56*
24 tim	28.7	34.3	41.7	47.2	52.8	56.1	*60*	*66*

Kolmården, 8642	**Återkomsttid (år)**							
Varaktighet	**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**30**	**50**	**100**
15 min	7.6	9.0	10.8	12.1	13.5	14.2	*15*	*17*
30 min	10.5	12.1	14.4	16.0	17.7	18.7	*20*	*22*
45 min	11.6	13.6	16.2	18.2	20.2	21.4	*23*	*25*
1 tim	12.5	15.0	18.3	20.8	23.2	24.7	*27*	*29*
2 tim	16.4	18.9	22.1	24.5	26.9	28.3	*30*	*33*
3 tim	18.7	21.5	25.2	28.0	30.8	32.4	*34*	*37*
4 tim	20.1	23.5	28.1	31.5	35.0	37.0	*40*	*43*
6 tim	22.9	27.5	33.7	38.3	43.0	45.7	*49*	*54*
12 tim	27.3	33.9	42.7	49.4	56.0	59.9	*65*	*71*
24 tim	32.2	41.2	53.1	62.2	71.2	76.5	*83*	*92*

Landsort, 8744	Återkomsttid (år)							
Varaktighet	**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**30**	**50**	**100**
15 min	5.2	7.7	11.0	13.5	16.0	17.4	*19*	*22*
30 min	7.3	10.1	13.7	16.5	19.3	20.9	*23*	*26*
45 min	8.5	11.5	15.4	18.4	21.4	23.1	*25*	*28*
1 tim	9.4	12.7	17.0	20.3	23.5	25.4	*28*	*31*
2 tim	13.0	16.5	21.0	24.4	27.8	29.8	*32*	*36*
3 tim	15.2	18.6	23.0	26.3	29.7	31.6	*34*	*37*
4 tim	16.8	20.4	25.0	28.5	32.1	34.1	*37*	*40*
6 tim	18.8	22.5	27.4	31.1	34.9	37.0	*40*	*44*
12 tim	24.0	29.0	35.5	40.4	45.4	48.3	*52*	*57*
24 tim	28.0	34.2	42.5	48.8	55.0	58.7	*63*	*70*

Örebro, 9513	Återkomsttid (år)							
Varaktighet	**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**30**	**50**	**100**
15 min	7.2	11.5	17.1	21.4	25.6	28.1	*31*	*35*
30 min	10.7	16.2	23.6	29.1	34.7	37.9	*42*	*48*
45 min	11.9	17.6	25.1	30.8	36.5	39.8	*44*	*50*
1 tim	13.0	18.7	26.2	31.9	37.6	41.0	*45*	*51*
2 tim	15.9	21.8	29.6	35.6	41.5	44.9	*49*	*55*
3 tim	18.1	24.2	32.2	38.3	44.4	48.0	*52*	*59*
4 tim	19.8	25.8	33.6	39.5	45.4	48.9	*53*	*59*
6 tim	22.4	29.1	38.1	44.9	51.7	55.7	*61*	*67*
12 tim	27.2	34.2	43.6	50.6	57.7	61.8	*67*	*74*
24 tim	34.5	43.9	56.2	65.5	74.9	80.4	*87*	*97*

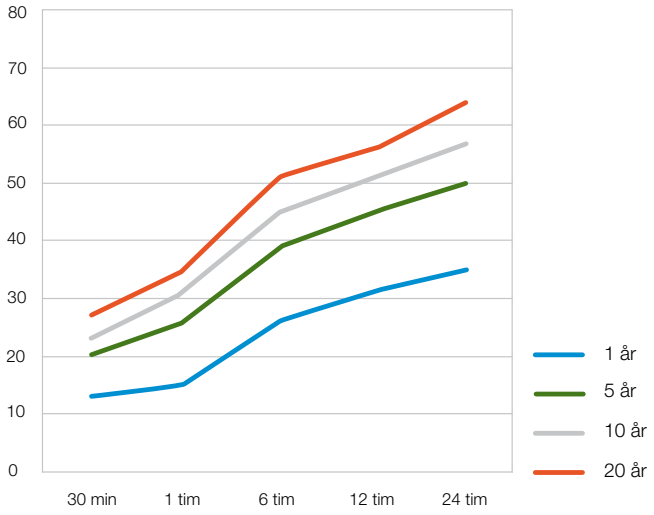
Floda, 9604	Återkomsttid (år)							
Varaktighet	**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**30**	**50**	**100**
15 min	7.3	9.9	13.4	16.0	18.6	20.1	*22*	*25*
30 min	10.7	14.9	20.4	24.6	28.8	31.2	*34*	*38*
45 min	12.2	16.9	23.1	27.8	32.4	35.2	*39*	*43*
1 tim	13.3	18.3	24.8	29.7	34.6	37.5	*41*	*46*
2 tim	17.7	22.2	28.0	32.4	36.9	39.5	*43*	*47*
3 tim	20.8	24.9	30.2	34.3	38.4	40.8	*44*	*48*
4 tim	22.7	27.4	33.5	38.1	42.7	45.5	*49*	*53*
6 tim	24.9	30.1	36.8	41.9	47.1	50.1	*54*	*59*
12 tim	29.2	34.9	42.4	48.1	53.8	57.2	*61*	*67*
24 tim	34.1	39.7	47.1	52.7	58.3	61.5	*66*	*71*

Eskilstuna, 9619	Återkomsttid (år)							
Varaktighet	**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**30**	**50**	**100**
15 min	6.8	9.4	13.0	15.6	18.3	19.9	*22*	*24*
30 min	10.0	14.3	19.9	24.2	28.5	31.0	*34*	*38*
45 min	11.9	16.4	22.5	27.1	31.7	34.3	*38*	*42*
1 tim	13.0	17.8	24.1	28.9	33.7	36.5	*40*	*45*
2 tim	17.5	21.7	27.2	31.4	35.6	38.0	*41*	*45*
3 tim	20.9	24.7	29.8	33.6	37.4	39.7	*42*	*46*
4 tim	23.0	27.0	32.3	36.2	40.2	42.6	*45*	*49*
6 tim	26.1	30.4	36.2	40.5	44.9	47.4	*51*	*55*
12 tim	30.1	35.2	42.0	47.1	52.3	55.2	*59*	*64*
24 tim	33.9	39.2	46.2	51.5	56.8	59.9	*64*	*69*

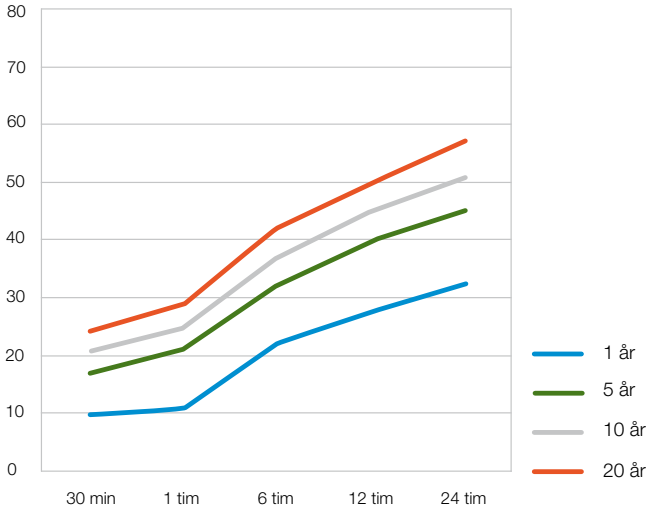
Tullinge, 9710	Återkomsttid (år)							
Varaktighet	**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**30**	**50**	**100**
15 min	7.6	9.8	12.8	15.1	17.3	18.7	*20*	*23*
30 min	10.9	15.0	20.4	24.5	28.5	30.9	*34*	*38*
45 min	12.3	17.1	23.5	28.3	33.1	35.9	*39*	*44*
1 tim	13.7	19.0	26.1	31.4	36.7	39.9	*44*	*49*
2 tim	16.8	22.2	29.4	34.8	40.2	43.3	*47*	*53*
3 tim	18.4	24.2	32.0	37.8	43.6	47.1	*51*	*57*
4 tim	19.8	26.4	35.2	41.8	48.4	52.3	*57*	*64*
6 tim	23.3	30.3	39.5	46.5	53.5	57.6	*63*	*70*
12 tim	27.6	34.4	43.6	50.4	57.3	61.4	*66*	*73*
24 tim	30.8	38.6	48.9	56.7	64.4	69.0	*75*	*83*

Adelsö, 9728	Återkomsttid (år)							
Varaktighet	**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**30**	**50**	**100**
15 min	6.8	8.7	11.2	13.1	15.0	16.1	*17*	*19*
30 min	9.3	11.7	14.9	17.4	19.8	21.2	*23*	*25*
45 min	11.0	14.1	18.1	21.2	24.3	26.1	*28*	*31*
1 tim	12.4	16.1	20.8	24.5	28.1	30.2	*33*	*36*
2 tim	15.7	19.4	24.3	28.0	31.8	34.0	*37*	*40*
3 tim	17.7	21.9	27.6	31.8	36.0	38.5	*42*	*46*
4 tim	19.1	23.7	29.8	34.5	39.1	41.8	*45*	*50*
6 tim	21.9	27.1	34.0	39.3	44.5	47.6	*51*	*57*
12 tim	25.8	32.3	40.9	47.3	53.8	57.6	*62*	*69*
24 tim	31.4	38.2	47.1	53.8	60.6	64.5	*69*	*76*

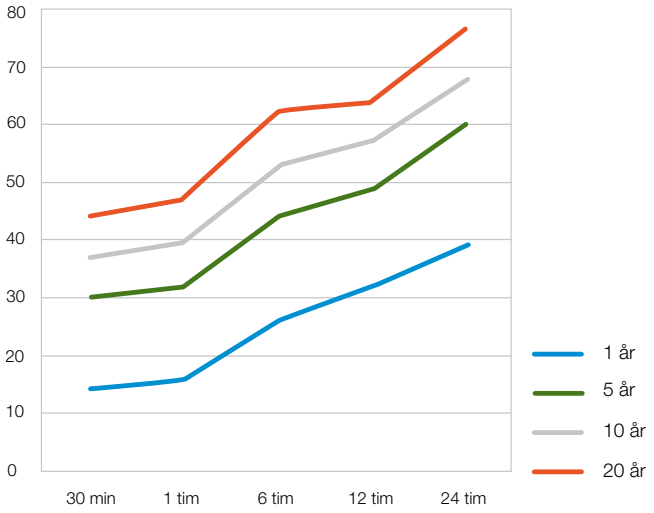
Katrineholm



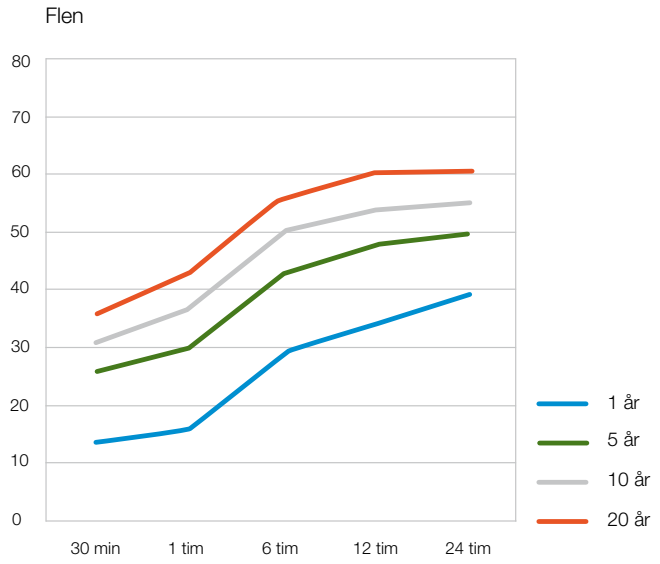
Trosa

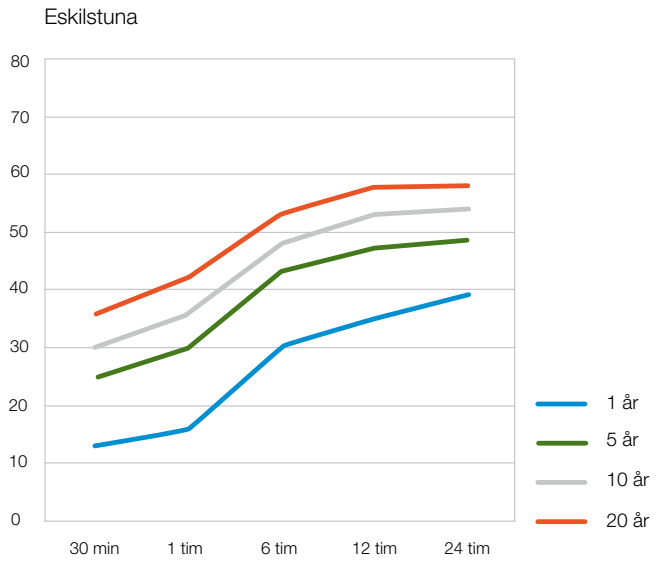


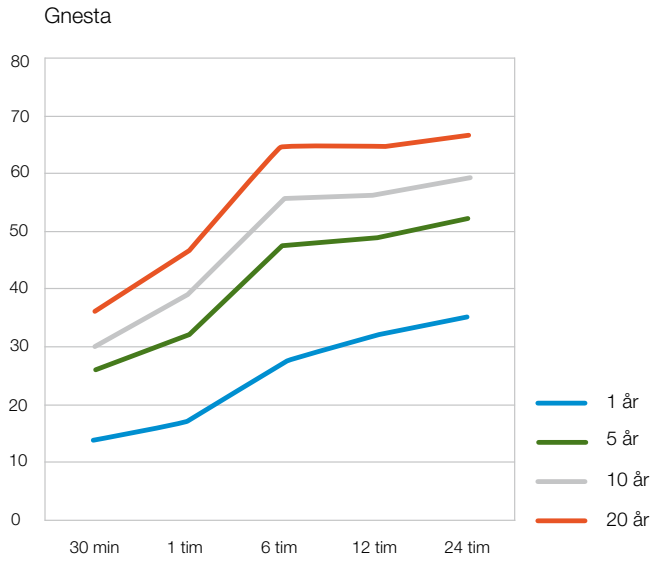
Vingåker



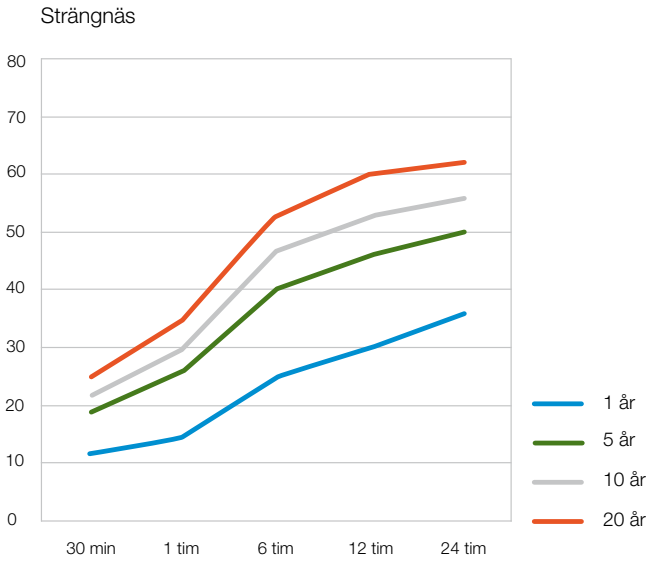
Diagrammen visar mm nederbörd för varaktigheterna 30 min, 1, 6, 12 och 24 timmar med återkomsttiderna 1, 5, 10 och 20 år för perioden 2071-2100. Värdena är baserade på en analys av de för respektive kommun närliggande mätstationerna (jämför sidan 12, tabell 5) kopplat till en generell analys av extremnederbördens förändring enligt sex regionala klimatscenarier.







Diagrammen visar mm nederbörd för varaktigheterna 30 min, 1, 6, 12 och 24 timmar med återkomsttiderna 1, 5, 10 och 20 år för perioden 2071-2100. Värdena är baserade på en analys av de för respektive kommun närliggande mätstationerna (jämför sidan 12, tabell 5) kopplat till en generell analys av extremnederbördens förändring enligt sex regionala klimatscenarier.



Diagrammen visar mm nederbörd för varaktigheterna 30 min, 1, 6, 12 och 24 timmar med återkomsttiderna 1, 5, 10 och 20 år för perioden 2071-2100. Värdena är baserade på en analys av de för respektive kommun närliggande mätstationerna (jämför sidan 12, tabell 5) kopplat till en generell analys av extremnederbördens förändring enligt sex regionala klimatscenarier.