

SKYFALLSKARTERING SÖDRA HAGALUND

ANALYS AV ÖVERSVÄMNINGSRISKER OCH UNDERLAG TILL MKB -
UPPDATERAD EFTER YTTRANDE FRÅN TRAFIKVERKET

2020-06-03



SKYFALLSKARTERING SÖDRA HAGALUND

Analys av översvämningsrisker och underlag till MKB - uppdaterad efter yttranden från Trafikverket

KUND

Veidekke Bostad AB

KONSULT

WSP Bro & Vattenbyggnad

WSP Sverige AB
121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7
Tel: +46 10 7225000

wsp.com

KONTAKTPERSONER

Joakim Thanke Wiberg
010-722 83 15
joakim.thanke.wiberg@wsp.com

Simon Rieger
010-721 06 80
simon.rieger@wsp.com

UPPDRAGSNAMN
Skyfallskartering Södra
Hagalund

UPPDRAGSNUMMER
10271017

FÖRFATTARE
Simon Rieger

DATUM
2018-11-21

ÄNDRINGSDATUM
2020-06-03

Granskad av
Joakim Thanke Wiberg (WSP)

INNEHÅLL

1	INLEDNING	4
1.1	BAKGRUND	4
1.1.1	Nuläge	4
1.1.2	Förändringar	4
1.2	SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	4
1.3	HÖJD – OCH KOORDINATSYSTEM	5
2	METOD	5
2.1	UNDERLAG	5
2.2	BERÄKNINGSSCENARIER	6
2.3	TERRÄNGMODELL	8
2.4	MARKANVÄNDNINGSRASTER	9
2.5	MARKENS RÅHET	10
2.6	REGN	10
2.7	LEDNINGSNÄT	12
2.8	BERÄKNING AV FLÖDESVÄGAR	12
3	RESULTAT	13
3.1	PLANOMRÅDET SÖDRA HAGALUND	13
3.2	SÖDRA KOMMUNDELEN - KUMULATIVA EFFEKTER	15
4	KOMMENTARER TILL RESULTATEN	20
4.1	SVAR PÅ FRÅGESTÄLLNINGARNA	21
4.2	FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	25
5	REFERENSER	27

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

På uppdrag av Veidekke Bostad AB har WSP Bro & Vattenbyggnad utfört en skyfallskartering över planområdet Södra Hagalund, samt över södra delen av Solna stad.

Projektet med att genomföra skyfallskarteringen har pågått under hösten 2018 till och med våren 2020. Från Veidekke Bostad AB har framförallt Torbjörn Wiberg deltagit. Från WSP har följande personer deltagit i arbetet med att genomföra skyfallskarteringen i den senaste versionen: Joakim Danke Wiberg (uppdragsansvarig och kvalitetsgranskare), Simon Rieger (handläggare skyfallskartering, rapportskrivning), Michal Pancewicz (biträdande handläggare skyfallskartering) samt Per Lodin (terrängmodell). Marco Andersson och Stefan Vargamo, WSPs experter inom broförvaltning respektive järnväg, konsulterades för att utvärdera resultatets eventuella påverkan på järnvägsbron över Solnavägen samt bangården öster om planområdet.

Dessutom har Marianne Klint (uppdragsansvarig MKB) och Simon Lelie (uppdragsansvarig dagvattenutredning) på WSP konsulterats internt för samordning av uppdraget med miljökonsekvensbeskrivningen (MKB) som WSP utför åt Veidekke Bostad AB. BSK Arkitekter AB, Nivå Landskapsarkitektur AB samt Solna Stad har kommit med synpunkter och underlag kontinuerligt under projektets gång.

1.1.1 Nuläge

I nuläget, innan exploatering av Södra Hagalund och övriga utvecklingsområden inom Solna Stad, råder stora översvämningsrisker vid ett skyfall. Vid minst tre platser längs Solnavägen beräknas vattendjupen bli så pass stora att betydande framkomlighetsproblem kan antas uppstå vid ett skyfall. Solnavägen utgör en viktig kommunikationslänk, bland annat genom dess funktion som huvudtillfart till NKS (Nya Karolinska Sjukhuset).

1.1.2 Förändringar

De förändringar som görs i hela det analyserade området med avseende på den hydrauliska och hydrologiska situationen är framförallt att andelen hårdgjorda ytor ökar markant inom planområdet för Södra Hagalund, och till viss del inom övriga utvecklingsområden i anslutning till Solnavägen. Detta på grund av att ytor som i nuläget utgörs av skogs- och grönområden ersätts av byggnader, torg och vägar. Stora delar av markytorna i det analyserade området är dock redan idag ogenomsläppliga, men att byggnader reses på ytor som idag utgörs av parkeringsplatser och vägar innebär att flödesstråken förändras och koncentreras.

1.2 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med skyfallskarteringen är att utreda huruvida det kommer uppstå översvämningsrisker inom eller intill planområdet vid ett skyfall. Dessutom ska skyfallskarteringen utgöra underlag till en MKB för detaljplanen Södra Hagalund. Följande frågeställningar förväntas besvaras i detalj av denna skyfallskartering:

- Ger rådande planförslag upphov till översvämningsrisker vid ett skyfall inom planområdet Södra Hagalund?
- Ökar rådande planförslag översvämningsrisken utanför planområdet Södra Hagalund?
- Finns behov av åtgärder för att minska risken för översvämningsrisker inom planområdet eller för att inte öka översvämningsriskerna utanför planområdet?

- Uppstår kumulativa effekter med avseende på översvämningensriskerna i södra Solna stad till följd av exploatering av ett ytterligare antal planområden, inklusive Södra Hagalund?
- Riskerar planförslaget att Trafikverkets bro över Solnavägen skadas?
- Uppstår ökade översvämningar på bangården öster om planförslaget?

1.3 HÖJD – OCH KOORDINATSYSTEM

Allt material är i koordinatsystemet SWEREF99 zon 1800 och höjdsystemet är RH2000. Alla nivåer i rapporten anges i höjdsystemet RH2000 där inget annat anges.

2 METOD

Metoden som skyfallskarteringen har genomförts med följer i stora drag metoden "Kartering av markavrinning" som rekommenderas av MSB (2017). Skyfallskarteringen genomfördes i det tvådimensionella beräkningsprogrammet MIKE 21 Flow Model 2016. MIKE 21 är en programvara utvecklad av Danska Hydrologiska Institutet (DHI 2017).

Modellens indata består av en terrängmodell som beskriver modellområdets topografi, en regn-fil som beskriver regnbelastningen över olika ytor beroende på avrinningskoefficient samt en fil som beskriver markens råhet för olika ytor. Avrinningskoefficienten används för att ta hänsyn till förluster såsom infiltration, avdunstning och absorption av växtligheten eller genom magasinering i markytans ojämnheter (Svenskt Vatten 2016). I avrinningskoefficienten ingår även ett schablonmässigt avdrag för ledningsnätets kapacitet.

Modellen tar inte hänsyn till tidsberoende och kontinuerlig infiltration, vågor eller vind. Allt vatten som träffar markytan kommer i denna modell att rinna av på ytan. Den förenkling som det innebär att inte använda infiltrationsmodul för att beskriva infiltrationen i marken har ansetts rimlig med hänsyn till att beräkningsområdet till stor del består av hårdgjorda ytor med liten infiltration vid intensiva regn såsom skyfall.

För att kunna fördela rätt avrinningskoefficient och råhet till respektive yta har ett markanvändningsraster satts samman av markanvändning enligt fastighetskartan för Solna stad.

Två platsbesök genomfördes dessutom av WSP 2018-09-05 för att ge underlag till geografisk avgränsning av modellen och rimlighetsbedömning av beräkningsresultaten.

2.1 UNDERLAG

Följande underlag har använts som indata till skyfallskarteringen:

- Höjddata på LAS-format erhållet ifrån Solna stad 2018-07-11
- Lantmäteriets fastighetskarta för södra delarna av Solna kommun, shp-filer erhållna 2018-09-14.
- Ortofoto i form av tif-filer erhållna ifrån Solna stad 2018-07-11.
- Planritningar och höjder för detaljplaneområdet Södra Hagalund, erhållet ifrån BSK Arkitekter AB i form av dwg-filer kontinuerligt till och med 2018-10-23. De senaste erhållna filerna som utgör underlag till de slutgiltiga hydrauliska modellerna är följande:
 - Solnavögen alternativ bebyggelse Vasakronan 181023.dwg
 - 181022_Underlag funktioner.pdf
- Höjder för Solnavägen erhållet ifrån Infranova AB i form av dwg-filer 2018-10-17.
 - P.dwg
 - S.dwg

- Väg 2018-10-17.dwg
- Markhöjder för planområdet Södra Hagalund erhållet ifrån Nivå Landskapsarkitektur AB i form av dwg-filer 2018-09-25.
- Skiss över utvecklingsområden inom Solna stad, erhållet i form av PDF-dokument ifrån Solna stad 2018-08-27.
- Uppdaterade planritningar, sektioner och höjder för detaljplaneområdet Södra Hagalund, erhållet ifrån BSK Arkitekter AB 2019-05-06 och 2019-05-07 i form av dwg-filer och pdf:
 - Hagalund 4_10_situationsplan_dwg2013_20190429.dwg
 - Sektioner nya plushöjder_dwg2013_20190429.dwg
 - Presentation_situationsplan och sektioner_20190430.pdf

2.2 BERÄKNINGSSCENARIER

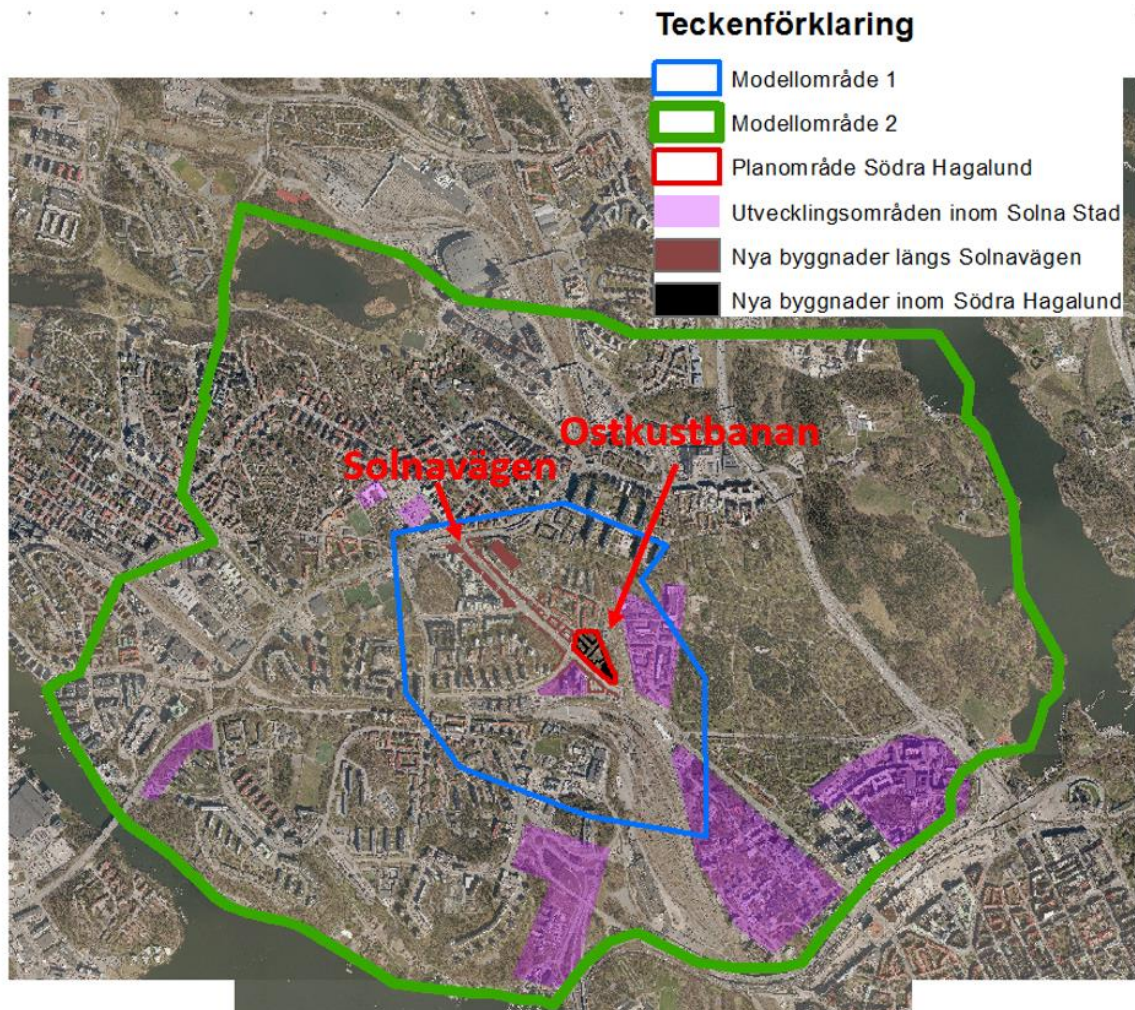
För att analysera dels påverkan inom och ifrån planområdet Södra Hagalund och dels påverkan ifrån flera utvecklingsområden inom Solna stad har två olika hydrauliska modeller byggts upp inom detta uppdrag. I den ena modellen (Modellområde 1) har ett mindre avgränsningsområde runt planområdet analyserats i detalj, och i det större området (Modellområde 2) har kumulativa effekter kunnat analyseras. Modellområde 1 har senare uppdaterats med nya höjder och utformningar baserad av de planritningar som erhållits 2019-05-06 och 2019-05-07. Den primära anledningen till att använda två olika hydrauliska modeller är framförallt de ökade beräkningstiderna för en modell med större geografisk omfattning. På grund av uppdragets natur med iterativt arbete tillsammans med arkitekterna och landskapsarkitekterna har det varit relevant att ha korta simuleringstider för att kunna följa projektets tidplan. Korta simuleringstider förutsätter alltså en modell med mindre geografisk omfattning, eller lägre upplösning och därmed lägre noggrannhet, vilket inte är önskvärt i detta fall.

De två modellernas omfattning illustreras i Figur 1 och Figur 2. De två modellerna har avgränsats geografiskt med hänsyn till topografin, befintlig och framtida bebyggelse, infrastruktur samt möjliga avledningvägar och recipienter.

För respektive modell har två beräkningsscenarioer studerats. I ett scenario har nuläget utan framtida bebyggelse analyserats, och i ett beräkningsscenario har terrängmodellen och markanvändningskartan uppdaterats med framtida bebyggelse, markanvändning och marknivåer. Befintlig och framtida bebyggelse inom modellerna illustreras i Figur 1 och Figur 2.



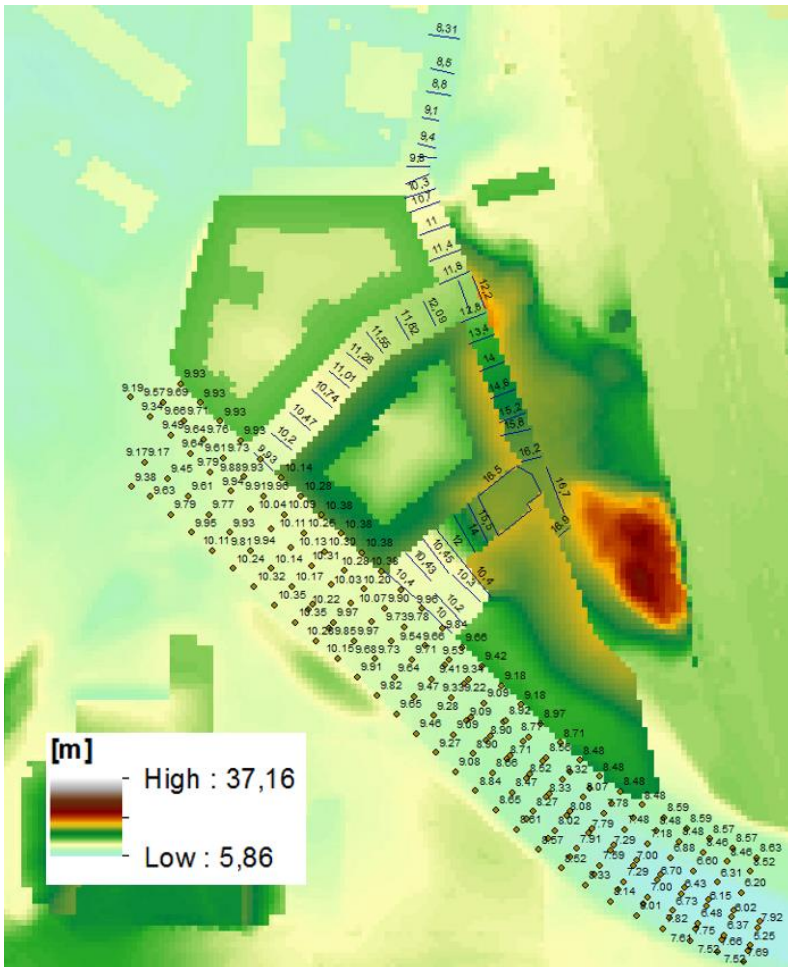
Figur 1 Modellområde 1, avgränsningsområde för den hydrauliska modellen med mindre geografisk omfattning.



Figur 2 Modellområde 2, avgränsningsområde för den hydrauliska modellen med större geografisk omfattning.

2.3 TERRÄNGMODELL

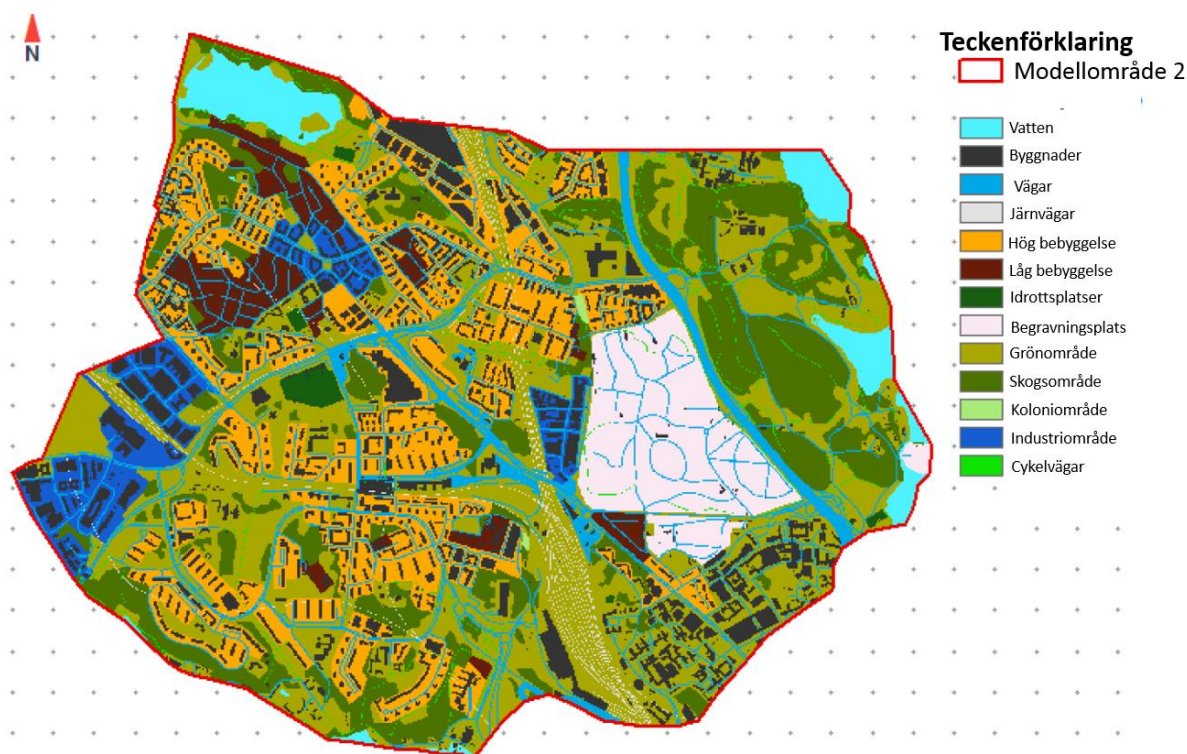
Från kommunens LAS-data skapades en terrängmodell. I en avvägning mellan beräkningstid och noggrannhet valdes terrängmodellens upplösning till 2 x 2 meter. Samtliga byggnader har enligt fastighetskartans BY-skikt höjts upp med 2 meter i terrängmodellen. För simulering av de beräkningsscenarioer som avser påverkan efter exploatering har även framtida byggnader höjts upp i terrängmodellen. Detta för att vattnet ska rinna förbi och runt byggnaderna. Dessutom har terrängmodellen sänkts ner lokalt på vissa ställen för att ta hänsyn till de underfarter som är registrerade i fastighetskartans VL-skikt. Vidare har terrängmodellen för scenarioer med framtida exploatering anpassats efter tillgängligt underlag om framtida höjdsättning, se listat underlag under 2.1. Terrängmodellen har uppdaterats med kompletterande höjdpunkter. För att göra terrängmodellen mer hydrologiskt korrekt har även manuellt skapade höjdlinjer för beräkningsscenarioer med framtida bebyggelse använts, illustrerad i Figur 3.



Figur 3 Framtida höjdsättning inklusive punkter med kompletterande höjddata tillsammans med några av de hjälplinjer som använts i interpoleringen.

2.4 MARKANVÄNDNINGSRASTER

För att differentiera modellområdet med avseende på markens råhet och avrinningskoefficienter har ett markanvändningsraster skapats utifrån kategorier enligt Lantmäteriets fastighetskarta (Lantmäteriet 2018). För beräkningsscenarier med framtida bebyggelse och markanvändning har markanvändningsrastret uppdaterats. I Figur 4 visas markanvändningsrastret.



Figur 4 Markanvändningsraster som utgör underlag för att bestämma avrinningskoefficienter och markens råhet för olika delar i den hydrauliska modellen. Markanvändningen i denna figur motsvarar beräkningsscenarioet för nuläget.

2.5 MARKENS RÅHET

Med Mannings tal beskrivs markens råhet eller skrovlighet. Generellt kan det sägas att råheten på hårdgjorda ytor kan beskrivas med ett högt Mannings tal eftersom vattnet rinner snabbt på ytan. Mer genomsläppliga och skrovliga material, exempelvis grönytor och skog, beskrivs med ett lägre Mannings tal vilket betyder att vattnet rinner långsammare. För att minska risken för instabiliteter i beräkningarna har områden med en lutning på över 30° sorterats ut och tilldelats ett lågt värde på Mannings tal. Av denna anledning har även taken på byggnader i modellen tilldelats ett lågt värde på Mannings tal. I Tabell 1 redovisas de värden på Mannings tal som använts för olika typer av markanvändning. Eftersom en väg kan passera genom en park i ett grönområde överlappar de olika markanvändningstyperna varandra, och därför har de olika markanvändningstyperna överlagrats varandra i en prioritetsordning i modellen. Prioritetsordningen visas i Tabell 1.

2.6 REGN

Skyfallskarteringen har utförts med ett 100-årsregn med en klimatfaktor på 1,25. Detta regn motsvarar enligt dagens klimatscenarier ett skyfall i ett klimat som kan tänkas råda år 2100. Vilken klimatfaktor som ska användas är inte helt självklart, men som jämförelse kan det sägas att en klimatfaktor på minst 1,25 bör användas enligt kunskapsläget år 2015 enligt SMHI (Svenskt Vatten 2016). En klimatfaktor på 1,25 är lika stor som den klimatfaktor som användes för de skyfallsberäkningar som genomfördes under 2017 för skyfallsmodellen för Stockholms Stad på uppdrag av Stockholm Vatten och Avfall (WSP 2018). För de två olika modellområdena har det ansatts olika varaktigheter för regnet i syfte att ta hänsyn till skillnader i områdets koncentrationstid och därmed hitta en dimensionerande (värsta) situation som kan uppstå. För det mindre modellområdet, och detaljstudier av planområdet Södra Hagalund, har ett regn med 15 minuters varaktighet simulerats. För det större modellområdet, och studier av kumulativa effekter, har ett regn med 30 minuters varaktighet simulerats.

Ett regn med längre varaktighet men med lägre intensitet skulle innebära en större total regnvolym. Dock är det tänkbart att ledningsnätet kan ta hand om en större del av vattnet vid lägre intensitet. Dessutom sjunker avrinningskoefficienterna för många områden med längre varaktighet, och därmed bedöms 15 respektive 30 minuters varaktighet innebära de mest konservativa antagandena för respektive modellområde, som ger de största maximala vattendjupen. Regnet har för samtliga simuleringar simulerats som blockregn, det vill säga med konstant intensitet under hela regnet.

För att beskriva hur mycket vatten som rinner av från olika markytor har regnet multiplicerats med avrinningskoefficienter som ansatts utifrån typ av markanvändning, se Tabell 1. Rent modelltekniskt har alltså inte hela regnvolymen belastat den hydrauliska modellen, utan endast det vatten som förväntas bidra till avrinningen på markytan. Avrinningskoefficienterna har anpassats utifrån regnets återkomsttid med utgångspunkt från resonemang i P110 (Svenskt Vatten 2016) samt med inspiration ifrån två Amerikanska motsvarigheter till P110 för delstaterna Colorado (Urban Drainage and Flood Control District 2017) och Kalifornien (State Water Resources Control Board 2011).

Samtliga markanvändningsklasser utom "Lutning > 30°" är hämtade ur fastighetskartan (Lantmäteriet 2018). Med Bebyggelse hög avses friliggande hög bebyggelse med flerfamiljshus som har tre våningar eller fler. Med Bebyggelse låg avses tät låg bebyggelse som utgörs av planmässig kvartersbildning med friliggande en- och tvåfamiljsvillor med högst två våningar. Hög bebyggelse bedöms innehålla mer hårdgjord yta och tilldelas därmed en högre avrinningskoefficient än låg bebyggelse.

För beräkningsscenariot med framtida bebyggelse och markanvändning antas det att eventuella dagvattenåtgärder som gröna tak samt lokal fördröjning om 20 mm inte påverkar avrinningen på grund av intensiteten i ett skyfall med 100 års återkomsttid.

Tabell 1 Avrinningskoefficient, regnbelastning och Mannings tal för olika typer av markanvändning. De olika markanvändningstyperna är sorterade efter prioritetsordning i fallande ordning. Lutning > 30° är endast inkluderad i GIS-skiktet för Mannings tal.

Markanvändning	Avrinningskoefficient [-]	Regn- belastning 15 min [mm]	Regn- belastning 30 min [mm]	Mannings tal [m^{1/3}/s]
Lutning > 30°	-	-	-	2
Tak, byggnader	1,00	44	56	2
Vägar	1,00	44	56	70
Cykelvägar	1,00	44	56	70
Järnvägar	0,50	22	28	50
Begravningsplatser	0,35	15	19	5
Idrottsplatser	0,50	22	28	50
Industriområden	1,00	44	56	60
Vatten	1,00	44	56	15
Bebyggelse Hög	0,50	22	28	40
Bebyggelse låg	0,40	17	22	30
Koloniområde	0,40	17	22	5
Grönområde	0,30	13	17	5
Sankmark	0,20	9	11	1
Skogsområde	0,20	9	11	2

2.7 LEDNINGSNÄT

Regnbelastningen i modellen reducerades även för ledningsnätets kapacitet. Ledningsnät antogs vara anslutet till följande markanvändningsklasser: vägar, järnvägar, bebyggelse hög, bebyggelse låg, industriområden samt cykelvägar. Ledningsnätets kapacitet antogs motsvara ett 10-årsregn med 10 minuters varaktighet utan klimatfaktor enligt P110.

2.8 BERÄKNING AV FLÖDESVÄGAR

Flödesvägarna, det vill säga avrinningsstråken som visar hur vattnet rör sig i modellen när det rinner på ytan är beräknade för tidssteget 15 respektive 30 minuter efter simuleringens start, det vill säga när regnet precis upphört. Flödet beräknas för varje 2 x 2 meters beräkningscell enligt följande formel:

$$R_{ij} = \sqrt{P_{ij}^2 + Q_{ij}^2}$$

Där R_{ij} är det totala flödet i m³/s för beräkningscellen i kolumnen i på raden j , och P_{ij} är flödet genom beräkningscellen i nordsydlig riktning och Q_{ij} är flödet genom beräkningscellen i östvästlig riktning enligt beräkningsprogrammet MIKE 21.

3 RESULTAT

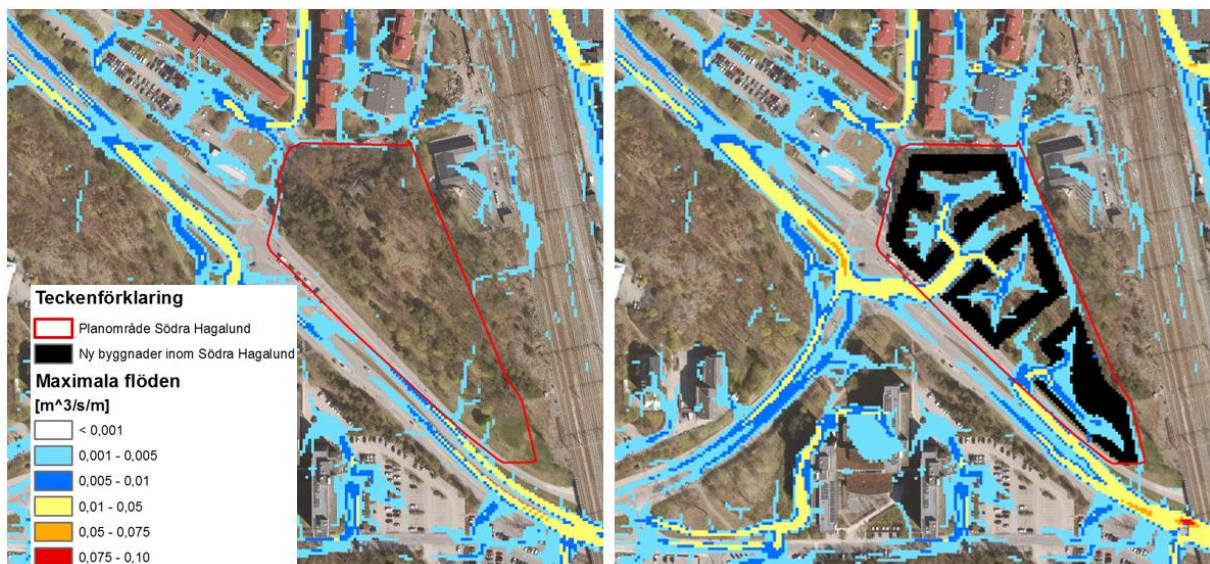
Resultaten från den hydrauliska modellen utgörs av raster där varje 2 x 2 –meters ruta har ett beräknat maximalt vattendjup under simuleringen, ett vattendjup vid simuleringens slut samt flöden genom cellen i de två riktningarna. Resultaten från de två modellerna beskrivs i det följande separat för beräkningar för planområdet Södra Hagalund respektive södra kommundelen (det större beräkningsområdet)

3.1 PLANOMRÅDET SÖDRA HAGALUND

Beräkningarna visar att en exploatering av planområdet Södra Hagalund ökar ytavrinningen i området med omkring 300 - 400 m³ vatten vid ett skyfall beskrivet som ett 100-årsregn. Den ökade ytavrinningen beror på den ökade andelen hårdgjorda ytor i och med att en del av naturmarken byts ut mot hustak, vägar och torg inom planområdet.

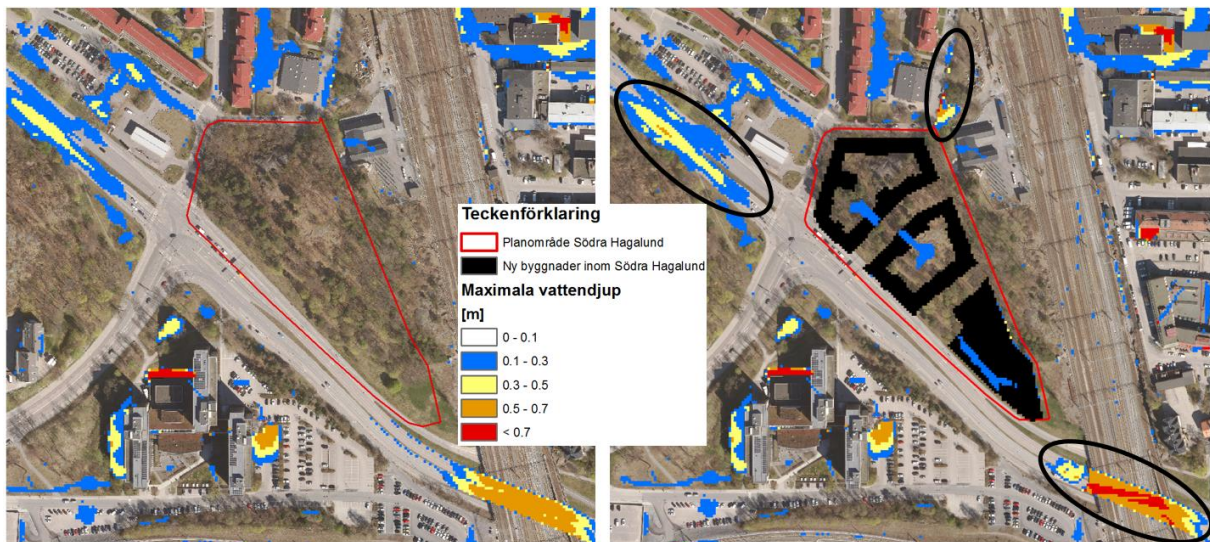
Flödesvägarna med och utan exploatering av Södra Hagalund visas i Figur 5. I figuren syns det tydligt hur flödesvägarna vid ett skyfall förändras ifrån att vara otydligt definierade och symmetriskt distribuerade från kullen ner mot omkringliggande mark, till att istället uppträda som tre tydliga flödesstråk, varav ett norrut mot Solgatan, ett mot Solnavägen (söderut) och ett mot Solnavägen (västerut). Dessa tre "artificiella" (skapade) flödesvägar är ett direkt resultat av vald höjdsättning på mark och byggnader och markanvändning i området.

Det råder i dagsläget stora osäkerheter kring hur Hagalunds industriområde kommer att höjdsättas i detalj och hur detta påverkar avrinningen i närområdet. Dock antas det att höjdsättning och markanvändning inte kommer att ske på ett sådant sätt att vatten leds över eller under järnvägen till planområdet Södra Hagalund.



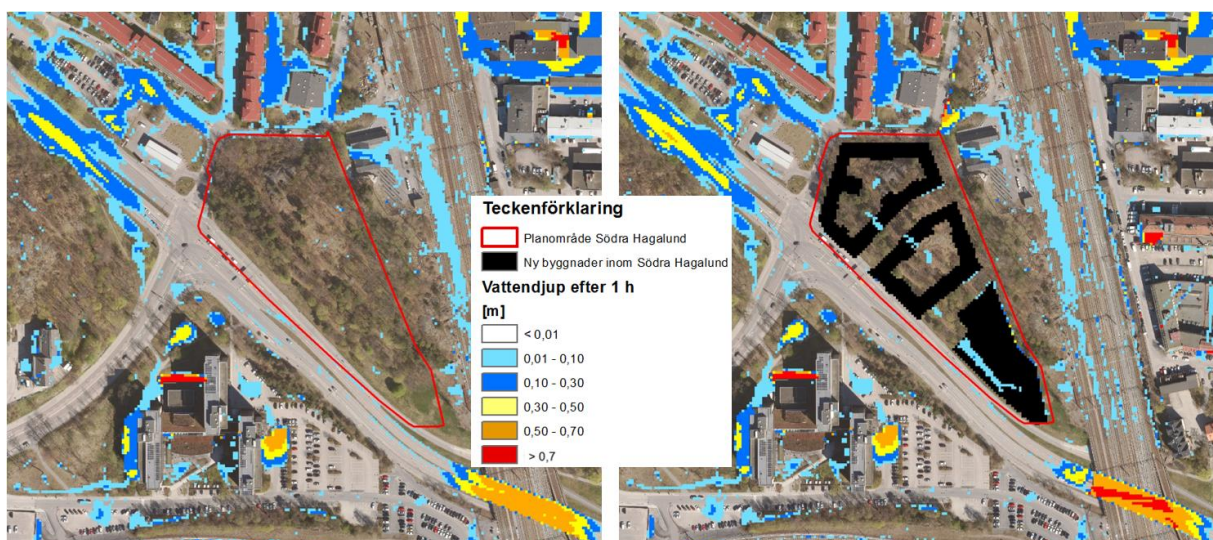
Figur 5 Flödesvägar vid ett 100-årsregn inom och i närheten av planområdet Södra Hagalund.

Maximala vattendjup som uppstår under simuleringen visas i Figur 6. Det finns tre områden där de maximala vattendjupen ökar. Till följd av de nya flödesvägarna uppstår högre vattennivåer norrut mot Solgatan, söderut mot järnvägsbron och västerut mot Solnavägen. På Solgatan samlas vatten mest i grönområdet. Inom själva planområdet så uppstår vattendjup på maximalt ett par decimeter momentant när vatten under regnet strömmar ut från innergårdarna. Ökningen under järnvägsbron är omkring 0,1 m, se Tabell 2.



Figur 6 Maximala vattendjup under simuleringen vid ett 100-årsregn inom och i närheten av planområdet Södra Hagalund. Notera att färgskalan för översvämningens djup inte säger något om vattennivåökningen i centimeter över 0,7 m vilket kan verka missvisande. Ökningen i översvämningens djup till följd av planförslaget uppgår endast till omkring 0,1 m.

Efter en timme, då avrinningsprocessen bedöms vara avslutad för planområdet och all ytavrinning ansamlats i lokala lågpunkter ser översvämningssituationen ut som illustreras i Figur 7. Nästan allt vatten har runnit ut ur planområdet. Vattendjupen i befintliga lågpunkter ökar framförallt under järnvägsbron över Solnavägen, på Solnavägen norrut från planområdet och på grönstråket vid Solgatan.



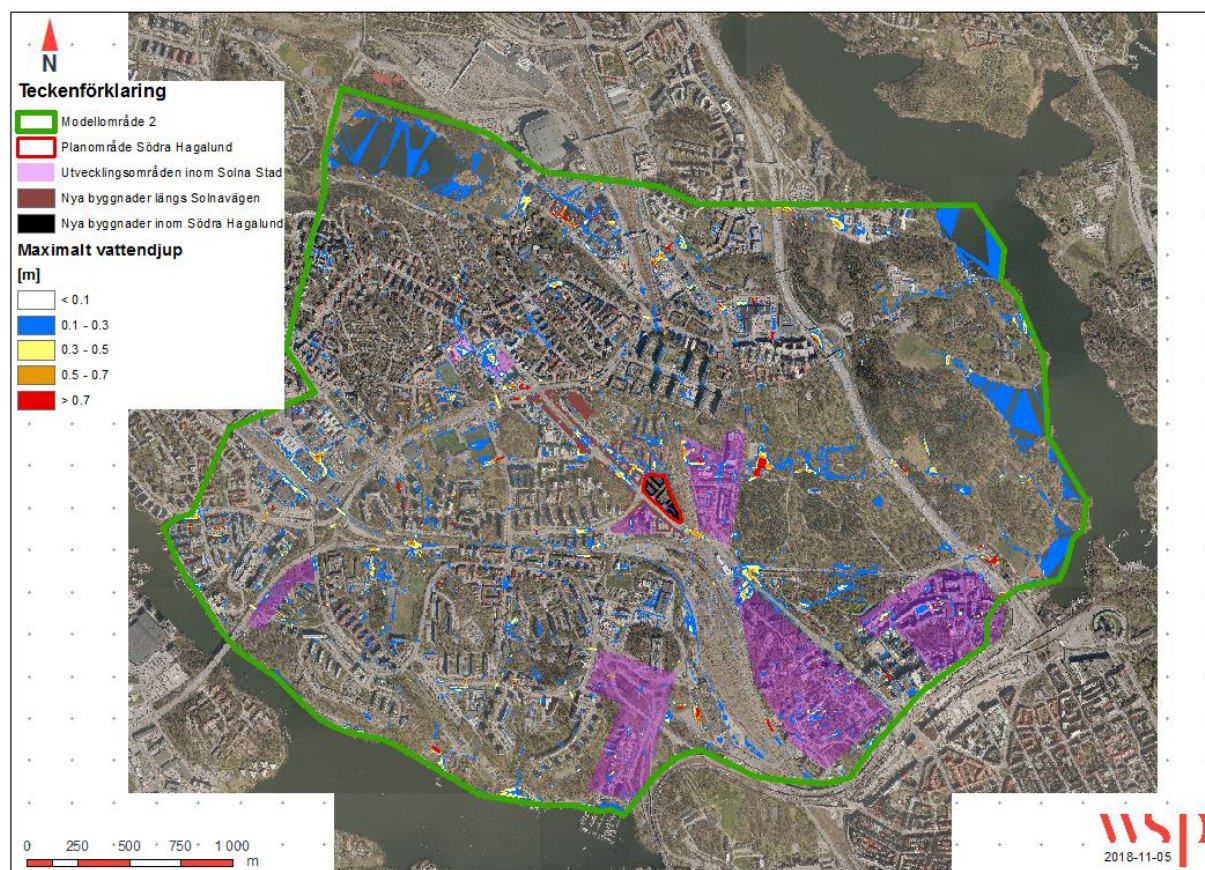
Figur 7 Vattendjup i lokala lågpunkter efter en timme vid ett 100-årsregn inom och i närheten av planområdet Södra Hagalund. Notera att färgskalan för översvämningens djup inte säger något om vattennivåökningen i centimeter över 0,7 m vilket kan verka missvisande. Ökningen i översvämningens djup till följd av planförslaget uppgår endast till omkring 0,1 m.

Tabell 2: Beräknade vattenvolymer och vattendjupet under järnvägsbron över Solnavägen.

	Nuläge	Efter exploatering	Differens
Volym under bron [m ³]	1090	1220	+130
Högsta vattendjup [m]	0,69	0,79	+0,10

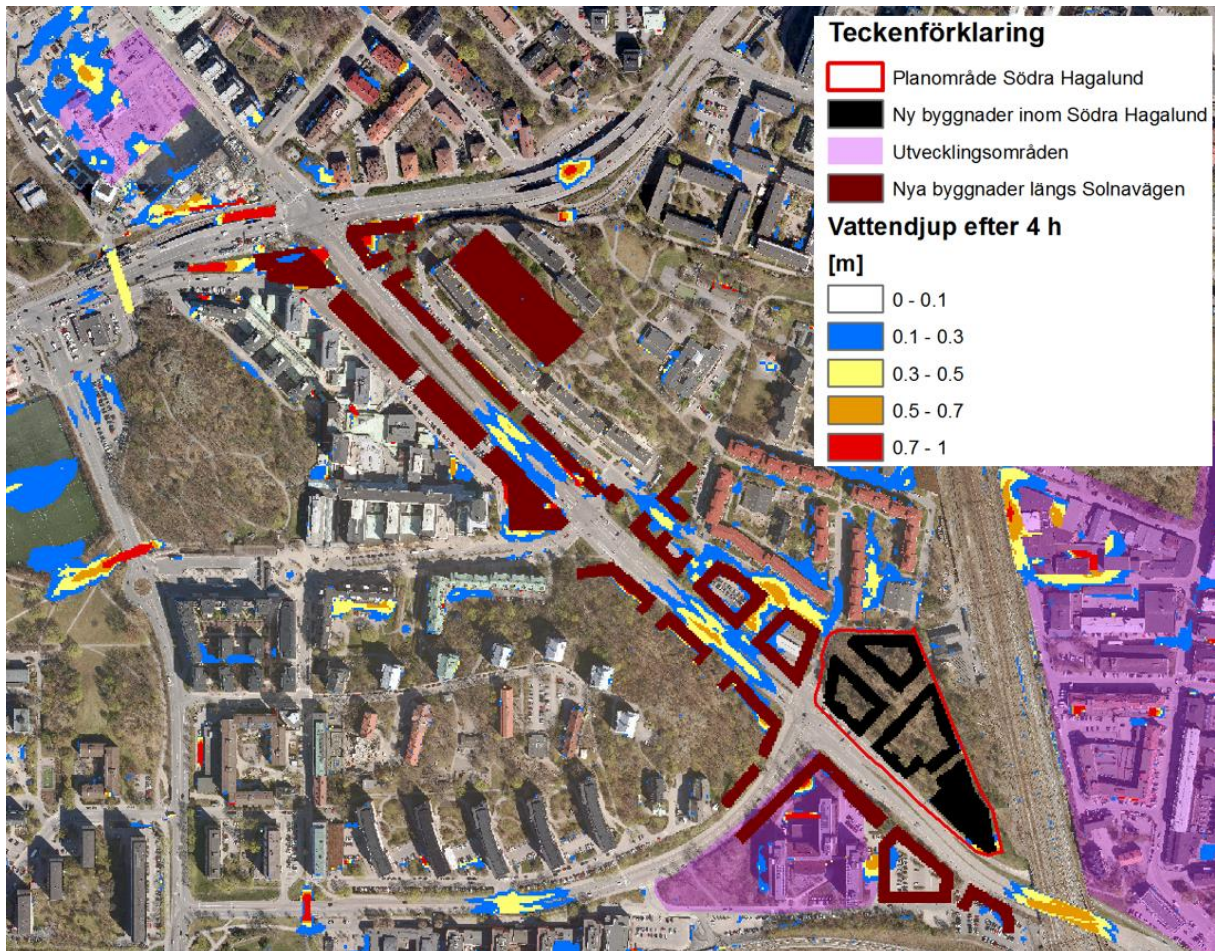
3.2 SÖDRA KOMMUNDELEN - KUMULATIVA EFFEKTER

Resultaten för södra kommundelen baseras på den inte uppdaterade modellen, utan de nya höjder och utformningar enligt 2019-05-06 och 2019-05-07. Resultaten av beräkningarna för södra kommundelen visas i Figur 8. Resultaten visar att de största översvämningriskerna inom eller i närheten av de nya utvecklingsområdena uppstår i närområdet kring Solnavägen. Därför fokuserar den fördjupade analysen av kumulativa effekter just på området kring Solnavägen.



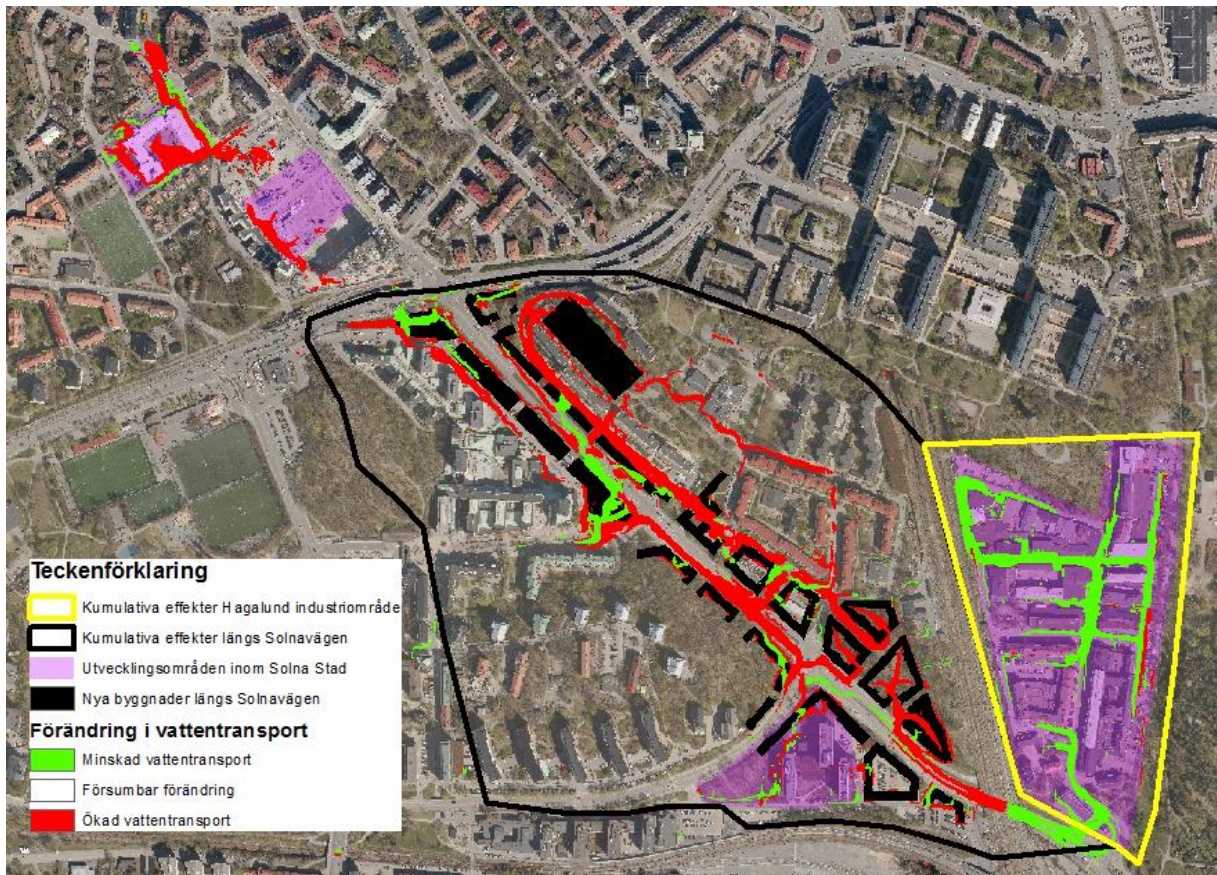
Figur 8 Maximalt vattendjup i respektive beräkningscell under simuleringen i den hydrauliska modellen för den södra kommundelen för beräkningsscenarioet med framtida bebyggelse och markanvändning.

För den hydrauliska modellen med större geografisk utbredning visas en förstoring för området omkring Solnavägen i Figur 9. Beräkningarna visar att översvämningsrisker vid skyfall kan uppstå på flera platser längs med Solnavägen.



Figur 9 Översvämningsrisker längs med Solnavägen vid ett skyfall efter framtida exploatering av samtliga i utredningen ingående utvecklingsområden. Notera att byggnadsgeometrierna inom Södra Hagalund härstammar ifrån ett gammalt förslag. Detta bedöms dock inte påverka beräkningarna i någon större utsträckning avseende de kumulativa effekterna.

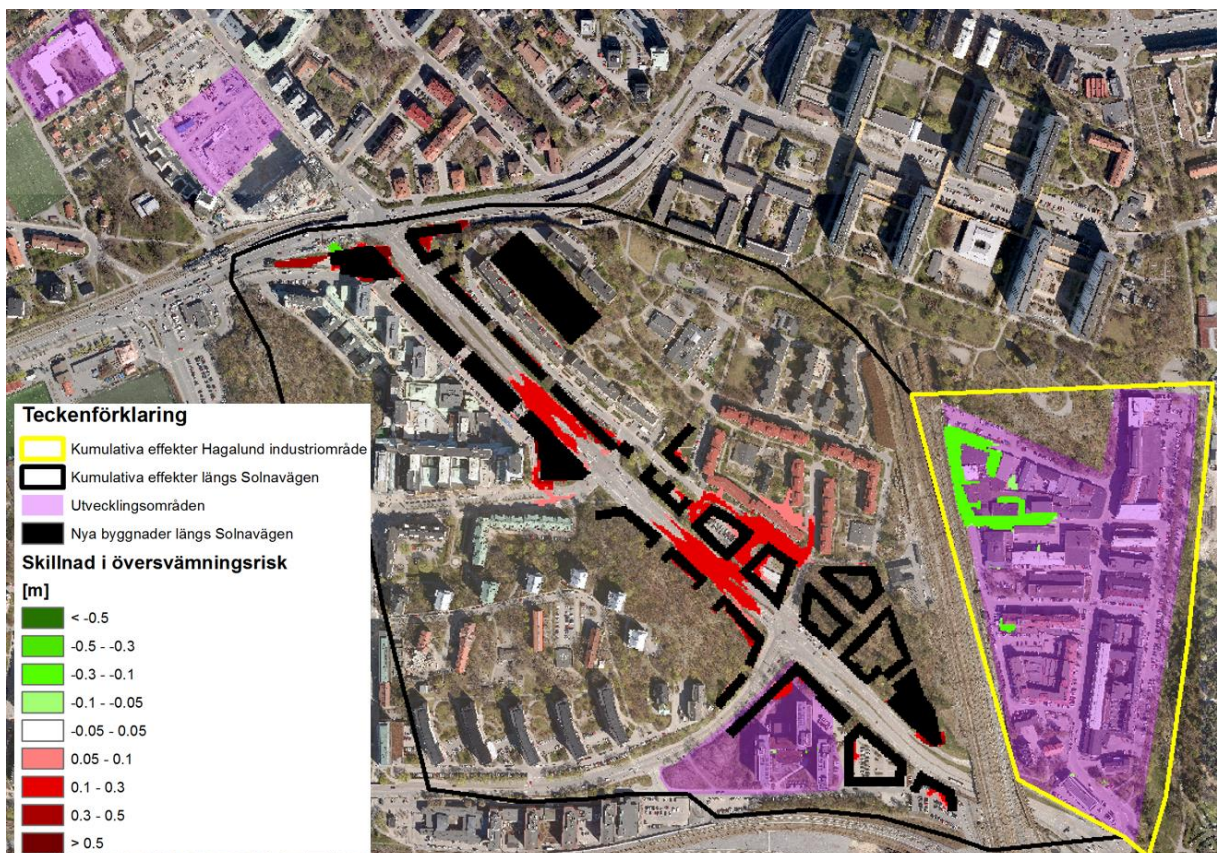
Det är värt att notera att det redan idag råder stora översvämningsrisker i detta område på grund av andelen hårdgjorda ytor och flertalet lokala lågpunkter. Exploatering av samtliga utvecklingsområden i närheten av Solnavägen kommer förvärra översvämningsrisken lokalt på vissa platser, men också minska risken lokalt på andra platser. Detta innebär att vissa översvämningsrisker kommer att förflyttas geografiskt vid exploatering av utvecklingsområden i Solna Stad. Denna förflyttning av översvämningsrisken förklaras delvis av att flödesvägarna förändras när höjdsättningen ändras till följd av exploateringen. Förändringen i flödesvägar illustreras i Figur 10. Överlag kan det nämnas att exploateringen leder till mer koncentrerade flödesstråk i närheten av Solnavägen.



Figur 10 Förändring i vattentransport till följd av exploatering i närheten av Solnavägen. Notera att byggnadsgeometrierna inom Södra Hagalund härstammar ifrån ett gammalt förslag. Detta bedöms dock inte påverka beräkningarna i någon större utsträckning avseende de kumulativa effekterna.

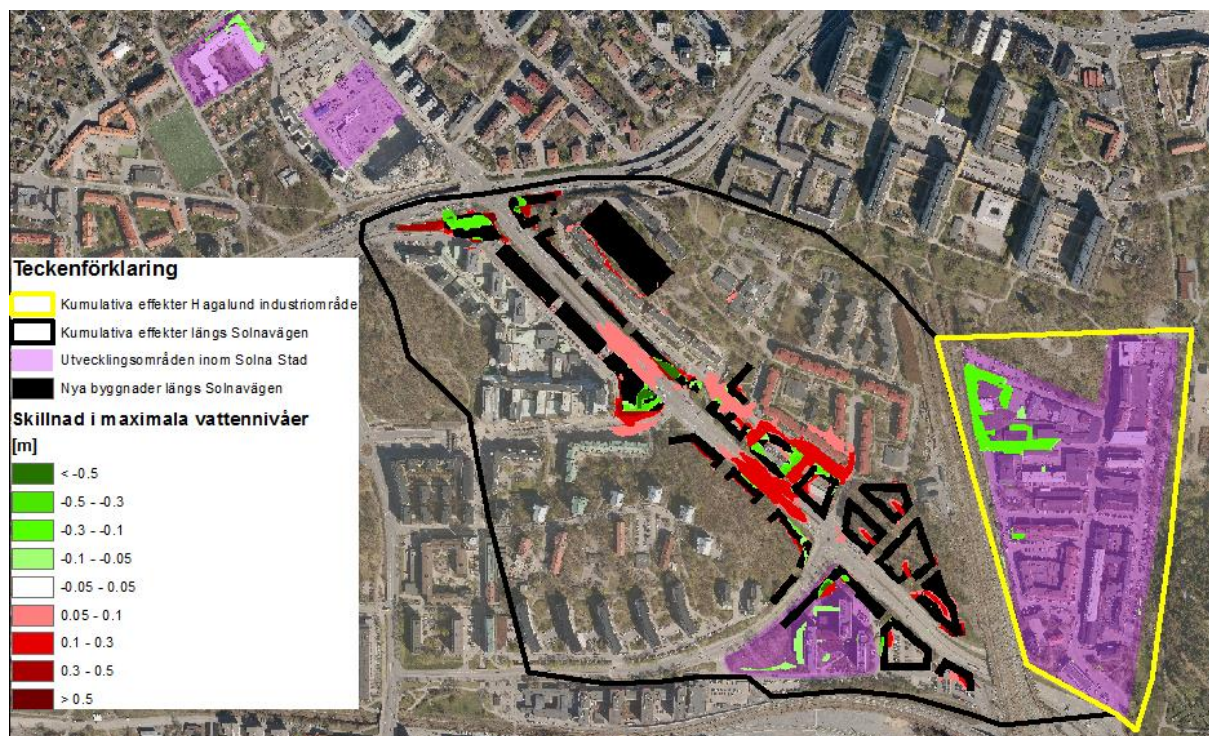
I Figur 11 visas vilka ytor som drabbas mer respektive mindre av översvämning vid skyfall enligt beräkningarna i denna utredning. De lokala lågpunkter där översvämningsrisken förvärras av tänkt exploatering är framförallt korsningen Solnavägen-Frösundaleden där vattenansamlingarna i underfarterna och nedanför Frösundaleden sannolikt blir djupare, samt de två lågpunkterna längs med Solnavägen som kommer få ett ökat tillskott av vatten från omkringliggande kvartersmark, se Figur 11. Anledningen är att en del naturmark görs om till hårdgjorda ytor i form av tak, samt att en del av byggnaderna förhindrar vattnet att breda ut sig över större områden vilket ökar vattendjupet lokalt.

De områden där översvämningsrisken kan förväntas minska är i nordvästra delen av Hagalunds industriområde, se Figur 11. Detta beror på att den mark som idag utgörs av industriområde samt hustak har en sammanvägd högre avrinningskoefficient än vad som kan antas krävas av ett bostadsområde med hög bebyggelse, förutsatt att åtgärder vidtas för att öka grönytefaktorn jämfört med det ursprungliga industriområdet. Det ska dock nämnas att det fortfarande råder en stor översvämningsrisk i området vilket ses i Figur 9.



Figur 11 Förändringar i beräknat vattendjup efter fyra timmar efter simuleringens start vid skyfall efter exploatering av utvecklingsområden i närheten av Solnavägen. Notera att byggnadsgeometrierna inom Södra Hagalund härstammar ifrån ett gammalt förslag. Detta bedöms dock inte påverka beräkningarna i någon större utsträckning avseende de kumulativa effekterna.

För förändring i momentan översvämningsrisk, det vill säga förändringen av maximala vattendjup till följd av exploateringen så är resultaten snarlika den förändring som sker vid jämförelse av översvämningsrisk efter fyra timmar. I Figur 12 visas skillnaden i maximala vattendjup med och utan exploatering.



Figur 12 Förändringar i beräknade maximala vattendjup vid skyfall efter exploatering av utvecklingsområden i närheten av Solnavägen. Notera att byggnadsgeometrierna inom Södra Hagalund härstammar ifrån ett gammalt förslag. Detta bedöms dock inte påverka beräkningarna i någon större utsträckning avseende de kumulativa effekterna.

När det gäller de kumulativa effekterna av de sammanlagda exploateringarna på översvämningsrisken rör det sig om cirka 400 m³ vatten extra i området längs Solnavägen. Att skillnaden inte blir större och att omkring 300 m³ av dessa 400 m³ kommer ifrån planområdet Södra Hagalund beror på att för planområdet Södra Hagalund ersätts skogs- och grönytor med avrinningskoefficienter på 0,2 respektive 0,3 med tak och vägar som har avrinningskoefficient 1,0. Den nya bebyggelsen längs med Solnavägen ersätter istället till stor del områden som redan är klassade som vägar och hög bebyggelse, det vill säga där avrinningskoefficienten i nuläget redan är hög. I Figur 11 visas med svart linje det område där analys av flödesvägarna visar på att vatten ansamlas längs Solnavägen, det vill säga det tekniska lokala avrinningsområdet.

För Hagalunds industriområde minskar istället översvämnningen inom området med cirka 200 m³ vatten. Därmed förväntas bidraget till lågpunkten under järnvägen från detta område minska. Detta beror på att hela detta område är klassat som ett industriområde med tak och vägar i dagsläget, med en avrinningskoefficient som i modellen ansatts till 1,0. Efter exploatering antas området istället kunna klassas som hög bebyggelse, med avrinningskoefficient på 0,5. Detta förutsätter dock ett antagande om att grönytefaktor i området, eller åtminstone den lokala fördröjningen av ytavrinningen, är mycket högre än idag. I Figur 11 visas med gul linje det område där analys av flödesvägarna visar på att vatten ansamlas inom Hagalunds industriområde, det vill säga det tekniska lokala avrinningsområdet, där avrinningen minskar med 200 m³.

4 KOMMENTARER TILL RESULTATEN

Skyfallskarteringen utgörs av en relativt översiktlig modell som ska användas för att identifiera områden med risk för översvämning vid skyfall. Dock bedömer WSP underlaget till och ambitionsnivån för den hydrauliska modellen som tillräckligt bra för att inte bidra med större fel och osäkerheter än vad själva regnvolymer och klimatfaktorn innebär. Resultaten i form av beräknade vattendjup och identifierade förändringar i volymer bör inte användas vid detaljerad projektering av åtgärder, för det krävs mer detaljerade analyser. Däremot kan resultaten användas för att identifiera behov av åtgärder och lämplig placering av kontrollerade avrinningsstråk och försdröjningsvolymer. Analysen är gjord med en terrängmodell med 2 x 2 m grid så det kan finnas mindre trösklar och passager i terrängen som inte kommit med i terrängmodellen som kan påverka översvämningsutbredningen, detta antas dock inte påverka slutsatserna i denna utredning.

Efter synpunkter från Solna Vatten på utkastet till denna rapport kan det konstaterats att den antagna avrinningskoefficienten för framtida bebyggelse i Hagalunds industriområde eventuellt är något låg i relation till hur hög exploateringsgraden kommer att vara. WSP bedömer dock att en förändring av avrinningskoefficient från 1,0 i det befintliga scenariot till något högre än det antagna värdet om 0,5 för "hög bebyggelse" i framtidsscenarioet inte påverkar de generella slutsatserna i denna utredning.

Någon kalibrering av modellen har inte varit möjlig eftersom det saknas underlag för detta. Skyfall i denna storleksordning är som återkomsttiden speglar mycket ovanliga händelser, och det har enligt WSPs kännedom inte inträffat någon liknande situation i området.

Förutom de felkällor och osäkerheter som härrör från antaganden och förenklingar så uppstår alltid numeriska felkällor i modellens vattenbalans, så kallad "water level correction". Dessa numeriska felkällor är oftast beroende av modellens tidssteg, där ett kortare tidssteg ger ett lägre fel, till priset av längre simuleringstid. Det numeriska felet uttrycks i beräkningsprogrammet som den volym virtuellt vatten som modellen skapar, förutom själva nederbörden, för att kunna beräkna vattenbalansen i respektive beräkningscell. I Tabell 3 visas storleken på det numeriska felet för respektive simulering.

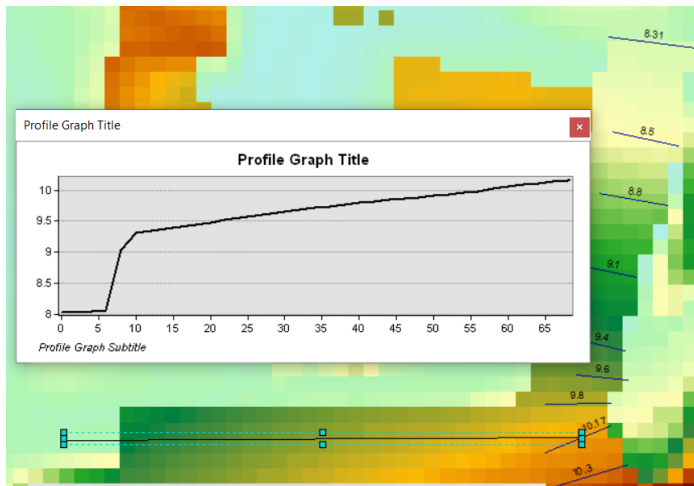
Tabell 3 Modellernas numeriska relativa fel.

Simulering	Modellområde 2, utan exploatering	Modellområde 2, med exploatering	Modellområde 1, utan exploatering	Modellområde 1, med exploatering
Numeriskt fel [%]	2	2	< 2	< 2

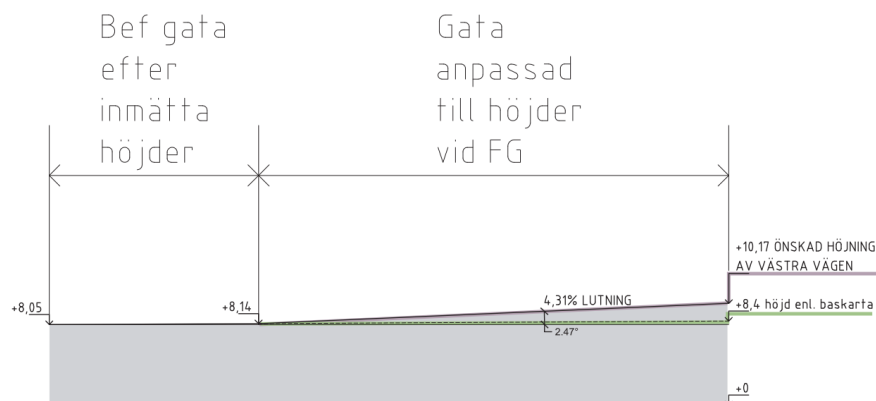
Det finns ingen självklar branschstandard för vilket numeriskt fel som kan godtas, men i modeller med ett numeriskt fel under 5 %, som i fallet med beräkningarna inom denna utredning, bedömer WSP att resultaten är tillräckligt bra för att kunna användas för denna typ av analyser och underlag till en MKB, särskilt eftersom skillnader i avrinning och översvämningsrisk är det som primärt studeras. Att felet är i samma storleksordning för samtliga simuleringar, och lika stort för de två scenarierna inom respektive modell, innebär goda förutsättningar till att jämföra vattenvolymer med och utan exploatering.

I planområdets norra del, i korsningen Solgatan och Västra vägen, visade sig en mindre felaktighet i höjddmodellen efter det att de hydrauliska modellberäkningarna genomförts. På grund av brist på digital höjdinformation i underlaget till beräkningarna uppstod en kant i anslutning av den nya gatan bakom bostadskvarteret och Västra vägen, se Figur 13. Den faktiskt planerade anslutningen visas i Figur 14. Lutningen av den interpolerade gatan är mindre än vad beräkningsunderlaget visar. Detta gör att vattnet som kommer från bostadskvarteret i huvudsak rinner mot Solgatan. Om gatan hade lutat med 4,31%, som beskriven i underlaget, hade en viss omfördelning av flödet mot Västra vägen varit

tänkbar. Vattnets omfördelning betyder dock enbart att en mindre del av vattnet som hamnar i lågpunkten bredvid Solgatan istället ansamlas på parkeringsplatsen väster om planområdet. Detta påverkar dock inte slutsatserna i denna utredning.



Figur 13: Profil över gatan bakom bostadskvarteret i anslutning med Västravägen. Höjmodellen som användes för beräkningen av framtidens scenario. Den markerade heldragna svarta linjen i kartan illustrerar den höjprofil längs gatan som använts i de hydrauliska modellberäkningarna.



Figur 14: Profil över gatan bakom bostadskvarteret och Västravägen. Underlag: *Presentation_situationsplan och sektioner_20190430.pdf*, erhållen från BSK Arkitekter

4.1 SVAR PÅ FRÅGESTÄLLNINGARNA

- **Ger rådande planförslag upphov till översvämningar vid ett skyfall inom planområdet Södra Hagalund?**

Enligt erhållet underlag om höjdsättning och markanvändning inom planområdet uppstår inga bestående översvämningrisker efter det att det 15 minuter långa skyfallet har passerat. Under de 15 minuter som skyfallet pågår kan det eventuellt uppstå mindre problem med framkomlighet längs de tre flödesstråken som bildas ut från innergårdarna och längs med gatorna inom planområdet.

Vattendjupen uppgår dock inte till mer än 0,3 m och därmed kan risken för fara för människor eller skada på parkerade bilar, cyklar med mera antas vara mycket begränsad. När regnet väl har passerat uppstår inga betydande vattenansamlingar inom planområdet, eftersom vattnet leds ut från planområdet.

- **Ökar rådande planförslag översvämningsrisken utanför planområdet Södra Hagalund?**

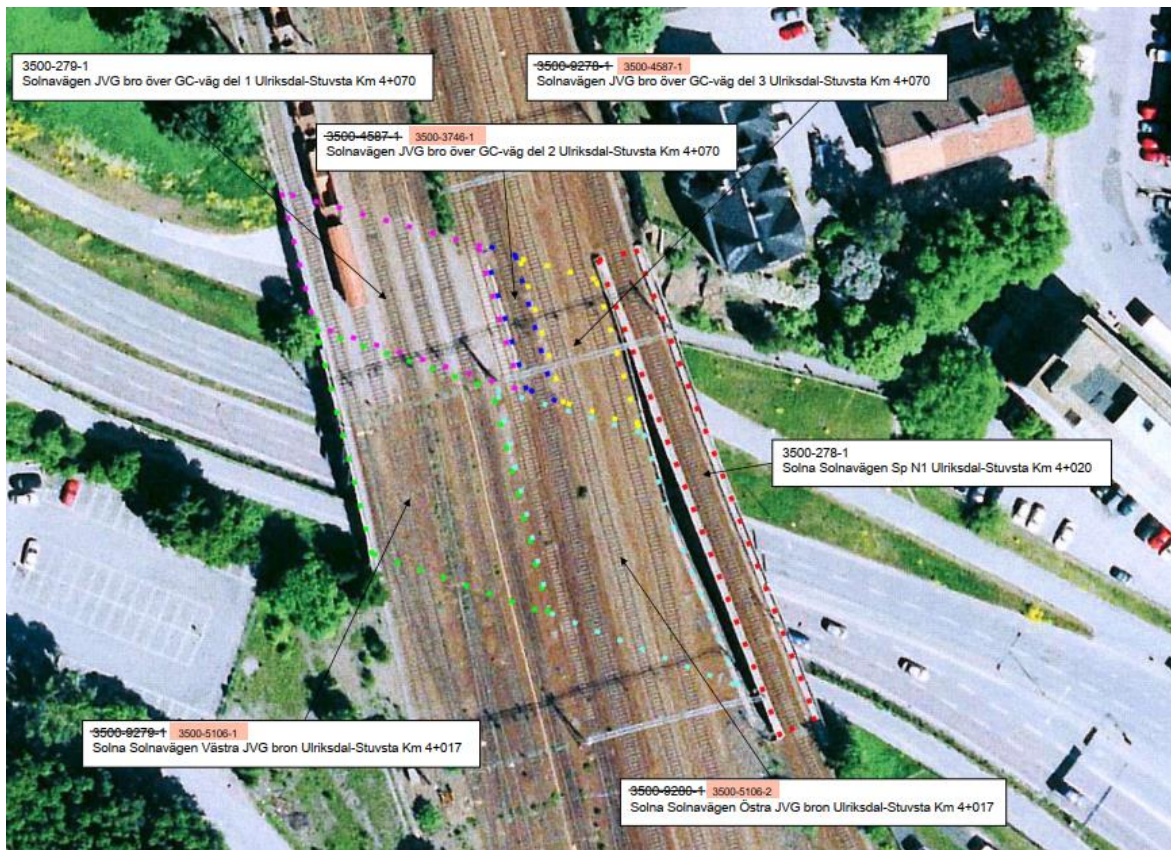
Exploateringen av planområdet Södra Hagalund bidrar förvisso till den befintliga översvämningsrisken i närområdet med den föreslagna höjdsättningen av marken samt taklutningarna. Dock flödar vattnet till befintliga lågpunkter där översvämningsrisk redan föreligger.

Bidraget från planområdet till översvämningsrisken kan antas vara försumbart eftersom vattendjupen i de befintliga lokala lågpunkterna är så pass stora att betydande framkomlighetsproblem redan uppstår i nuläget vid ett skyfall motsvarande ett 100-årsregn. Till exempel är vattendjupet redan över 0,5 m under bron över Solnavägen, och personbilar upplever betydande framkomlighetsproblem redan vid 0,3 m (Pregolato et al 2017). Den totala ökningen i vattendjupet överstiger inte 0,1 m under bron, se Tabell 2.

Enligt uppgifter från Solna stad (2020) planeras det för nedsänkta växtbäddar i mittrefug och längs sidorna där så är möjligt, vilket medför en yttlig fördröjning om 200–250 m³ vatten av det vatten som avvattnas ner mot lågpunkten under bron över Solnavägen. Dessa 200–250 m³ kan ställas i relation till de cirka 130 m³ som planförslaget bidrar med till den lågpunkten.

- **Riskerar planförslaget att Trafikverkets bro över Solnavägen skadas?**

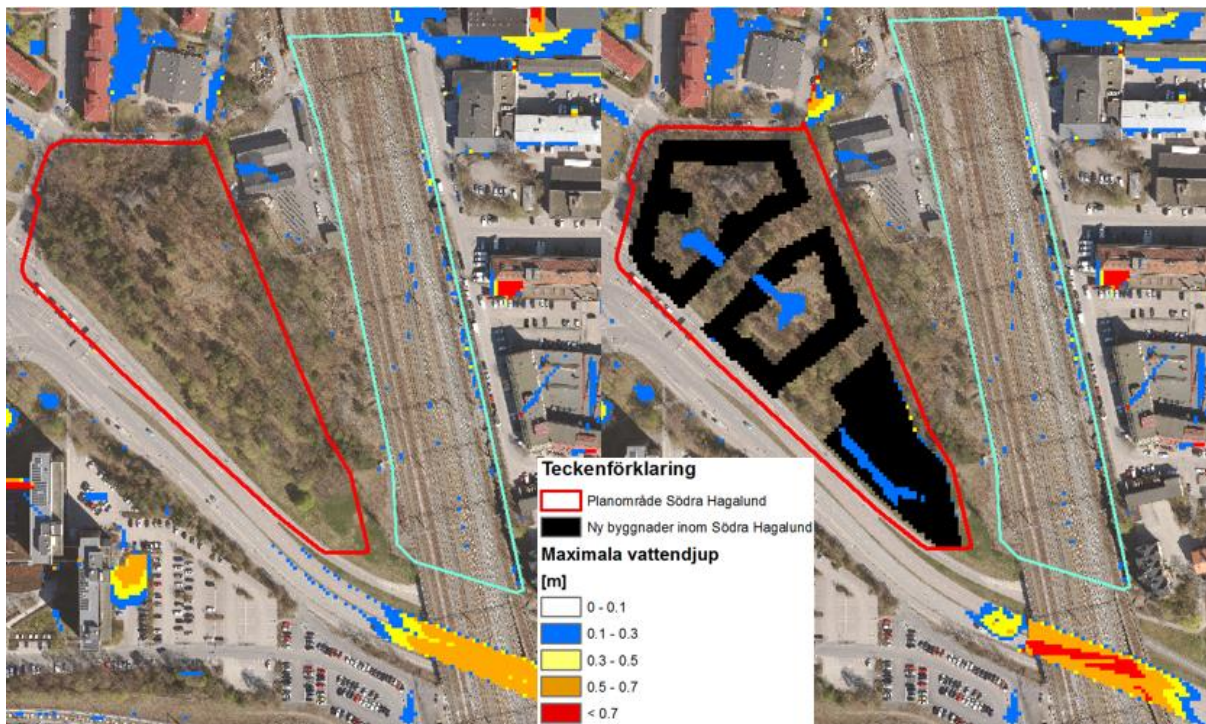
De befintliga konstruktionerna som går över Solnavägen består av sex stycken järnvägsbroar utförda i armerad betong, se Figur 15. De tre norra brokonstruktionerna går endast över den norra gc-vägen medan de två södra och den östra passerar över både väg och gc-vägar. Broarna är byggda vid olika tillfällen och de två södra uppfördes 1961 medan den östra har tillkommit 1989. Broarna är utförda med en pålgrundläggning med pålar som är förda ned till fast berg. Den östra bron har fristående stöd där varje bottenplatta har en separat pålgrupp. De södra broarna har en grundläggning som mer påminner om en sluten ram dock med skillnaden att bottenplattan har varierande tjocklek. I nuvarande situation kommer det stå vatten under brokonstruktionerna längs med Solnavägen. Stående vatten med en höjd upp till ca 1 m (inklusive tillskottet från planområdet) anses inte påverka broarnas stabilitet eller bärighet. Vattnet i form av sin tyngd och med utbredning inom vägbanan kan ge en tillkommande vertikal last som kan påverka lasteffekten på grundläggningen och i det här fallet pålgrupperna tillhörande broarnas stöd. Det bedöms dock att denna tillkommande last är i det närmaste försumbar i jämförelse med övriga laster som pålgruppen är utsatt för. Eftersom brokonstruktionerna är pålgrundlagda anses inte stående vatten heller påverka grundläggningen i form av stabilitet (glidning och stjälpning). Med hänsyn till den förändring av stående vatten på ca 0,1 m till följd av planområdet anses inte detta påverka broarnas stabilitet eller bärighet. Ökningen i volym och vattendjup är relativt liten och som ovan beskrivits är brokonstruktionerna inte känsliga för denna typ av tillkommande last.



Figur 15: Järnvägsbro över Solnavägen. Illustration: BaTMan, Trafikverket. Texten och de färgmarkerade punkterna i figuren är obetydliga i sammanhanget.

- **Upptår ökade översvämningar på bangården öster om planförslaget?**

Modellberäkningarna visar att järnvägen som ligger öster om planområdet inte kommer att bli negativt påverkad på grund av exploateringen. Maximalt beräknat vattendjup på bangården vid 100-årsregn är på samma nivå som i dagsläget, se Figur 16 och Tabell 4. Medelvattendjupet på bangården minskar med mindre än 1 cm efter exploatering. Total vattenvolym som hamnar på bangården minskar därför med 5 m³.



Figur 16: Maximalt beräknat vattendjup vid 100-årsregn. Bangården är markerad i turkos.

Tabell 4: Beräknade vattennivåer vid 100-årsregn på bangården.

	Total yta [m ²]	Max. vattendjup [m]	Medelvattendjup [m]	Total vattenvolym [m ³]
Nuläge	17 152	0,375	0,0129	221
Efter exploatering	17 152	0,375	0,0126	216

- **Finns behov av åtgärder för att minska risken för översvämningar inom planområdet eller för att inte öka översvämningsriskerna utanför planområdet?**

De åtgärder som redan vidtagits under projektets gång för att minimera översvämningsrisken inom planområdet Södra Hagalund är framförallt den höjdsättning av innergårdar, gator och torg som innebär att nästan allt vatten vid ett skyfall leds ut från planområdet.

När det gäller översvämningsrisken utanför planområdet finns det ett uppenbart behov av förebyggande åtgärder i och med att Solnavägen översvämmas på minst tre platser med ett sådant vattendjup att framkomlighetsproblem är sannolika. Enligt uppgifter från Solna stad (2020) arbetas det för närvarande med att få till nedsänkta växtbäddar vilket till viss del kan mildra översvämningsproblematiken längs Solnavägen.

Även inom utvecklingsområdet Hagalunds industriområde finns ett visst åtgärdsbehov i och med dagens översvämningsrisker. Dessa åtgärder kan dock inte vidtas enbart inom planområdet för Södra Hagalund, eftersom översvämningsrisken är stor på flera platser redan innan exploatering.

- **Uppstår kumulativa effekter med avseende på översvämningsriskerna i södra Solna stad till följd av exploatering av ett antal planområden, inklusive Södra Hagalund?**

Exploateringen av utvecklingsområden längs med Solnavägen, inklusive Södra Hagalund, ökar översvämningsproblematiken längs den redan lågt liggande Solnavägen. Dock gäller samma slutsats för de kumulativa effekterna som för planområdet Södra Hagalund; att översvämningsproblematiken med höga vattendjup redan föreligger i nuläget. Exploatering av samtliga utvecklingsområden i närheten av Solnavägen kommer förvärra översvämningsrisken lokalt på vissa platser, men också minska risken lokalt på andra platser. Detta innebär att vissa översvämningsrisker kommer att förflyttas geografiskt vid exploatering av utvecklingsområden i Solna Stad. Denna förflyttning av översvämningsrisken förklaras delvis av att flödesvägarna förändras när höjdsättningen ändras till följd av exploateringen.

4.2 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

Ytterligare analyser som skulle kunna genomföras med materialet och modellerna som har skapats för planområdet Södra Hagalund och södra delen av Solna stad innefattar:

- **Modellering av åtgärdsförslag**

För att ta hand om det tillkommande vattnet ifrån exploatering av utvecklingsområdena och åtgärda översvämningsproblematiken längs Solnavägen kan effekten av olika åtgärdsförslag i närområdet studeras. Till exempel kan mångfunktionella ytor, skyfallstunnlar, kontrollerade ytliga flödesstråk, kostnadseffektiv samordnad magasinering eller hantering av skyfall gemensamt för samtliga planområden simuleras såväl som lokala åtgärder inom respektive planområde.

- **Kostnads-nyttoanalys av föreslagna åtgärder**

Genom att analysera den ekonomiska nyttan med att "bygga bort" översvämningsrisken i närområdet kring Solnavägen och jämföra med kostnaderna för Solna stad och samhället i stort med återkommande översvämningsrisker kan det utredas huruvida åtgärdsförslagen är ekonomiskt försvarbara. En riskanalys bör ingå, där översvämningsrisker analyseras i detalj. Kostnaderna för att inte förebygga en översvämningsrisk beror förutom på vattendjup även på översvämningsens varaktighet och vattnets flödes hastighet med mera.

- **Prioriteringslista för åtgärdsförslagen**

Med kostnads-nyttoanalyser som underlag, eller med hjälp av andra kriterier, går det att sortera åtgärdsförslagen i den ordning som de bör genomföras.

- **Simulering av extremare regn**

I de befintliga modellerna går extremare regn att simulera än ett klimatkompenserat 100-årsregn. Det finns exempel på svenska kommuner har valt att genomföra skyfallskarteringar av såväl 200- som 500-årsregn, och det kan nämnas att såväl Malmö- som Köpenhamnsregnen som inträffat på 2000-talet har haft beräknade återkomsttider på långt över 100 år. Det kan också nämnas att SMHI nyligen varnat för att den fram till nyligen rekommenderade klimataffaktorn om 1,25 är en underskattning.

- **Vid vilket regn uppstår översvämningsrisk idag, och vid vilket regn kommer översvämningsrisk att uppstå efter exploatering av Södra Hagalund?**

Det går oftast att beräkna ett givet regn där marginalkonsekvenser precis uppstår, till exempel när vattendjupet på en viss gata överstiger ett antal cm under en given tid. Det skulle gå att utifrån riktlinjer av MSB räkna fram det regn (med den korresponderande återkomsttiden) som ger framkomlighetsproblem vid givna vägar (till exempel Solnavägen eller viktiga vägar för utryckningsfordon eller liknande). Det går till exempel också att beräkna översvämningsrisken till följd av ett

50-årsregn. Denna typ av beräkning går givetvis att utföra för såväl dagens exploatering som med framtida exploatering av Södra Hagalund.

- **Vid vilket regn kommer översvämning att uppstå efter exploatering enligt den kumulativa beräkningen?**

Denna fråga besvaras på samma sätt som ovan, med skillnaden att modellområde 2 används (beskriven i Figur 2).

5 REFERENSER

BaTMan, Trafikverket. Bro och tunnelförvaltningssystemet. <https://batman.trafikverket.se/externportal>

California State Water Resources Control Board. 2011. *The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment*. Fact Sheet-5.1.3.

Danska Hydrologiska Institutet. *MIKE 21*. <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21> [2017-11-29]

Lantmäteriet. 2018. GSD-Fastighetskartan, vektor. <https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/kartor/fastshmi.pdf> [2018-11-13]

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). 2017. *Vägledning för skyfallskartering Tips för genomförande och exempel på användning*. MSB1121 – augusti 2017. ISBN: 978-91-7383-764-4.

Pregolato, M., Ford, A., Wilkinson, S., Dawson, R. 2017. *The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function*. Transportation Research Part D 55 (2017) 67-81.

Solna stad. 2020. Personlig kommunikation. Mail från A. Eckerberg till S. Loftenius daterat 2020-05-27.

Svenskt Vatten. 2016. Publikation P110. *Avledning av dag-, drän- och spillvatten* (s. 67-68).

Urban Drainage and Flood Control District. 2017. *Urban Storm Drainage Criteria Manual Volume 1 Management, Hydrology and Hydraulics* (p. 6-8).

WSP Sverige AB. 2018. Skyfallsmodellering Stockholm Stad. Uppdragsnummer 10255910.

VI ÄR WSP

WSP är ett av världens ledande analys- och teknikkonsultföretag. Vi verkar på våra lokala marknader med stöd av global expertis. Som tekniska experter och strategiska rådgivare har vi tillgång till ingenjörer, tekniker, naturvetare, planerare, utredare och miljöspecialister liksom professionella projektörer, konstruktörer och projektledare. Vi erbjuder hållbara lösningar inom Hus & Industri, Transport & Infrastruktur och Miljö & Energi. Med drygt 39 000 medarbetare på 500 kontor i 40 länder medverkar vi till en hållbar samhällsutveckling. I Sverige har vi omkring 4 000 medarbetare. wsp.com

WSP Sverige AB

121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7

T: +46 10 7225000
Org nr: 556057-4880
Styrelsens säte: Stockholm
wsp.com

