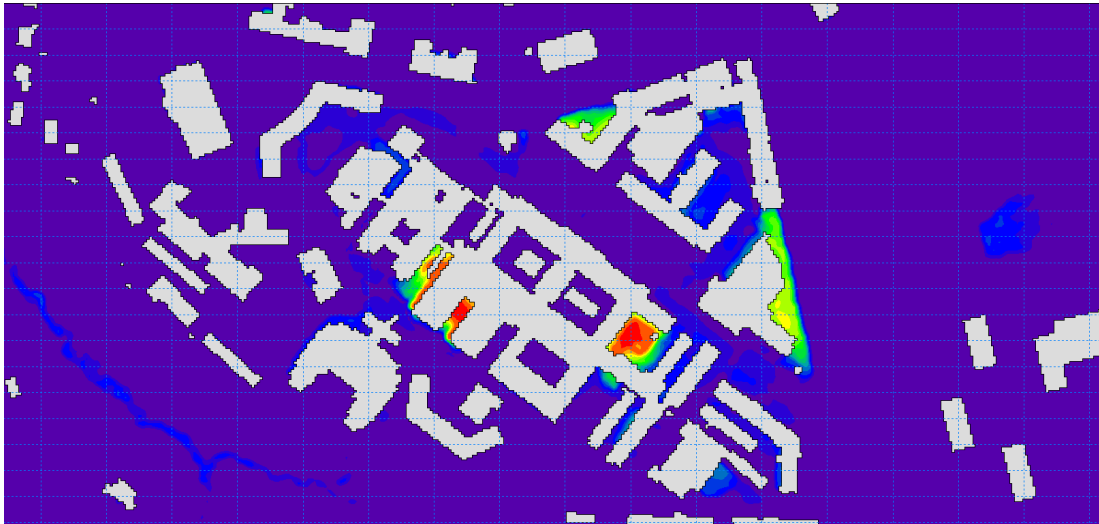




CHALMERS



Konsekvenser av framtidens nederbörd:

En konceptstudie över Sahlgrenska Universitetssjukhusets område vid ett 100-årsregn.

EMIL PETTERSSON

HANNES HOLMLUND

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
samhällsbyggnadsteknik*

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Vatten Miljö Teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Examensarbete ACEx20
Göteborg, Sverige 2022

EXAMENSARBETE ACEX20

Konsekvenser av framtidens nederbörd:

En konceptstudie över Sahlgrenska Universitetssjukhusets område vid ett 100-årsregn.

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
samhällsbyggnadsteknik*

EMIL PETTERSSON
HANNES HOLMLUND

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Vatten Miljö Teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Examensarbete ACEX22
Göteborg, Sverige 2022

Konsekvenser av framtidens nederbörd:

En studie över Sahlgrenska Universitetssjukhusets område vid ett 100-årsregn.

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
samhällsbyggnad*

EMIL PETTERSSON
HANNES HOLMLUND

© EMIL PETTERSSON & HANNES HOLMLUND, 2022

Examensarbete ACEX20
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2022

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Vatten Miljö Teknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Resultatfil från datorprogrammet Mike21 vid en simulation av ett 100-årsregn på nivå II

SAMMANFATTNING

Klimatförändringen är en av de största frågorna i dagens samhälle. Utsläppen av växthusgaser från mänskligt bruk ger stora konsekvenser på vår planet. Extremväder är något som blir alltmer vanligt. Glaciärer smälter, extrem torka i vissa regioner och extrema skyfall ökar i antal över tid. Nederbörd eller skyfall har blivit aggressivare och oförutsägbara i ett framtida samhälle. Ett stopp av utsläpp som ökar temperaturen på jorden är i större behov nu än aldrig.

En kraftigare nederbörd leder till fler förekommande översvämningar och bräddningar av vattenflöden. Göteborgsområdet har alltid varit drabbat av mycket nederbörd och även om staden har ett mer sofistikerat ledningsnät än många andra platser så är inte staden immun mot incidenter. Till exempel år 2006 så översvämmades stora delar av Göteborgsvägen då Mölndalsån bräddades. Sahlgrenska Universitetssjukhuset ligger i ett område i Göteborg som fått mycket kritik på grund av dess otaktiska geografiska placering. Området är beläget i en lågpunkt i centrala Göteborg omgivet av rullstensåsar och berg och har en dålig jordlagerföljd för att hantera vatten.

Syftet med denna rapport är att utföra en skyfalls studie på Sahlgrenska Universitetssjukhusets område vid ett 100-årsregn och kolla på konsekvenser som uppstår samt möjliga förbättringsåtgärder för att minska dessa. I studien kommer programmen Scalgo och Mike21 användas för att simulera modeller över Sahlgrenska Universitetssjukhusets område som utsätts för ett 100-årsregn. Qgis kommer att användas för att visualisera rännstensbrunnar samt resultatfiler. All modellering kommer att ske i 2D.

Resultaten från simuleringarna visar på att Sahlgrenska Universitetssjukhusets område är väldigt utsatt för översvämning vid ett skyfall. Stora vattensamlingar och breda vattenflöden bildas på kritiska platser och runt sjukhuset. Att få ett opåverkat Sahlgrenska Universitetssjukhus vid ett 100 årigt regn är troligtvis omöjligt men med åtgärder kan bristerna minimeras. Dagvattenlösningar lämpliga för området valdes ut och ett flertal svackdiken, en torr damm och en översvämningsbarriär har modellerats in i området som åtgärder för att minska vatten-djupen och vattensamlingarna i kritiska områden. Simuleringar med åtgärderna separat och kombinerat utfördes och det kunde konstateras att samtliga åtgärder har en positiv inverkan på Sahlgrenska Universitetssjukhusets område vid kraftig nederbörd.

Nyckelord: Klimatförändring, översvämning, jordlagerföljd, skyfall, Scalgo, QGIS, Mike21, 100-årsregn, rännstensbrunnar, dagvattenlösningar, vattensamling

ABSTRACT

Climate change is one of the biggest issues in today's society. Emissions of greenhouse gasses from human consumption have major consequences on our planet. Extreme weather is something that is becoming more common. The melting of glaciers, extreme droughts and heavy rainfall are things that are increasing in number over time. Rainfall has become more aggressive and unpredictable in a future society. A stop to emissions that increase the temperature of the earth is in greater need now than ever.

Heavy rainfall leads to more floods and the widening of water flows. This is something that has been noticed in Sweden recently. The Gothenburg area has always suffered from a lot of precipitation and even though the city has a more sophisticated pipe network than many other places, the city is not immune to incidents. For example in 2006, large parts of Göteborgsvägen were flooded when Mölndalsån was flooded. Sahlgrenska University Hospital is located in an area in Gothenburg that has received much criticism due to its unstrategic geographical location. The area is located in a low point in central Gothenburg surrounded by eskers and mountains and has a poor soil layer sequence to handle water.

The purpose of this report is to carry out a downpour study in the Sahlgrenska University Hospital area during a 100-year rainfall and to look at the consequences that arise and possible improvement measures to reduce these. In the study, the programs Scalgo and Mike21 will be used to simulate models of the Sahlgrenska University Hospital's area that will be exposed to 100-year rainfall. Qgis will be used to visualize stormwater drains and result files. All modeling will be done in 2D.

The results from the study and the simulations show that Sahlgrenska University Hospital's area is very exposed to flooding in the event of heavy downpour. Large bodies of water and wide water flows are formed in critical places and around the hospital. Getting the Sahlgrenska University Hospital to be unaffected in the event of a 100-year rainfall is probably impossible, but with certain measures you can minimize the shortcomings. Stormwater solutions were selected and a number of swales, a dry dam and a flood barrier have been modeled into the area as measures to reduce water depths and water bodies in critical areas.

Simulations with the measures separately and combined were performed and it was shown that all measures have a positive impact on Sahlgrenska University Hospital's area in the event of heavy rainfall.

Keywords: climate change, water flows, soil layer sequence, torrential rain, Scalgo, QGIS, Mike21, 100-year rain, gutter wells, stormwater treatment, water collection

INNEHÅLL

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet	1
SAMMANFATTNING	5
ABSTRACT	6
INNEHÅLL	7
Förord	9
Ordlista	10
1 Inledning	13
1.1 Förutsättningar	13
1.2 Syfte	13
1.3 Genomförande	14
1.4 Begränsningar	14
2 Bakgrund	15
2.2 Klimatförändringar	15
2.3 Dagvatten	15
2.3.1 Nederbörd, skyfall och återkomsttid	16
2.3.2 Dagvattenlösningar	18
2.3.2.1 Lokalt omhändertagande	19
2.3.2.2 Fördröjning nära källan	19
2.3.2.3 Trög avledning	20
2.3.2.4 Samlad fördröjning	20
2.3.3 Översvämningsrisk	21
2.3.4 Modellering	22
2.2.4.1 Nivå I : Kartläggning av instängda områden och vattenvägar	22
2.2.4.2 Nivå II : Modellering av ytöversvämning utan anslutet ledningsnät	23
2.2.4.3 Nivå III: Modellering av ytöversvämning med anslutet ledningsnät	24
3 Metod	26
3.1 Områdesbeskrivning	26
3.2 Programvaror.	29
3.2.1 Scalgo	29
3.2.2 QGIS	30
3.2.3 Mike21	32
3.3 Implementerade åtgärder för hantering av dagvatten.	32
4 Resultat	34
4.1 Nivå I	34
4.2 Nivå II	34
4.3 Nivå III	35
4.4 Nivå III med åtgärd 1	36

4.4 Nivå III med åtgärd 2	37
4.4 Nivå III med åtgärd 3	38
5 Diskussion	39
6 Slutsatser	41
7 Referenser	42

Förord

Denna rapport är vårt avslutande examensarbete inom institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola som högstskoleingenjörer. Arbetet omfattar 15 högstskolepoäng och utfördes med hjälp av Kretslopp och Vatten för Göteborgs Stad. Vi vill tacka våra handledare Sebastien Rauch från Chalmers och Quentin Robin Barbier från Kretslopp och Vatten för det tålamod ni visat och den kunskap ni har bidragit med under studiens gång.

Göteborg, maj 2022.

Hannes Holmlund och Emil Pettersson

Ordlista

Dagvatten - Vatten som tillfälligt rinner på markytan, ofta skapat via nederbörd.

Avrinningsområde - Det område dagvatten samlas vid för att föras vidare till vattendrag, sjöar eller hav.

Dagvattenhantering - hantering av dagvatten som reducerar dagvatten-avrinningen i samhället på ett ändamålsenligt sätt.

Förtätning - Nyproduktion av byggnader inom befintlig bebyggelse

Markanvändning - Ett samlingsord för att beskriva vad för sorts verksamhet eller natur som täcker en yta.

Gröna tak - Samlingsnamn för olika vegetationsuppbyggnader på tak eller tak med levande växtlighet.

Infiltration - En process där vatten tränger igenom marken istället för att rinna vidare på ytan.

Interpolering - Metod för beräkning av funktionsvärden som ligger mellan redan kända värden.

Nederbörd - Vatten i olika former som faller från atmosfären

Ortofoto - Geografiska kartor från satelliter.

Råhet - Ett mått över hur slät en yta är, vilket används för att beskriva hur snabbt vatten kan färdas över ytan.

Samhällsviktig verksamhet - En verksamhet som samhället är beroende av som skolor och sjukhus.

Skyfall - Klassifisering av regn, när ett regn överskrider 50 millimeter på under en timme.

Topografi - Höjddata över ett område

Återkomsttid - Vilken intensitet ett regn förekommer i och hur ofta ett sådant regn kan väntas komma baserat på klimatet 2014.

100-årsregn - Ett regn med en nederbördsmängd som uppnås i genomsnitt en gång på 100 år. I denna konceptstudie så multiplicerades nederbördsmängden med en klimatfaktor på 1.2 för att simulera konsekvenserna den globala uppvärmningen förväntas ha på klimatet i Sverige framöver.

1 Inledning

Efter varje år som passerar ökar temperaturen på jorden gradvis tack vare den globala uppvärmningen, en ökad temperatur innebär inte nödvändigtvis en större mängd nederbörd per år men innebär mer koncentrerad nederbörd i form av kraftiga stormar. I stora delar av världen så kommer dagvatten-hanteringssystem i städer att behöva uppgraderas för att vid större nederbörd undvika översvämningar, skador på bebyggelse, sjukdomar samt ett dussin andra problem. Det bestämdes att Sverige skulle studeras, ytterligare att en samhällsviktig funktion skulle undersökas för att se om denna kan fungera vid en kraftigare storm.

Sahlgrenska Universitetssjukhuset i Göteborg ligger topografiskt dåligt till då sjukhuset ligger på lägre mark än omkringliggande områden, jordlagerföljden domineras i området av glacial lera vilket medför dåliga infiltration förutsättningar. Dessa parametrar i kombination medför att Sahlgrenska Universitetssjukhuset riskerar att drabbas av stor översvämning vid kraftig nederbörd. Klarar de dagvattensystem som idag avlastar Sahlgrenska Universitetssjukhuset att leda bort det dagvatten som uppstår vid kraftig nederbörd eller krävs ytterligare åtgärder? I arbetet ska den frågeställningen hanteras, möjliga förbättringsåtgärder samt diskussion om framtida exploatering av området tas också fram.

1.1 Förutsättningar

Inför arbetet diskuterades det om vilka områden i Göteborgs innerstad som blir utsatta för störst påverkan vid kraftig nederbörd och ifall något av intresse för allmänheten eller samhällsviktigt ligger där och isåfall hur den verksamheten påverkas.

Sahlgrenska Universitetssjukhuset är en samhällsviktig funktion som måste fungera dygnet runt året runt. Sjukhusområdet ligger geografiskt dåligt till vid nederbörd då det befinner sig i en lokal lågpunkt som domineras av jordlager med dåliga infiltrations förutsättningar. Detta gör att sjukhuset ligger i en riskzon som kan komma att drabbas utav stora vattensamlingar och eventuellt översvämning vid kraftig nederbörd.

För att få en inblick i vilka konsekvenser kraftig nederbörd har på området kommer detta projekt att ta upp hur Sahlgrenska Universitetssjukhuset blir påverkat av 100-årsregn.

1.2 Syfte

Omständigheterna i världen förändras exponentiellt. Utsläpp av växthusgaser runt om är ett världsproblem som inte nått tillräckliga framsteg under de senaste årtionden (SMHI, 2021).

Kraftig nederbörd blir allt mer förekommande och oförutsägbara och vissa platser blir allt mer utsatta för dagvatten och översvämningar (SMHI, 2017)

Detta projektet kommer att ta upp konsekvenserna vid kraftig nederbörd vid Sahlgrenska Universitetssjukhuset, Förutsättningarna med deras dagvattenhantering samt möjliga

förbättringsförslag enligt ett hållbarhetsperspektiv vid värre konsekvenser av Nederbörd, Skyfall och översvämningar.

1.3 Genomförande

I arbetet så var Quentin Robin Barbier som jobbar för Göteborgs Stad på avdelningen Kretslopp och Vatten delaktig med sin erfarenhet inom nederbörds studier och sin kunskap med simuleringsprogram.

Kretslopp och Vatten samordnar Göteborgs Stads skyfall arbete (Göteborg stad, 2022) och har som uppgift att se till så att Göteborg klarar av kraftiga skyfall.

I tidiga skeden så användes datorprogrammet Scalgo för att identifiera områden i göteborg som är känsliga för översvämning vid kraftig nederbörd, Sahlgrenska Universitetssjukhuset identifierades och valdes att gå vidare med.

Quentin Robin Barbier konstruerade en modellfil över Sahlgrenska Universitetssjukhusets område designad för datorprogrammet Mike21. Modellfilen byggdes med information om topografi från lantmäteriet, markanvändning från lantmäteriet tillsammans med sveriges geologiska undersökning, regndata över göteborg från Kretslopp och Vatten samt information om var rännstensbrunnar i Sahlgrenska Universitetssjukhusets området är placerade från Stadsbyggnadskontorets databas.

Modellfilen dimensionerades efter ett 100-årsregn och i arbetet så simulerades modellen ett flertal gånger där målet var att först identifiera var de värsta översvämningarna runtom sjukhuset uppstod och sedan att åtgärda och förbättra översvämningarna med hjälp av dagvattenlösningar. Information om dagvattenlösningar hämtades från Svenskt vatten.

1.4 Begränsningar

På grund av rådande omständigheter i Europa 2022 kommer rapporten inte ha samma förutsättningar som den annars kunnat ha då Sahlgrenska Universitetssjukhuset inte haft möjlighet att dela information om ledningsnätet som sjukhuset använder sig av. Istället substituerades det mot information om var rännstensbrunnar i sjukhusområdet är placerade utgivet av Göteborg stad.

Sahlgrenska Universitetssjukhuset har sedan några år tillbaka varit medvetna om risken för översvämning vid kraftig nederbörd och ett flertal åtgärder har tagits för att minska dessa. Åtgärderna finns inte med i denna konceptstudie då tillgång till information om dessa åtgärder inte blivit tilldelats.

Dessa två faktorer innebär att översvämningsrisken inom Sahlgrenska Universitetssjukhuset som presenteras i denna rapport endast är konceptuell och inte är representativ för verkligheten.

2 Bakgrund

2.2 Klimatförändringar

Nederbörd som är ett meteorologiskt samlingsnamn innefattar "Flytande eller fasta vattenpartiklar som faller genom atmosfären" (SMHI, 2021) .

Nederbörd bildas genom vattnets kretslopp, i vilket vatten från mark och sjöar avdunstar och bildar vattenånga. När vattenångan når atmosfären kondenserar den och faller tillbaka på jorden igen. Detta kan förekomma i former som snö, hagel eller regn men vilken form vattnet än kommer i klassas det som nederbörd.

Nederbörd har ett väldigt stort inflytande på vårt moderna samhälle. På många sätt som det kan vara fördelaktigt i samhällets vardag, så kan det också komma med konsekvenser. Kraftig nederbörd kan ge upphov till översvämningar, ofunktionell samhällsviktig verksamhet och översvämmade skördar.

Med anledning av klimatförändringarna har Sverige fått en markant ökning av nederbörd de senaste åren. På bara en 30 årsperiod har nederbörds statistiken ökat för hela året. störst skillnad har mätts upp på sommaren. Om inte drastiska åtgärder görs inom klimatpolitik kommer denna ökning att fortsätta exponera i framtiden med hjälp av de mänskliga utsläppen av växthusgaser. (SMHI, 2017)

Världens utsläpp av koldioxid fortsätter att vara en av de största faktorerna till klimatförändringarna där den ökande procentuella halten av växthusgasers förekommande i atmosfären hjälper till med den globala uppvärmningen. Studier visar på mer förekommande extremväder såsom extrem hetta och större intensivare skyfall (WWF, 2022)

Klimatmodeller har på senare år visat att ett skyfall kommer att utge 20 till 30 procent mer regn vid det nästkommande sekelskiftet. En intensiv korttidsnederbörd är ett regn som ger stora konsekvenser i tätade städer med dagvatten och översvämningar. en intensiv korttidsnederbörd utlöser stora mängder vatten under en kortare tid, Detta förekommer oftast på sommarhalvåret. (SMHI, 2017)

2.3 Dagvatten

När Nederbörd faller ner på jorden så samlas vattnet på marken. Den största delen av vattnet åker ner i jorden men när det är kraftigare nederbörd har inte jorden kapacitet att ta hand om allt vatten som kommer, det överblivna vattnet eller det vattnet som lägger sig på markytan kallas för dagvatten. Detta tas hand om genom att använda sig av olika typer av

dagvattenhantering, mer om dagvattenhantering nämns i kapitel 2.3.2. Detta vatten förs sedan vidare till avloppsreningsverk eller direkt ut i närmsta vattendrag (Göteborg stad, 2022)

Med förtätning i framförallt storstäder tillkommer det allt mer ytor som är helt täckta av till exempel asfalt och betongkonstruktioner. Detta medför större risker att stora samlingar av dagvatten bildas. Om vi visualiserar Sahlgrenska Universitetssjukhusets område så kan vi se att markytan består till mestadels utav asfalt och betongplattor, framförallt den östra delen av Sahlgrenska där torget är beläget (Göteborg stad, 2022).

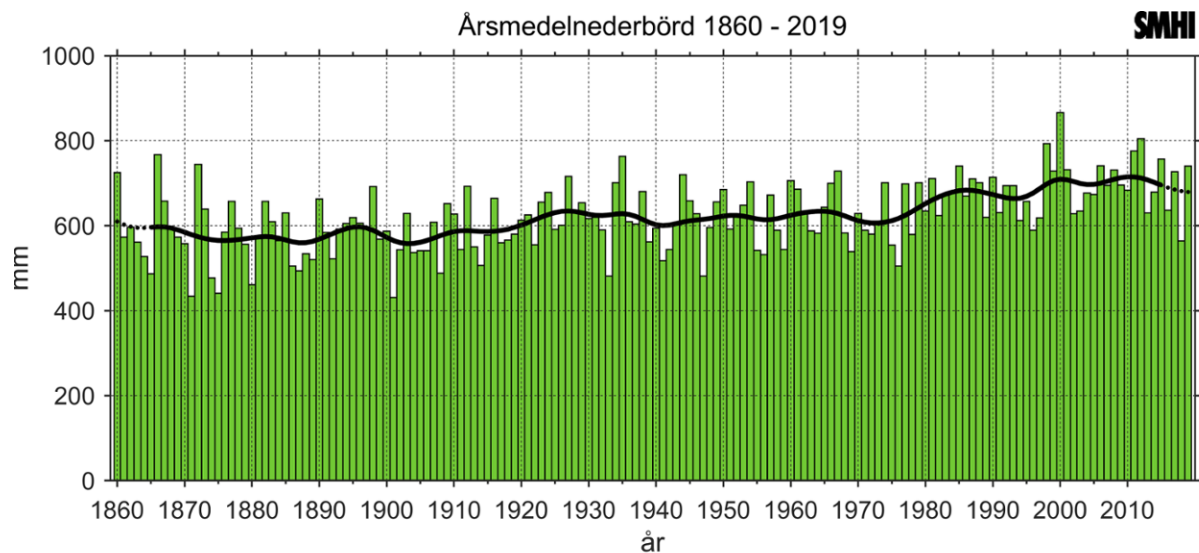


Figur 1 Visar exempel (A & B) på hur dagvatten kan samlas (Södertälje kommun 2022).

2.3.1 Nederbörd, skyfall och återkomsttid

För att former av regn, hagel eller snö som faller från atmosfären ska få definieras som nederbörd måste regnintensiteten vara större än 0,1 millimeter på 1 dygn (Stockholms stad, 2021).

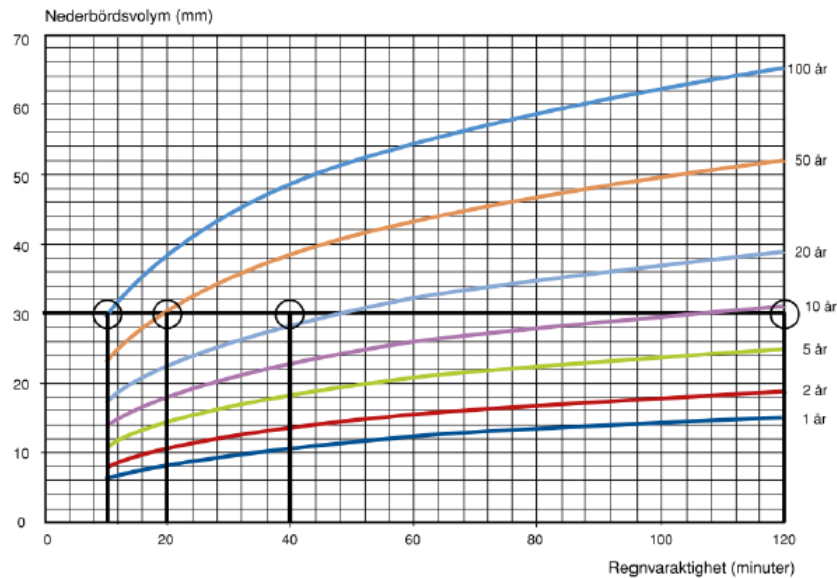
I Sverige har årsnederbörden varit omkring 600 till 700 millimeter under de senaste åren (SMHI 2022). Jämför vi den nuvarande statistiken med nederbörd som förekom mellan perioden 1860 och 1900 kan det bekräftas att årsmedelnederbörden inte översteg 600 millimeter medans på senare år har den överstigit 700 millimeter.



Figur 2 Visar Årsmedelnederbörd över Sverige under åren 1860 till 2019 (SMHI 2022).

Skillnaden mellan nederbörd och skyfall klassas enbart av hur stor regnintensiteten är. Om ett oväder inträffar och regnintensiteten är mer än 50 millimeter på 1 timme klassas det som ett skyfall om intensiteten är mindre än 50 millimeter på 1 timme klassas det som nederbörd (SMHI, 2021). Ett Skyfall i utsträckningen 50 millimeter under 1 timme kommer att ge en återkomsttid på ca 80 år. Den globala uppvärmningen hjälper till i utökningen av skyfall. Då klimatet blir stegvis varmare ger det även upphov till större mängd avdunstning, vilket i sin tur leder till mer intensiv nederbörd.

När man pratar om återkomsttid definieras det som tidsintervallet nederbörd eller ett skyfall kan förväntas återkomma (MSB, 2017). För att bedöma vilken form av återkomsttid en viss nederbörd har behövs två mätvärden. Det ena är hur mycket nederbörd som faller och det andra är i vilken utsträckt tid det faller, (se figur 3). Till exempel för att det ska klassas som ett hundraårigt regn kommer det krävas 30 millimeter på cirka 10 minuter eller 55 millimeter under en timme (SMHI, 2021).



figur 3 Graf över återkomsttiden i förhållande till nederbördsvolym samt regnvaraktighet. (MSB, 2017)

För att beräkna en återkomsttid krävs mätdata över nederbördens statistik ett antal år tillbaka. För att man ska kunna ha en så trovärdig statistik som möjligt behöver den insamlade datan vara så lite oförändrad genom åren som möjligt, helst opåverkad (SMHI 2021). Med tanke på de nuvarande klimatförändringarna i världen har vi fått en förändring i hur nederbörden ser ut. Detta gör det nästan omöjligt att beräkna framtida återkomsttider då nederbörden ökar successivt i förhållande till växthusgasernas utsläpp (MSB, 2022).

Åter- komst tid (år)	Sannolikhet under 2 år (%)	Sannolikhet under 10 år (%)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
2	75	100	100	100
10	19	65	99	100
50	4	18	64	87
100	2	10	39	63

Figur 4 visar återkomsttiden sannolikhet att inträffa. (SMHI, 2021)

2.3.2 Dagvattenlösningar

En dagvattenlösning är en metod eller åtgärd som går ut på att förhindra eller fördröja framledningen av dagvatten (Svenskt Vatten, 2011). När det kommer till fysisk planering så finns det krav på att dagvatten ska hanteras, kraven kommer ifrån lag (2006:412) om allmänna vattentjänster (Boverket, 2015). När det kommer till hanteringen av dagvatten i Sverige så finns det fyra stycken grundprinciper, lokalt omhändertagande, fördröjning nära källan, trög avledning samt samlad fördröjning (Svenskt Vatten, 2011).

2.3.2.1 Lokalt omhändertagande

Lokalt omhändertagande innebär att hanteringen av dagvatten sker direkt på platsen där det uppstår (Lidingö stad, 2020). Istället för att dagvattnet leds ner i ledningsnätet eller ut på hårda ytor så leds dagvattnet ut lokalt till gröna ytor och våtmarker där infiltration och perkolation kan hantera dagvattnet.

Gröna tak är ett exempel på lokalt omhändertagande och är en metod som fördröjer och minskar mängden regnvatten som rinner av från ett tak och ner på gatan genom att en växtbädd installeras på taket. Gröna tak har högre infiltration och råhet än vad ett traditionellt stål eller lertegeltak har (Plats för vattnet, 2022). Gröna tak är också utmärkt att använda i hård stadsmiljö då taken hjälper att avlasta gatornas dagvattensystem utan att vara direkt i vägen nere på gatorna (SLU, 2019).

Förutom fördelarna när det kommer till dagvattenhantering så bidrar gröna tak också positivt till biologisk mångfald, temperaturreglering, syreproduktion, bullerdämpning med mera, vilket innebär att gröna tak ingår i grön infrastruktur, ett begrepp som innebär långsiktiga lösningar för hållbara landskap (Länssyttelsen, Västra Götaland, 2022).

2.3.2.2 Fördröjning nära källan

Fördröjning nära källan är en grundprincip där det primära målet är att minska dagvattnets framfart till ledningsnätet (Svenskt Vatten, 2011). Fördröjning nära källan består oftast av små konstruktioner och har därav inte lika stor påverkan som metoder inom samlad fördröjning, men det är ändå en mycket viktig metod vid kraftig nederbörd då metoder inom principen hjälper till med att det lokala ledningsnätet inte blir överbelastat.

Skelettjord är en metod inom fördröjning nära källan där växtjord blandad med grov makadam (100-150 millimeter) fyller ett schakt (Stockholm vatten och avfall, 2017). Detta görs i stadsmiljö där man vill sätta ut ett träd för att ge plats åt trädets rötter men fungerar även som ett underjordiskt magasin som kan ta upp och bromsa framfarten av dagvatten.

Växtbäddar, även kallade biofilter, regnbädd eller regnträdgård är nedsänkta planteringsytor omgivna av hårt material som fördröjer dagvatten och renar det via infiltration (VA-guiden 2021). Högst upp i sänkan placeras vattentåliga växter som starr, olika grässorter och örter. Dagvatten samlas i sänkan och infiltrerar jorden, växter tar upp en del av vattnet och resten rör sig ner till filtermaterial och sedan ner till grundvattnet eller vidare till ledningsnätet.

2.3.2.3 Trög avledning

Trög avledning är likt fördröjning nära källan en princip där metoderna inom den främst har som uppgift att sakta framfarten av dagvatten till ledningsnätet (Svenskt Vatten, 2011). Istället för att vara metoder som tar upp dagvattnet på plats innebär trög avledning metoder där dagvattnet transporteras bort mot ledningsnätet. Metoderna går ofta ut på att ta upp så mycket dagvatten som möjligt från omkringliggande hårda ytor och på det viset bromsa framfarten av dagvatten.

Ett svackdike är ett dike som kan fördröja och avleda dagvatten från hårdgjorda ytor. Diket skiljer sig från vanliga diken då det är klätt i växter och kan rena dagvatten via sedimentation och till viss del infiltration (VA-guiden, 2018). Bortsett ifrån avledning och istället med fokus på rening är Svackdiken i sig själv ofta inte en bra nog lösning för att uppnå tillräcklig rening av dagvatten. Istället är svackdiken utmärkta på att komplettera andra renings lösningar då de kan kombineras med andra system både före och efter. Till exempel så kan ett svackdike leda dagvatten till en dagvattendamm eller agera som trög avledning från en växtbädd.

2.3.2.4 Samlad fördröjning

Samlad fördröjning är den sista principen och är den som har störst effekt när det kommer till framfarten av dagvatten (Svenskt Vatten, 2011). Samlad fördröjning går ut på att ta upp och tillfälligt lagra dagvatten och hålla det där tills att ledningsnätet är mindre belastat och kan då leda vidare dagvattnet. Metoderna består oftast utav öppna ytor och dammar.

Överdämningsytor, även kallade torra dammar är en metod inom samlad fördröjning som består av öppna ytor där en stor mängd vatten kan samlas (Stockholms län, 2016). Ofta så finns en permanent damm i mitten av dessa ytor och självaste ytan består av flacka gräsytor som lutar mot dammen (VA-guiden, 2021). Förutom att ta upp dagvatten från omkringliggande områden som skapats av direkt nederbörd så är överdämningsytor också ofta försedda med brunnar kopplade till ledningsnätet. Det tillåter vatten i ett överbelastat ledningsnät att rinna ut ur ledningsnätet och ut i överdämningsytan där det kan befinna sig tills att ledningsnätet är mindre belastat och då rinna tillbaka till ledningsnätet igen.



Figur 5. Illustration av torr damm försedd med brunn kopplad till ledningsnätet. (Stockholms län, 2016)

Dagvattendammar är en annan metod inom principen som avlastar ledningsnätet, bäckar och sjöar då de har som förmåga att mellanlagra stora mängder vatten och via det bromsa vattnets framfart till ledningsnätet (Eslövs kommun, 2021).

Dagvattendammar har också en positiv effekt på biologisk mångfald då många habitat i våtmarker tas bort vid mänsklig exploation, groddjur, kräldjur, salamandrar och trollsländor kan gynnas av dagvattendammar och frodas (F. Johansson et al., 2019). För människor så uppskattas ofta parkmiljö med vattendrag och för majoriteten av människor innebär det en plats där energi återhämtas och ro uppnås.

Dagvattendammar är också bra på att rena vatten från partikelbundna föroreningar som metaller via sedimentation (Våtmarksguiden, 2016)

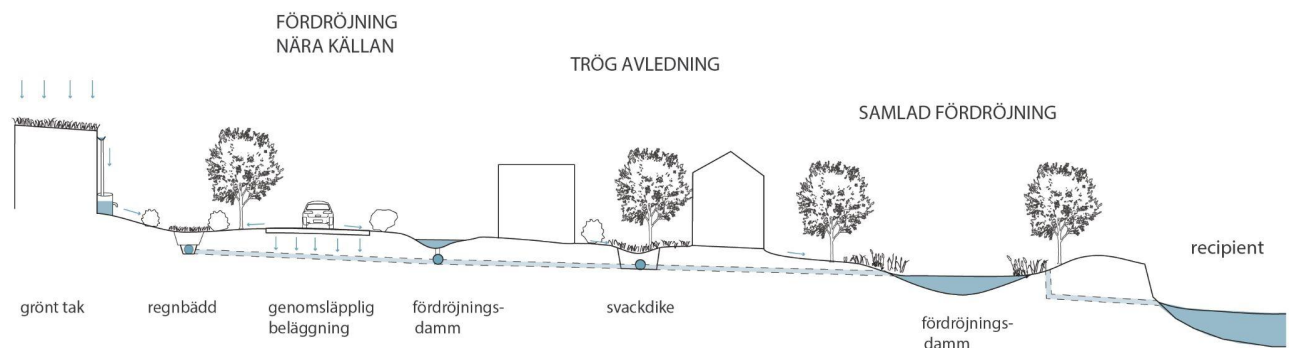


Fig 6. Illustration av de fyra grundprinciperna inom dagvattenhantering (Svenskt Vatten, 2011)

2.3.3 Översvämningsrisk

I samhället är dagvattenhanteringen en av de viktigaste punkterna för att förhindra översvämningsrisker. Dessa lösningar har dessvärre en maximal kapacitet för hur mycket vatten som kan filtreras bort från markytan. Detta betyder att när ett skyfall eller större nederbörd inträffar kommer hanteringen bara kunna ta hand om en viss del av dagvattnet (Göteborg stad, 2022). Följderna på det överblivna dagvattnet blir avrinningar på markytan vilket bidrar till större risker för översvämningsrisker, framförallt på platser som klassas som riskzoner. (MSB, 2017).

En översvämningsrisk kan ha stora konsekvenser på bebyggelse, infrastruktur och framförallt samhällsviktig verksamhet där det förekommer högre risk för större konsekvenser och även dödsfall. Översvämningsrisker kan till exempel förhindra framkomligheten för ambulanser, leda till översvämningsrisker på källarplan och slå ut elektroniken helt i områden enligt Glen Nivert, enhetschef för dagvatten och skyfall på Kretslopp och vatten.

Genom förtätningen av storstäder och ökningen av asfalterade områden minskar genomsläppligheten till marken, och mindre dagvatten kan tas upp i jorden. En helt

problemfri skyfallshantering är troligtvis omöjlig i form av utökade ledningsnät, då detta skulle medföra en orimligt dyr kostnad (MSB, 2017).

För att förhindra skyfall på det effektivaste sättet är istället för utökade ledningsnät bebyggda ytor där en översvämning blir så konsekvensfri som möjligt. Detta kan göras med hjälp av dagvatten lösningar som är beskrivna i 2.2.2. Men även känna till och verkställa en höjdsättning på bästa sätt som leder iväg vattnet på rätt sätt (MSB, 2017).

I samband med översvämning finns det alltid en risk för livshotande scenarier. När en översvämning förekommer är den direkta faran för människoliv beroende av faktorerna vattendjup och vattenhastighet. Med dessa faktorer kan man sedan bygga upp en riskmatris som visar statistiken över en livshotande situation, (se figur 7) där ett resultat över 2.5 är livshotande.

(V+C) *D		Vattendjup									
Vattenhastighet		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
0.00		0.13	0.25	0.38	0.50	0.63	0.75	0.88	1.00	1.13	1.25
0.50		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
1.00		0.38	0.75	1.13	1.50	1.88	2.25	2.63	3.00	3.38	3.75
1.50		0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
2.00		0.63	1.25	1.88	2.50	3.13	3.75	4.38	5.00	5.63	6.25
2.50		0.75	1.50	2.25	3.00	3.75	4.50	5.25	6.00	6.75	7.50
3.00		0.88	1.75	2.63	3.50	4.38	5.25	6.13	7.00	7.88	8.75
3.50		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
4.00		1.13	2.25	3.38	4.50	5.63	6.75	7.88	9.00	10.13	11.25
4.50		1.25	2.50	3.75	5.00	6.25	7.50	8.75	10.00	11.25	12.50
5.00		1.38	2.75	4.13	5.50	6.88	8.25	9.63	11.00	12.38	13.75

Figur 7 visar riskmatris på översvämningar beroende av vattendjup och vattenhastighet (MSB, 2017).

2.3.4 Modellering

För att kunna utföra analyser på nederbörd så krävs det att en modell byggs upp av området som vill studeras. När det kommer till nederbörds analyser så finns det tre nivåer som appliceras framtagna av Svenskt vatten utveckling (Blomquist et al., 2016). Nivåerna skiljs åt på hur noggrant och detaljerat resultat som söks där nivå I är den mest grundläggande och nivå III den mest detaljerade.

2.2.4.1 Nivå I : Kartläggning av instängda områden och vattenvägar

Nivå I är den mest grundläggande av de tre nivåerna och är användbar för att snabbt identifiera vattenvägar samt lokala lågpunkter (Blomquist et al., 2016). Nivån tar endast hänsyn till områdets topografi och utsätts för en konstant nederbördsmängd och analyserar med det vart dagvatten kommer att färdas och samlas

Nivån är användbar för att få en snabb översikt av ett områdes egenskaper vid ett tidigt skede.

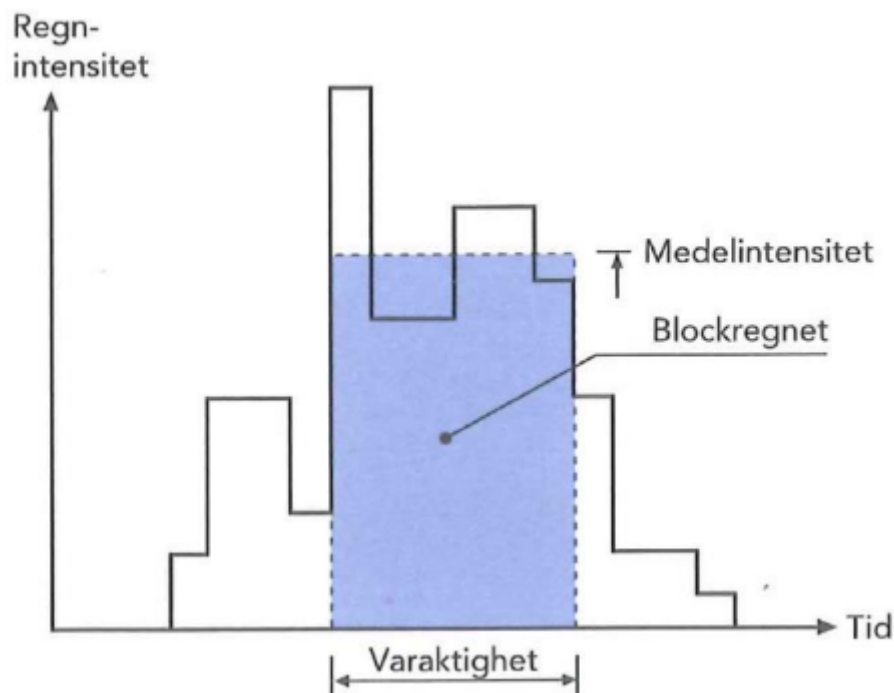
Modelleringen sker oftast med hjälp av GIS-baserade programvaror.

2.2.4.2 Nivå II : Modellering av ytöversvämning utan anslutet ledningsnät

Nivå II innebär en djupare analys där förutom topografins egenskaper så studeras även markens egenskaper. Nivå I antar att marken inte har någon infiltration samt att råheten är lika med noll. Men i nivå II så tas hänsyn till båda faktorerna för att ge ett mer verklighetstroget resultat. Infiltration förmedlar om hur mycket vatten som tränger ner i marken istället för att rinna vidare på ytan medans råhet är ett mått på en ytas släthet, det vill säga hur fort vattnet rinner på ytan (Degarmo et al., 2003).

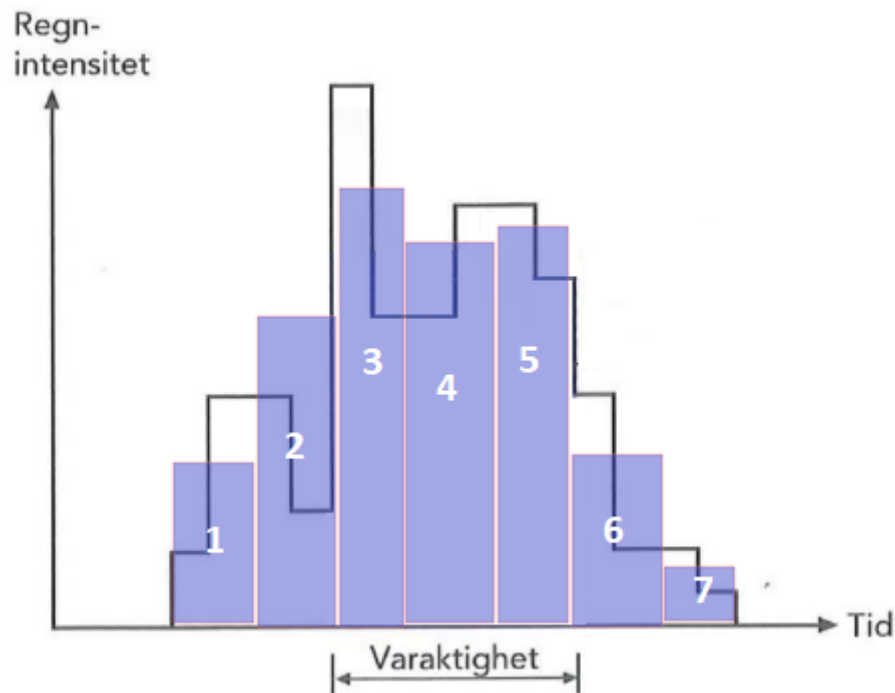
Utöver det så modelleras också nederbörden inte längre som konstant, istället för att använda sig av den totala nederbörden så tas den tid som det regnade med i ekvationen där intensiteten på mängden nederbörd varierar över tiden (Blomquist et al., 2016). Det görs för att verkliga regn i sin natur är dynamiska i tiden och därav blir resultatet mer verklighets troligt. Det finns två typer av modelleringsregn att använda sig av, de är blockregn och CDS-regn. För att använda sig av dessa modelleringsregn krävs det att ett regn i området observeras.

Ett blockregn är en version av ett observerat regn som förenklas genom att medel intensiteten vid regnets mest intensiva period ställs upp så att intensiteten är konstant (Svenskt Vatten, 2011). Utöver att endast en intensitet behöver ställas upp så blir varaktigheten också mindre som en följd vilket sparar på processorkraft.



Figur 8. Regndata för ett regn där ett blockregn för en vald varaktighet har markerats. (Svenskt Vatten, 2011).

Ett CDS-regn (Chicago Design Storm) är en mer detaljerad version utav ett blockregn som ger mer verklighetstroga resultat (Svenskt Vatten, 2011). Ett CDS-regn kollar till hela det observerade regnets varaktighet och består utav ett flertal blockregn som görs över delområden under det observerade regnet. Att ta fram samt att simulera ett CDS-regn är både mer tidskrävande och tyngre på datorprocessorer men brukar i dagens nederbörds-studier vara gynnsamt då det ger större säkerhet och processorer har blivit bättre.



Figur 9. Regndata för ett regn där ett CDS-regn konstruerats av 7 stycken blockregn (Egen bild)

Modelleringen på nivå II kan utföras i 2D eller 1D (två dimensioner, en dimension) när det kommer till höjdmodellen (Blomquist et al., 2016). 1D passar bra för analyser där vattnet rinner åt ett håll som t.ex. i floder, åar och kanaler medans 2D passar bra för större ytor där vattnets väg fram är icke förutsägbar.

2.2.4.3 Nivå III: Modellering av ytöversvämning med anslutet ledningsnät

Nytt för nivå III är att man tar med ledningsnätet i analysen. Modellen från nivå II kopplas samman med ett planerat eller befintligt ledningsnät, detta brukar kallas en kopplad modell (Blomquist et al., 2016). Ledningsnätet innebär att brunnar och andra avledningssystem faktoriseras in i simuleringen vilket ger mer verklighetstroga resultat.

När en nivå III modell simuleras så finns det två olika sätt att göra det på.

Den vanligaste simulationen innebär att man fyller ledningsnätet så att ytan översvämmas via ledningsnätet. Det är en bra metod för områden där det redan finns en kalibrerad ledningsnäts-modell då infiltration och andra faktorer ofta är inräknade i delarna av ledningsnätet som hanterar avrinning.

En stor nackdel med denna metod är att riskområden som inte är kopplade till ledningsnätet inte kommer att visas som ett riskområde för översvämning, som t.ex. en grop som har en avsaknad av en brunn i sig kommer inte att vara fylld med vatten i simuleringen, något som definitivt skulle inträffa på riktigt.

Den andra metoden som kan faktorisera för detta innebär att regnet först läggs till på ytan och sedan tillåts rinna ned i ledningsnätet. För denna metod bör infiltration och reduktionsfaktorer beaktas för att flödet inte ska överskattas. Nackdelen med denna modell är att det kan vara väldigt svårt att få verklighetstroga siffror på infiltration och råhet för markytan som stämmer överens med ledningsnätet.

En bra ide för att få så verklighetstroget resultat som möjligt är att simulera båda metoderna och reflektera över resultaten.

3 Metod

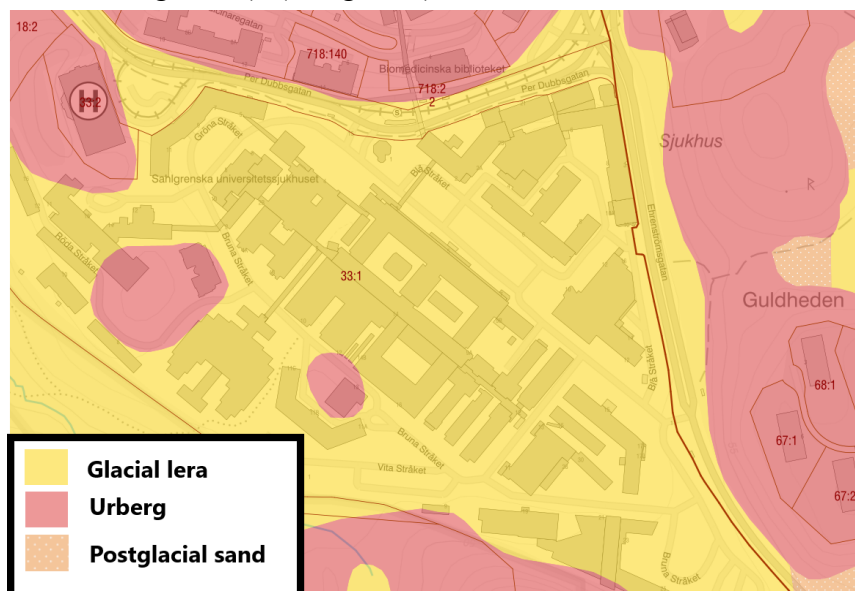
För att kunna få en bild av hur Sahlgrenska Universitetssjukhusets område drabbas vid kraftig nederbörd så krävs det att modellen som används vid simulering är välkonstruerad med uppdaterad information om området.

3.1 Områdesbeskrivning

Sahlgrenska Universitetssjukhuset är beläget i centrala Göteborg mellan stadsdelarna Änggården och Guldheden. Sahlgrenska Universitetssjukhuset är Sveriges största sjukhus och täcker en yta på drygt 17 hektar (Sahlgrenska Universitetssjukhuset, 2022). Sjukhuset har 17 000 anställda medarbetare i regionen och har en kapacitet på 1600 vårdplatser.

Sjukhuset bildades år 1997 då akutsjukhusen Mölndals sjukhus, Östra sjukhuset och Sahlgrenska Sjukhuset slogs ihop till ett samarbete (Sahlgrenska Universitetssjukhuset, 2021).

Sahlgrenska Universitetssjukhuset ligger geografiskt dåligt till när det kommer till nederbörd då det befinner sig i en lokal lågpunkt omgivet av rullstensåsar och berg, enligt Glen Nivert, enhetschef för dagvatten och skyfall på Kretslopp och vatten så “Ser Sahlgrenska Universitetssjukhuset ut att ligga högt, men det ligger i en gryta” Dagvatten från omkringliggande områden transporteras som en följd av detta till området och riskerar att orsaka översvämning. Utöver det så består området av jordlager med dåliga infiltrations förutsättningar, primärt glacial lera men även inslag av glacial sand och urberg (Svergies Geologiska Undersökning, 2022), (se figur 10).



Figur 10. SGUs jordartskarta över Sahlgrenska Universitetssjukhuset.

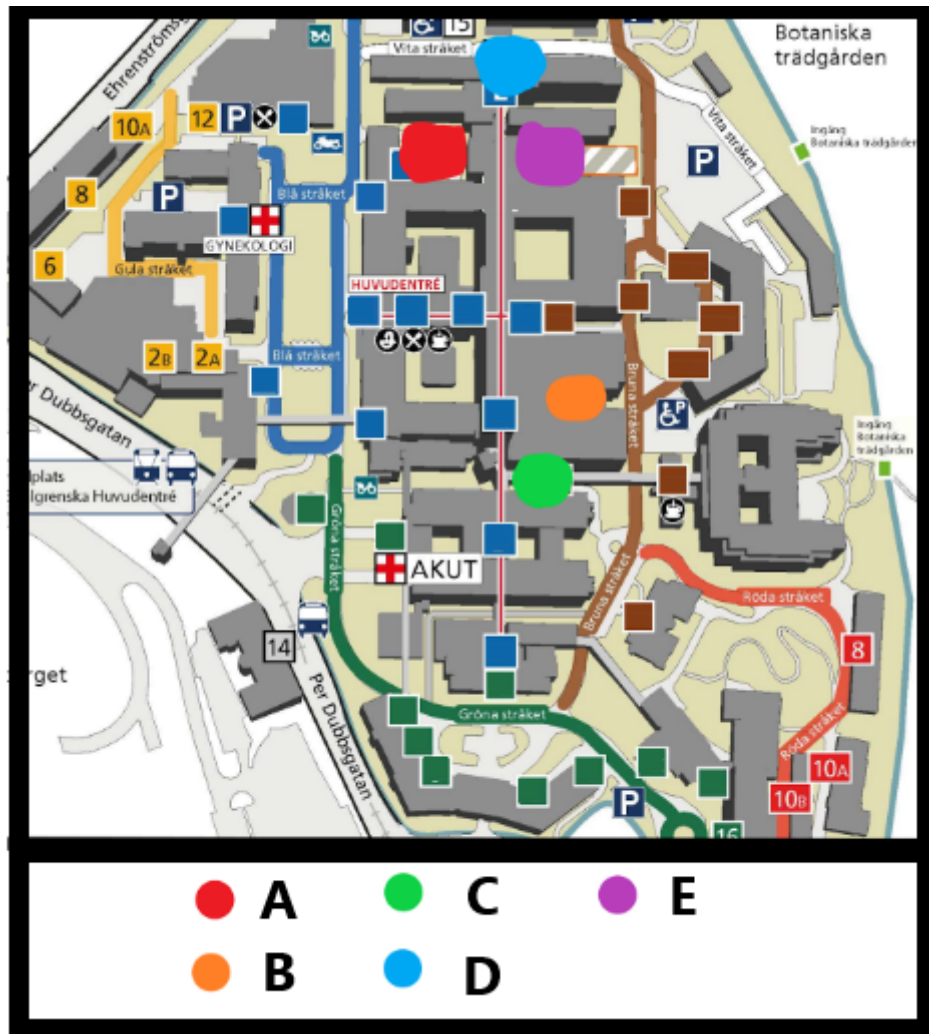
I dagsläget så har Sahlgrenska sjukhuset ett dussin rännstensbrunnar utplacerade, träd med skelettjord runtom sin bas är planterade runt om sjukhuset och på framsidan längs med den stora parkeringen så finns långa dagvatten-galler utplacerade. Det kan hantera vanligt

förekommande nederbörd, men frågan är ifall det kan ta hand om kraftig nederbörd, något som kommer bli alltmer vanligt framöver. Enligt Glen Nivert så skulle ett 100-årsregn i dagsläget “Slå ut hela Sahlgrenska Universitetssjukhuset, det är bara en fråga om tid när det händer, det kan komma imorgon eller så kan det dröja hundra år”.



Fig 11. Dagvatten-galler och skelettjord vid Sahlgrenska sjukhuset

Ett flertal fältbesök gjordes till Sahlgrenska sjukhuset där vi studerade eventuellt kritiska områden, områdena kommer att nämnas som område A-E senare i rapporten. Områdena är Innergården på sjukhusets norra fasad - A, personal entren till matsalen på södra sidan - B, nedfarten för ambulans under gångbron på södra sidan - C, vid vitra stråket på östra kortsidan - D samt arbetsområdet på södra sidan - E. Det är områden som vi tror kan få problem med översvämning.



Figur 12. Karta över Sahlgrenska sjukhuset med de kritiska områdena utmarkerade.



Figur 13. Kritiskt område A och B (Egen bild)



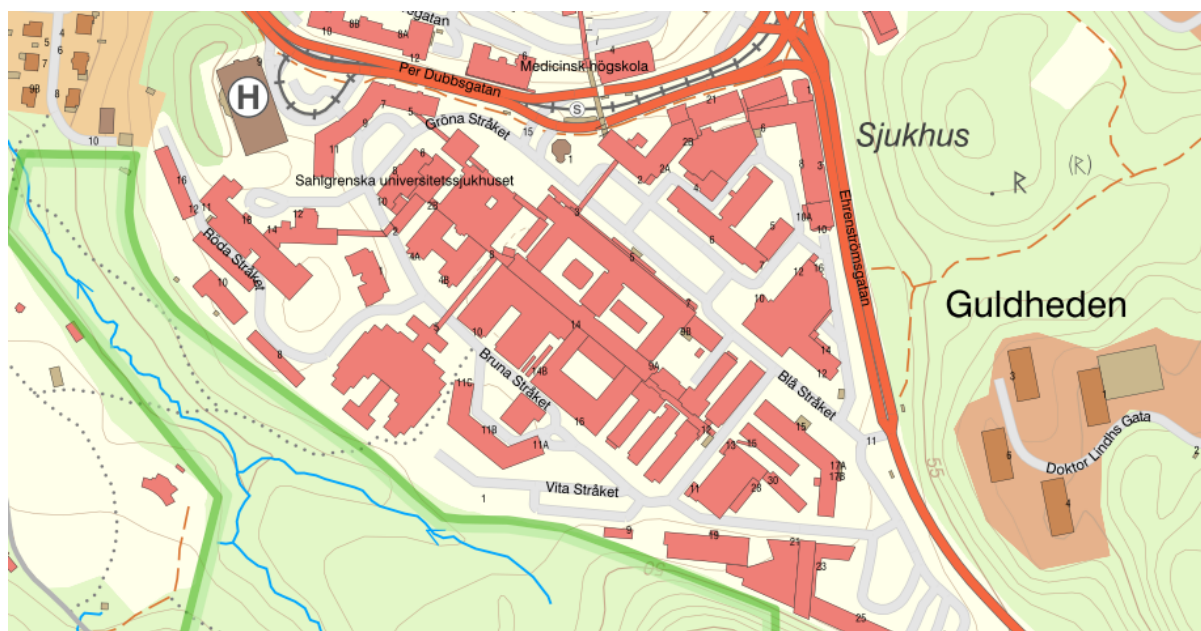
Figur 14. Kritiskt område C och D (Egen bild)

3.2 Programvaror.

För att modellera upp en skyfalls beräkning över Sahlgrenska Universitetssjukhusets område har varierande dataprogram använts beroende på vilken nivå (I - III) modellen struktureras för. Programvaror som valdes till projektet var för nivå I Scalgo, nivå II Mike21 och nivå III Mike21 samt Qgis.

3.2.1 Scalgo

För att göra en överblick på Nivå I har programmet Scalgo använts. Scalgo är ett enklare simuleringsprogram för nederbörd och skyfall. Programmet simulerar all nederbörd i en så kallad glas baserad markyta. Det betyder att det inte förekommer några former av infiltration i simulationerna. Även råheten är lika med noll i Scalgo. Dagvattnet kommer därför att stanna på markytan och bilda vattensamlingar och rinnvägar snabbare än vad som kan förväntas i verkligheten. Scalgo är försedd med kartor över hela Sveriges geografiska position vilket förenklar åtkomsten av området Sahlgrenska (Scalgo 2022).



Figur 15 Sahlgrenskas Universitetssjukhusets område visualiserat i Scalgo

I ett tidigt skede av projektet fungerar scalgo utmärkt till att lokalisera och identifiera riskzoner i området. Framförallt kan man undersöka vart i området lågpunkter finns och vart kritiska områden kommer att uppstå för vattensamlingar. Man kan även uppfatta hur vattnet rinner och var avrinningsområden framträder. För att simulera ett 100-års regn i Scalgo sattes nederbörds mängden till 55 millimeter under en timme. För att visualisera hur djupa vattensamlingarna är kan water depth ändras till det maximala värdet vilket blev 3.86 meter djupt.

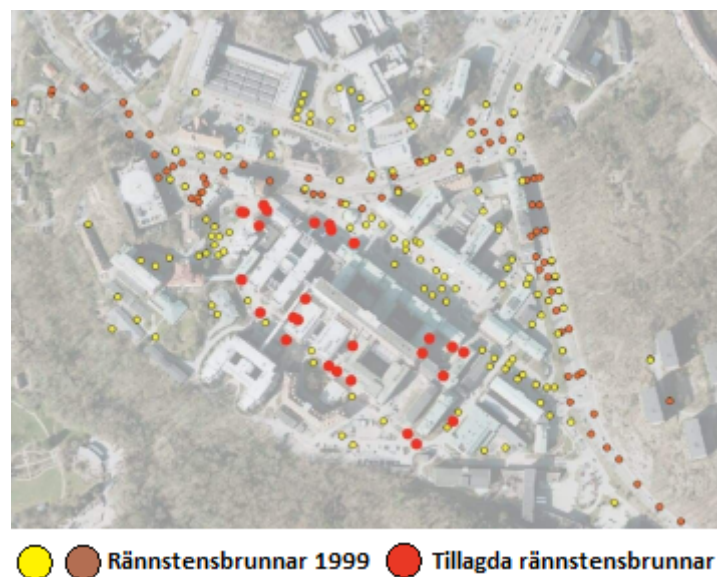
3.2.2 QGIS

Geografiska informationssystem eller GIS som det förkortas är digitalt länkade kartor med information om saker som topografin i ett område, hur vägar är strukturerade eller olika händelser som tar plats. De flesta människor använder sig utav GIS modeller dagligen utan att tänka på det. Framförallt i mobiltelefoner där flera olika typer av appar är uppbyggda på just datorbaserade GIS system (Lantmäteriet, 2022).

QGIS användes till att identifiera rännstensbrunnars geografiska position samt att överlägga områdets topografi. Detta görs för att sedan föra vidare informationen till datorprogrammet Mike21 (QGIS 3.24, 2022). Utöver det så användes QGIS även för att visualisera resultatfilerna skapade av Mike21.

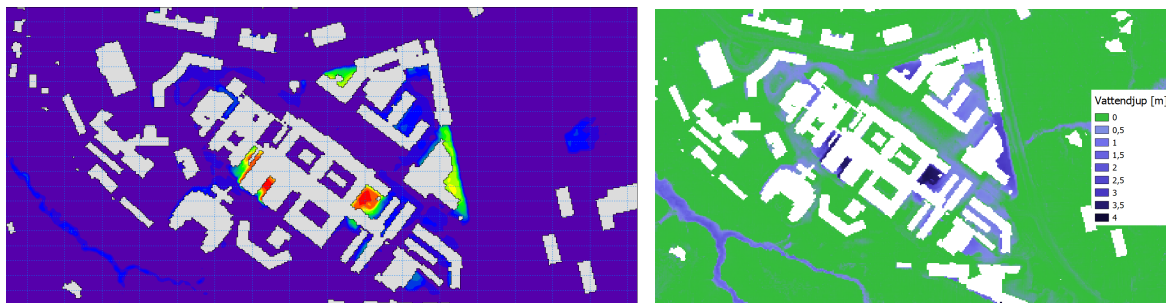
Till att börja med behövs en karta över Sahlgrenska Universitetssjukhuset där information om topografi, byggnaders placering och brunnars förekommande finns. I QGIS finns det inlagt olika typer av kartor över Sverige och med hjälp av koordinater kunde vi lokalisera de celler som tillhör Sahlgrenska Universitetssjukhuset.

För att bestämma rännstensbrunnarnas geografiska position har vi fått tillhandahålla ett ortofoto över rännstensbrunnarnas geografiska position hämtat från Stadsbyggnadskontorets databas baserat på hur uppbyggnaden var år 1999. Då informationen är 22 år gammal så gjordes ett fältbesök där fokus låg på att observera områdets rännstensbrunnar. Under fält-undersökningen observerades brunnarna i Sahlgrenska Universitetssjukhusets område och jämfördes sedan med filen om brunnarnas position 1999. Det observerades att 27 stycken rännstensbrunnar har tillkommit under de senaste 22 åren, dessa brunnar tillsammans med brunnarna från visualiserings filen har sedan implementerats i Qgis tillsammans med ett ortofoto över Sahlgrenska Universitetssjukhusets område.



Figur 16 Visar rännstensbrunnar från Visualiserings Filer av göteborg stad samt själv inmatade rännstensbrunnar

När det kom till att visualisera resultatfiler för nivåer och åtgärder i Mike21 så behövde filer från DHI läggas i QGIS filer. När det var gjort så kunde Mike21 resultatfiler öppnas i Qgis där en mer tydlig bild av resultaten kunde visualiseras.



Figurer 17 visar omvandlingen av en resultatfil från Mike21 till QGIS.

3.2.3 Mike21

Mike21 är ett datorprogram framtaget av det danska företaget DHI som kan användas för att simulera flöden från nederbörd på nivå II och III. För att Mike21 ska kunna utföra en simulering av nederbörd och ta fram de resultat som är relevanta för undersökningen så behövde data om Sahlgrenska Universitetssjukhusets område samlas in och sedan skrivas om för programmet. Mike läser 2D-kartor och det bestämdes att en upplösning på 2x2 meter var rimligt för denna studie, det innebär att kartor bestående av ett rutnät där varje ruta representerar 2x2 kvadratmeter behövde skapas för topografi, den lokala markanvändningen, markens infiltration, markens råhet samt för ett CDC-regn modellerat efter ett 100-årsregn.

Informationen om topografin och byggnader i området hämtades från Lantmäteriet och konverterades till en höjdkarta med 2x2 meters upplösning. Markanvändningen i Sahlgrenska Universitetssjukhusets område beställdes sedan tidigare utav Kretslopp och Vatten från en konsult som konstruerade en 2D-karta med ingående parametrar från Lantmäteriet och Sveriges Geologiska Undersökning. Utifrån denna karta konstruerades en karta för infiltration och en för råhet, båda i 2x2 meter upplösning. Rännstensbrunnarnas position hämtades från Stadsbyggnadskontorets databas i form av ett ortofoto som nämns ovan i 2.3.2. Rännstensbrunnarna modellerades in i infiltrations filen manuellt och totalt blev det 99 stycken rännstensbrunnar. Samtliga dimensionerades för att kunna absorbera 20 liter per sekund vilket gestaltar ett 10-års regn enligt Svenskt Vattens rapport "Beredskapsplanernig för skyfall" (Svenskt Vatten, 2017). Slutligen så konstruerades en karta med 2x2 meters upplösning för nederbörd med hjälp utav ett CDC-regn modellerat efter ett 100-års regn för Sahlgrenska Universitetssjukhusets område med en varaktighet på 6 timmar. Den information som CDC-regnet byggdes med hämtades från Kretslopp och Vatten.

3.3 Implementerade åtgärder för hantering av dagvatten.

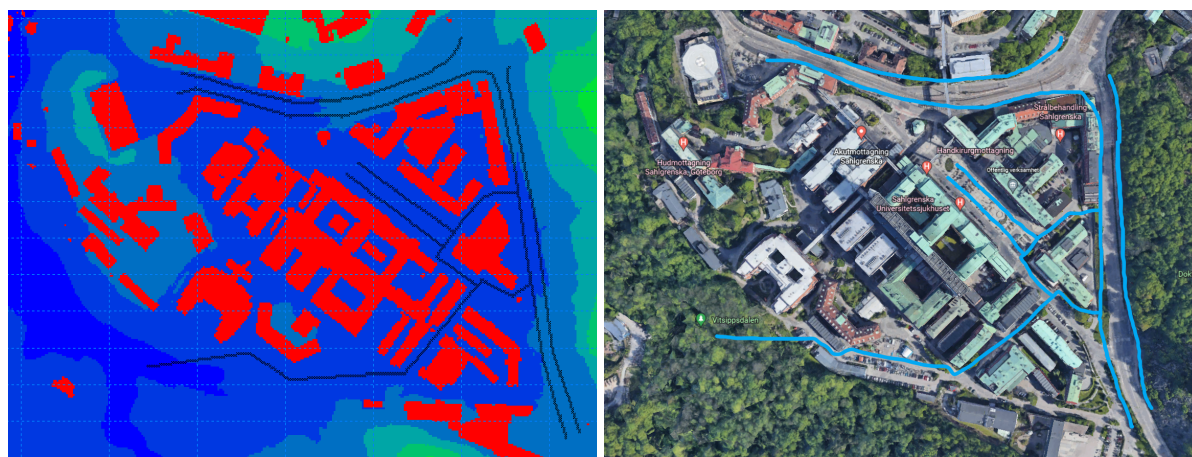
För att reducera mängden dagvatten som drabbar Sahlgrenska Universitetssjukhuset testades en mängd dagvattenlösningar, tre valdes som sedan modellerats som åtgärd 1,2 och 3 i Mike21.

Den första åtgärden som implementerades, en torr damm placerades på torget framför huvudentren. Den torra dammen dimensionerades för att rymma 3000 kubikmeter vatten och tanken var att den torra dammen skulle minska mängden dagvatten som rann till område A vid kraftig nederbörd. Dammen modellerades i Mike21 i höjdkartan med dimensionerna 65x25x2 meter. Djupet på två meter sattes över hela dammen för att underlätta modelleringen, tanken var att den torra dammen i ett verkligt scenario skulle ha ett varierande djup där den kan fungera som en mötesplats med sittplatser i form av trappsteg ner till botten av dammen (se figur 18).



Figur 18, Visualisering av den tänkta utformningen för den torra dammen (Egen bild).

Svackdiken modellerades runt Södersjukhuset för att leda bort dagvatten som förväntas komma från sluttningarna och bergen i sydöst. Svackdikena placerades parallellt med Ehrenströmsgatan och Per Dubbsgatan för att sedan ledas mot den torra dammen och ned mot vattendraget söder om Södersjukhuset. Svackdikena modellerades i Mike21 genom att ändra höjddatan för celler i höjdkartan med 1 meter. Åtgärd 2 bestod av den torra dammen samt svackdiken.



Figur 19 Implementerade svackdiken.

Slutligen modellerades en översvämningsbarriär för nedfarten till område A för att hindra att dagvatten transporteras till området. Barriären modellerades genom att höjden på de celler som befinner sig på område A:s infart höjdes med 1 meter. Åtgärd 3 bestod av den torra dammen, svackdiken och översvämningsbarriären.

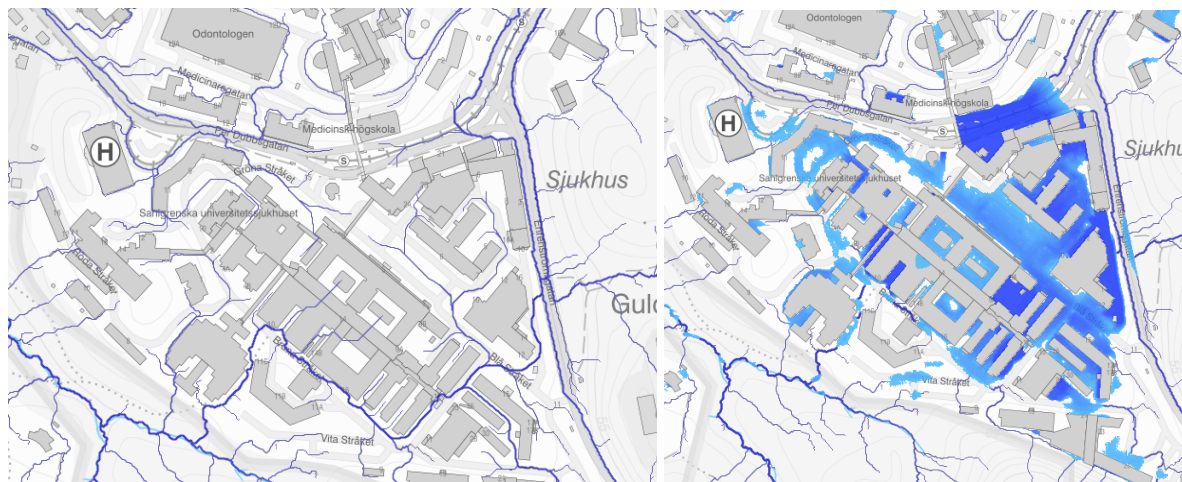
4 Resultat

I resultatet presenteras resultatet från de simuleringar som utförts på nivå I - III.

Modelleringar som visas och bilder som är illustrerade kommer från programmen Scalgo för nivå I samt Mike21 och QGIS för nivå II och III.

4.1 Nivå I

Vid simulationen av ett 100-års regn på Nivå 1 används programmet Scalgo. Resultaten av simulatorerna visar på rinn-vägar genom området på diverse platser samt water depth eller vattendjup (se figur 20), där det kan bekräftas att de största vattensamlingarna uppstår i riskområdena tidigare beskrivna i rapporten, primärt i områdena A, B, och C. Utöver det framstod också stora mängder dagvatten intill byggnader norr och öst om sjukhuset.



Figur 20, Resultat från skyfalls-simuleringar i Scalgo, Illustrationer av avrinningsområden samt vattendjup visas.

4.2 Nivå II

För simuleringen av ett 100-års regn på nivå II så visade det sig att stora mängder med vatten samlades på några av de platser runt sjukhuset som antogs som känsliga vid fältbesök. Vid område A, område B samt vid område C så inträffade stora översvämningar med vattendjup på över 3.5 meter. Vid byggnaden mitt emot huvudentren som inte identifierades som ett kritiskt område vid fält-besöket uppstod det två större vattensamlingar där båda hade ett vattendjup på drygt 2.5 meter.



Figur 21, Resultat av ett 100-årsregn på nivå II från Mike21, visualiserat med Qgis.

4.3 Nivå III

När det kom till simuleringen på nivå III så visade det sig att översvämningar överlag minskade, vilket är logiskt då det nu också ingår 99 stycken rännstensbrunnar som hjälper till med att ta upp dagvatten. De större översvämningarna som inträffade på byggnadens södra fasad vid område B, C och E minskade drastiskt, men översvämningen vid område A på sjukhusets norra fasad samt översvämningarna vid byggnaden mitt emot huvudentren förblev stora. Den värsta översvämningen hittas i område A vilken vid slutet av simulationen låg på drygt 3.5 meter.



Figur 22, resultat av ett 100-årsregn på nivå III från Mike21, visualiserat med Qgis.

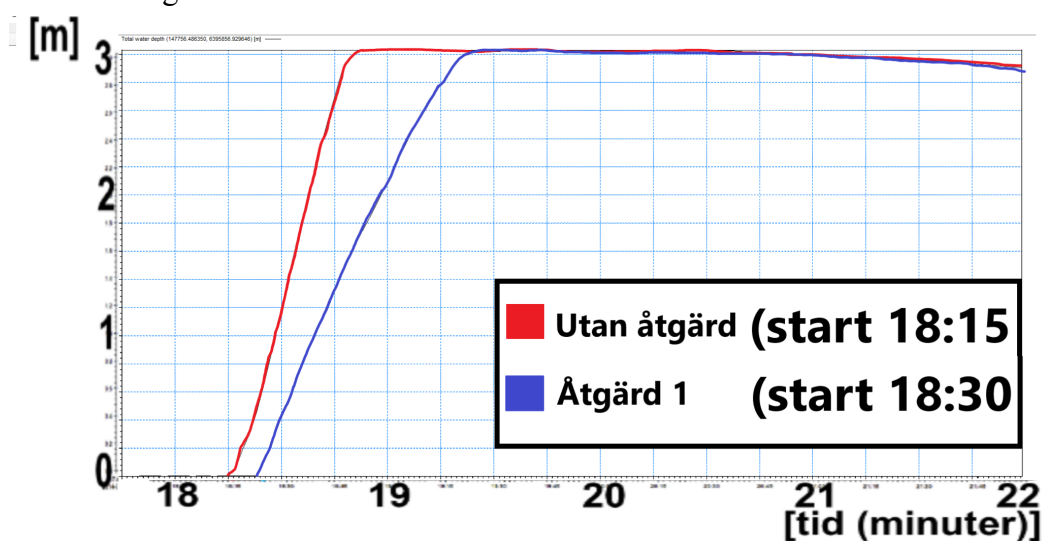
4.4 Nivå III med åtgärd 1

Simuleringen på nivå III med åtgärd 1 fick oväntat dåliga resultat om man ser till vattendjupet i slutet av simulationen. De större översvämningarna som uppstod vid simulering på nivå III kvarstod. Djupet på område A på sjukhusets norra fasad förblev drygt 3.5 meter. Inga större förändringar i de kritiska områdenas vattendjup förekom.



Figur 23. Resultat av ett 100-årsregn på nivå III med åtgärd 1 från Mike21, visualiserat med Qgis.

Det som skildes åt var att det tog längre tid för översvämningarna att uppstå i område A (se figur 24). En förskjutning på 15 minuter skedde innan vatten började fylla område A uppstod med åtgärd 1 och en förskjutning av 30 minuter förlöper innan område A:s vattendjup har nått sin maximala gräns.



Figur 24. Tidsintervall i minuter över vattendjup i meter i område A sett till åtgärd 1 och utan åtgärder.

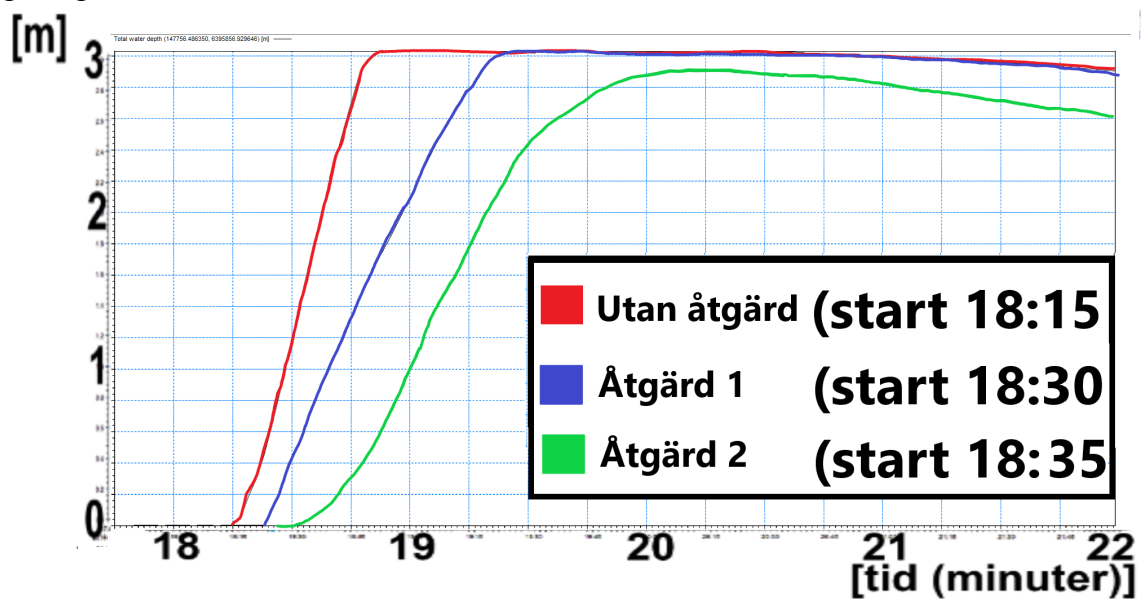
4.4 Nivå III med åtgärd 2

Den andra åtgärden som infördes var svackdiken. Likt den torra dammen så bidrog inte de svackdiken som modellerades något större när det kommer till vattendjup.



Figur 25, Resultat av ett 100-årsregn på nivå III med åtgärd 2 från Mike21, visualiserat med Qgis.

Åtgärd 2 med svackdiken visar likt åtgärd 1 på en förbättrad förskjutning i den tid det tar innan område A fylls med vatten, resultatet var bättre än både det för åtgärd 1 samt utan några åtgärder.



Figur 26. Tidsintervall i minuter över vattendjup i meter i område A sett till åtgärd 1, åtgärd 2 och utan åtgärder.

4.4 Nivå III med åtgärd 3

En översvämningsbarriär har blivit tillagd för område A:s infart. Vi kan se enligt figur 26 att område A har blivit av med den massiva vattensamlingen som förekom vid simulation med åtgärd 1 och 2. Dagvatten som tidigare rann in på område A sprider nu istället ut sig över Sahlgrenska Universitetssjukhusets område där en stor mängd förs ner mot vattendraget söder om sjukhuset via åtgärd 2:s svackdiken.



Figur 27, Resultat av ett 100-årsregn på nivå III med åtgärd 3 från Mike21, visualiserat med Qgis.

5 Diskussion

Översvämningar i samband med nederbörd blir ett allt mer förekommande fenomen. Klimatförändringarna i världen blir gradvis ett större hot mot vår planet där människor är den största faktorn med utsläppen av växthusgaser. Det är i nuläget svårt att få en överblick av hur mycket nederbörd framtiden förväntas handlas med, det är därför viktigt att dagens ingenjörer inspireras av förändringarna och hittar lösningar till framtida dagvattenproblem samt förändrar riskområden i dagens samhälle.

För simuleringen så användes en modell över Sahlgrenska Universitetssjukhuset byggt på kartor med en upplösning av 2x2 meter. Den upplösningen valdes då det är en upplösning som är vanligt förekommande och populär vid simulering av nederbörd. Den är vanligt förekommande på grund av att den är detaljerad nog för att ge relativt verklighetstroga resultat samtidigt som den inte tar alltför lång tid att simulera. En modell uppbyggd av kartor med en upplösning på 1x1 meter hade gett ett mer verklighetstroget resultat men skulle vara fyra gånger tyngre för processorer att simulera vilket sällan anses vara värt det (Blomquist et al., 2016). Informationen som 2x2 kartorna konstruerades med var från företag och organisationer med högt omdöme i Sverige. Samtliga kartor som konstruerades antogs därför vara av hög validitet men det visade sig att problem fanns, främst i höjdkartan men även i infiltration och råhets kartorna. I höjdkartan så upptäcktes det att område D, det vill säga området vid vita stråket på östra kortsidan, som pekats ut som ett kritiskt område vid fältbesök vilket inte hade höjddata i lantmäteriets terrängkarta som stämde överens med verkligheten. I lantmäteriets topografiska karta så var markhöjden på vita stråket konstant, men om man kollar på (figur 14) så ser man att det intill Sjukhus-fasaden bör ha varit en minskning av höjden på drygt 4 meter. Samtliga gångbroar som existerar i sjukhusområdet är i lantmäteriets terrängkartor inlagda som byggnader som går ner till marknivå, alltså så stoppade dessa gångbroar dagvatten och stora vattenmassor samlades intill dem vid tidigare simulerings skeden. Det åtgärdades genom att samtliga gångbroar togs bort ur höjdkartan och byttes ut mot interpolerade värden från omkringliggande mark. Problemet med område D upptäcktes inte förrän i slutskedet av studien och är därför med i samtliga simulationer vilket skadar validiteten.

För infiltration och råhets-kartan så upptäcktes det att markanvändings-kartan de är baserade på använde sig av förenklade parametrar när det kommer till att beskriva markens egenskaper. Markanvändings-kartan tar nämligen inte hänsyn till den specifika jordarten i området utan benämner icke bebyggda ytor som skog, buskage eller jord. Det är ett problem då till exempel en yta med glacial lera och en yta med morän får samma benämning i markanvändings-kartan trots att de två jordarterna har stora skillnader i hur mycket vatten som kan infiltrera samt vilken råhet de har. Detta skadar validiteten av både infiltrations och råhets- kartorna då det är möjligt att värdena för jorden inte stämmer överens med de egenskaper som glacial lera har (den dominerande jordarten i Sahlgrenska Universitetssjukhusets område).

Resultaten från simulatorerna utförda med Mike21 visar på stora vattensamlingar främst i östra delen av sjukhusområdet. Det beror på att Sahlgrenska Universitetssjukhuset angränsar med stora bergssluttningar till öster som för dagvatten från omkringliggande områden till sjukhuset. Byggnaden till öster om torget utanför huvudentren drabbas värst där det trots åtgärder blir ett vattendjup på drygt 3 meter mot byggnadens fasad (se figur 27).

Översvämningarna kan komma att slå ut viktiga system som Sahlgrenska Universitetssjukhuset behöver för att kunna fungera som elektronik, ventilation och framfart av ambulanser, delar av byggnader kan också komma att förstöras via översvämning av källarplan eller vid mögel-uppbyggnad i tak och väggar.

Statistiskt sett kommer ett 100-årsregn en gång per 100 år (därav namnet).

Detta tidsintervall är något som sannolikt kommer vara svårt att förutsäga i framtiden.

Klimatförändringarna har som konsekvens att kraftiga skyfall kommer oftare, vilket sänker återkomsttiden på regn i storleken av 100-årsregn. Därav är det troligt att ett regn med storleken av ett 100-årsregn kan komma att drabba Sahlgrenska Universitetssjukhuset inom en snar framtid. Ett 100-årsregn i dagsläget skulle vara katastrofalt för Sahlgrenska Universitetssjukhuset då området just nu inte är dimensionerat för ett kraftigt skyfall.

De åtgärder som är beskrivna i rapporten har ingen större påverkan på översvämningarnas djup. De hjälper istället till att fördröja tiden det tar innan en vattensamling bildas.

Den torra dammen som modellerades utanför huvudentren resulterade inte i någon skillnad utav vattendjup i översvämningarna runtom. har tillkommit i de kritiska punkterna. Den torra dammen har istället en påverkan på hur lång tid och när en översvämning bildas. En förskjutning på 15 minuter kan vara till stor hjälp vid ett intensivt korttids-regn där regnet enbart faller under en kortare period.

Svackdikena hade inte heller en större påverkan på vattendjupet på översvämningarna i området. Svackdikena fördes in i modellen och hade som uppgift att skapa rinnvägar ner till vattendraget söder om sjukhuset från den överbelastade ytan i östra delen av Sahlgrenska Universitetssjukhuset. Dagvattenmassorna som kommer från östra delen är för kraftiga för att svackdikena ska kunna ha möjlighet att hantera det och blir därav översvämmade. Vi kan dock se att svackdikena förskjuter tiden för vattensamlingarna att bildas något ytterligare.

Översvämningsbarriären som placerades vid infarten till område A fyllde sin uppgift och kunde successivt förhindra att område A utsattes för översvämning. Dagvattnet som tidigare översvämmade område A rinner istället vidare ut på Sahlgrenska Universitetssjukhusets område samt ner mot vattendraget till söder. Tanken med barriären var att den är en automatiskt aktiverad barriär vid nederbörd, nackdelen med en sådan är att den blockerar av framfarten för fordon under tiden då den är aktiverad, det anses vara värt det då översvämningen i delområde A utan barriären täckte en area av cirka 1260 meter och fick ett vattendjup på drygt 3.5 meter, vilket har en vikt på 4410 ton.

Efter simulering så konstaterades det att stora mängder nederbörd tog sig till Sahlgrenska Universitetssjukhusets område från omkringliggande områden, något som förväntades. Studien fokuserade på lokal omhändertagning av dagvattnet på Sahlgrenska

Universitetssjukhusets område, omhändertagning av dagvatten i de omkringliggande områdena simulerades aldrig. Det är högst troligt att denna form utav omhändertagning skulle ha reducerat den mängd dagvatten som Sahlgrenska Universitetssjukhuset utsätts för, och är något som är värt att ha i åtanke när det kommer till framtida exploatering av de omkringliggande områdena.

Framtida exploatering och utbyggnad av Sahlgrenska Universitetssjukhuset bör betrakta dagvatten och vid utformning se till att hanteringen av dagvatten förbättras.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att åtgärder behöver tas inom dagvattenhantering för att Sahlgrenska Universitetssjukhuset ska komma att klara av framtidens nederbörd. Det kommer att bli kostsamt att konstruera dagvattenlösningar, men det blir ännu dyrare att inte göra någonting.

6 Slutsatser

- Många dagvattenlösningar har bara en påverkan på mindre regn och blir försumbara när större skyfall förekommer.
- En del platser i Sahlgrenska Universitetssjukhusets område översvämmas både utan och med rännstensbrunnar modellerade för en kapacitet på ett 10 årigt regn per brunn.
- Översvämningsrisken inom Sahlgrenska Universitetssjukhuset som presenteras i denna rapport är endast konceptuell och är inte representativ för verkligheten.
- Det konstaterades att de implementerade dagvattenlösningarna som absorberar vatten inte har en betydande påverkan på de slutliga översvämningarna utan istället fördröjer dem. Lösningar som istället dirigerar dagvattnet hade stor påverkan, som översvämningsbarriärer.
- Sahlgrenska Universitetssjukhuset är i dagsläget sårbart mot större nederbörd och åtgärder inom dagvattenhantering bör konstrueras så fort som möjligt
- Det finns ingen händelse historiskt sett där Sahlgrenska Universitetssjukhuset drabbats av större översvämning vilket innebär att studiens result är svårt att jämföra med verkligheten. Men då Sahlgrenska Universitetssjukhuset endast har funnits sedan 1997 så antas det att sjukhuset inte har utsatts för ett större regn under sin livstid, därav varför information av en större översvämning saknas.
- Att konstruera dagvattenlösningar för att hantera översvämningarna är kostsamt, men det är ännu kostsammare i längden att inte göra något alls.

7 Referenser

Blomquist et al., (2016): *Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem*: Hämtad från: http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2016-15.pdf

Boverket (2015): *Dagvatten i detaljplan*: Hämtad från: [Dagvatten i detaljplan - PBL kunskapsbanken - Boverket Hållbar dag- och dränvattenhantering – råd vid planering och utförande | Vattenbokhandeln \(svensktvatten.se\)](#)

Chalmers (2014): *Utformning av rapport*: Hämtad från: [Utformning av rapport/examensarbete | Chalmers studentportal](#)

Cocity (2020): *Öppna dagvattenlösningar - en exempelsamling*: Hämtad från [Öppna dagvattenlösningar - en exempelsamling - C/O City \(cocity.se\)](#)

Degarmo, E. Paul; Black J T. (2003) (på engelska). *Materials and Processes in Manufacturing*. Kohser Ronald A. (9). sid. 227. ISBN 0-471-65653-4

Eslövs kommun (2021): *Dagvattendammar*: Hämtad från: <https://eslov.se/trafik-gator-parker/parker-och-allmanna-platser/dagvattendammar/>

F. Johansson, L.M. Bini, P. Coiffard, R. Svanbäck, J. Wester, J. Heino (2019): *Environmental variables drive differences in the beta diversity of dragonfly assemblages among urban stormwater ponds*: Hämtad från: [Environmental variables drive differences in the beta diversity of dragonfly assemblages among urban stormwater ponds - ScienceDirect](#)

Godaexempel (2022): *Dagvattenguiden*: Hämtad från: <http://godaexempel.dagvattenguiden.se/>

Google earth (2022): Hämtad från: <https://earth.google.com/web/@57.68222586,11.9613433,38.47782701a,795.86230138d,35y,0h,0t,0r>

GP (2022): *Sjukhusen särskilt känsliga vid extremregn*: Hämtad från: [Sjukhusen särskilt känsliga vid extremregn | GP](#)

Göteborg stad (2022): *Om kretslopp och vatten*: Hämtad från: [Om Kretslopp och vatten - Göteborgs Stad \(goteborg.se\)](#)

Göteborg stad (2022): *Vad är dagvatten*: Hämtad från: [Vad är dagvatten? - Göteborgs Stad \(goteborg.se\)](#)

<https://www.lantmateriet.se/sv/Om-Lantmateriet/lantmateriet-i-skolan/geoskolan/lektioner-med-gis-for-grundskolan/vad-ar-ett-gis/>

Länsstyrelsen Västra Götaland (2022): *Grön infrastruktur*: Hämtad från:
<https://www.lansstyrelsen.se/vastra-gotaland/samhalle/planering-och-byggande/gron-infrastruktur.html>

Plats för vattnet (2022): *Gröna tak*: Hämtad från:
<https://platsforvattnet.vasyd.se/atgard/grona-tak/>

Skogen (2000): *Urberg*: Hämtad från: [urberg | Skogen](#)

SMHI (2021): *Nederbörd*. Hämtad från: [Nederbörd | Klimatanpassning.se](https://nederbörd.klimatanpassning.se)

SMHI (2021): *Skyfall*. Hämtad från: [Skyfall | Klimatanpassning.se](https://www.klimatanpassning.se/Skyfall)

Stadsbyggnad (2018): *Skyfallens ABC*: Hämtad från:
https://www.svensktvatten.se/globalassets/rornat-och-klimat/skyfallensabc-sartryck-stadsbyffnad_2_2018.pdf

Stockholms län (2016): *Överdämningsyta i Södertälje*: Hämtad från:
[Överdämningsyta i Södertälje – Goda Exempel \(dagvattenguiden.se\)](http://dagvattenguiden.se)

Stockholms stad (2021): *Årsnederbörd* : Hämtad från: [Årsnederbörd - Stockholms miljöbarometer](#)

Svenskt vatten (2011): *Hållbar dag- och dränvattenhantering – råd vid planering och utförande*: Hämtad från: [Hållbar dag- och dränvattenhantering – råd vid planering och utförande | Vattenbokhandeln \(svensktvatten.se\)](#)

Sveriges lantbruksuniversitet (2019): *Gröna lösningar gav skydd mot översvämning*: Hämtad från: <https://www.slu.se/ew-nyheter/2019/9/grona-losningar-gav-skydd-mot-oversvamning/>

Södertälje kommun (2022): Hämtad från: [404 - Södertälje kommun \(sodertalje.se\)](#)

The bowman lab (2018): *Tutorial: how to make a map using QGIS*: Hämtad från: <https://www.polarmicrobes.org/tutorial-on-qgis-how-to-make-a-map/>

VAGuiden (2022): *Genomsläppliga beläggningar*: Hämtad från: <https://vaguiden.se/dagvatten/anlaggningswiki/genomslapplig-belaggning/>

VA-guiden (2021): *Nedsänkta växtbäddar*: Hämtad från: [Nedsänkta växtbäddar | VA-guiden \(vaguiden.se\)](#)

VA-guiden (2018): *Svackdiken*: Hämtad från: [Svackdiken | VA-guiden \(vaguiden.se\)](#)

VA-guiden (2021): *Överdämningsytor*: Hämtad från: [Överdämningsytor | VA-guiden \(vaguiden.se\)](#)

Västra Götalandsregionen (2022): *Om sjukhuset*: Hämtad från: <https://www.sahlgrenska.se/om-sjukhuset/>

WWF (2022): *Klimatförändringar - Vad är det?*: Hämtad från: [Klimatförändringar - Vad är det? Världsnaturfonden WWF](#)