



UPPSALA
UNIVERSITET



UPTEC W 21023

Examensarbete 30 hp
Maj 2021

Dagvattenfördröjning inom två kvarter och omkringliggande allmän platsmark i Täby Park

Flödesmätning, modellering och utvärdering
av fördröjningsåtgärder

Sandra Zaff

REFERAT

Dagvattenfördröjning inom två kvarter och omkringliggande allmän platsmark i Täby Park – Flödesmätning, modellering och utvärdering av fördröjningsåtgärder

Sandra Zaff

När samhällen byggs ut och mer genomsläpplig naturmark ersätts av hårdgjorda ytor ökar också mängden dagvatten. Dagvatten är regn eller smältvatten från snö och is som rinner av ytor så som tak, vägar och andra hårda ytor som skapats av människor. Dagvatten kan orsaka stora problem, exempelvis översvämningar och utsläpp av föroreningar till sjöar och vattendrag. För att förebygga dessa problem har många kommuner tagit fram dagvattenstrategier med krav och riktlinjer för hur dagvattnet ska tas hand om på bästa hållbara sätt. Ett exempel på hållbar dagvattenhantering är så kallad trög avrinning, det vill säga olika lösningar för att fördröja dagvattnet med syftet att undvika stora flöden och rena vattnet från föroreningar.

En av kommunerna som tagit fram en strategi för dagvattenhanteringen är Täby kommun. Denna dagvattenstrategi används som underlag vid planering av exploatering av områden, till exempel vid byggnation av bostadsområden. I det nya bostadsområdet Täby Park i Täby har två kvarter anlagts med lösningar för dagvattenhanteringen efter dagvattenutredningar utförda av Structor Uppsala. Det här projektet ämnade att undersöka om de lösningar som föreslogs för och sedan implementerades i de två kvarteren uppnådde Täby kommuns krav på dagvattenhantering. Kvarteren som undersöktes, vilka benämns kvarter 1:6 Opalen och kvarter 1:7 Klöver, var av liknande storlek och med liknande dagvattenlösningar. För att undersöka dagvattenflödet utfördes flödes- och nederbördsräkningar under en månads tid och en modell ställdes upp i Autodesk Storm and Sanitary Analysis för att simulera vattenflödet. Beräkningar baserade på samma metod som i dagvattenutredningen utfördes även för den slutgiltiga utformningen av respektive kvarter.

Till följd av små regnmängder samt en initial felprogrammering av en flödesmätare behövde datat från flödesmätarna bearbetas för att få fram ett resultat för fördröjningen i samband med regnhändelserna. Dessutom behövde en av flödesmätarnas data bortses från på grund av felaktiga värden, vilket innebar att det uppmätta dagvattenflödet endast speglade ungefär halva utredningsområdet. Fördröjningen mellan regnets inträffande och flödesmätarnas utslag kunde inte fastställas som ett resultat av dagvattenlösningarnas implementering, till stor del på grund av bristande data. Dagvattenflödena som beräknades utifrån mätdata, teoretiskt och med modellen skildes åt, men även här övervägande på grund av felkällor och bristande data. Fortsatt undersökning för modellens optimering och fler mätningar skulle kunna ge en bättre korrelation för både fördröjningen i tid (regnhändelse och flödesmätares utslag) och fördröjningen i volym som fördröjningsåtgärderna bidrar med.

Nyckelord: dagvatten, fördröjning, regnbäddar, gröna tak, rationella metoden, Storm and Sanitary Analysis

ABSTRACT

Stormwater detention within a neighborhood in Täby Park – Flow measurements, modeling and an evaluation of detention measures

Sandra Zaff

When urbanization increases, one consequence of permeable land being replaced by impermeable surfaces is an increase in stormwater. Stormwater, which is water from rain or melted snow and ice that runs off from impermeable surfaces such as roofs and roads, can cause problems for infrastructure. Some of these problems entail flooding and transport of pollutants to lakes and rivers. To counteract these issues, many Swedish municipalities have compiled so called stormwater strategies ("dagvattenstrategier") containing requirements and guidelines on how to sustainably manage stormwater. One method for sustainable stormwater management is stormwater detention, i.e. slowing down the water, which can be achieved in several ways. Through detention, large flows can be reduced and pollutants can be filtered out of the water.

The municipality of Täby is one of the above mentioned municipalities with stormwater strategies. This strategy is used by exploiters when planning, for instance, new residential areas, as a mean to ensure that the stormwater is properly taken care of within the boundaries of the premise. Two apartment blocks in Täby Park, a newly built residential area in Täby, have been built with detention measures for stormwater management suggested by Structor Uppsala in their stormwater investigations for both blocks respectively. The aim of this project was to investigate whether the suggested detention measures were enough to reach the requirements in Täby's stormwater strategy. The studied apartment blocks were of similar size and had approximately the same fraction of stormwater detention measures. During the project time, precipitation and stormwater flow were measured for approximately a month and a model was made in Autodesk Storm and Sanitary Analysis to simulate the flow in the project area. Calculations for the water flow in the project were made with the rational method, which was used for the calculations done in Structor Uppsala's stormwater investigation.

As a result of little precipitation during the period of measurements, and an unfortunate initial error in a flow meter, the data from the flow measurements needed to be modified to get the resulting relationship between rain events and the detention of stormwater within the project area. An additional error came from false values from one of the flow meters, which led to it and its data to become discarded and thus only giving the stormwater flow for roughly half of the project area. From the results a certain time delay between rain event and stormwater flow was seen. However, this could not be determined to be solely from the detention measures due to insufficient data. The stormwater flows calculated from the measured data, the theoretical calculations, and the model were significantly different. Here, the sources of error and insufficient data were certainly a contributing factor. Continued studies with an optimization of the model and more measurements could give a better correlation between the time delay between rain event and flow and the flow detention from the stormwater measures.

Keywords: Stormwater, detention, rain garden, green roof, rational method, Storm and Sanitary Analysis

Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala university

Villavägen 16, SE-75236 Uppsala, Sweden

ISSN 1401-5765

FÖRORD

Detta examensarbete omfattar 30 hp och avslutar min utbildning på Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik på Uppsala universitet (UU) och Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Examensarbetet utfördes på Structor Uppsala med handledare Anna Thorsell och Åsa Söderqvist. Ämnesgranskare var Ingrid Wesström på Institutionen för mark och miljö, SLU. Examinator var Rickard Pettersson på Institutionen för geovetenskaper, UU.

Jag vill ge ett stort tack till Anna och Åsa för all handledning som jag fått under terminen och som trots att vi nästan helt jobbat på distans varit ständigt tillgängliga för feedback och stöd. Jag vill även tacka Ingrid för bra återkoppling under alla delar av arbetet och Rickard för snabba svar vid frågor. Utöver dessa vill jag tacka Structor Uppsala, Täby kommun och Täby Park AB för finansiering av flödesmätarna som användes i projektet, och Roger Herbert på Institutionen för geovetenskaper, UU, för genomgång och lån av regnmätare. Jag vill också rikta ett tack till Alexander Riis och Thomas Åhlström på Structor Uppsala för hjälp med modellen i SSA, Paul Konvicka och Janko Savić på Täby kommun för hjälp med information och underlag för projektområdet samt med utrustning för att komma ner i brunnarna, och Robin Egerhed på Ventim för support med flödesmätarna.

Ett sista tack går till min familj, Andreas och alla vänner som stöttat mig och gjort min studietid så mycket bättre.

Uppsala, juni 2021

Sandra Zaff

Copyright © Sandra Zaff och Institutionen för geovetenskaper,
Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.

UPTEC W 21023, ISSN 1401-5765

Digitalt publicerad hos Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2021.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Vatten från regn och smältande snö och is som rinner på hårda ytor så som asfalterade gator och tak kallas för dagvatten. När städer växer blir mer och mer av vanlig genomsläpplig mark, till exempel skogsmark och ängar, omvandlad till hårdgjorda ytor och detta bidrar till att det också blir mer dagvatten. Om dagvattnet inte tas hand om ordentligt kan det orsaka problem som översvämningar och spridning av föroreningar, som är skadliga ämnen som negativt kan påverka människor, djur och naturen. Vattendrag, alltså åar, älvar och bäckar, och sjöar är känsliga för dessa föroreningar som transporteras med dagvattnet. Detta är ett viktigt problem och för att uppnå de globala och de nationella miljömålen för levande sjöar och vattendrag måste något göras för att ta hand om dagvattnet innan det kan orsaka dessa problem. Ett sätt att ta hand om dagvatten är genom fördröjning, det vill säga genom att sakta ner och minska flödet av vatten genom olika åtgärder. Några av dessa åtgärder kan vara anläggning av gröna tak och regnbäddar inom en fastighet. Gröna tak innebär att man lägger en växtyta på hela eller en del av taket för att låta regnvattnet rinna över de planterade växterna och därmed sakta ner vattenflödet. Regnbäddar är växtbäddar som är speciellt utformade för att ta emot stora mängder dagvatten. De kan ha både fördröjande och renande effekt på dagvattnet genom att vattnet sipprar genom växterna och jordmassan.

Mängden dagvatten kommer alltså öka på grund av den ökande utbredningen av hårda ytor, men också på grund av klimatförändringar som ger en ökad mängd nederbörd, vilket i sin tur blir mer dagvatten. På grund av detta har flertalet kommuner i Sverige tagit fram särskilda strategier för att ta hand om dagvattnet på ett hållbart sätt. Dessa kallas för dagvattenstrategier och används för att minimera riskerna för de problem som dagvattnet kan ställa till med. En av dessa är Täby kommun, vars dagvattenstrategi bland annat ställer krav på hur mycket dagvatten som ska fördröjas inom en fastighet innan vattnet får fortsätta till kommunens egna ledningsnät för dagvatten.

I Täby Park, som är ett nybyggt bostadsområde i Täby, finns två kvarter vars dagvattenlösningar tagits fram av Structor Uppsala i så kallade dagvattenutredningar. Dessa har gjorts för att säkerställa att dagvattenhanteringen uppnår kraven från Täby kommuns dagvattenstrategi. Dessa två kvarter, kvarter 1:6 Opalen och 1:7 Klöver, har både gröna tak och regnbäddar för fördröjning av dagvattnet inom respektive kvarter. Det är denna fördröjning som har undersökts i detta projekt, med syftet att få svar på om den faktiska fördröjningen från kvarteren lever upp till kommunens krav.

Undersökningen har gjorts i tre steg. Först monterades tre flödesmätare i den kommunala dagvattenledningen som kvarteren släppte det fördröjda dagvattnet till, tillsammans med en regnmätare som ställdes upp i ett av kvarteren för lokal mätning av mängden nederbörd. Sedan användes datorprogrammet Autodesk Storm and Sanitary Analysis för att göra en modell över kvarteren och den allmänna platsmarken runt omkring. Den allmänna platsmarken innefattar vägar, trottoarer och annan yta vars dagvatten rinner till en av flödesmätarna som användes. Sist gjordes flödesberäkningar av samma typ som i Structor Uppsalas dagvattenutredning, där man helt enkelt beräknade en teoretisk mängd vatten som borde rinna av en yta med en viss sammansättning av marktyper, till exempel asfalt, takytor och växtbäddar.

Från dessa tre steg fick resultat för de olika uppmätta och beräknade dagvattenflödena. På grund av lite regn och därifrån låga dagvattenflöden samt en felprogrammering som skedde i början i en av flödesmätarna behövde datat från flödesmätarna fixas till så att det var lättare att se ett samband med tillfällena då regn hade uppmätts. Fördröjningen som kunde ses i jämförelsen

mellan regnets och vattenflödets tidpunkt var märkbar, men det var inte möjligt att säga helt klar om det bara var på grund av de gröna taken och regnbäddarna. Vid jämförelsen av det uppmätta, det modellerade och det teoretiskt beräknade dagvattenflödet fanns tydliga skillnader. Det uppmätta flödet, trots att det endast speglade halva utredningsområdet låg mitt emellan de andra två flödena, och bedömdes därför vara störst vid en ungefärlig beräkning för hela projektområdet. Därefter kom det teoretiskt beräknade dagvattenflödet och minst var modellens beräknade flöde. För att få bättre värden i eventuella fortsättningsstudier skulle framförallt fler mätningar med större regn behövas, och modellen skulle behöva finslipas för att minska antalet felkällor i bland annat utformningen av regnbäddarna och för vissa antaganden som gjordes för analysen.

ORDLISTA

Bräddning	Tillfälligt utsläpp av vatten som översvämmar en regnbädd till följd av stora mängder nederbörd och därmed inte fördröjs.
Gröna tak	Växtbeklädda tak som används för att fördröja dagvatten lokalt.
Klimatfaktor	En teoretisk koefficient som multipliceras med nederbördsintensiteten för att simulera framtidens ökning av nederbörd.
Koncentrationstid	Maximal rinntid för vatten att transporteras sträckan från den punkt som ligger längst bort till den punkt där det avleds.
Nedstigningsbrunn	En brunn i direkt kontakt med ledningen som är stor nog för att en människa ska kunna gå ner och exempelvis inspektera ledningen.
Recipient	Sjöar, vattendrag och hav är recipienter till vatten som flödar på och inuti marken.
Regnbädd	En växtbädd med poröst substrat ämnad för fördröjning och viss rengöring av dagvatten.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

REFERAT	I
ABSTRACT	II
FÖRORD	III
POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING	IV
ORDLISTA	VI
1 INLEDNING	1
1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	2
1.2 AVGRÄNSNINGAR	2
2 TEORI	3
2.1 DAGVATTENHANTERING	3
2.1.1 Dagvatten	3
2.1.2 Ledningsnät för dagvatten	3
2.1.3 Dimensionering av dagvattenledningar	4
2.2 ANLÄGGNINGAR FÖR LOKAL DAGVATTENHANTERING	6
2.2.1 Gröna tak	6
2.2.2 Regnbäddar	7
2.3 MODELLERING AV DAGVATTEN	8
2.3.1 Autodesk Civil 3D och Naviate VA	8
2.3.2 Autodesk Storm and Sanitary Analysis	8
3 MATERIAL OCH METOD	9
3.1 PLATSBESKRIVNING OCH DAGVATTENUTREDNINGAR	9
3.1.1 Kvarter 1:6 Opalen	10
3.1.2 Kvarter 1:7 Klöver	12
3.1.3 Ledningsnät i kvarteren	14
3.1.4 Beräkningar	15
3.2 REGN- OCH FLÖDESMÄTNINGAR SAMT DATAANALYS	15
3.2.1 Regnmätare	16
3.2.2 Flödesmätare	17
3.2.3 Bearbetning och beräkningar av mätdata	18
3.3 MODELLERING	19
3.3.1 Autodesk Civil 3D och Naviate VA	19
3.3.2 Autodesk Storm and Sanitary Analysis	21
3.4 BERÄKNINGAR	23
3.4.1 Med rationella metoden	23
3.4.2 För flödet från mätningar	23
4 RESULTAT	24
4.1 MÄTRESULTAT	24
4.1.1 Regnmätare	24
4.1.2 Flödesmätare	25

4.1.3	Fördröjning	27
4.2	BERÄKNADE FLÖDEN	28
4.2.1	Relativt mätdatat	28
4.2.2	För långa återkomsttider	29
5	DISKUSSION OCH SLUTSATS	30
5.1	DISKUSSION	30
5.1.1	Fördröjning i mätresultaten	30
5.1.2	Jämförelser av uppmätt och beräknat flöde	30
5.1.3	Förbättringar i teoretiska beräkningar och modellen	31
5.2	SLUTSATSER	32
	REFERENSER	33
	ORDLISTA	36
	BILAGA I	36
	BILAGA II	37
	BILAGA III	38
	BILAGA IV	39
	BILAGA V	40
	BILAGA VI	41

1 INLEDNING

I takt med att urbana områden växer ersätts genomsläpplig naturmark med hårdgjorda ytor såsom byggnader och vägar. Detta orsakar problem när det kommer till hanteringen av dagvatten, det vill säga nederbörd som avrinner från hårdgjorda ytor (Naturvårdsverket 2020b). Problemen med dagvatten varierar från skador på fastigheter eller översvämningar när vattnet inte avleds rätt eller föroreningsproblem i recipienter när vattnet inte renas innan avledning (ibid.). Historiskt sett har dagvattnet setts som ett problem som lättast löses genom att leda bort vattnet från de områden där problem riskerar att uppstå rakt till recipienterna (Naturvårdsverket 2017). Ökad urbanisering samt ökade mängder av dagvatten och föroreningshalter har därför blivit ett problem där recipienternas ekosystem drabbas.

Hållbar hantering av dagvatten blir därför mer och mer viktigt och med de klimatförändringar som beräknas komma under de nästkommande åren måste samhällsutvecklingen anpassa sig så att framtida kraftiga regn kan hanteras på rätt sätt och inte orsaka problem för vare sig invånare i samhället eller naturen runtomkring. Detta speglas inte minst i både FN:s globala hållbarhetsmål, EU:s olika direktiv och de svenska miljömålen där samtliga har mål med koppling till dagvatten (Naturvårdsverket 2020a; Svenskt Vatten 2021). EU:s ramdirektiv för vatten och miljökvalitetsnormerna (MKN) som appliceras i Sverige är väldigt stränga när det kommer till eventuell påverkan från dagvatten på recipienter (Svenskt Vatten 2021). Ett annat krav vid bedömning av dagvattens påverkan på recipienter är icke-försämringskravet. Icke-försämringskravet innebär att inga utsläpp, både från dagvatten och andra källor, får påverka recipientens aktuella status negativt (ibid.).

För att konkretisera vad som behöver göras för att minska dagvattnets negativa påverkan har flertalet kommuner sammanställt dagvattenstrategier. Täby kommuns dagvattenstrategi innehåller krav och riktlinjer för hur kommunen arbetar med att klimatsäkra samhället och minska föroreningsbelastningen på sjöar och vattendrag (Täby kommun 2016). Några av de riktlinjer som finns i dagvattenstrategin rör begränsningar i materialval vid byggnationer för att minska föroreningsrisken, takytors avvattning mot kvartersmark istället för att släppa vattnet direkt till den kommunala ledningen och eftersträvan till att hälften av Täby ska vara grön, det vill säga hälften av ytan ska vara genomsläpplig och växtbekladd (ibid.). Därför behöver de som ämnar exploatera en befintlig naturmark till en fastighet med hårdgjorda ytor bevisa i exempelvis dagvattenutredningar att kraven kan uppnås. Ett sätt att uppnå dessa krav är genom att fördröja dagvattnet med olika lösningar, så kallad trög avvattning (von Scherling et. al. 2020). Fördröjning av dagvatten innebär att man med olika sorters åtgärder ämnar minska utflödet jämfört med inflödet genom att sakta ner dagvattenflödet och därmed minska kraftiga flödestoppar och i vissa fall även minska volymen vatten. Dagvattenlösningar som kan användas för trög avvattning kan till exempel vara gröna tak som fördröjer dagvattnet i ett tidigt stadie eller regnbäddar som kan både fördröja vattnet och rena det från föroreningsämnen (ibid.).

Området som undersökts är två kvarter i det nya bostadsområdet Täby Park, kvarter 1:6 Opalen och kvarter 1:7 Klöver. Båda kvarteren har blivit utformade efter dagvattenutredningar utförda av Structor Uppsala. Dagvattenutredningarna består av förslag till utformning av gröna tak och regnbäddar för fördröjning av dagvatten och flödesberäkningar för att uppnå kommunens krav på dagvattenhantering.

1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med detta examensarbete är att undersöka och få svar på om föreslagna och implementerade lösningar för dagvattenhanteringen i två kvarter i det nya bostadsområdet Täby Park är tillräckliga för att uppnå Täby kommuns krav på dagvattenhantering. Detta undersöks genom att jämföra dagvattenflöden från en modell av utredningsområdet, regn- och flödesmätningar samt teoretiska beräkningar från tidigare utförda dagvattenutredningar. Utredningsområdet består av kvarteren 1:7 Klöveren och 1:6 Opalen tillsammans med den omkringliggande allmänna platsmarken.

Under arbetets gång ska följande frågeställningar besvaras:

- Är det möjligt att se en fördröjning av dagvatten från utredningsområdet genom mätningar av nederbörd och dagvattenflöde?
- Skiljer sig fördröjningen inom utredningsområdet mellan:
 - * Den teoretiskt beräknade erforderliga fördröjningsvolymen enligt dagvattenutredningen?
 - * Den uppmätta fördröjningen - uppnår man den förväntade fördröjningen? Om inte, varför?
 - * Den modellerade fördröjningen i Autodesk Storm and Sanitary Analysis?
- Kan de teoretiska beräkningarna eller modellen förbättras så att de stämmer bättre med verkligheten?

1.2 AVGRÄNSNINGAR

För att bibehålla rätt fokus i projektet har flertalet avgränsningar gjorts. Arbetet har avgränsats till att fokusera på dagvattenflödet och dess fördröjning primärt inom respektive kvartersmark, där den allmänna platsmarken har antagits följa Täby kommuns riktlinjer och har modellerats därefter. Utredningsområdet valdes till att bli så litet som möjligt i förhållande till de brunnar som valdes för mätningarna. Allt dagvatten från annan allmän platsmark utöver det område som studeras kan antingen uteslutas med hjälp av flödesmätarnas placering, eller för att dagvattnet avrinner till en parallell ledning som kan uteslutas helt från projektet.

I de dagvattenlösningar som studeras (regnbäddar och gröna tak) görs inga studier på vilken typ av växtlighet som faktiskt används, utan vid beräkningar användes endast antagna avrinningskoefficienter från dagvattenutredningarna. Samma gäller för innergårdarna i respektive kvarter, där den slutgiltiga sammansättningen av olika markanvändningar bortsetts från och avrinningskoefficient antagits från dagvattenutredningar.

2 TEORI

2.1 DAGVATTENHANTERING

2.1.1 Dagvatten

Det flytande vattnet från regn och smält snö eller is som inte avdunstar från ytan blir till avrinning, där vattnet rinner längs markytan eller i marken från en högre punkt till en lägre (SMHI 2017a). Regn- och smältvatten som rinner längs tak, asfalterade vägar och andra hårdgjorda ytor kallas för dagvatten (Naturvårdsverket 2020a). För att dagvatten inte ska orsaka problem som översvämningar och utsläpp av föroreningar till känsliga områden måste det tas hand om på rätt sätt, vilket kan göras med en hållbar dagvattenhantering (Naturvårdsverket 2020a). Den hållbara dagvattenhanteringen har som mål att både fördröja och rena vattnet innan det når recipienten för att minska översvämningrisker och mängden föroreningar som transporteras med dagvattnet (Svenskt Vatten 2020).

Föroreningar i dagvattnet kan ha flera olika källor, till stor del beroende på vilka ytor som dagvattnet sköljer av. Föroreningarna består av både organiska och oorganiska ämnen i både flytande och fast form, och kan delas upp i partikulärt material, metaller, organiska ämnen, mikroplaster, näringsämnen och bakterier (Wiklander 2017). Olika sorters partikelföroreningar kommer från exempelvis nötning av hårdgjorda ytor (exempelvis vägar och trottoarer) och avsättningar från luftföroreningar, och många partiklar kan bära med sig andra ämnen som fastnat på partikelns yta (Svenskt Vatten 2016; Wiklander 2017). Några av de största källorna till metaller i dagvatten är slitage av vägar och bromsbelägg, färg, bränsle och korrosion (Robinson et. al 2019). Organiska ämnen, däribland kolväten, ftalater, PFAS och pesticider, utgör en stor andel av de föroreningar som finns i mark och dagvatten. Källor till dessa föroreningar är till exempel oljespill, avgaser från fordon och andra utsläpp från trafik, färg, plast och byggnadsmaterial. Många av de föroreningar som transporteras med dagvattnet kan vara skadliga både för naturen, speciellt recipienter för dagvatten och de organismer som lever i dessa miljöer, och för människor (ibid.). Dagvattnets avrinning kan också ge en fysisk påverkan genom exempelvis erosion, som genom höga flöden kan förändra och i värsta fall skada olika biotoper (Svenskt Vatten 2016).

På grund av risken för utsläpp av ovan nämnda föroreningar är det viktigt att försöka lösa rening och fördröjning nära utsläppskällan, istället för att rena det precis innan det kommer till recipienten (Svenskt Vatten 2016). Detta är särskilt viktigt för att uppnå miljö kvalitetsnormernas krav på god ekologisk och kemiskt status samt icke-försämringskravet (där den befintliga statusen inte får försämrats) i recipienterna (Svenskt Vatten 2021). I planeringsprocessen för exempelvis nya bostadsområden bör dagvattenhanteringen inkluderas i ett tidigt stadiet så att man kan säkerställa att byggnationen tar med riskerna för översvämningar, som kan resultera i fuktskador, och spridning av föroreningar (Svenskt Vatten 2011a). Som underlag för detta har många kommuner tagit fram dagvattenstrategier (Svenskt Vatten 2016). Dessa dagvattenstrategier kan variera mellan kommunerna men målet är att reglera dagvattenhanteringen så att den blir långsiktigt hållbar och bidrar till bättre vattenkvalitet i recipienter samt minskar risken för översvämningar (ibid.).

2.1.2 Ledningsnät för dagvatten

Samhällets ledningsnät transporterar olika kategorier av vatten som behöver ledas bort av flera skäl. Från bostadsområdena behöver tre kategorier av vatten ledas bort, dessa är spillvatten (också känt som avloppsvatten), dagvatten och dränvatten (vatten som dräneras från

husgrunder) (Nationalencyklopedin (NE) u.å.a). För avledning av dessa finns olika sorters system: kombinerat system, separatsystem och olika former av duplikatsystem (Svenskt Vatten 2016). Ett kombinerat system består av en ledning som avleder allt vatten, både spill-, dag-, och dränvatten. (ibid.). Separatsystem är liknande med bara en ledning, men här hanteras dagvattnet på ytan istället för att avledas med ledningar (ibid.). Duplikatsystem är det system som anläggs mest idag och består generellt av två ledningar, en för dagvatten och dränvatten och en för spillvatten (ibid.).

Vid utformning av nya avloppssystem rekommenderas att spillvatten och dagvatten avleds i separata ledningar (Svenskt Vatten 2016). Vidare bör dagvattnet tas hand om genom att utforma dagvattenledningarna så att risken för exempelvis fuktskador vid dämning av dagvattnet minimeras. Genom att implementera så kallad trög avledning där dagvattnet fördröjs innan det kommer till ledningsnätet (ibid.). För nya dagvattensystem finns dessutom allmänna funktionskrav som måste uppfyllas, dessa beskrivs av Svenskt Vatten (2016:42) som:

- Avvattning av hårdgjorda ytor och andra ytor skall ske så att risken för skador på anläggningar och fastigheter minimeras.
- Dagvatten skall så långt som möjligt fördröjas för att reducera både toppflöden och utsläpp av föroreningar.
- Anläggningar för fördröjning skall planeras in på såväl kvartersmark som allmän platsmark när behov finns ur översvämningssynpunkt.
- Dagvattnet skall renas beroende på bedömningar av olika recipienters känslighet.
- Extrema skyfall skall kunna hanteras i ytliga system utan att skador uppstår på anläggningar och byggnader.

Utöver dessa krav behöver också dagvattensystemet dimensioneras för att klara av vattenflöden som kan komma både i dagsläget, men också i framtiden med beräknade klimatförändringar, däribland ökande nederbörds mängd (Svenskt vatten 2016).

2.1.3 Dimensionering av dagvattenledningar

Dimensioneringen sker utifrån den förväntade belastningen av vatten, som i sin tur beror på flera faktorer, däribland det dimensionerande dagvattenflödet (Svenskt Vatten 2016). Enligt Svenskt Vattens publikation P110 (2016) kan det dimensionerande flödet i dagvattenledningar ($q_{dag.dim}$, l/s) beräknas i liter per sekund (l/s) med den rationella metoden (ekvation 1).

$$q_{dag.dim} = A \cdot \varphi \cdot i(t_r) \cdot kf \quad (1)$$

Där:

A = Arean på avrinningsområdet (ha)

φ = Avrinningskoefficient (-)

$i(t_r)$ = Dimensionerande nederbördsintensitet (l/s·ha)

kf = Klimatfaktor (-)

I samma publikation (Svenskt Vatten 2016) redovisas beräkningen utav den dimensionerande nederbördsintensiteten $i(t_r)$ (också kallad regnintensitet) som följande (ekvation 2):

$$i(t_r) = 190 \cdot \sqrt[3]{T} \cdot \frac{\ln(t_r)}{t_r^{0,98}} + 2 \quad (2)$$

Där:

T = Återkomsttid (månader)

t_r = Regnets varaktighet (minuter)

Enligt Svenskt Vattens publikation P104 (2011b) kan regnintensiteten också beräknas från den genomsnittliga nederbörden per timme med sambandet:

$$1 \text{ l/s} \cdot \text{ha} = 0,36 \text{ mm/h} \quad (3)$$

Regnvaraktigheten t_r väljs med rationella metoden till att vara detsamma som rinntiden för att ta den längsta rinnvägen genom delavrinningsområdet till punkten där beräkning sker, detta kallas också koncentrationstiden (Svenskt Vatten 2016). Rinntiden påverkas av markanvändningen då olika underlag tillåter vattnet att få olika hastighet. Exempelvis är rinntiden för en sträcka över en växtbädd längre än samma sträcka fast i en rörledning (ibid.).

Klimatfaktorn, k_f , är viktig att ha med i beräkningarna både eftersom nederbördsmängden beräknas öka i framtiden och det historiska regndatat som används för beräkning av återkomsttid måste omvandlas till den nutida och framtida regnmängderna (Svenskt Vatten 2016). Denna klimatfaktor rekommenderas att användas för beräkning av regnintensitet vid dimensionering av nya dagvattensystem. Klimatfaktorn rekommenderas inte vara lägre än 1,25 för kortare regnvaraktigheter och 1,20 för längre regnvaraktigheter (ibid.).

Återkomsttid för nederbörd är ett viktigt begrepp vid planering av dagvattenhantering eftersom det beskriver sannolikheten för att ett regn av en viss storlek kommer att inträffa (Svenskt Vatten 2016). Återkomsttiden baseras på analys av tidigare regnhändelser, och för att sannolikheten ska vara 100 % att en regnhändelse av en viss storlek inträffar inom en observationsperiod, måste observationsperioden vara ungefär 10 gånger så lång som återkomsttiden (ibid.). I tabell 1 syns sannolikheten för att en regnhändelse med en viss återkomsttid inträffar i förhållande till observationsperioden man använder sig av.

Tabell 1 Sannolikheten för att en viss händelse inträffar för en återkomsttid under en given observationsperiod (Svenskt Vatten 2016:33).

Återkomst- tid (år)	Sannolikhet under 5 år	Sannolikhet under 10 år	Sannolikhet under 20 år	Sannolikhet under 50 år	Sannolikhet under 100 år
5	67 %	89 %	99 %	100 %	100 %
10	41 %	65 %	88 %	99 %	100 %
20	23 %	40 %	64 %	92 %	99 %
50	10 %	18 %	33 %	64 %	87 %
100	5 %	10 %	18 %	39 %	63 %
500	1 %	2 %	4 %	10 %	18 %
1000	<1 %	1 %	2 %	5 %	10 %

För en återkomsttid som är lika lång som observationsperioden är alltså sannolikheten för att händelsen inträffar drygt 60 %. Regnets varaktighet, det vill säga hur länge det regnar, och regnets volym är viktiga faktorer vid jämförelse av olika regn (Svenskt Vatten 2016). Blockregn är ett begrepp som beskriver medelintensiteten för ett regn med en given varaktighet och återkomsttid (MSB 2017). Sambandet mellan blockregnsvaraktighet, återkomsttid och

regnintensitet kan ses nedan i tabell 2, som är en modifierad version av en tabell från Svenskt Vattens publikation P110 (2016:66).

Tabell 2 Regnintensiteten (l/s·ha) för olika återkomsttider (0,5 år till 100 år) och blockregnsvaraktigheter (5 till 120 minuter) (Svenskt Vatten 2016:66).

Återkomsttid (år)	Blockregnsvaraktighet (minuter)						
	5	10	20	40	60	90	120
0,5	116,8	85,2	56,9	36,3	27,6	20,9	17,2
1	146,6	106,9	71,2	45,2	34,2	25,8	21,1
2	184,2	134,1	89,2	56,4	42,6	32,0	26,1
5	249,3	181,3	120,3	75,8	57,1	42,7	34,7
10	313,5	228,0	151,0	95,0	71,4	53,3	43,1
20	394,5	286,7	189,8	119,2	89,4	66,6	53,8
30	451,2	327,8	216,9	136,2	102,1	75,9	61,3
50	534,7	388,4	256,9	161,1	120,7	89,7	72,4
100	673,2	488,8	323,1	202,5	151,5	112,5	90,6

2.2 ANLÄGGNINGAR FÖR LOKAL DAGVATTENHANTERING

Möjliga alternativ till lokal dagvattenhantering kan vara gröna tak, dagvattendammar, genomsläppliga beläggningar på hårdgjorda ytor och regnbäddar (Svenskt Vatten 2020). Samtliga av dessa metoder fokuserar på att främst fördröja och i viss mån magasinera och rena vattnet, och dessa egenskaper minskar risken för både översvämningar och föroreningsutsläpp (Svenskt Vatten 2011a; von Scherling et al. 2020). De lösningar för dagvattenhantering som används i kvarteren Klöver och Opalen är gröna tak och regnbäddar.

2.2.1 Gröna tak

Gröna tak är tak som beklätts med växtlighet för att fördröja det vatten som kommer med nederbörden (Blecken 2016). De gröna taken är uppbyggda i lager, där antalet lager och vad de består av kan variera (Wilkinson & Dixon 2016). De flesta gröna tak har gemensamt ett vattentätt membran (så kallad tätskikt) närmast taket, över det ett dränerbart lager, sedan ett jordlager och överst själva vegetationen (Blecken 2016; Wilkinson & Dixon 2016). Växtlagret kan vara av olika tjocklek och bestå av olika sorters växter. De tunnare (så kallade extensiva) takens jordlager har en tjocklek på under 150 mm och har växter med kortare rötter, exempelvis sedumväxter (Blecken 2016; Wilkinson & Dixon 2016). De djupare (så kallade intensiva) taken har ett jordlager med över 150 mm tjocklek och använder sig av växter med längre rötter, exempelvis olika typer av gräs och buskar (Blecken 2016; Wilkinson & Dixon 2016).

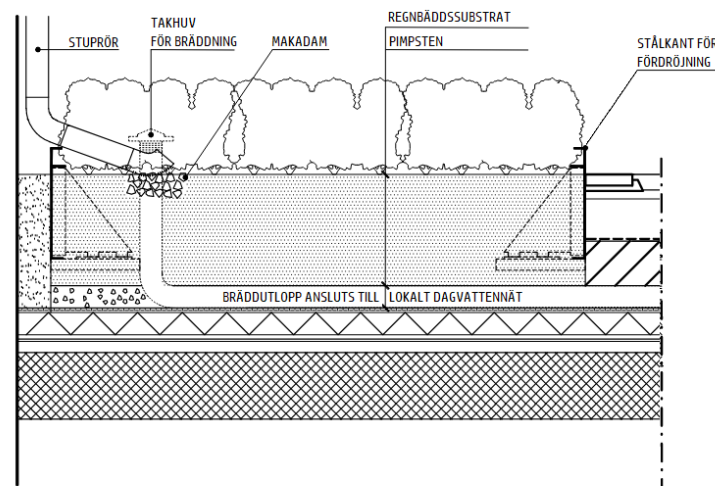
Syftet med gröna tak är att fördröja och magasinera regnvattnet. En rening av regnvattnet sker inte, men vattnet i sig är heller inte särskilt förorenat (Blecken 2016). Enligt en studie från 2006 finns ett tydligt samband mellan mängd avrinning från gröna tak och jordlagrets tjocklek (Mentens et. al 2006). I studien syns att från intensiva gröna tak avrinner mellan 15-35 % (medelvärde 25 %) och från extensiva tak avrinner mellan 19-73 % (medelvärde 50 %) av den årliga nederbörden (ibid.). Dessa värden i jämförelse med avrinningen från de icke-gröna taken som ligger på 62-91 % (med ett medelvärde på 81 %) av den årliga nederbörden så syns det att gröna tak till stor del hjälper till att minska mängden avrinning (ibid.). Fördröjningen av

regnvatten är bara en av fördelarna med gröna tak. Andra fördelar är exempelvis ljuddämpning, isolering (mot kyla under kalla säsonger och mot värme under varma), ökad biologisk mångfald, luftrening och bidragande effekt till en estetiskt tilltalande omgivning (Wilkinson & Dixon 2016).

Ett problem som kan uppkomma med gröna tak är att vattnet som avrinner från taket kan ha en sämre vattenkvalitet än själva nederbörden (Blecken 2016). Föroreningar på taken kan komma från växtrester (exempelvis fallande löv), fågelspillning och partiklar från atmosfären som faller till taken. Från dessa källor är den vanligaste föroreningstypen näringsämnen (ibid.). Läckage av näringsämnen kan också komma från gödsling av de gröna taken (ibid.). För att undvika denna föroreningskälla är det viktigt att de valda växterna passar klimatet för att minimera behovet av gödningsmedel och att det valda gödslet frisätter näringsämnena långsamt (ibid.).

2.2.2 Regnbäddar

Regnbäddar, även kallat växtbäddar, biofilter eller engelskans ”rain garden”, är en annan dagvattenlösning som använder sig av växter för att fördröja och rena dagvattnet (von Scherling et al. 2020; Blecken 2016). Regnbäddar kan utformas på olika sätt, de kan vara både upphöjda och nedsänkta, och ha olika sorters växter och filtermaterial (Haninge kommun u.å.). Oavsett utformning på regnbädden så är delar gemensamma mellan alla typer. Bland de gemensamma delarna finns ett inlopp där dagvattnet kommer in till bädden, någon form av erosionsskydd, en fördröjningszon, växtjord, ett översvämningsskydd och ett avvattningsystem (Fridell & Jergmo 2015). I figur 1 syns en principskiss för regnbäddar där stupröret agerar inlopp, stälkanten ger en fördröjningszon och bräddutloppet ger ett översvämningsskydd.



Figur 1 Principsektion för regnbädd. Figuren är en modifierad version av en principskiss gjord av Anna Bernmark på White Arkitekter.

Under både regnbäddar och gröna tak kan bjälklag användas (Capener et.al 2017). Ett bjälklag är en bärande konstruktion i en byggnad som agerar som både innertak och golv då det är del i det åtskiljande lagret mellan två våningar (NE u.å.b). Ett bjälklag består av golv, innertak och bärslaget, som är den bärande delen (NE u.å.b).

Eftersom dagvattnet inte har något basflöde så som i exempelvis en våtmark och dessutom ofta dräneras relativt fort måste regnbäddarnas växter kunna klara perioder av torra (Fridell & Jergmo 2015). Växter som kan fungera bra i regnbäddar är flertalet arter från tåg-, starr- och dagliljesläktet, samt andra växter som tål växlande vattenhalt i marken (Blecken 2016; Dahlström et al. 2017).

Växterna i bäddarna har flera funktioner där rening och fördröjning är de främsta (Svenskt Vatten 2011a). Reningen i regnbäddarna sker genom processer som liknar de som kan observeras i naturen (Fridell & Jergmo 2015). Genom att dagvattnet infiltrerar den planterade ytan och växtjorden kan växternas rötter ta upp näringsämnen, samtidigt som stjälkar och andra ytliga växtdelar sänker vattenhastigheten och därmed ökar sedimenteringen av partiklar (Fridell & Jergmo 2015; Blecken 2016). Regnbäddar fördröjer dagvattnet genom att mätta växtjorden och fylla fördröjningszonen (von Scherling et al. 2020). Andra effekter som fås utav växterna är en estetiskt tilltalande omgivning och ökad biologisk mångfald, avdunstning och infiltrationsförmåga i regnbädden. (Svenskt Vatten 2011a).

2.3 MODELLERING AV DAGVATTEN

Hydrologiska modeller har enligt Beven (2012) uppkommit eftersom det kan finnas omständigheter som gör att det inte är möjligt att mäta alla slags hydrologiska händelser. För att exempelvis kunna beräkna ett visst flöde kan därför modeller användas för att fylla luckorna för det saknade datat. En modell är dock aldrig en perfekt avbildning av verkligheten, men strävar efter att vara så korrekt som möjligt (NE u.å.d).

2.3.1 Autodesk Civil 3D och Naviate VA

Autodesk Civil 3D är ett CAD-program från Autodesk som funnits sedan 2004, och sedan dess utvecklats mer och mer (Holland et. al 2013). CAD, det vill säga Computer Aided Design eller svenskans datorstödd konstruktion, är ett verktyg för konstruktions- och ritningsarbete som används i stor omfattning för exempelvis ritningar av detaljer och konstruktioner eller ritningar för olika sorters ledningsnät, däribland vatten (NE u.å.c). Naviate VA är ett tillägsprogram till Civil 3D som är utvecklat av Symetri (Symetri u.å.a). Naviate VA innehåller kommandon och rördelar för ledningsnät, där rördelarna både överensstämmer med lokala standarder i form av dimension och typ, samt dimensioner och typer kopplade till vissa leverantörers produkter, så som brunnar och andra komponenter (Symetri u.å.b).

2.3.2 Autodesk Storm and Sanitary Analysis

Autodesk Storm and Sanitary Analysis är ett annat av Autodesk's mjukvaroprogram (Autodesk 2020b). Med Storm and Sanitary Analysis kan hydrologi, hydraulik och vattenkvalitet modelleras, både separat och samtidigt (Autodesk 2020a). Några exempel på vad som kan designas och analyseras är ledningsnät för dagvatten och dräneringssystem, kontrollstrategier för minskad översvämning i kombinerade system och diffusa föroreningskällor (ibid.).

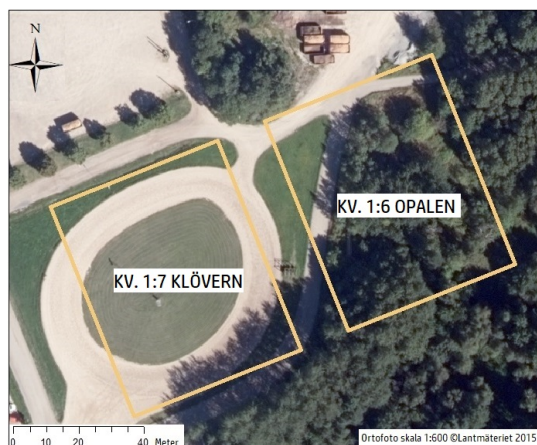
Storm and Sanitary Analysis (SSA) använder sig av hydrologiska modeller för att simulera vattnets avrinning över ytor och hydrauliska modeller för vattnets beteende i ledningar och brunnar (Autodesk 2020a). För den hydrologiska modellen finns ett flertal metoder att välja mellan, där alla har olika fördelar och nackdelar. Några av dessa metoder är EPA SWWM, Rational (rationella metoden) och HEC-1 (ibid.). Utöver den hydrologiska metoden kan också en metod för koncentrationstiden väljas. Även här finns flera olika metoder att välja mellan,

bland annat Carter, Kirpich och User defined (ibid.). I en studie från 2017 beskrivs att Carter används för koncentrationstiden i naturliga kanaler och Kirpich för mindre avrinningsområden medan "user defined", det vill säga användardefinierad, väljs om användaren själv vill sätta koncentrationstiden för varje yta (Salimi et.al. 2017; Autodesk 2020a).

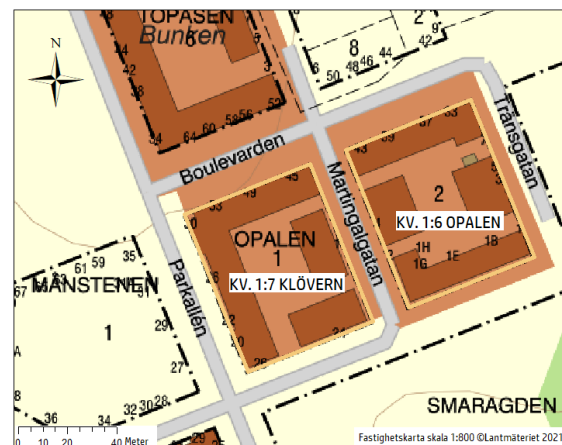
3 MATERIAL OCH METOD

3.1 PLATSBESKRIVNING OCH DAGVATTENUTREDNINGAR

De två kvarter som undersöks i denna rapport är kvarter 1:7 Klöver och kvarter 1:6 Opalen som ligger i Täby Park i stadsdelen Tibble i Täby. Kvarteren ligger på mark som tidigare varit del av en galoppbana men nu blivit omvandlat till en ny stadsdel (se figur 2a). Båda kvarteren har innan detta examensarbete påbörjats fått inflyttade boenden. Kvarteren är ungefär 3795 m² vardera och är placerade bredvid varandra enligt figur 2b, där det även går att se att de inte är identiskt utformade utan har olika form på både huskroppar och innergårdar. Fördröjande åtgärder som implementerats i kvarteren är gröna tak och regnbäddar (som studeras i detta projekt) men en fördröjande effekt fås också från andra växtbäddar och det luftiga bärlagret, som är del av innergårdens markuppbbyggnad, i kvarterens innergårdar.



(a) Flygbild från 2015 innan området exploaterades. Kvartergränser markerade med gula linjer. Bakgrundsbild: Ortofoto, 0,25 m RGB ©Lantmäteriet (2015).



(b) Översiktspå för kvarter 1:7 Klöver (Opalen 1) och kvarter 1:6 Opalen (Opalen 2). Bakgrundsbild: Fastighetskarta, skala 1:800, ©Lantmäteriet (2021).

Figur 2 Kartor över projektområdet före exploatering (figur (a)) och efter exploatering (figur (b)). Kartorna är skapade i ArcMap med bakgrundskartor från Lantmäteriet.

Dagvattenutredningar utförda av Anna Thorsell och Erika Hagström på Structor Uppsala har tillsammans med annat underlag från bygghandlingar använts för uppläggningsen av modellen över kvarteren. Dagvattenutredningarna utfördes vid två olika tidpunkter och därefter skiljer sig utformningen och detaljgraden något. Återkommande i båda dagvattenutredningar är Täby kommuns krav på dagvattenhantering för kvartersmark och det är utifrån dessa krav som många beräkningar och beslut om dagvattenlösningar gjorts. Kraven kan sammanfattas som:

- Hälften av ett dimensionerande 20-årsregn ska fördröjas före anslutning till kommunalt dagvattennät.
- Klimatkompensation med 1,25 ska läggas på samtliga flödesberäkningar.

- Ofördröjt takdagvatten får inte anslutas till kommunalt dagvattennät.
- Ett klimatkompenserat 100-årsregn ska kunna tas hand om inom kvarteret.
- Hälften av kvartersmarken (det vill säga ytan för både tak och mark) ska eftersträvas till att vara grön eller genomsläpplig (Täby kommun 2016).

3.1.1 Kvarter 1:6 Opalen

Kvarteret Opalen i Täby är ett av de nu färdigställda kvarteren i det nya bostadsområdet Täby Park. Innan kvarteret började byggas var den största delen av fastighetens mark skogsmark, och låg i utkanten av en dåvarande galoppbana. Idag består kvarteret Opalen av fyra huskroppar och en innergård med olika typer av växtbäddar. Dagvattenutredningen utfördes i januari 2018 och inkluderar flödesberäkningar för dagvatten och en föreslagen utformning av dagvattenlösningar inom kvarteret för att uppfylla kraven som Täby kommun har på dagvattenhanteringen. De lösningar som föreslogs för Opalen var gröna tak på hus 2 och 4, två typer av regnbäddar och andra planteringsytor på bjälklagsgården för att fördröja och rena dagvattnet (se figur 3).

Dagvattenutredningen föreslog två olika gröna tak, ett tunnare moss-sedum-tak som kan fördröja cirka 20 mm regn och ett tjockare tak med >230 mm växtlighet, som förutom fördröjning också främjar den biologiska mångfalden. Beteckningarna PL1-PL5 i figur 3 refererar till växtbäddar med olika sorters substrat i växtbädden. För växtbäddarna med regnbäddssubstrat (PL4 och PL5) rekommenderades två olika tjocklekar för substratet. De två tjocklekarna är 700 mm och 600 mm vardera och syns i två nyanser av blått i figuren. Båda regnbäddarna föreslogs utformas med en 10 cm kant runtom bädden för att fördröja dagvatten på ytan ovan växtjorden.



Figur 3 Fördelningen av gröna tak, regnbäddar och andra planteringsytor i kvarteret Opalen enligt dagvattenutredning.

Beräkningarna som utfördes i dagvattenutredningen är uppdelade för den befintliga situationen, det vill säga innan exploatering, och den planerade situationen. För båda dessa

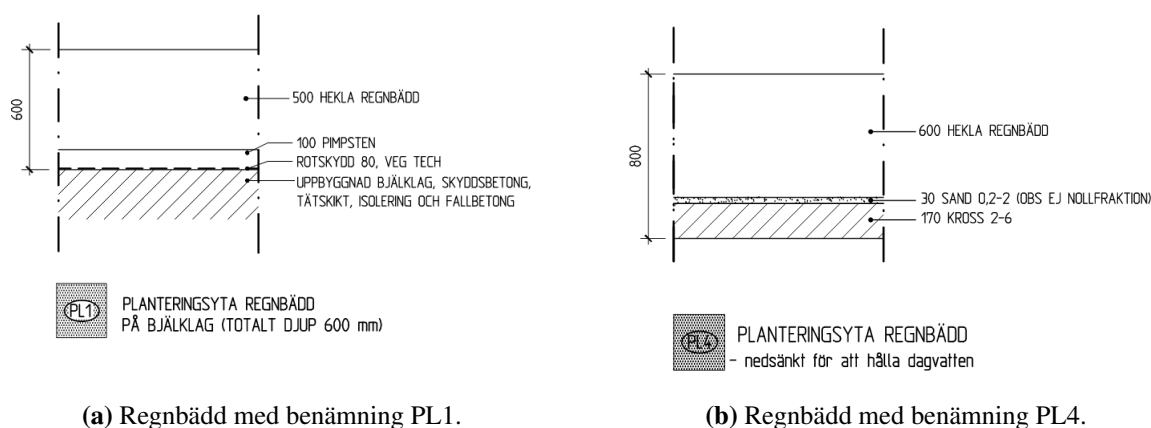
sammanställdes markanvändningen och avrinningskoefficient för varje delområde för att sedan beräkna det dimensionerade dagvattenflödet med ekvation 1 (se tabell 3). Återkomsttiden valdes till 20 och 100 år eftersom Täby Park har krav på att innan dagvattnet från ett 20-årsregn kommer till det kommunala ledningsnätet ska hälften av det fördröjas samt att kvarteret ska ha kapacitet att ta hand om ett klimatkompenserat 100-årsregn. För båda återkomsttiderna beräknades blockregnsintensiteten $i(t_r)$ med en blockregnsvaraktighet på 10 minuter och en klimatkfaktor på 1,25. Från detta blev $i(t_r)$ för ett 20-årsregn 358 l/s-ha och för ett 100-årsregn blev $i(t_r)$ 611 l/s-ha.

Tabell 3 Beräknade dimensionerade flöden (Q_{20r} och Q_{100r}) från befintlig och planerad situation med respektive andel markanvändning och sammanlagda avrinningskoefficienter (Φ_{tot}).

Situation	Markanvändning	Andel (%)	Φ_{tot} (-)	Q_{20r} (l/s)	Q_{100r} (l/s)
Befintlig	Väg	16	0,18	19,1	-
	Gräs	9,8			
	Skog	74,2			
Planerad	Takyta	42	0,64	86,5	232
	Grönt tak (10-110 mm)	19,7			
	Grönt tak (>230 mm)	1			
	Gårdsyta	37,3			

Den volym som krävs för att kunna fördröja hälften av dagvattenflödet från ett 20-årsregn (det vill säga 43,25 l/s) beräknades med klimatkfaktor 1,25 till 13 m³, medan volymen som krävs för att omhänderta ett 100-årsregn med samma klimatkfaktor beräknades till ca 120 m³.

Under projektets projekteringsfas (systemhandling och bygghandling) implementerades föreslagna lösningar från dagvattenutredningen med gröna tak och regnbäddar. Justeringar i utformningen medförde att det kompletterades med fler regnbäddar på gårdsytan som placerades vid stuprör. Slutgiltig utformning enligt bygghandlingen redovisas i bilaga I (a). I figur 4a och 4b redovisas principskisserna och fördelningen av substrat för regnbäddarna. I figur 5 visas en anlagd regnbädd, dock saknas växter och jordnivån ligger för högt.



Figur 4 Principskisser över regnbäddarna i kvarteret Opalen. Den stora skillnaden är att PL4 inte har underliggande bjälklag och därefter är substratdjupen olika. Skisserna är delar av underlag från Anna Bernmark, White Arkitekter.

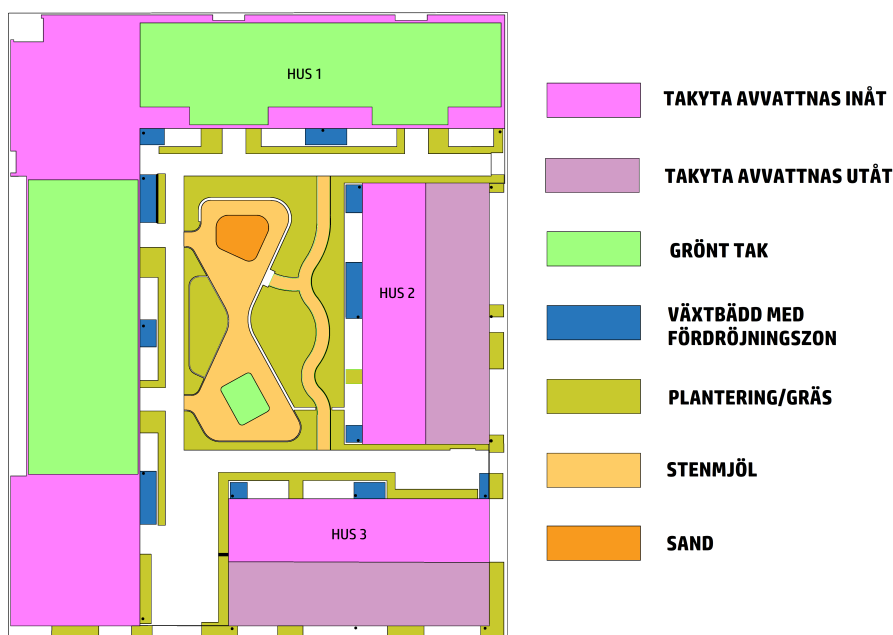


Figur 5 Bild på en av regnbäddarna i kvarteret Opalen. När bilden togs hade inga växter planterats i bädden, överytan av substratet ligger högt och ger därför inte 10 cm fördröjningszon. Foto: Anna Thorsell 2021-03-22.

3.1.2 Kvarter 1:7 Klöver

Kvarteret Klöver är i nuläget det enda grannkvarteret till Opalen som står färdigt. Marken som Klöver står på var tidigare del av en galoppbana med markanvändning som till största del bestod av gräs och en mindre grusad bana. Liksom i Opalen så har Klöver en innergård på bjälklag med olika typer av växtbäddar, men skillnaden är att Klöver har tre huskroppar istället för fyra (se figur 6). Även andelen och sammansättningen av gröna tak och regnbäddar skiljer sig mellan de två kvarteren.

Dagvattenutredningen för Klöver utfördes i maj 2018. I figur 6 ses hur dagvattenhanteringen planerades enligt dagvattenutredningen. Där syns att den stora L-formade byggnaden har två ytor med grönt tak där hela takytan avvattnas in mot innergården. De två mindre huskropparna har sadeltak utan fördröjning i form av grönt tak. Halva takytan avrinner in mot innergården och den andra halvan ut mot förgårdsmark. Växtbäddar med fördröjningszon (regnbäddar) placerades på innergården i anslutning till stuprör för att effektivt ta hand om vattnet som avrinner från takytorna. För regnbäddarna specificeras inget substratdjup men det angavs att den totala ytan av regnbäddar kan fördröja 14 m³. För resterande växtbäddar (benämnda plantering/gräs i figur 6) angavs två substratdjup för växtjord, 400 mm och 800 mm.



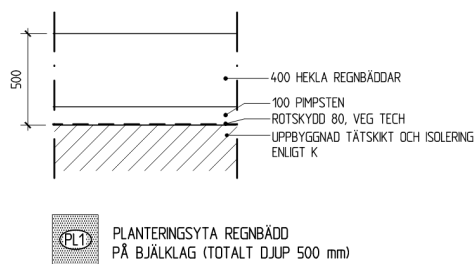
Figur 6 Planerad fördelningen av gröna tak, regnbäddar och andra planteringsytor i kvarteret Klöver enligt dagvattenutredning.

Beräkningarna utförda i dagvattenutredningen fokuserar på flödesberäkningar och fördröjningsvolym vid 20- och 100-årsregn för fastigheten efter exploatering. Sammansättningen av markanvändning och de beräknade flödena ses i tabell 4. Beräkningarna utfördes på samma sätt som i kvarteret Opalen och eftersom den totala ytan är samma i båda kvarteren blev regnintensiteten även här 358 l/s-ha för 20 års-regnet och 611 l/s-ha.

Tabell 4 Beräknade dimensionerade flöden (Q_{20r} och Q_{100r}) för den planerade situationen i kvarteret Klöver. Avrinningskoefficient Φ_{tot} sammalagd för hela ytan.

Markanvändning	Andel (%)	Φ_{tot} (-)	Q_{20r} (l/s)	Q_{100r} (l/s)
Takyta	36,9			
Grönt tak	21,6			
Regnbädd	1,8	0,70	96	163
Annan växtlighet	13,4			
Gårdsyta	26,3			

Under projekteringsfasen för Klöver implementerades de föreslagna lösningarna från dagvattenutredningen med gröna tak och regnbäddar. Även här kompletterades utformningen med fler regnbäddar i anslutning till stuprör. Den slutgiltiga utformningen enligt bygghandlingen redovisas i bilaga I (b). Regnbäddarna i Klöver har alla samma uppbyggnad, och liknar till stor del Opalens regnbäddar. I figur 7a redovisas principskissen för regnbäddarna på Klöverns innergård och i figur 7b visas en av de anlagda regnbäddarna på innergården. Även här ser man att jordnivån ligger för högt.



(a) Principskiss för regnbädd. Skissen är del av underlag från Anna Bernmark, White Arkitekter.

(b) Bild på en av regnbäddarna i kvarteret Klöver. Taget: 2021-04-20.

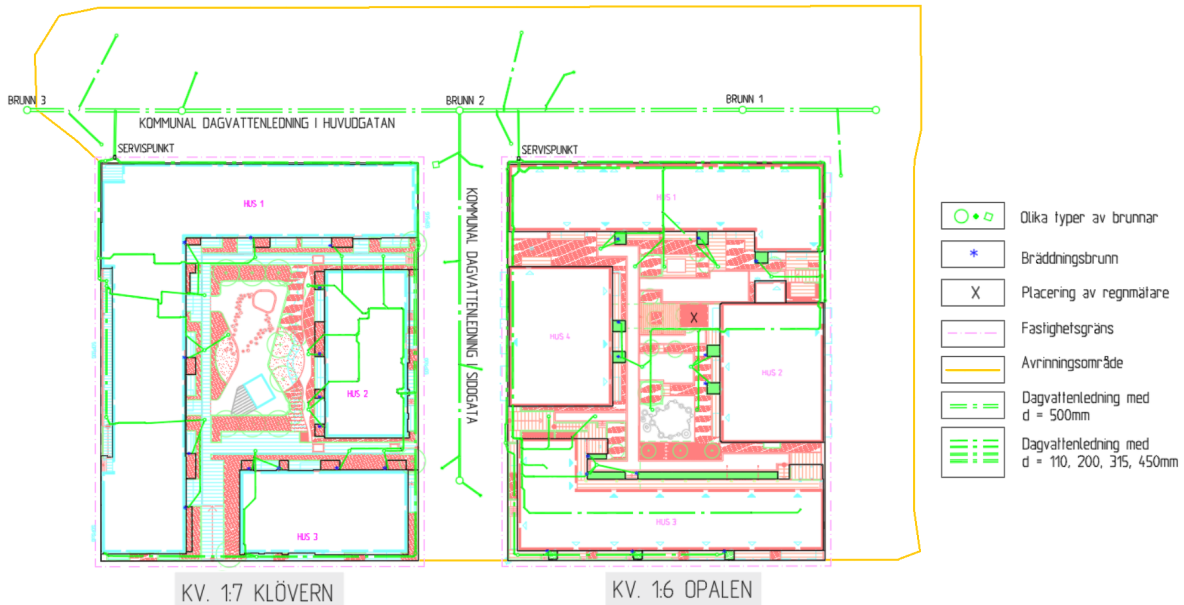
Figur 7 Principskiss för regnbädd (figur (a)) och bild på en av regnbäddarna (figur (b)) i kvarteret Klöver. Några växter planterade och jordnivån för högt i (b).

3.1.3 Ledningsnät i kvarteren

I båda kvarteren finns ledningsnät för dagvatten som transporterar dagvattnet efter fördröjning inom fastigheten. De lokala ledningsnäten inom kvarteren ansluter genom servispunkten till det kommunala ledningsnätet. Båda kvarteren har sin servispunkt i det nordvästra hörnet. Servispunkten (också kallad servis) är en kopplingspunkt mellan det kommunala ledningsnätet och de lokala ledningsnäten i respektive kvarter. Servispunkten är markerad i svart i figur 8. Ledningsnätet i gatorna tillhör det kommunala ledningsnätet. Samtliga ledningsnät är del av modellen som ställs upp i Autodesk Storm and Sanitary Analysis och kan ses i grönt i figur 8.

Huvudgatan i figur 8 har namnet Boulevarden (se figur 2b) och det är där huvudledningen för dagvatten i det kommunala ledningsnätet går. Huvudledningen har en dimension (diameter) på 500 mm och är den ledning där flödesmätarna installerades för flödesmätning (mer om detta i avsnitt 4.2). Brunnarna som användes för installationen av flödesmätarna (Brunn 1-3 i figur 8) är nedstigningsbrunnar med en dimension på 1000 mm. Från huvudledningen finns flertalet mindre utstickande ledningar. Flera av dessa slutar till synes i ingenting (se figur 8) men är alltså kopplade till olika sorters brunnar som transporterar dagvattnet från gatan och omkringliggande allmän mark som består av trottoarer, parkeringsfickor, växtbäddar och skelettjordar med träd. Ledningen som går ner i sidogatan mellan kvarteren från Brunn 2 har en dimension på 300 mm och den leder bort dagvattnet från området mellan kvarteren. Även här är det brunnar i den allmänna marken som fångar upp dagvattnet och leder det vidare till ledningsnätet. Från huvudledningen finns två ledningar som är direkt kopplade till vardera kvarters servispunkt. Allt dagvatten som leds bort från kvarteret går genom servisen till det kommunala ledningsnätet.

De två kvarteren har olika utformning på sina interna ledningsnät, men principerna är desamma. Gårdsytorna har så kallade bjälklagsbrunnar som leder bort det regnvatten som inte leds till och infiltrerar i de olika växtbäddarna. Samtliga regnbäddar i båda kvarteren har så kallade bräddningsbrunnar (markerade med en blå asterisk i figur 8). Dessa säkerställer att när vattennivån når 10 cm över växtbädden svämmer det inte över till gårdsytan i första hand, utan ner genom ett rör som är direktkopplad med kvarterets ledningsnät.



Figur 8 Översiktlig bild över båda kvarteren med utmärkta brunnar (1-3) där flödesmätare installerats samt regnmätarens position utmärkt med ett svart kryss i kvarteret 1:6 Opalen. Figuren är gjord med Autodesk Civil 3D och bakgrundsbilderna över kvarterens gårdsyta kommer från Anna Bernmark, White Arkitekter.

3.1.4 Beräkningar

I dagvattenutredningarna utfördes beräkningar för att bestämma vilket flöde som skulle släppas ut från kvarteret vid 20- och 100-årsregn och hur stor magasinvolym som krävs i respektive kvarter för att fördröja 20- och 100-årsregn. Dessa beräkningar baserades på fördelningen av markanvändning som föreslogs som lösning i utredningen. Flödesberäkningarna gjordes med hjälp av rationella metoden (se avsnitt 3.1.3 Dimensionering av dagvattenledningar), där en nederbördsintensitet och ett dagvattenflöde beräknades för valda återkomsttider. En avvägd avrinningskoefficient för den totala ytan samt den totala reducerade arean (summan av alla areor multiplicerad med sin avrinningskoefficient) användes för beräkningen. Magasinvolymen beräknas med hjälp av en nedladdningsbar Excel-fil från Svenskt Vatten (se bilaga IV), där återkomsttid, regnvaraktighet, rinntid, reducerad area, tillåtet flöde och klimatfaktor fylls i och en erforderlig magasinvolym beräknas. Erforderlig magasinvolym är den volym som behövs för att området med de givna variablerna ska kunna förvara allt regnvatten. Beräkningarna utförda för kvarteret Opalens dagvattenutredning finns i bilaga V och för kvarteret Klöver i bilaga IV.

3.2 REGN- OCH FLÖDESMÄTNINGAR SAMT DATAANALYS

För att undersöka huruvida kvarteren faktiskt fördröjer dagvattnet enligt de teoretiska beräkningarna i dagvattenutredningen användes en regnmätare som placerades i kvarteret Opalen och tre flödesmätare som installerades i tre brunnar längs med den kommunala dagvattenledningen (se figur 8).

3.2.1 Regnmätare

Regnmätaren var en så kallad ”tipping bucket”-mätare. Principen för denna typ av nederbördsräknare är att en behållare tippas över när den är fylld av en viss mängd vatten. För den regnmätare som användes här var behållaren formad som två små sammankopplade skålar som vickar fram och tillbaka när de fylls utav regnvattnet. Ytterhöljet av regnmätaren hade formen av ett timglas, där överdelen var öppen så att regndropparna fångades upp och leddes ner till de vickande behållarna som i detta fall rymmer 0.202 ml vardera. Regnmätaren var kopplad till en datalogger av typen Campbell Scientific CR1000 (se figur 9a) som programmerades till att lagra data för varannan minut. Regnmätaren placerades i en upphöjd växtbädd på kvarteret Opalens innergård (se figur 9b) under mätperioden 22/3 – 23/4 och själva placeringen i kvarteret kan ses markerad med ett kryss i figur 8.



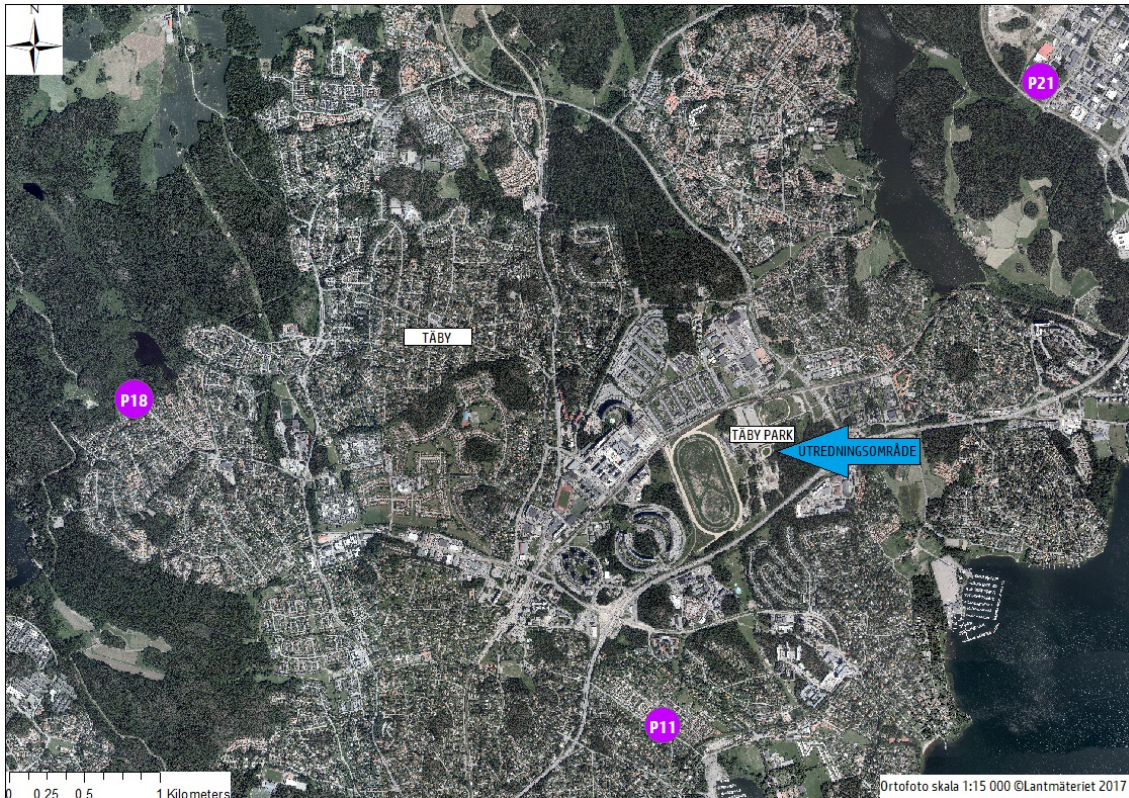
(a)



(b)

Figur 9 Uppställning av regnmätare i kvarteret Opalen. Regnmätare och datalogger fotade uppifrån till vänster (a), placering av regnmätare i upphöjd växtbädd till höger (b). Foton: Åsa Söderqvist 2021-03-22.

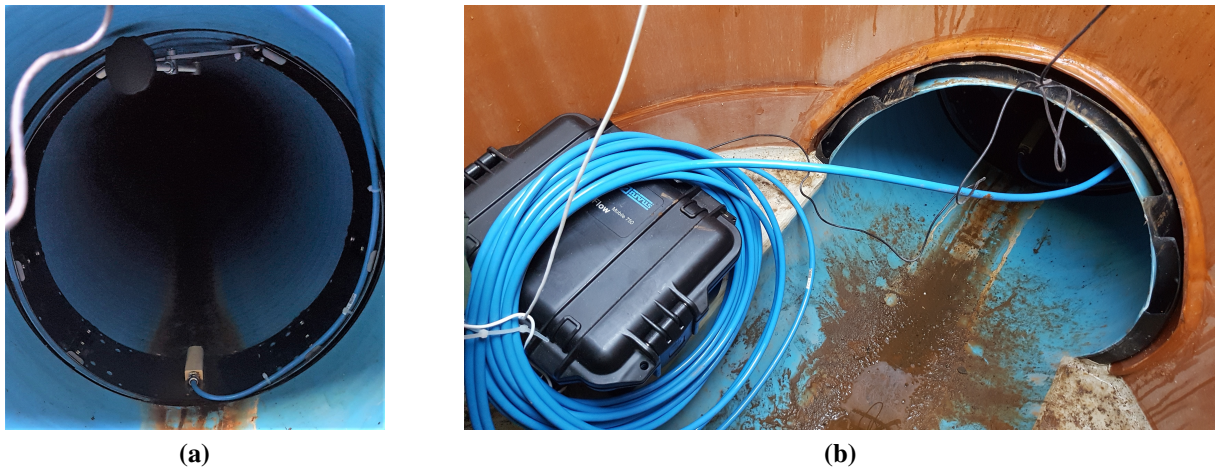
För att kunna kontrollera data från regnmätaren delade Täby kommun med sig av regndata från tre pumpstationer lokaliserade runt om i Täby (se lila markering i figur 10). Denna data användes för att kontrollera att regnmätarens data i Opalen var rimligt och för att få kompletterande data för de dagar där mätningen av dagvattenflöde och regn inte överlappade.



Figur 10 Karta med utmarkerade pumpstationer (P11, P18 och P21) i Täby kommun vars data användes som referens till uppmätt regndata i kvarteret Opalen. Utredningsområdet i Täby Park utmarkerat med blå pil. Bakgrundsbild: Ortofoto, 0,25 m RGB ©Lantmäteriet (2017).

3.2.2 Flödesmätare

För flödesmätningen användes flödesmätaren Nivus Flow velocity sensor CSM-D, som mäter variabler så som vattenflöde, vattenhastighet och höjden vatten i ledningen eller kanalen, och NivuFlow Mobile 750, en typ av signalomvandlare (se figur 11a och 11b). Tre av dessa flödesmätare installerades i valda nedstigningsbrunnar längs med den kommunala dagvattenledningen som går i huvudgatan för att mäta vattnet som tillkom till ledningen från båda kvarteren. I varje brunn fästes flödesmätarna med stålring och buntband i den ledning som låg uppströms brunnen för att minska risken för turbulens i flödet (se figur 11a). Stålringen var flexibel och spändes ut i röret för att säkerställa att flödesmätaren inte rörde på sig under mätningens gång. Mätperioden för flödesmätarna var den 25/3 – 27/4 och data lagrades en gång i halvtimmen med undantag för om vattenhöjden gick över 10 mm då data istället lagrades varje minut. Flödesmätaren satt kvar några dagar efter att regnmätaren hämtats från kvarteret. Detta eftersom flödesmätaren i Brunn 3 (se figur 8) felprogrammerades vid installation.



Figur 11 Placering av flödesmätare i den kommunala dagvattenledningen (a) och signalomvandlare i en brunn (b).

Den första flödesmätaren placerades i en brunn ca 40 meter uppströms från kvarteret Opalens servispunkt (markerad som Brunn 1 i figur 8) för att mäta basflödet innan kvarterets påkoppling. Nästa flödesmätare placerades i en brunn (markerad som Brunn 2) mitt emellan de två kvarteren med ett inlopp från sidogatan mellan kvarteren. Här installerades flödesmätaren i ledningen uppströms brunnen, vilket innebär att sidogatans flöde inte registrerades i dennas data. Den sista flödesmätaren placerades i brunnen längst nedströms i figur 8 (markerad som Brunn 3). Denna mätte flödet från båda kvarteren samt andra instickande ledningar, bland annat sidogatan mellan kvarteren. För flödesmätaren i Brunn 3 skedde ett misstag vid programmeringen av mätaren, där den fick en monteringshöjd på 0,035 m. Detta upptäcktes inte förrän sista veckan av mätningar och åtgärdades därför i ganska sent skede.

Anledningen till att flödesmätarna mätte längre än regnmätaren var för att regnmätaren behövde lämnas tillbaka till Geocentrum, men ett större regn var väntat under helgen efter att regnmätaren plockades ner. För att ändå kunna mäta flödet i förhållande till regnet hämtades data från nederbördsräknare vid tre pumpstationer runt om i Täby för regnmätarens mätperiod. Det förväntade regnet inträffade inte, men data från pumpstationerna kunde ändå användas för att bekräfta regnmätarens data under dess mätperiod.

3.2.3 Bearbetning och beräkningar av mätdata

Data från respektive flödesmätare medelvärdesbildades separat över både halvtimmesperioder samt över dygn. Detta gjordes främst för att få datamängden till en mer kontrollerbar volym, men också för att kunna jämföra trots att antalet datapunkter skilde sig stort mellan de olika mätarna. Regndata från regnmätaren sammanställdes också per halvtimme och dygn men med summan istället för medelvärdet. För att använda uppmätt regndata i de teoretiska beräkningarna medelvärdesbildades regnmängden över en vald tidsperiod för att få ut en regnintensitet i l/s-ha. Data från pumpstationerna sammanställdes bara med summan per dygn och jämfördes sedan med dygnssummorna för regnmätaren för att kontrollera rimligheten i regnmätarens data och därmed lättare sälla bort felaktiga datapunkter som uppkommit vid exempelvis kontroll av batteri och förflyttning av regnmätaren.

Eftersom mängden datapunkter hos flödesmätarens data för de olika datatyperna (volym, flöde, höjd och hastighet) varierade stort valdes höjden vatten i ledningen, h (m), då den hade mest

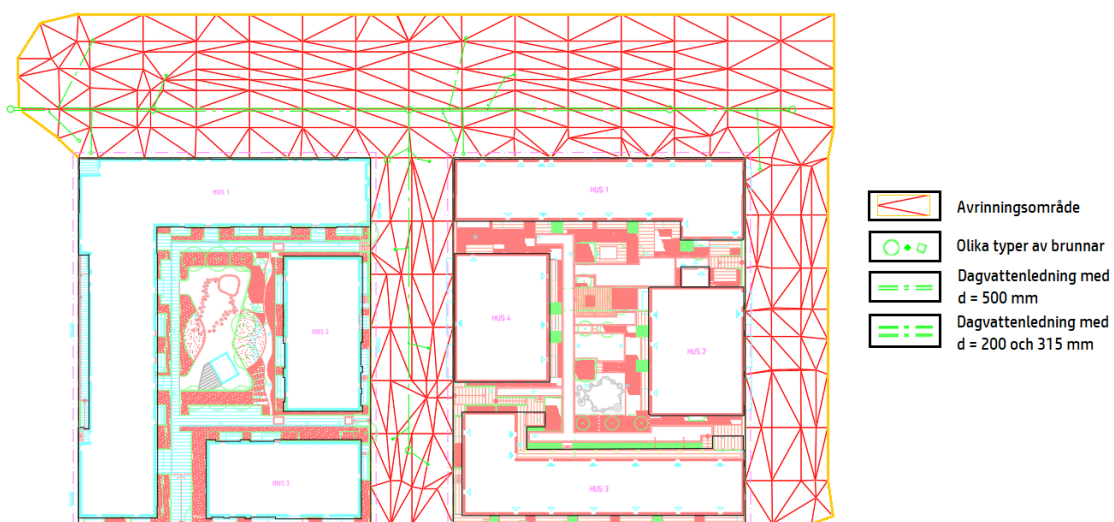
data i jämförelse mellan de olika brunnarna. Det beslutades också att utesluta data från flödesmätaren längst uppströms i ledningsnätet (Brunn 1) då dess data kraftigt avvek från de andra två flödesmätarna. För flödesmätaren längst nedströms i ledningsnätet (Brunn 3) justerades höjddata så att all insamlad data innan korrektionen av monteringshöjden som var mindre eller lika med 0,035 m ändrades till 0,0 m (det vill säga inget flöde), och data över 0,035 m subtraherades med 0,035. Utifrån denna justering jämfördes sedan flödesdata från Brunn 2 och Brunn 3 och regndata för varje halvtimme för att se hur regnet påverkade flödet i huvudledningen. Detta gjordes för de datum där störst regn inträffat för att undvika felmätningar vid väldigt låga flöden.

3.3 MODELLERING

3.3.1 Autodesk Civil 3D och Naviate VA

I Autodesk Civil 3D tillsammans med Naviate VA ritades kvarteren samt det kommunala ledningsnätet och kvarterens respektive ledningsnät för dagvatten upp. I kvarteren delades fastigheten också in i ytor enligt utförd ytkartering för att senare tilldelas egenskaper. Dessa ytor var primärt regnbäddar, takytor (hårdgjorda och gröna) och gårdsmark. Stora delar av underlaget till modellen i Civil 3D var från Structor Uppsala, Täby kommun och White Arkitekter. Rörelarna specificerades i underlagen och valdes ut från de mest liknande i Naviate VA:s katalog för ledningar och brunnar för dagvatten. Samtliga ledningar valdes från kategorin Markrör PP för den dimension som var angiven i underlaget. För brunnar valdes de till samma typ som angivet i underlaget. I uppritandet av ledningarna sattes så kallade brytpunkter där en ledning hade en vinkel eller anslöts till en annan ledning utan utsatt brunn.

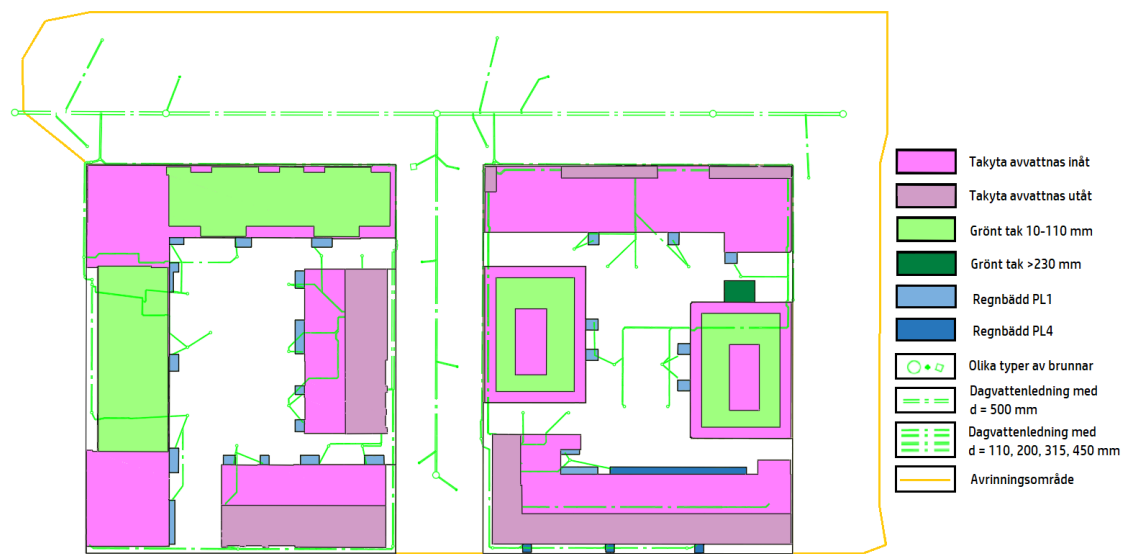
För att bestämma storleken på avrinningsområdet för ledningsnätet användes Civil 3D:s funktion "Water drop" tillsammans med terrängmodellen för ny mark baserad på projekterad höjdsättning. De delar där vattnet rann till en annan del utav ledningsnätet togs bort för att lägga fokuset på det önskade området. Avrinningsområdet för det kommunala ledningsnätet kan ses i figur 12 markerad med skrafferad yta runt kvarteren. I samma figur syns också det kommunala ledningsnätet i ljusgrönt och de två kvarterens utformning.



Figur 12 Översikt av storleken på avrinningsområdet till den valda sträckan i huvudledningen. Kvarteren utritade med bakgrundsbild från Anna Bernmark, White Arkitekter.

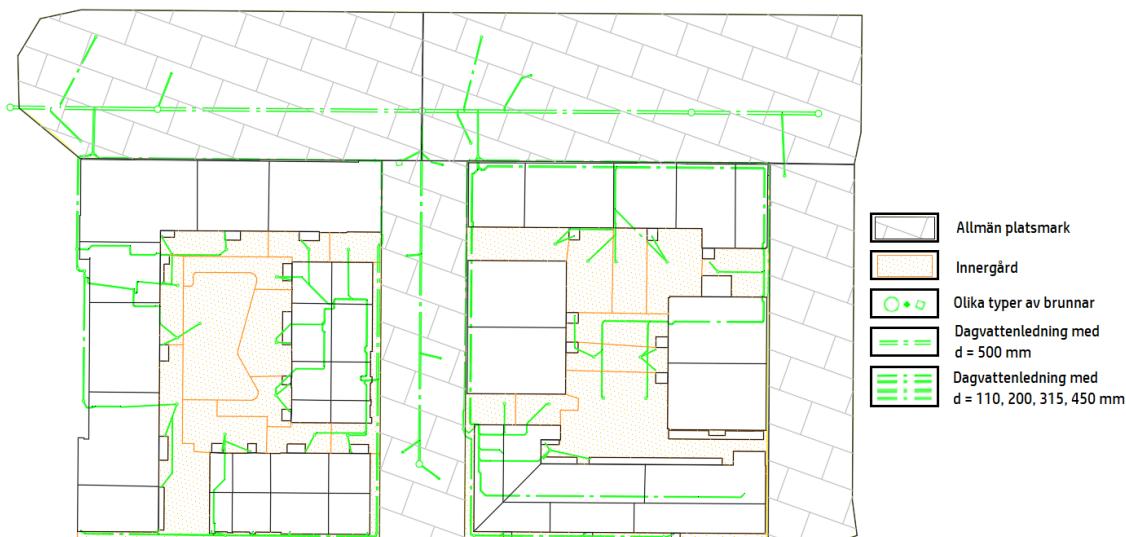
För att kunna ge olika ytor i kvarteren olika egenskaper i Storm and Sanitary Analysis så som avrinningskoefficienter och marklutning ritades regnbäddar, takytor och allmän gårdsyta av med polylines (ett ritverktyg av sammankopplade linjer) från det givna underlaget och omvandlades sedan till så kallade parcels för att kunna föras över till Storm and Sanitary Analysis. Genom denna uppritning kan ytornas area bli så exakt som möjligt, och egenskaperna tilldelade mer korrekt. I figur 13 syns de utritade regnbäddarna och takytorna inom kvartersmarken.

För uppritandet av kvarterens respektive ledningsnät användes underlag med ledningarnas utbredning och höjdangivelser för vattengången i brunnar och vissa rörsektioner. Höjdangivelserna användes för att ge ett höjdsatt ledningsnät med rätt lutning på ledningar. Även här användes brytpunkter för ledningar som vinklades åt något håll samt de brunnar som angavs i underlagen. Figur 13 illustrerar de uppritade taken och regnbäddarna tillsammans med ledningsnätet i grönt.



Figur 13 Kvarterens takytor och regnbäddar utritade med färger samt det kommunala och de lokala ledningsnäten i grönt med utmarkerade brunnar.

Innan exportering till Storm and Sanitary Analysis för analys delades alla ytor upp i delområden där varje delområde agerade som ett delavrinningsområde med ett tydligt utlopp. För takytorna baserades uppdelningen på takets lutning samt fördelning av stuprör. Detta innebär att en takyta med jämn lutning över hela ytan delades in så att gränsen gick mitt emellan två stuprör. Detta antagande gjordes för att ge så jämn fördelning av det avrinnande vattnet till ledningsnätet som möjligt. För innergårdarna och den allmänna platsmarken gjordes en enkel analys av höjdangivelserna för markytan och var brunnar var placerade och därefter delades de ytorna in i delområden.

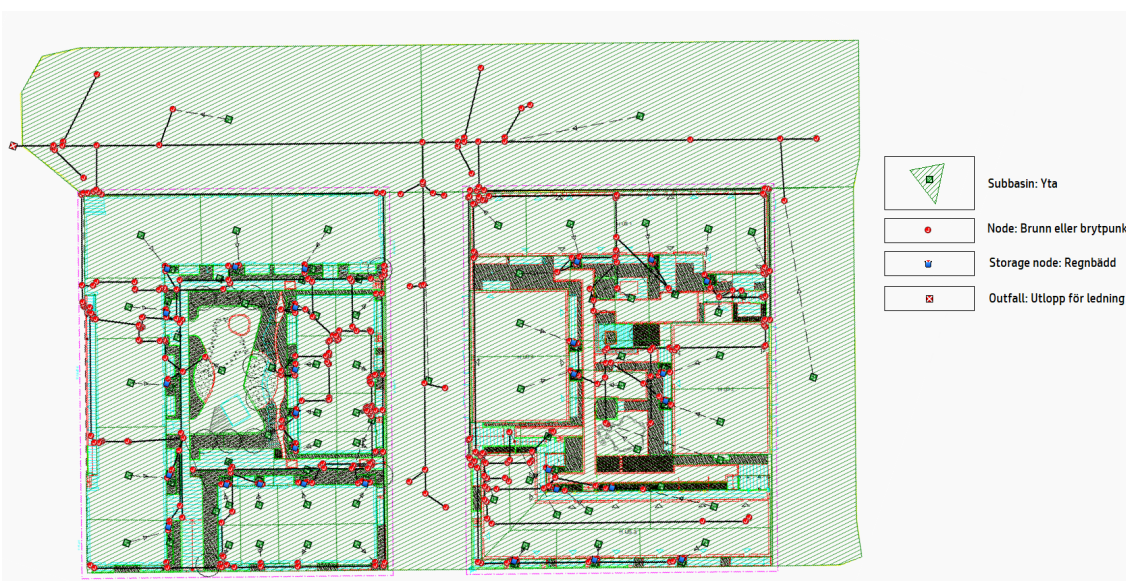


Figur 14 Delavrinningsområden för samtliga ytor. För att särskilja den allmänna platsmarken och innergårdsytan från tak och regnbäddar har dessa givits mönster.

Efter att ledningsnäten och ytorna var färdiga exporterades de separat som LandXML-filer så att de kunde importeras i Storm and Sanitary Analysis.

3.3.2 Autodesk Storm and Sanitary Analysis

I Autodesk Storm and Sanitary Analysis (SSA) importeras alla underlag som LandXML-filer och sparas ner som SSA-filer. Dessa filer läggs sedan ihop genom att använda en "merge"-funktion som SSA tillhandahåller (se figur 15 för omvandlingen från Civil 3D till SSA). Mellan Civil 3D och Storm and Sanitary Analysis finns några skiljaktigheter i namn för de olika delarna. I SSA refereras allt som varit brunnar, brytpunkter och liknande strukturer som så kallade junctions (vidare benämnda som kopplingspunkter), och ytorna som gjordes med parcels i Civil 3D är nu "subbasins" (vidare benämnda som delavrinningsområden).



Figur 15 Uppställningen av kvarteren och den allmänna platsmarken i Storm and Sanitary Analysis. Bakgrundsbilderna i respektive kvarter från underlag från Anna Bernmark, White Arkitekter.

I SSA sågs alla ledningar och brunnar igenom så att inget ändrats i importen från Civil 3D. Eftersom brytpunkterna hade förinställda höjder från Civil 3D gick dessa kopplingspunkter igenom och ändrades till att ha samma höjd som dimensionen på de ledningar som den kopplade samman. Om en kopplingspunkt kopplade samman två ledningar av olika storlekar fick den samma höjd som dimensionen på den större ledningen.

Till varje delavrinningsområde gavs avrinningskoefficienter som motsvarade dess markanvändning. Avrinningskoefficienterna som användes kan ses i tabell 5 och erhöles från dagvattenutredningarna. De delavrinningsområden som innehöll blandade taktyper (både hårdgjort och grönt tak) angavs storlek och avrinningskoefficient för respektive andel av taket och en avvägd avrinningskoefficient beräknades därefter automatiskt av SSA. Samma funktion användes för den allmänna platsmarken eftersom den består av både hårdgjorda ytor så som vägar och trottoarer (benämns hårdgjord allmän yta) och växtbäddar som ansvaras av kommunen. För gårdsytorna angavs en avvägd avrinningskoefficient beräknad från sammansättningen av kvarteret Opalens ytor i dagvattenutredningen (bilaga V).

Tabell 5 Avrinningskoefficienter för respektive markanvändning. Värdena erhållna från dagvattenutredningarna.

Markanvändning	Avrinningskoefficient Φ
Hårdgjorda tak	0,9
Grönt tak (40-110 mm)	0,7
Grönt tak (230 mm)	0,35
Regnbäddar	0,1
Gårdsyta inom kvarter	0,55
Hårdgjord allmän yta	0,8
Kommunens växtbäddar	0,1

Då SSA inte har en egen funktion som simulerar regnbäddar fick en lösning där de simuleras skapas. Detta innebar att en så kallad storage node (vidare benämnd som magasin) användes som behållare för regnvatten att ansamlas i regnbädden. Magasinet gavs samma djup som den regnbädd den skulle imitera samt en beräknad volym för den totala porvolymen för respektive substrat tillsammans med den ytliga fördröjningszonen på 10 cm. Till regnbädden (magasinet) kopplades respektive tak- och regnbäddsyta (delavrinningsområde) så att allt vatten som regnade på dessa ytor kom till magasinet. För att strypa utflödet från regnbädden användes en ledning med dimension 50 mm som flaskhals i botten av magasinet. För att simulera funktionen av ett bräddrör placerades en ledning med dimension 110 mm i den högsta punkten av magasinet så att det översvämmande vattnet kunde ledas till ledningsnätet.

I inställningarna för analysen finns flertalet val att göra beroende på vilken hydrologisk modell ("hydrology runoff specifications") som ska användas för avrinningen samt vilken typ av hydraulik som ledningarna ska följa ("hydraulic routing specification"). För detta projekt valdes den rationella metoden med en användardefinierad ("user defined") koncentrationstid på 10 minuter som hydrologisk modell.

Eftersom det finns krav från Täby kommun på kvarterens omhändertagande av dagvattnet från 20- och 100-årsregn kördes modellen för uppmätt regn under mätperioden, 25-årsregn (eftersom 20-årsregn inte gick att välja) och ett 100-årsregn. Från dessa analyser kunde bland annat maximalt flöde, maximal vattenhöjd i ledning och översvämningsvolym fås ut i Excel-filer som SSA själv kan generera.

3.4 BERÄKNINGAR

3.4.1 Med rationella metoden

Från beräknade ytor i Civil 3D erhöles areor för alla ytor med olika markanvändning. Dessa sammanställs i tabell 6, där alla avrinningskoefficienter är tagna från dagvattenutredningarna (se bilaga V och bilaga VI). Sista kolumnen i tabell 6 innehåller den avvägda avrinningskoefficienten för hela området yta och summorna för respektive kvarters totala yta samt hela utredningsområdets yta.

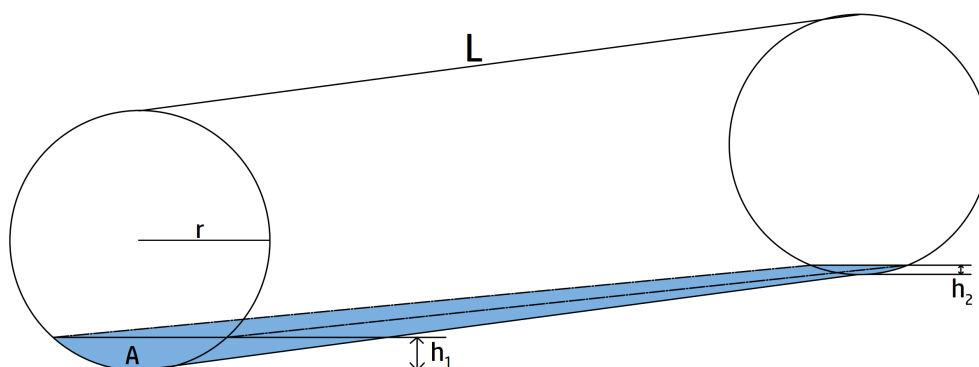
Tabell 6 Resultaterande fördelning av områdets markanvändning, totala arean och avrinningskoefficient (Φ) för respektive markanvändning.

Markanvändning	Φ	Area [m^2]		
		Kvarteret Opalen	Kvarteret Klöver	Hela området
Tak	0,9	1581	1469	3050
Grönt tak (40-110 mm)	0,7	739	836	1575
Grönt tak (>230 mm)	0,35	-	21	21
Växtbädd	0,1	78	77	155
Innergård	0,55	1397	1392	2790
Hårdgjord gata	0,8	-	-	5244
Kommunens växtbäddar	0,1	-	-	1258
Totalt	0,69	3795	3795	14092

Med dessa ytor, avrinningskoefficienter och en antagen regnvaraktighet (det vill säga koncentrationstid) på 10 minuter beräknades det teoretiska flödet för respektive kvarter med rationella metoden, vilket var samma metod som i dagvattenutredningarna. Detta gjordes för att kunna jämföra det teoretiska flödet med dagvattenutredningarnas beräknade värden. Utöver detta gjordes även flödesberäkningar med rationella metoden för hela utredningsområdet för att jämföras med flödet som beräknades av modellen i Storm and Sanitary Analysis.

3.4.2 För flödet från mätningar

För att omvandla höjden vatten i ledningen till ett flöde beräknades först en tvärsnittsarea för vattnet i ledningen. I figur 16 illustreras de variabler som användes i beräkningen av tvärsnittsarean (A) och volymen.



Figur 16 Illustration över de variabler som användes i beräkningarna för volymen och flödet i ledningen mellan Brunn 2 och Brunn 3.

Där:

A = Tvärsnittsarean för vattnet i ledningen (m²)

L = Längden på ledningen (m)

r = Ledningens radie (m)

h₁ och h₂ = Höjden vatten i ledningen vid respektive mätplats (m)

Tvärsnittsarean beräknades genom ekvation 4 där $h = h_1 - h_2$ användes för att endast räkna ut mängden vatten som tillkom under den valda sträckan L.

$$A = r \cdot \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h) \cdot \sqrt{2 \cdot r \cdot h - h^2} \quad (4)$$

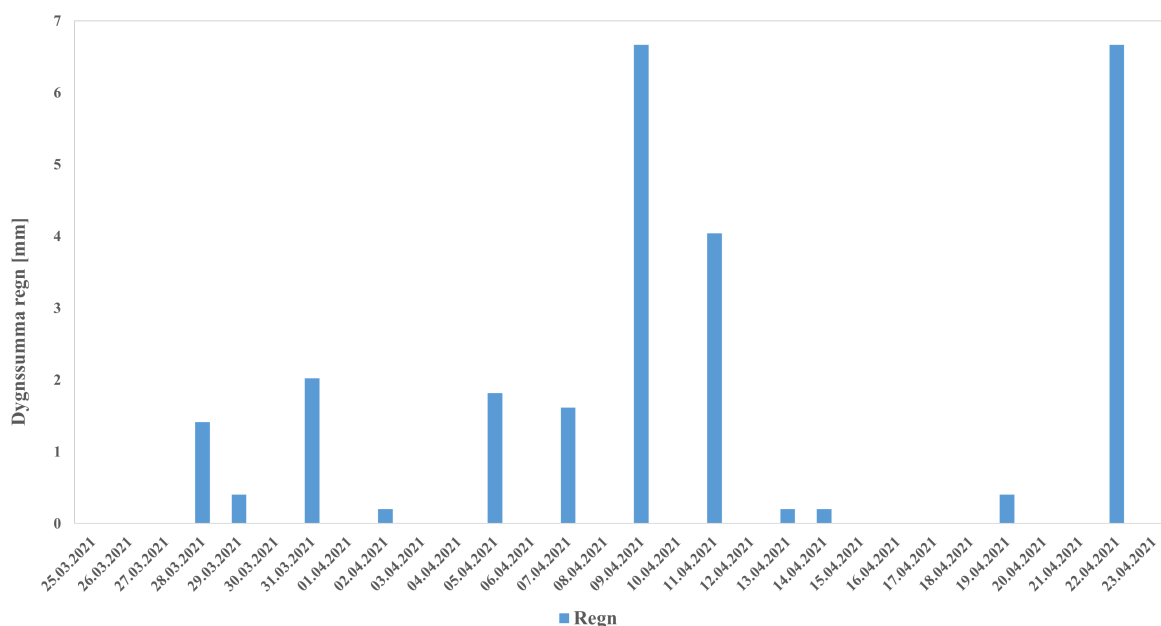
Vid beräkningen av volymen multiplicerades tvärsnittsarean A med ledningslängden L men eftersom detta är volymen för ledningen om höjden var densamma i båda ändar delades denna volym på två. Detta var ett förenklat sätt att räkna på som valdes då de beräknade värdena för volymen tycktes rimliga i jämförelse med mängden regn som föll över ytan. Flödet beräknades sedan genom att ta summan av volymerna under den valda tidsperioden och sedan dividera summan med tiden i sekunder, vilket gav flödet Q (m³/s).

4 RESULTAT

4.1 MÄTRESULTAT

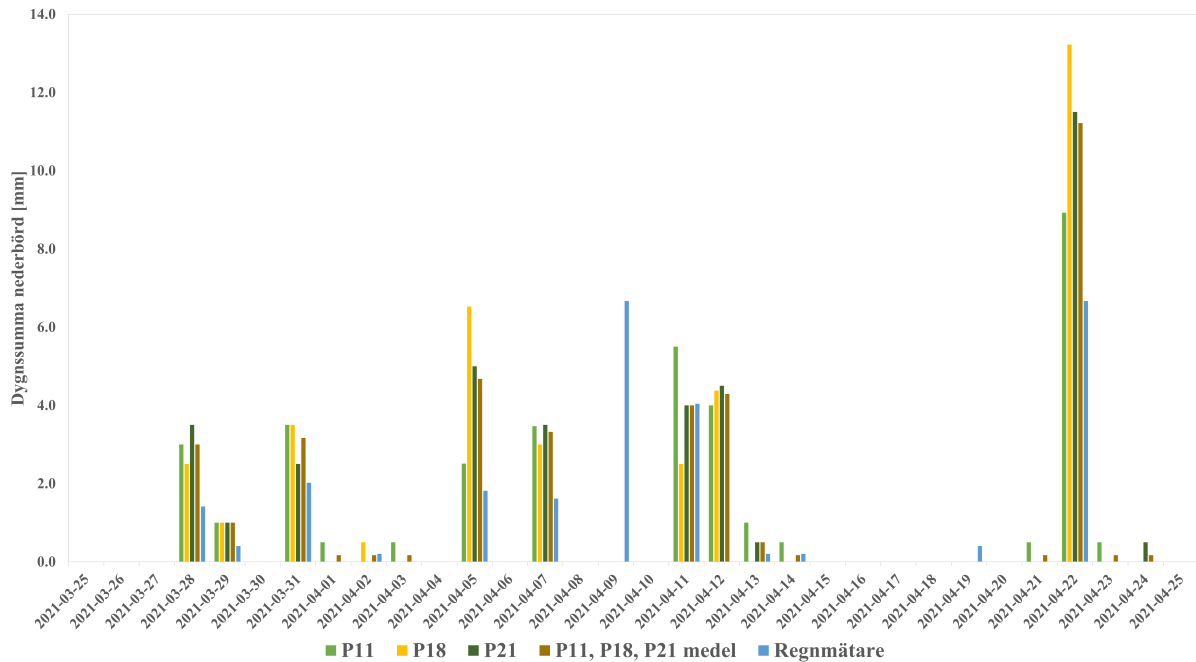
4.1.1 Regnmätare

Från regnmätaren erhöles data för perioden 22/3–23/4, där tydliga nederbördstillfällen registrerats. I figur 17 syns regnets fördelning över mätperioden 25/3–23/4 där både regnmätaren och alla flödesmätarna var installerade.



Figur 17 Fördelning av regn i millimeter över mätperioden mätt med regnmätare i kvarteret Opalen.

I figur 17 syns tydligt att de största regntillfällena skedde den 9/4, 11/4 och 22/4. Summan nederbörd för hela perioden var 17,4 mm. Detta är relativt litet jämfört med medelnederbörden för Stockholm (beräknat över åren 1961-1990) som är 26 mm nederbörd i mars och 30 mm nederbörd i april (SMHI u.å.b; SMHI u.å.a). I figur 18 syns samma värden för regndatat som i figur 17 i blått med tillägget av dygnssummorna från pumpstationerna runt om i Täby (P11, P18 och P21) samt medelvärdet av dessa för att ge ett referensvärde till datat från den lokala regnmätaren i Opalen. För perioden 8–10/4 syns en stor topp för regnmätaren men inget data för pumpstationerna. Detta beror på att kommunens server som loggar datat var tillfälligt nere under en del av den perioden, och därför saknas nederbördsdata för detta tillfälle.



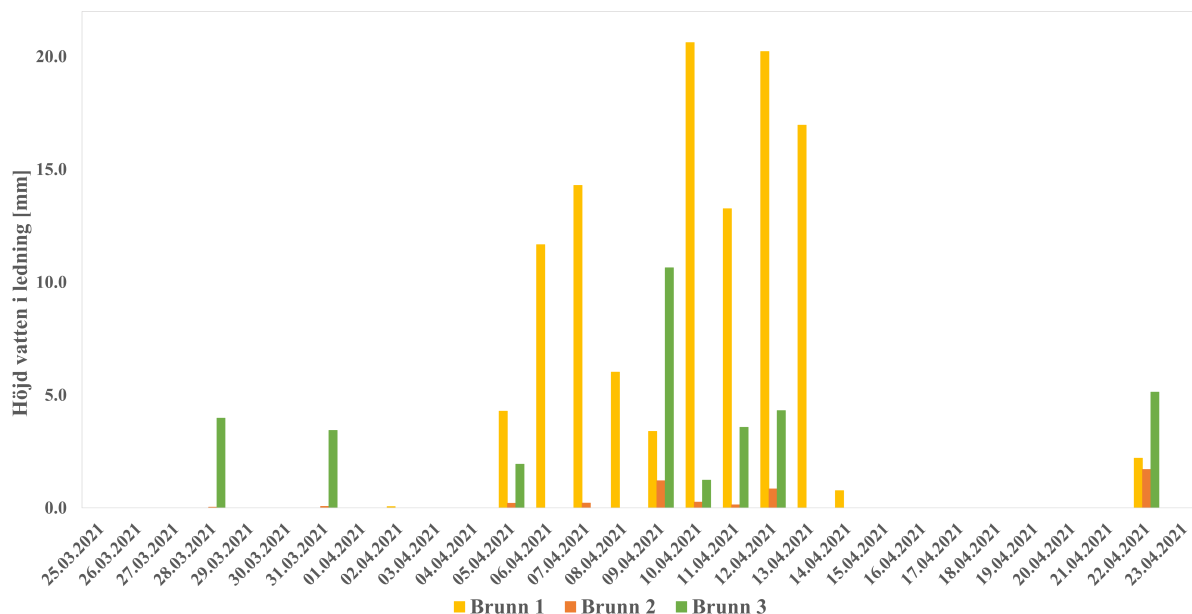
Figur 18 Dygnssummor för nederbörd under perioden 25/3–22/4. P11, P18 och P21 benämner Täby kommuns pumpstationer var datat kommer ifrån.

Som komplettering till pumpstationernas förlorade mätvärden användes också SMHI:s statistik över dygnsmedelvärden för nederbörd från deras mätstationer i Stockholm och Vallentuna som styrker att det skett nederbörd under perioden 8–10/4 som regnmätaren i Opalen registrerat men pumpstationerna missat (se bilaga III).

4.1.2 Flödesmätare

Datat från flödesmätarna var tyvärr inte konsistent, där många datapunkter misstänks vara felaktiga till följd av för låga flöden. Originaldatats dygnsmedelvärden redovisas i figur 19 medan det justerade datat (i medelvärden per halvtimme) för Brunn 2 och Brunn 3 för datumen 9–12/4 och 22/4 redovisas i figur 20.

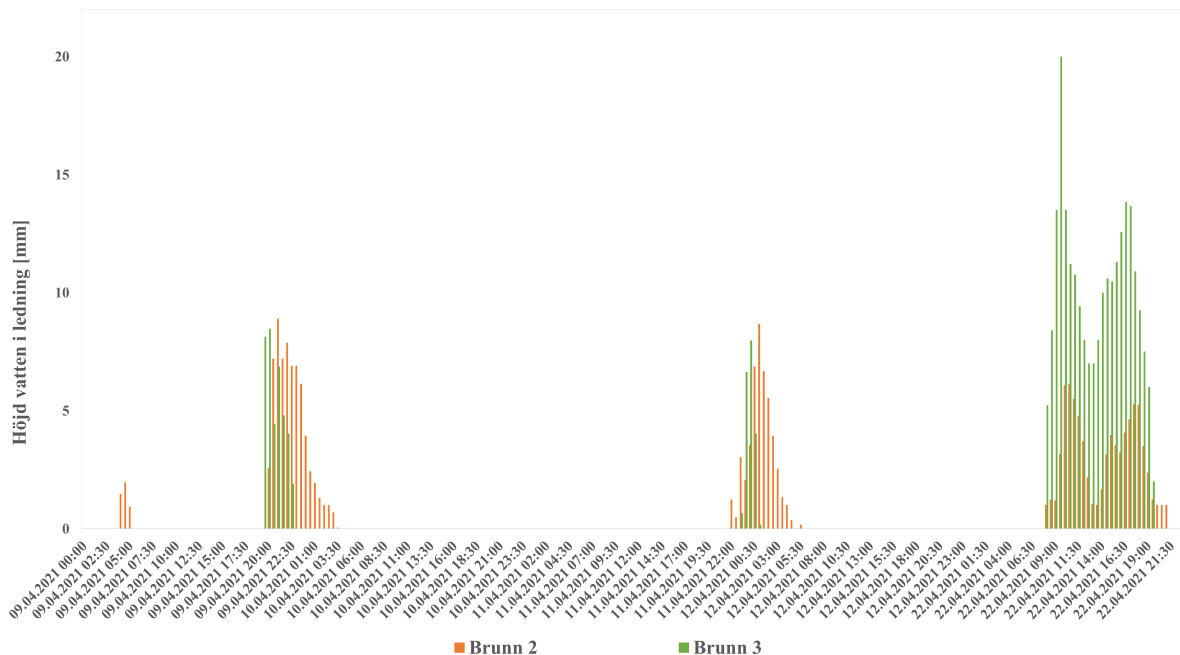
Från figur 19 syns att Brunn 1, som ligger längst uppströms av de tre brunnarna, har väldigt höga värden i jämförelse med Brunn 2 och Brunn 3. Vissa dagar har Brunn 1 även registrerade värden där Brunn 2 och Brunn 3 antingen inte har något utslag alls eller väldigt låga värden på vattenhöjden. På grund av detta valdes Brunn 1 att uteslutas helt i fortsatt analys av datat.



Figur 19 Uppmätta vattenhöjder i de tre brunnarna i huvudledningen för dagvatten.

Uteslutningen av Brunn 1:s värden bekräftades som en bra åtgärd efter kommunikation med Janko Savić på Täby kommun som förklarade hur dagvattnet inte runnit till de kommunala växtbäddarna som leder vattnet till Brunn 1. Istället flödade dagvattnet på marknivå till brunnar som kopplades på huvudledningen mellan Brunn 1 och Brunn 2 eftersom den allmänna platsmarkens hårdgjorda yta inte var färdigställd och därför inte ledde vattnet korrekt. Därmed kunde inte Brunn 1 ha mätt den typ av mätvärden som hade registrerats, och samtliga värden från Brunn 1 bortsågs från helt.

I figur 20 redovisas hur Brunn 3:s värden under perioden 9–12/4 är något lägre än Brunn 2:s, detta troligtvis till följd av justeringen av datat till följd av den felaktiga monteringshöjden. Brunn 3:s data justerades (minskades) med 0,035m fram tills den felaktiga monteringshöjden åtgärdades vid klockan 08:30 den 22/4.

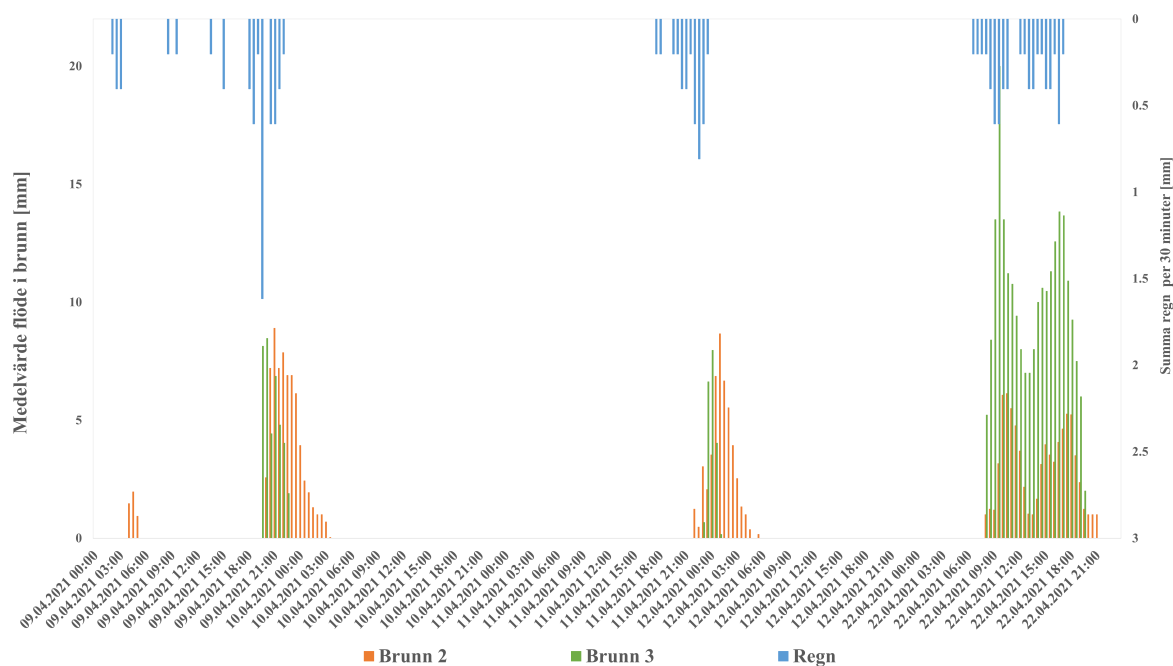


Figur 20 Medelvärden för höjden vatten i ledningen per halvtimme för Brunn 2 och Brunn 3 för datumen 9–12/4 och 22/4. Värdena för Brunn 3 minskades med 35 mm fram till klockan 08:30 den 22/4 som justering till felprogrammeringen.

För den 22/4 kan man se att topparna i Brunn 2 och Brunn 3 följer varandra riktigt väl. Detta kan troligtvis bero på att majoriteten av värdena som mättes under den 22/4 var efter att monteringshöjden på flödesmätaren i Brunn 3 hade åtgärdats och därför inte behövde justeras. På grund av att detta tros vara den mest korrekta mätningen läggs mest fokus på datat från detta datum i följande resultat.

4.1.3 Fördröjning

Vid jämförelse av regntillfälle och utslag i flödesmätaren syns en viss fördröjning för det första registrerade regnet och den första registrerade höjden i ledningen (se figur 21).



Figur 21 Total mängd nederbörd (höger y-axel) mot medelhöjd i ledningen (vänster y-axel) för varje halvtimme under datumen 9–12/4 och 22/4.

För de två stora regnhändelserna där höjddatat från Brunn 3 var justerat kan man se att toppen för regnet tydligt inträffar innan båda brunnarnas högsta punkt. Även vid det sista nederbördstillfället den 22/4 syns en fördröjning av regnet, vilket är extra tydligt när värdena jämförs i tabellform (se bilaga IV). Dagvattnet fördröjs med minst 1,5 h enligt tabell 7, där den sammanställda start- och sluttiden för regnhändelserna och det följande registrerade flödet i båda brunnarna redovisas.

Tabell 7 Fördröjning mellan regnhändelse och utslag i flödesmätare.

Mätare	Datum och tid					
	Start	Slut	Start	Slut	Start	Slut
Regn	9/4 18:00	9/4 23:00	11/4 17:30	12/4 00:30	22/4 06:30	22/4 18:00
Brunn 2	9/4 20:00	10/4 03:00	11/4 22:00	12/4 06:00	22/4 08:00	22/4 21:30
Brunn 3	9/4 19:30	9/4 23:00	11/4 23:00	12/4 01:30	22/4 08:00	22/4 19:30

4.2 BERÄKNADE FLÖDEN

4.2.1 Relativt mätdatat

För regnperioden den 22/4 klockan 06:30 till 17:00 beräknades medelvärdet för mängden regn till 0,606 mm/h och enligt ekvation 3 gav detta regnintensiteten 1,68 l/s·ha. Klimatfaktorn sattes till 1 för att det inte var nödvändigt att kompensera med en större klimatfaktor då beräkningen var för regnet som inträffade den 22/4. Med regnintensiteten, den slutgiltiga fördelningen av markanvändning och klimatfaktorn på 1 beräknades flödet med den rationella metoden enligt ekvation 1. Det totala flödet från beräkningen redovisas i tabell 8.

Från mätdatat blir den totala volymen regn som föll under den 22/4 beräknad till 6,67 mm vilket över den totala ytan (se tabell 6) resulterar i en volym på drygt 93,3 m³. För samma tidsperiod

beräknas den totala volymen vatten som passerat Brunn 2 och Brunn 3 till ca 50,0 m³. Det genomsnittliga flödet redovisas i tabell 8.

Från modelleringen i SSA och de hydrologiska och hydrauliska beräkningar som utförts i dess analyser erhålls värden för beräknade flöden i samtliga uppritade ledningar. Modellen kördes med ett regn på 0,606 mm/h under 11 timmar (för att motsvara regnintensiteten för mätningen) och det redovisade flödet i tabell 8 är maxflödet i Brunn 3 för körningen.

Tabell 8 Beräknade flöden [l/s] för regnhändelsen som inträffade den 22/4. För modellen och beräkningarna med rationella metoden används medelvärdet 0,606 mm/h för

Metod	Beräknat flöde [l/s]
Beräkning med rationella metoden	1,64
Beräkning av de uppmätta värdena för Brunn 2 – Brunn 3	1,26
Modell i Storm and Sanitary Analysis	0,92

Från tabell 8 syns att det beräknade flödet från de uppmätta vattenhöjderna i Brunn 2 och Brunn 3 är relativt nära flödet som beräknades med den slutgiltiga utformningen på kvarteren och den rationella metoden. Flödet från modellen i Storm and Sanitary Analysis var däremot märkbart mindre, men ändå inte ett orimligt värde.

4.2.2 För långa återkomsttider

Resultaten från beräkningarna gjorda med större återkomsttider (20-, 25- och 100-årsregn) presenteras i tabell 9. De beräkningar som redovisas är dagvattenutredningarnas flödesberäkningar med rationella metoden, flödesberäkningarna med rationella metoden som gjordes för den slutgiltiga utformningen av kvarteren och flödena som beräknades i Storm and Sanitary Analysis (SSA) utifrån den skapade modellen över kvarteren och den allmänna platsmarken.

Tabell 9 Beräknade flöden för de två kvarteren samt hela området för respektive beräkningssätt och återkomsttid.

Återkomsttid [år]	Beräknade vattenflöden [l/s]		
	Kvarteret Opalen	Kvarteret Klöver	Hela området
	Från dagvattenutredningen		
20	86,5 l/s	96 l/s	-
100	232 l/s	163 l/s	-
	För den slutgiltiga utformningen		
20	97,4 l/s	96,4 l/s	351,1 l/s
25	104,8 l/s	103,7 l/s	377,5 l/s
100	166,0 l/s	164,3 l/s	597,9 l/s
	Från modellen i Storm and Sanitary Analysis		
25	51,0 l/s	61,5 l/s	270,6 l/s
100	60,5 l/s	71,7 l/s	356,6 l/s

I tabell 9 syns att värdena från beräkningen i dagvattenutredningen och beräkningen av den slutgiltiga utformningen för kvarteret Klöver är mycket nära i storleksordning medan samma

beräkningar för kvarteret Opalen skiljer sig något mer. Flödena som SSA beräknat är däremot mycket lägre än de som båda de andra beräkningarna fått ut.

5 DISKUSSION OCH SLUTSATS

5.1 DISKUSSION

5.1.1 Fördröjning i mätresultaten

För alla de större regnhändelserna som skedde under mätperioden registrerades flöden i både Brunn 2 och Brunn 3. Utseendet på Brunn 3:s värden för datumen 9–12/4 i figur 20 är sannolikt en konsekvens av minskningen med 0,035 m för justeringen av monteringshöjden där alla värden under 0,035 antogs vara 0 för att undvika negativa värden. Denna felkälla innebär att datat fram till klockan 08:30 den 22/4 skulle kunna sakna värden som var för låga för korrekt avläsning av flödesmätaren.

En fördröjning med 1,5 timme mellan regnhändelsens start och första registrerad vattenhöjd i ledningen kan ses i figur 21 och tabell 7. Denna fördröjning skulle kunna vara ett resultat från de fördröjande funktioner som finns i kvarteren och den allmänna platsmarken, men eftersom inget uppmätt eller beräknat värde finns för hela utredningsområdets koncentrationstid finns det inte en slutsats som kan tas. För att bättre kunna bestämma om fördröjningen som syns i tiden från regnhändelsens start och registrerat vattenflöde i huvudledningen skulle fler mätningar och framförallt mätningar med mer nederbörd behövas.

Vid jämförelse mellan den beräknade regnvolymen över hela området yta (cirka 93 m³) och den beräknade totala volymen (cirka 50 m³) vatten mellan Brunn 2 och Brunn 3 under den 22/4 tycks den beräknade volymen i ledningssträckan vara någorlunda rimlig. Med den tillagda aspekten att höjden i Brunn 2 var mycket lägre än i Brunn 3 skulle den totala volymen dagvatten som tar sig till den kommunala ledningen från hela området kunna vara ungefär lika stor som volymen för ledningssträckan Brunn 2–Brunn 3 (framförallt eftersom volymen riskerar att vara i överkant på grund av den förenklade beräkningen). Detta skulle innebära att drygt hälften av ett litet regn (på 0,606 mm/h) kan fördröjas inom kvarteren och den allmänna platsmarken. Till detta tillkommer att dagvattnet från den allmänna platsmarken som skulle ledas till Brunn 1 inte fördröjs utan kopplas på direkt till huvudledningen så tycks denna mängd vara rimlig.

Uteslutandet av all data från Brunn 1 motiverades med att dess värden borde ha varit lägst av de tre mätplatserna till följd av att Brunn 1 låg högst uppströms. Detta stärktes också senare av kommunikationen med Janko Savić på Täby kommun där de stängda flödesvägarna till Brunn 1 förklarades. För Brunn 2 och Brunn 3 ansågs värdena (både innan och efter justering av Brunn 3:s felaktiga monteringshöjd) ha en rimlig åtföljning där de flesta datum med utslag i Brunn 2 även hade utslag i Brunn 3.

5.1.2 Jämförelser av uppmätt och beräknat flöde

Från beräkningarna för vattenflödet vid ett regn av storleken 0,606 mm/h kan man se att flödet som beräknades med rationella metoden är betydligt större än det modellerade flödet från Storm and Sanitary Analysis (SSA) (1,64 l/s mot 0,92 l/s) medan flödet beräknat från Brunn 2 och Brunn 3 ligger ungefär mitt emellan (1,26 l/s). Här måste beaktas att dagvattnet som flödar mellan Brunn 2 och Brunn 3 härstammar från ungefär halva utredningsområdet, så om flödesmätningarna hade fungerat bättre hade flödet mest troligt varit betydligt större. Vid analys av flödena beräknade för större återkomsttider, det vill säga flödena beräknade för den

planerade utformningen i dagvattenutredningarna, den slutgiltiga utformningen av kvarteren och med modellen i SSA syns även där att SSA beräknat mycket lägre värden för båda återkomsttiderna jämfört med beräkningarna med rationella metoden. Från samtliga beräkningar kan slutsatsen dras att fördröjningen av dagvatten inom utredningsområdet skiljer sig märkbart mellan den teoretiska beräkningsmetoden från dagvattenutredningarna, den uppmätta fördröjningen av vatten genom mätningar och den modellerade fördröjningen från beräkningar i SSA-modellen.

På grund av osäkerheterna i både mätningarna (låga flöden och felprogrammering) och beräkningarna med mätvärdena (antaganden vid beräkning av volym i ledningar) kan många faktorer ha påverkat resultatet. En aspekt som också spelar in i analysen av resultaten är att det beräknade flödet från de uppmätta värdena endast speglar flödet från ungefär halva projektområdet, medan både det teoretiska flödet och flödet från modellen beräknades för hela projektområdet.

Med antagandet att det beräknade flödet från mätdatat är korrekt skulle det teoretiska flödets storlek kunna bero på att man i den rationella metoden räknar med antagna avrinningskoefficienter som jämfört med verkligheten kanske borde vara lägre eller högre, vilket innebär att antingen mer eller mindre dagvatten skulle fördröjas i området. För det beräknade flödet från SSA skulle istället det låga flödet kunna bero på att modellen inte blivit tillräckligt bra utformad. Modellens avrinningskoefficienter är samma som i de teoretiska beräkningarna, vilket innebär att om de teoretiska värdena är fel påverkar detta också modellens beräknade flöden. En parameter i modellen som skulle kunna ha stor påverkan är koncentrationstiden. Koncentrationstiden antogs vara 10 minuter för varje delavrinningsområde i modellen oavsett storlek. I jämförelse till det teoretiskt beräknade flödet, där regnvaraktigheten (som i rationella metoden är samma som koncentrationstiden) är 10 minuter för hela området, blir alltså den totala koncentrationstiden för modellen eventuellt för stor. Detta skulle kunna vara en stor orsak på modellens flöde och bör därför undersökas vidare i eventuella framtida fortsättningsstudier.

5.1.3 Förbättringar i teoretiska beräkningar och modellen

Från resultaten är det svårt att bestämma om det krävs förbättringar i de teoretiska beräkningarna med den rationella metoden. Detta till stor del på grund av att data från flödesmätarna i brunnarna inte givit ett tillräckligt pålitligt resultat för storleken på flödet under mätperioden. Även för modellen i Storm and Sanitary Analysis saknas uppmätta data för kalibrering och validering av modellen. Modellens resultat tyder på att den kräver justeringar eftersom den i samtliga körningar med olika storlek på regn givit lägst resultat av alla beräkningar. Det är körningarna med de stora återkomsttiderna (25- och 100-årsregn) som framförallt antyder att något är fel med modellen, eftersom dessa mängder regn är så stora men resultatet för körningarna gav låga flöden i jämförelse till de teoretiskt beräknade flödena. För respektive kvarter var modellens flöde mindre än hälften så stort i jämförelse med beräkningarna, och för hela utredningsområdet var modellens flöde ungefär 60 % av det beräknade. Detta trots att både beräkningarna och modellen använde sig av samma metod, den rationella metoden, för beräkning av avrinning av ytor och samma avrinningskoefficienter.

Några delar i modellen som skulle kräva omarbete är exempelvis regnbäddarnas utformning eftersom själva fördröjningsfunktionen i den nuvarande utformningen inte liknar en riktig regnbädd. Här skulle eventuellt justeringar kunna göras i koncentrationstiden hos de ytor

(takyta och regnbädd) vars dagvatten ska fördröjas i regnbäddens substrat. Detta eftersom koncentrationstiden (som nu är satt till 10 minuter för samtliga ytor) varierar beroende på markanvändning och längd på vattnets transportsträcka. Genom att ange individuella koncentrationstider för de olika delavrinningsområdena skulle kunna ge ett mer korrekt flöde från modellen. En annan åtgärd skulle kunna vara mer exakta avrinningskoefficienter för framförallt innergården som under körningarna hade ett antaget värde från en utav dagvattenutredningarna.

5.2 SLUTSATSER

Ett svagt samband mellan tiden för regnhändelse och vattennivå i ledningsnätet och fördröjning syns i det uppmätta datat från regn- och flödesmätare för kvarteret Klöveren med omkringliggande platsmark. Från de flöden som beräknats kan slutsatsen dras att fördröjningen skiljer sig åt mellan det teoretiskt beräknade, det uppmätta datat och den utformade modellen i Storm and Sanitary Analysis. På grund av modellens begränsningar i fördröjning tycks det krävas mer undersökning och utveckling av den eller en liknande modell innan man kan använda den som komplettering till den teoretiska beräkningen som utförts i dagvattenutredningarna. Detta framförallt eftersom den teoretiska beräkningens flöde stämde bättre överens med det uppmätta.

För vidare studier om kvarterens fördröjning skulle det vara intressant att mäta i kvarterens servispunkter där endast dagvatten från respektive kvarter flödar. Detta framförallt för att minska felkällor som det missade flödet i Brunn 1 och i beräkningar på den allmänna platsmarkens fördröjning. Det skulle också vara intressant att mäta över en längre period för att öka chansen för större regnhändelser och därmed kunna mäta flödet med en större noggrannhet.

REFERENSER

Autodesk (2020a). *Autodesk Storm and Sanitary Analysis 2021 User's Guide*. Autodesk, Inc.

Autodesk (2020b). *What Additional Applications and Utilities Are Available for Installation with Autodesk Civil 3D?*. Autodesk Knowledge Network. <https://knowledge.autodesk.com/support/civil-3d/troubleshooting/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/Installation-Civil3D/files/GUID-0155E9D7-D48B-4849-AD47-A8993A44B023-hm.html> [2021-04-01]

Beven, K.J. (2012). *Rainfall-runoff modelling: the primer*. 2nd ed. Chichester, West Sussex; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.

Blecken, G. (2016). *Kunskapssammanställning dagvattenrening*. Bromma: Svenskt Vatten AB. https://www.svensktvatten.se/contentassets/979b8e35d47147ff87ef80a1a3c0b999/svu-rapport_2016-05.pdf

Capener, C.-M., Anna, P.S., Emilsson, T., Malmberg, J., Jägerhök, T., Edwards, Y. & Månsson, H. (2017b). *Vägledning.I: Grönatakhandboken*. Stockholm: Vinnova. <https://gronatakhandboken.se/https://module/las-online/om/main/1> [2021-02-12]

Dahlström, A., Bodin-Sköld, H. & Lindfors, T. (2017). *Biofilter i Kviberg – Lärdomar och erfarenheter*. (2012–01271). Vinnova. http://klimatsakradstad.se/media/2017/11/PM_Biofilter-i-Kviberg-L%C3%A4rdomar-och-erfarenheter_slutkoncept.pdf [2021-02-03]

Fridell, K. & Jergmo, F. (2015). *Regnbäddar - Biofilter för behandling av dagvatten*. Movium Fakta, 2015 (2), 12. https://www.movium.slu.se/system/files/news/11238/files/movium_fakta_2-2015_rangbaddar-slutlig.pdf

Haninge kommun (u.å.). *Handbok för hållbar dagvattenhantering – för byggtreprenörer och samhällsplanerare*. https://www.haninge.se/globalassets/forvaltningsspecifikt-globalt-innehall/stadsbyggnadsforvaltningen/dagvatten/haninge_lod_storre_fastighet_digital1.pdf

Holland, L., Davenport, C. & Chapell, E. (2013). *Mastering AutoCAD Civil 3D 2014*. Indianapolis, Indiana: Sybex, A Wiley Brand. <https://learning.oreilly.com/library/view/mastering-autocad-civil/9781118603819/>

Lantmäteriet (2021). *Fastighetskarta Täby Park*. [Kartografiskt material]. <https://minkarta.lantmateriet.se> [2021-05-11]

Mentens, J., Raes, D. & Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?. *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2017). *Vägledning för skyfallskartering: tips för genoförande och exempel på användning*. Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. <https://rib.msb.se/filer/pdf/28389.pdf>

- Nationalencyklopedin (u.å.a). *avlopp*. <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/avlopp> [2021-03-11]
- Nationalencyklopedin (u.å.b). *bjälklag*. <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bj%C3%A4lklag> [2021-02-18]
- Nationalencyklopedin (u.å.c). *datorstödd konstruktion*. <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/datorst%C3%B6dd-konstruktion> [2021-03-29]
- Nationalencyklopedin (u.å.d). *modell*. <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/modell> [2021-04-01]
- Naturvårdsverket (2017). *Analys av kunskapsläget för dagvattenproblematiken*. Stockholm: Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/regeringsuppdrag/2017/analys-kunskapslaget-dagvattenproblematiken.pdf>
- Naturvårdsverket (2020a). *Dagvatten*. <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Vatten/Avloppsvatten/Dagvatten/> [2021-01-25]
- Naturvårdsverket (2020b). *Planera för en hållbar dagvattenhantering*. <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Fysisk-planering-hallbar-utveckling/Hallbar-dagvattenhantering/> [2021-02-22]
- Robinson, T., Schulte-Herbrüggen, H., Mácsik, J. & Andersson, J. (2019). *Raingardens for stormwater management: Potential of raingardens in a Nordic climate*. (2019:196). Borlänge: Trafikverket. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:trafikverket:diva-2949> [2021-02-08]
- Salimi, E.T., Nohegar, A., Malekian, A., Hoseini, M., Holisaz, A. (2017). Estimating time of concentration in large watersheds. *Paddy and Water Environment*. 2017(15), 123-132. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10333-016-0534-2>
- von Scherling, M., Svensson, G. & Sörelius, H. (2020). *Simulerade effekter av trög avvattnig*. (2020-1). Bromma: Svenskt Vatten AB. <https://www.svensktvatten.se/contentassets/f7e1e0ebd6fa419ea07aa4ab7f96386e/s-rapp20201.pdf>
- SMHI (2017a). *Avrinning*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/avrinning-1.110938> [2021-01-25]
- SMHI (2017b). *Nederbörd*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/nederbord-1.361> [2021-01-25]
- SMHI (u.å.a) *Nederbörd, solsken och strålning - april 2020*. https://www.smhi.se/pd/klimat/pdf_stats/month/SMHI_vov_precipitation_sunshine_apr20.pdf [2021-05-30]
- SMHI (u.å.b) *Nederbörd, solsken och strålning - mars 2020*. https://www.smhi.se/pd/klimat/pdf_stats/month/SMHI_vov_precipitation_sunshine_mar20.pdf [2021-05-30]

Svenskt Vatten (2011a). *Hållbar dag- och dränvattenhantering – råd vid planering och utförande (P105)*. Stockholm: Svenskt Vatten AB.

Svenskt Vatten (2011b). *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem (P104)*. Stockholm: Svenskt Vatten AB.

Svenskt Vatten (2016). *Avledning av dag-, drän, och spillvatten - Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem (P110)*. Stockholm: Svenskt Vatten AB.

Svenskt Vatten (2020). *Klimat och dagvatten*. <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/rornat-och-klimat/klimat-och-dagvatten/> [2021-01-21]

Svenskt Vatten (2021). *Miljö kvalitetsnormer för vatten*. <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/utslapp-och-recipient/miljokvalitetsnormer/> [2021-05-26]

Symetri (u.å.a). *About Symetri*. <https://www.symetri.se/about-symetri> [2021-04-01]

Symetri AB (2020). *Naviate for Autodesk Civil 3D (21.2.1.25)* [Programvara]. <https://www.symetri.se/produkter/naviate-pipe>

Täby Kommun (2016). *Dagvattenstrategi för Täby Kommun*. <https://www.taby.se/globalassets/3.-dokument-per-dokumenttyp/riktlinjer-planer-och-policys/stadsbyggnadsnamnden/dagvattenstrategi-taby-kommun-2016.pdf> [2021-02-07]

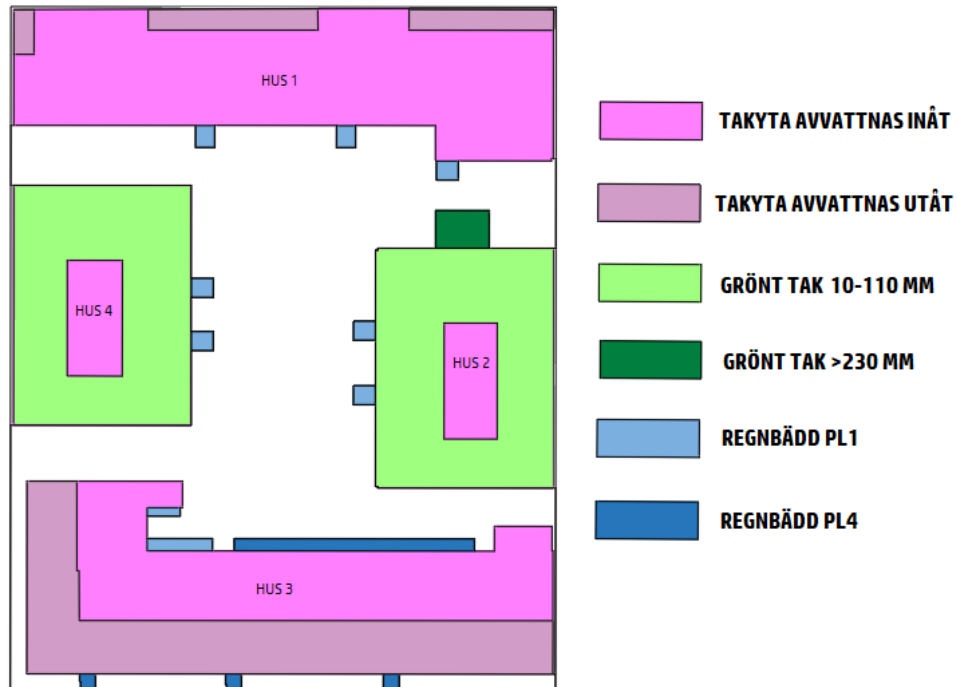
Wiklander, M. (2017). *Föreningar i dagvatten*. Luleå: Luleå tekniska universitet, Avdelningen för Arkitektur och Vatten, Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser. <https://naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/regeringsuppdrag/2017/Foreningar-i-dagvatten.pdf> [2021-01-26]

Wilkinson, S.J. & Dixon, T. (red.) (2016). *Green Roof Retrofit: Building Urban Resilience*. Chicester, Storbritannien: John Wiley & Sons, Incorporated. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/uu/detail.action?docID=4538253> [2021-01-28]

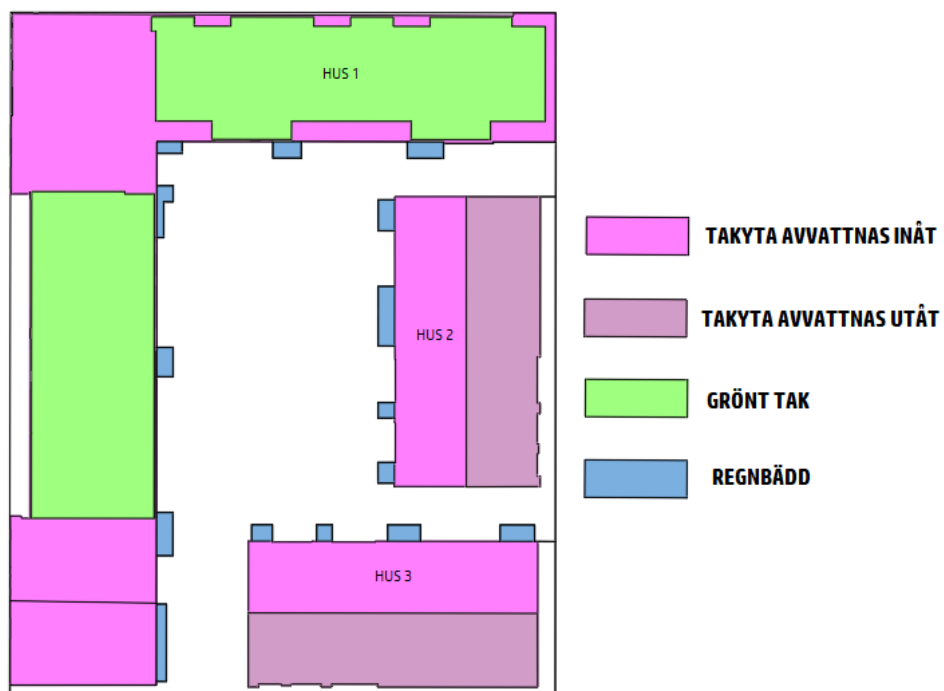
BILAGOR

BILAGA I

Utformning av kvarter 1:6 Opalen och 1:7 Klöveren enligt bygghandlingar.



(a) Kvarter 1:6 Opalen



(b) Kvarter 1:7 Klöveren

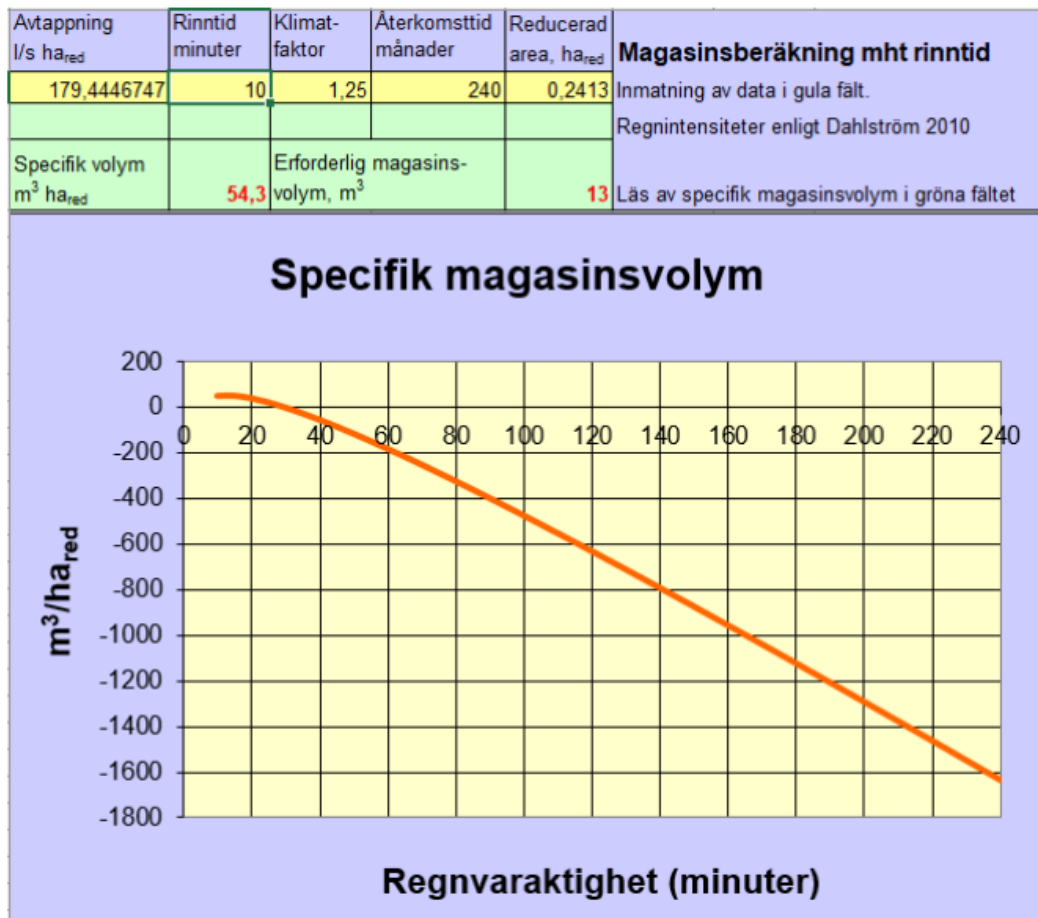
BILAGA II

Magasinsberäkning med hänsyn till rinntid för ett 20-årsregn. Bilaga från dagvattenutredningen gjord för kvarteret Opalen utav Anna Thorsell och Erika Hagström 2018.

Magasinsberäkning enligt Svenskt Vatten P110, Kap 10.6.

Indata:

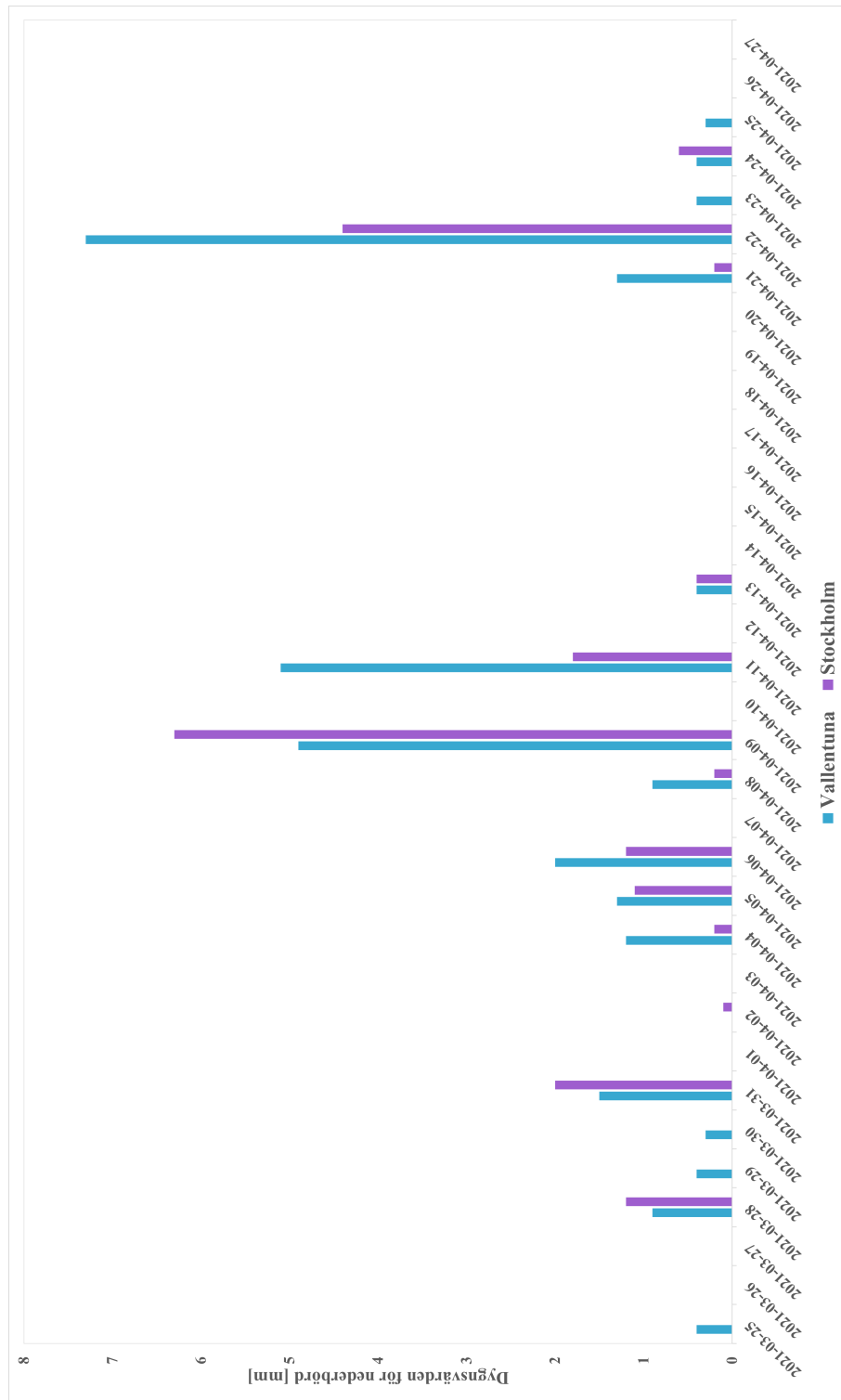
- Avtappning = 43,3/0,2413
- Reducerad area 2413 m² enligt Tabell 4



Beräkningssmallen tillgänglig via Svenskt Vattens hemsida:
<https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/rornat-och-klimat/klimat-och-dagvatten/berakningstips-p110/> [hämtad: 2021-05-21].

BILAGA III

Dygnsmedelvärden för regndata från SMHI:s mätstationer i Stockholm och Vallentuna. Mätdata tillgängligt genom SMHI:s webbtjänst Ladda ner meteorologiska observationer. <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=precipitation24HourSum,stations=all> [hämtad: 2021-05-23].



BILAGA IV

Tabell över halvtimmesvärden under den 22/4 för vattenhöjd i ledningen i Brunn 2 och Brunn 3 samt data från regnmätaren.

Datum	Brunn 2 h [m]	Brunn 3 h[m]	Regn [mm]
22.04.2021 00:00	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 00:30	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 01:00	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 01:30	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 02:00	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 02:30	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 03:00	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 03:30	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 04:00	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 04:30	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 05:00	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 05:30	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 06:00	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 06:30	0.0000	0.0000	0.202
22.04.2021 07:00	0.0000	0.0000	0.202
22.04.2021 07:30	0.0000	0.0000	0.202
22.04.2021 08:00	0.0010	0.0052	0.202
22.04.2021 08:30	0.0012	0.0084	0.404
22.04.2021 09:00	0.0012	0.0135	0.606
22.04.2021 09:30	0.0032	0.0200	0.606
22.04.2021 10:00	0.0061	0.0135	0.404
22.04.2021 10:30	0.0061	0.0112	0.404
22.04.2021 11:00	0.0055	0.0108	0
22.04.2021 11:30	0.0048	0.0094	0
22.04.2021 12:00	0.0037	0.0080	0.202
22.04.2021 12:30	0.0022	0.0070	0.202
22.04.2021 13:00	0.0010	0.0070	0.404
22.04.2021 13:30	0.0010	0.0080	0.404
22.04.2021 14:00	0.0017	0.0100	0.202
22.04.2021 14:30	0.0031	0.0106	0.202
22.04.2021 15:00	0.0040	0.0105	0.404
22.04.2021 15:30	0.0035	0.0113	0.404
22.04.2021 16:00	0.0032	0.0126	0.202
22.04.2021 16:30	0.0041	0.0138	0.606
22.04.2021 17:00	0.0046	0.0137	0.202
22.04.2021 17:30	0.0053	0.0109	0
22.04.2021 18:00	0.0052	0.0093	0
22.04.2021 18:30	0.0035	0.0075	0
22.04.2021 19:00	0.0024	0.0060	0
22.04.2021 19:30	0.0012	0.0000	0
22.04.2021 20:00	0.0010	0.0000	0
22.04.2021 20:30	0.0010	0.0000	0
22.04.2021 21:00	0.0010	0.0000	0
22.04.2021 21:30	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 22:00	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 22:30	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 23:00	0.0000	0.0000	0
22.04.2021 23:30	0.0000	0.0000	0

BILAGA V

Beräkningsunderlag för kvarteret Opalen från dagvattenutredningen. Utdrag ur dagvattenutredning för kvarter 1:6 Opalen skriven av Anna Thorsell och Erika Hagström, Structor Uppsala 2018.

Tabell 4. Blockregnsintensitet i planerad situation med fördröjning.

Återkomsttid	240	mån
Blockregnsvaraktighet	10	min
Klimatfaktor	1,25	-
Blockregntintensitet	359	l/s ha

Tabell 5. Dimensionerande dagvattenflöde i planerad situation.

Markanvändning	Φ [-]	Area [m ²]	Area _{Red} [m ²]	Q ₂₀ år [l/s]
Takyta	0,9	1 595	1 436	51,5
Grönt tak 40–110 mm	0,55	747	411	14,7
Grönt tak >230 mm	0,35	38	13	0,5
Bostadsgård	0,39*	1 415	553	19,8
Totalt	0,64*	3 795	2 461	86,5

*Sammanvägd avrinningskoefficient= A/A_{Red}

Den totala andelen genomsläppliga ytor inom fastigheten uppgår till 1 720 m², vilket motsvarar 45 %. Som ytor med permeabel beläggning räknas följande: gröna tak, planteringar, krossytor, stenmjöl och trätrall med underliggande grus.

Tabell 6 redovisas de flöden som uppstår vid ett 100-årsregn med varaktighet 10 min. När denna typ av nederbörd faller blir markytorna vattenmättade och avrinningskoefficienten justeras därför.

Tabell 6. Flöden som uppstår vid ett 100-årsregn med klimatfaktor med varaktighet 10 min.

Markanvändning	Φ [-]	Area [m ²]	Area _{Red} [m ²]	Q ₁₀₀ år [l/s]
Takyta	1	1 595	1 595	97,5
Grönt tak 40–110 mm	1	747	747	45,6
Grönt tak >230 mm	1	38	38	2,3
Bostadsgård	1	1 415	1 415	86,5
Totalt	1	3 795	3 795	232

BILAGA VI

Beräkningsunderlag för kvarteret Klöver från dagvattenutredningen. Utdrag ur dagvattenutredning för kvarter 1:7 Klöver skriven av Anna Thorsell och Erika Hagström, Structor Uppsala 2018.

Tabell 1. Indata för beräkningarna.

Återkomsttid	Varaktighet	Klimatfaktor	Regnintensitet vid dimensionerande regn inkl. klimatfaktor 1,25
20 år (240 mån)	10 min	1,25	359 l/s ha
100 år (1200 mån)	10 min	1,25	611 l/s ha

Tabell 2. Flödesberäkningar vid dimensionerande 20- och 100-årsregn.

	Area [m ²]	Φ [-]	Area _{Red} [m ²]	Q 20 år [l/s]	Q 100 år [l/s]
Avvattning utåt					
Tak 1	200	0,9	180	6,5	11,0
Tak 2	200	0,9	180	6,5	11,0
Plantering (PL2)	60	0,1	6	0,2	0,4
Hårdgjordyta till fördröjning	120	0,8	96	3,4	5,9
Förgårdsmark utan fördröjning	60	0,8	48	1,7	2,9
Delsumma avvattning utåt	640	0,80	510	18	31
Avvattning inåt					
Takyta	1000	0,9	900	32,3	55,0
Grönt tak 1 40-110 mm	405	0,7	284	10,2	17,3
Grönt tak 2 40-110 mm	395	0,7	277	9,9	16,9
Grönt tak >230 mm	18	0,3	5	0,2	0,3
Stenmjöl	200	0,8	160	5,7	9,8
Plattyta	590	0,8	472	16,9	28,8
Plantering (PL1)	70	0,1	7	0,3	0,4
Plantering (PL2 och PL3)	450	0,1	45	1,6	2,7
Sand	25	0,2	5	0,2	0,3
Delsumma avvattning inåt	3153	0,68	2154	77	132
Totalt	3793	0,70	2664	96	163

*Sammanvägd avrinningskoefficient=A/A_{Red}

Avrinningskoefficienter är hämtade från Svenskt Vatten P110 och Grönatakhandboken - Växtbädd och Vegetation.