



UPPSALA
UNIVERSITET



W 19028

Examensarbete 30 hp
juni 2019

Effekten av att separera ett befintligt kombinerat system till separat spill- och dagvatten

Vasastan, Stockholm

Terese Bergenstråle

REFERAT

Effekten av att separera ett befintligt kombinerat sytem till ett separat spill- och dagvattensystem

Terese Bergenstråle

I takt med urbaniseringen och kraftigare skyfall som ett resultat av klimatförändringarna ställs allt högre krav på ett hållbart dagvattensystem och goda förutsättningar för avledning av spill- och dagvatten. Idag består 13 % av Sveriges avloppsnät av kombinerade system som leder både spill- och dagvatten och existerat sedan början av 1900-talet. Till följd av de ökade skyfallen riskerar de kombinerade ledningarna att överbelastas och bräddas med kombinerat spill- och dagvatten. Genom att separera de gamla kombinerade ledningarna till ett separat spill- och dagvattensystem kan riskerna reduceras. Ett område som idag består av kombinerade ledningar är Vasastaden i Stockholm. Vasastaden ligger i anslutning till exploateringen av den nya stadsdelen Hagastaden, som ska sammanbinda Solna och Stockholm stad. Vasastaden avvattnar idag sitt avloppsvatten i kombinerade ledningar mot Norra Stationsgatan. Stockholm Vatten och Avfall AB (SVOA) vill i samband med byggandet av Hagastaden utreda möjligheterna att separera de kombinerade ledningarna till ett separat spill- och dagvattensystem.

Syftet med detta examensarbete var att utifrån en befintlig hydraulisk modell över Stockholms avloppsledningsnät, tillhandahållen av SVOA och med kompletteringar utförda av Sweco Environment AB, undersöka möjligheterna och effekterna av att separera dagens befintliga kombinerade system till ett duplikatsystem. Detta utfördes genom hydraulisk modellering i Mike Urban samt beräkningar av dagvattengenerering från avrinningsområden som avvattnar sitt dagvatten till det kombinerade systemet.

Resultaten från simuleringarna i Mike Urban med dimensionerande flöden visade att genom en fullständig separering av utredningsområdena kunde trycknivån i det kombinerade ledningsnätet sänkas med 2,70 m uppströms (mellan brunn 5 och 6) och samt det maximala flödet med 93 %. Bräddning av kombinerat avloppsvatten från det så kallade rörmagasinet till recipienten Brunnsviken kunde elimineras i och med separeringen. Dagvattnet som istället för att avvattnas mot Henriksdal reningsverk belastar Karlbergssjön med 40 000 m³/år och Brunnsviken med 86 000 m³/år. Den ökande belastningen resulterade i att ett biofilter behöver anläggas för att inte överskrida de acceptabla nivåerna (gränsvärde) som har beräknats av StormTac baserat på platsspecifika data för recipienterna och utredningsområdet för föroreringsbelastningen. Kostnaderna för att anlägga 2845 m nya dagvattenledningar samt dimensionera upp 414 m befintliga dagvattenledningar uppskattas till 241 miljoner kronor vilket motsvarar 16 000 - 22 000 kr/m beroende på ledningsdimension, oberoende av schaktdjupet. Till anläggningskostnaderna tillkommer konstruktion av en dagvattenanläggning vilket estimeras till 17,3 miljoner kronor. De årliga kostnaderna för rening av avloppsvatten, underhåll av biofilter och årlig budget för källaröversvämningar värderas till 3,81 miljoner kronor.

Nyckelord Separering av kombinerade avloppssystem, spill- och dagvattensystem, hydraulisk modellering, dagvatten, kostnadsanalys

Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Lennart Hjelts väg 9, 750 07 Uppsala

ABSTRACT

The effects of a separation from a combined sewer system to a separate sanitary- and stormwater system

Terese Bergenstråle

As the urbanisation increases and the rainfall becomes heavier a more sustainable stormwater system and improved conditions on drainage of sanitary- and stormwater is required. Today approximately 13% of Sweden's sewage systems are so called combined sewage systems and have been in use since the beginning of 20th century. The issues of the heavy rainfall which needs to be addressed, is that the combined pipes will become overloaded and therefore risk to overflow with assorted sanitary- and stormwater. By separating the old combined pipes to a separate sanitary- and stormwater system this risk can be reduced. Vasastaden in Stockholm it's in accession to the exploitation of the new city centre, Hagastaden, which will bring together Solna and Stockholm city. At the moment Vasastaden drain its blackwater to the combined sewage system against the street Norra Stationsgatan. Stockholm Vatten och Avfall AB (SVOA) wants to investigate the opportunities to separate these combined pipes to a separate sanitary- and stormwater system, with the development of Hagastaden.

The purpose of this master thesis was to investigate the possibilities and the effects of a separation from a combined sewage system to a separate sanitary- and stormwater system. This was accomplished by using hydraulic modeling in Mike Urban and manual calculations of the annual volume of stormwater from the catchments area whose stormwater drains to the combined system. The hydraulic model over Stockholm's sewage system was provided by SVOA with modification made by Sweco Environment AB.

The results indicated by performing a complete separation of the analysed catchments area, the waterlevel in the combined sewage system could be lowered by 2,70 m, reduce the maximum flow with 93% and instead drain to the recipients. The overflow of diverse wastewater (sanitary and storm) from the so called pipe magazine to the recipient Brunnsviken could be eliminated with the separation. When the stormwater is diverted from the wastewater treatment plant of Henriksdal to the recipients Karlbergssjön and Brunnsviken their stormwater load will increase by 40 000 m³/year and 86 000 m³/year respectively. A rain garden will be needed to reduce the pollution loads to below the accepted levels. The costs for the installation of 2845 m new stormwater pipes and redimension of 414 m existing stormwater-pipes are estimated to 241 million Swedish crowns (SEK). This relates to a price of 16 000 - 22 000 SEK/m dependent on the pipe dimension but unrelated the excavation depth. To the charge of installation adds the price of construction of the rain garden which is predicted to 17,3 million SEK. The annual costs for treatment of the waste water, management of the rain garden and annual budget for the basement floods sums up to 3,81 million SEK.

Keywords *Separation of combined sewage system, Sanitary- and stormwatersystem, Hydraulic modeling, Stormwater, Cost analysis*

Department of Aquatic Sciences and Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences, Lennart Hjelm's väg 9, Box 7050, 75007 Uppsala

FÖRORD

Detta examensarbete är ett avslutande projekt på civilingenjörsprogrammet i miljö och vattenteknik motsvarande 30 hp. Utbildningen har pågått under fem år på Uppsala Universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Examensarbetet har utförts på Sweco Environment AB med Christer Jansson som handledare och i samarbete med Stockholm Vatten och Avfall AB. Ämnesgranskare för arbetet var Elin Widén Nilsson, systemvetare vid institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet. Examinator var Fritjof Fagerlund, universitetslektor vid institutionen för geovetenskaper, luft-, vatten- och landskapslära; Hydrologi.

Jag vill först och främst tacka min handledare på Sweco, Christer Jansson för all hjälp och support under examenarbetets gång. Dessutom alla medarbetare på Sweco Environment AB för att de har fått mig att känna mig välkommen och trivas. Sedan vill jag säga ett tack till min ämnesgranskare Elin Widén Nilsson för granskning och korrektion av rapport. Även till Jean-Marc Mayotte, Hagastaden Stockholm stad för tillåtelse att använda era illustrationer och bilder för beskrivning av ledningar (figur 2) samt område (figur 5), samt Anna Dahlström på Sweco för profilbilder av biofilter (figur 12) och dagvattendammar (figur 13). Sedan vill jag även tacka Stockholm Vatten och Avfall AB för att jag har fått använda den hydrauliska modellen innehållande avloppsledningsnätet över Stockholm samt input i arbetet. Även ett tack till Sten Blomgren på DHI och Institutionen för geovetenskaper för att jag har fått erhålla studentlicens för Mike Urban och ArcGIS. Sist men inte minst vill jag tacka min kära far för all uppmuntran och peppning under alla mina sex år på universitet samt till min bror, utan honom hade jag troligtvis inte suttit och skrivit detta examensarbete idag.

Terese Bergenstråle
Uppsala 2019

Copyright ©Terese Bergenstråle och Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet
UPTEC W 19028, ISSN 1401-5765
Publicerad digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala 2019

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Städerna växer och blir allt mer tätbefolkade. I takt med att nya fastigheter byggs minskas de gröna ytorna som parker och gräsmattor vilka ersätts med asfalt eller andra hårdgjorda material. På grund av de hårdgjorda ytorna kan inte regnvattnet tränga ner i marken utan avrinner på den hårda ytan. Detta i kombination med att klimatförändringarna bidrar till kraftigare nederbörd leder till mer regnvatten och snösmältning avrinner på markytan. I och med den ökande ytavrinningen ställs det högre krav på de system som lagrar och renar regn- och snösmältningsvatten innan det hamnar i mottagande vattendrag eller reningsverk. Då vissa ledningar som transporterar regnvattnet är samma som de som leder BDT- (Bad, Disk och tvätt) och svartvatten (toalettatten) riskerar dessa ledningar att bli överbelastade med ökande regn. En överbelastning innebär att både regn, BDT- och svartvatten kommer att svämma över både i källarutrymmen i fastigheter och på gatan.

Vasastan i Stockholm utgör en viktig del av framväxten av en ny stadsdel, Hagastaden, som ska sammankoppla Solna med Stockholm stad. Vasastan är en gammal stadsdel och i början av 1900-talet installerades de ledningar som transporterar både regn, BDT- och svartvatten i samma ledningar. Meningen med detta arbete var att undersöka möjligheterna att istället för att leda regn-, BDT- och svartvattnet i samma ledningar ha två olika ledningar där regn-, BDT- och svartvattnet leds separat samt vilka effekter det har för till exempel reningsverket och vattendragen. För att undersöka om detta var möjligt användes en modell över Stockholms avloppsledningsnät som tagits fram av Stockholm Vatten och Avfall AB och där Sweco Environment AB har lagt till extra ledningar för att representera hur ledningarna kommer att placeras när Hagastaden är färdigbyggd. Modellen kunde sedan användas i en datamodell, Mike Urban, där ledningar kunde läggas till och vattennivåerna, volymer samt de högsta flödena på vatten kunde analyseras. Dessutom beräknades det utifrån årsmedelvärden på nederbörd hur mycket regnvatten som årligen antas avrinna på ytorna.

I Mike Urban undersöktes vad som skulle hända om det gamla systemet i Vasastan byttes ut. Om allt vatten som idag leds i samma ledning separeras till två separata rör. Det vill säga att regn- och snövatten samt BDT- och svartvatten från hushållen går i två olika ledningar istället för en och samma. Resultaten visade att genom att utföra detta bytte sänktes trycknivån i ledningarna med 2,70 m och det maximala flödet sänktes med 93 %. I området finns det fyra rör som fördröjer vattnet innan det lämnar området och leds via en avloppsledning till reningsverket. Vid kraftiga regntillfällen blir detta magasin överfullt vilket leder till att det blandade vattnet istället för att nå reningsverket omleds till sjön Brunnsviken. Med det nya rörsystemet kunde detta undvikas då enbart BDT- och svartvattnet leds i ledningarna mot reningsverket vilket är tillräckligt låga vattenvolymer för magasinet att behålla. Regnvattnet som i och med separeringen går separat mot BDT- och svartvattnet, transporteras antingen västerut mot Karlbergssjön eller österut Brunnsviken. Karlbergssjön får ett tillskott med regnvatten på 40 000 m³ per år och Brunnsviken 86 000 m³ per år. Då det avrunna vattnet tar med sig ämnen från bland annat marken innan det når sjöarna kommer detta att påverka vattendragen negativt då till exempel metaller och olja från trafiken följer med vattnet. Transporten av ämnen till sjöarna kan minskas om en reningsanläggning som fördröjer och renar vattnet installeras på området. För Vasastan behövdes en reningsanläggning anläggas för det förorenade regnvatten som leds väst mot Karlbergssjön för att inte ta skada på sjön. Den reningsanläggning som valdes för området var ett Biofilter, vilket

utnyttjar bakteriers förmåga att bryta ner ämnen och som ofta täcks med vegetation för att göra det estetiskt tilltalande men även för att få en liten fördröjningseffekt.

Totalt ska 2845 m nya ledningar anläggas för regnvattnet och 414 m av de rör som anses vara befintliga måste få en större diameter för att klara av de nya vattenflödena. Kostnaderna för att anlägga de nya ledningarna och öka storleken på de befintliga ledningarna har uppskattats till 241 miljoner kronor. Detta motsvarar ett pris mellan 16 000 - 22 000 kr/m beroende på hur stora rör som ska anläggas, men det tar inte hänsyn till hur stort djupt som behövs grävas. Till detta tillkommer priset för att anlägga reningsanläggningen vilket har beräknats till 17,3 miljoner kronor. De årliga kostnaderna för att rena BDT- och svartvattnet i reningsverket, underhåll av reningsanläggningen samt de skadestånd som betalas ut på grund av att privata fastigheter har fått översvämningar i källaren har värderats till 3,81 miljoner kronor.

Ordlista

ϕ Symboliserar diametern på en ledning i mm

Avrinningsområde Område där avloppsvatten kan avledas med självfall eller pumpning till en gemensam punkt

Avrinningskoefficient Avgör hur stor ytaavrinningen blir efter att ha tagit hänsyn till infiltration, avdunstning och skrovligheten på marken

Backvattenventil Installeras i kombinerade system för att förhindra bakåtströmmande avloppsvatten

BDT-vatten Bad-, Disk- och Tvättvatten

Blockregn Medelvärde av nederbördens intensitet över ett bestämt tidsintervall

Brunnsförlust Se energiförlust

Bräddning Utsläpp av orenat avloppsvatten på grund av överbelastat system

Bräddutlopp Nödavledning vid bräddning för kombinerade system

Dagvatten Vatten som avrinner på markytan till följd av regn eller snösmältning

Dimensionerande flöden Flöden som används vid beräkningar av ledningssystem

Dräneringsvatten Regn och smältvatten som avleds i dräneringsledningar eller diken och kan ses som nedträngande vatten eller grundvatten

Duplikatsystem Spill- och dagvatten leds i separata parallella ledningar

Energiförlust Energiomvandling i brunnar som leder till turbulens och friktionsförluster

Förbindelsepunkt Punkt där fastighetsledningen förbinder sig med det kommunala ledningsnätet

Hållbar dagvattenhantering Hantering som tillgodoser dagens behov av omhändertagande av dagvatten samt möter framtida utmaningar

Kombinerat system Avloppssystem där spill- och dagvatten går i gemensam ledning

Koncentrationstid Se rinntid

LAV Lagen om allmänna vattentjänster

LOD Lokalt omhändertagande av dagvatten

Maxdygnfaktor Schablonvärde för vattengenereringen som har erhållits under dagen med högst flöde

Maxtimfaktor Kvoten av det största flödet under maxdygnet och medelvärdet under samma dygn

Nödutlopp Nödavledning vid bräddning för separerade system

Recipient Mottagande vattendrag för det avledda vattnet

Rinntid Maximal tid för nederbörd att rinna till den uppsamlingspunkt där allt dagvatten avleds i ett avrinningsområde

Separerande system Se separatsystem respektive duplikatsystem

Separat system Separerat system med ledning för spillvatten och diken för dagvatten

Servisledning Ledning som ansluter fastigheter till det kommunala ledningsnätet

Spillvatten Disk-, dusch- och tvättvatten (gråvatten) samt toalettavlopp (svartvatten)

SVAB Stockholm Vatten VA AB

SVOA Stockholm Vatten och Avfall AB

Tillskottsvatten Vatten som utöver spillvatten avleds i spillvattenförande avloppsledning, till exempel dagvatten

Uppehållstid Hur länge ett substrat stannar kvar i ett vattensystem

VA Vatten och avlopp

Återkomsttid Tidsintervall mellan regn- eller avrinningstillfällen av en viss given intensitet och varaktighet

Överdäckning Utförs för att undvika fysiska hinder och därmed exploaterar byggtillgänglig mark

Innehåll

1	Inledning	11
1.1	Syfte och frågeställningar	12
1.2	Avgränsningar	13
2	Teori	14
2.1	Grundläggande begrepp	14
2.1.1	Avlopssystem	14
2.1.2	Sektioner på ett avloppsnät	14
2.2	Dagvattengenerering	15
2.2.1	Rationella metoden	15
2.2.2	Tid-area metoden	16
2.3	Spillvattengenerering	16
2.4	Dimensionering av avloppsnät	18
2.4.1	Cirkulära ledningar	18
2.4.2	Självrensning	20
2.5	Hydraulisk modellering av avloppsledningsnät	21
2.6	Modelleringsverktyg	21
2.7	Mike Urban	22
2.8	Hydraulisk modelluppbyggnad	23
2.9	Indata för modellering	24
2.9.1	Randvillkor	24
2.9.2	Chicago Design Storm (CDS-regn)	24
2.9.3	Spillvattenbelastning	25
2.9.4	Brunnsförluster	25
2.10	Miljö kvalitetsnorm	25
2.10.1	Stockholm Vattens riktlinjer	26
2.11	Ansvarsfördelning i Hagastaden	26
2.12	StormTac	27
3	Material och metod	28
3.1	Områdesbeskrivning	28
3.1.1	Dagvattenhantering	29
3.1.2	Recipienter	29
3.1.3	Henriksdals reningsverk	30
3.2	Hydraulisk modell över Stockholm	30
3.2.1	Dimensioneringskriterier	34
3.2.2	Kalibrering	36
3.3	Indelning av avrinningsområden som separeras	36
3.4	Dimensionerande flöden	38
3.4.1	Maximala flöden och dagvattenvolymer från avrinningsområden	38
3.5	Scenarion	39
3.5.1	Nollscenario/ Befintligt scenario	39
3.5.2	Gradvis separering	39
3.5.3	Fullständig separering	41
3.5.4	Självrensning	41

3.6	Årsflöden	41
3.6.1	Årlig nederbörd	42
3.6.2	Årlig dagvattengenerering från avrinningsområden	42
3.6.3	Årsflöde från det kombinerade systemet till Henriksdal	42
3.7	Årsflöden till recipienterna	42
3.8	Föroreningsbelastning	42
3.9	Reningsprocesser	43
3.9.1	Biofilter	43
3.9.2	Dagvattendammar	44
3.10	Kostandsanalys	45
3.10.1	Reningskostnad	45
3.10.2	Anläggningskostnad	46
3.11	Fördjupad kostnadsanalys	46
3.11.1	Anläggningskostnad	46
3.11.2	Dagvattenreningsanläggning	47
3.11.3	Inkomster	48
4	Resultat	49
4.1	Dimensionerande flöden	49
4.1.1	L-magasinet	49
4.1.2	Dimensionerande flöden vid olika grad av separering	50
4.1.3	Bräddning av kombinerat avloppsvatten till Brunnsviken	51
4.1.4	Självremsning	52
4.2	Årsflöden	54
4.2.1	Årsflöde till det kombinerade systemet	54
4.2.2	Årsflöde i det kombinerade systemet mot Henriksdal	54
4.2.3	Årsflöden till recipienterna	55
4.3	Föroreningsbelastning	56
4.4	Dagvattenreningsanläggning	57
4.4.1	Biofilter	57
4.4.2	Dagvattendammar	57
4.5	Kostnad	58
4.6	Fördjupad kostnadsanalys	61
4.6.1	Anläggningskostnad ledningar	61
4.6.2	Anläggningskostnad dagvattenrening	63
4.6.3	Inkomster	63
5	Diskussion	64
5.1	Dimensionerande flöden	64
5.1.1	L-magasinet	64
5.1.2	Dimensionerande flöden längs med Norra Stationsgatan	65
5.1.3	Bräddning av kombinerat avloppsvatten till Brunnsviken	65
5.2	Årsflöden	66
5.2.1	Årsflöde i det kombinerade systemet mot Henriksdal	66
5.2.2	Årsflöden till recipienterna	66
5.3	Föroreningsbelastning	66
5.4	Dagvattenanläggning	67

5.5	Kostnadsanalys	68
5.6	Osäkerheter	69
6	Slutsatser	70
7	Referenser	72
8	Bilagor	78
8.1	Bilaga 1, Fördjupad kostnadsanalys	78
8.2	Bilaga 2, Scenarion	79
8.2.1	Enskilda avrinningsområden	79
8.2.2	Kombinationer av avrinningsområden	84
8.3	Bilaga 3, Tryckprofiler över Norra Stationsgatan	95
8.4	Bilaga 4, L-magasin	100
8.5	Bilaga 5, Föroreningsbelastning	101

1 Inledning

Norra Stationsområdet i Vasastan ska byggas ut på en överdäckning av E4:ans norra del och Värtabanans spår (Handeland 2017, Stockholms Stad 2015). Överdäckningen innebär att tunnlar byggs på för exploatering av byggtillgänglig mark samt för att undgå att E4:ans ses som en samhällsbarriär (Länsstyrelsen i Stockholms län 2012). Vid byggandet av den nya stadsdelen förväntas 2300 lägenheter byggas och grönområden kommer bli hårdgjorda (Stockholms stad 2015). Avrinningen förväntas öka både som ett resultat av de ökande hårdgjorda ytorna och på grund av klimatförändringar som bidrar till fler dagar med kraftiga nederbörder. Större flöden blir allt vanligare i många delar av Sverige i samband med lokala och intensiva skyfall (SOU 2007). Klimatförändringar i samband med ökad urbanisering ställer högre krav på avledning av dag- och spillvatten. Ett hållbart dagvattensystem blir därför viktigare för att kunna säkerhetsställa en god miljö på de recipienter som tar emot dagvatten från markytorna (Svenskt Vatten AB 2016).

Cirka 13 % av Sveriges befintliga avloppsnätverk som hanterar och transporterar spill-, dag- och dränvatten har existerat sedan början av 1900-talet och är så kallade kombinerade ledningar (Svenskt Vatten AB 2016). Vid en överbelastning av de kombinerade systemet finns det risk att ledningarna bräddar och tränger ut spill- och dagvatten genom brunnar eller toaletter. Detta leder till översvämningar både på gator och källarvåningar samt att avloppsvatten leds rakt ut i recipienten via bräddutloppen (Svenskt Vatten AB 2016). Denna typ av översvämningar bidrar med ökad föroreningsbelastning på recipienter då vattnet innehåller tungmetaller, näring samt andra föroreningar (United States Environmental Protection Agency 1999). Det tillkommande avloppsvattnet kan ha en akut giftpåverkan på recipienten eller ha en långsam effekt på dess ekologiska status (Luleå tekniska universitet 2017).

Genom att separera de gamla kombinerade systemen till separata spill- och dagvattensystem, där spillvattnet leds i en separat ledning parallellt med dagvattnet, kan riskerna för översvämningar minska. I ett kombinerat system utgörs majoriteten av det transporterade avloppsvattnet av dagvatten och en separering skulle även innebära en effektivare rening då en mindre vattenmängd leds till reningsverket och utsläppen minskas till vattendragen efter reningsverket. Dagvattnet kommer dock att belasta en annan recipient än den som finns vid utloppet av reningsverket och kommer få en ökad belastning (Mölnåls stad 2015). Ryaverket i Göteborg är ett exempel på ett högbelastat reningsverk som använder extra reningsbassänger för att kunna lagra och rena allt avloppsvatten som kommer in till reningsverket. Fyra gånger så mycket tillskottsvatten inkommer till reningsverket än det egentliga spillvatten som ska behandlas. En följeffekt av de stora tillskottsvattenflödena är att tillväxten av mikroorganismerna i reningsverket hämmas vilket bidrar till en långsammare rening (L'Ons m fl. 2016).

Att anlägga och installera nya ledningar är en kostsam process och kan påverka miljö, hälsa som kan beröra kostnaderna både under och efter konstruktion. Buller och erosion kan uppstå som en konsekvens och en dagvattenanläggning eller ett fördröjningsmagasin kan behövas anläggas för att uppnå en hållbar dagvattenhantering vid ökade dagvattenvolymer. Detta då man leder ut dagvattnet rakt ut i recipienterna som innehåller föroreningar (Uni-

ted States Environmental Protection Agency 1999). För att avgöra om en investering för att separera ett kombinerat ledningssystem bör utföras behövs beslutsunderlag rörande ledningarnas kapacitet och robusthet (Blomquist m. fl. 2016). För projektörer och ingenjörer har det länge varit en utmaning att hitta effektiva och utvecklade system för att utvärdera effekter och investeringskostnader på ett enkelt sätt. Utvärderingssystemet måste både vara kostnadseffektiv och motståndskraftig samtidigt som det tar hänsyn till klimatförändringar (DHI 2017e). Hydrauliska modeller har blivit ett viktigt och vanligare inslag för analysering av avloppssystemens funktionalitet och kapacitet. Med hydrauliska modeller har till exempel bräddningar och lednings kapacitetsbrister kunnat förutsetts redan vid ett planeringsstadium och på så sätt minskat riskerna för översvämningar, då ledningsdimensionerna har kunnat anpassats bättre till det dimensionerande flödet. (Granlund & Nilsson 2000).

Tidigare undersökningar av effekten av att separera ett kombinerat system, har visat att ett fullständigt separerat system kan reducera översvämningarna med 95 % och uppåt i jämförelse med ett kombinerat system (Greeley & Hansen 2015). De positiva effekterna av övergången från ett kombinerat system till ett separat spill- och dagvatten system har visat sig vara elimineringar av källaöversvämningar och reduktioner av mängden spillvatten till recipienter (U.S Environmental Protection Agency 2018). Genom att minska spillvatten volymerna till vattendragen kan E-colihalterna reduceras med 70 % (Burton & E. Pitt 2013). Ett av de största projekten som har planerats är en 33 mil lång separering i Mississippi, USA, år 1984 där 30 mil nya dagvattenledningar installerades och beräknades ta 10 år att utföras. Separeringen är fortfarande inte helt fullständig och förväntas vara klart år 2025. Under samma år som projekteringen startade uppmättes 77 bräddtillfällen och en sammanlagd bräddningsvolym på 17 miljoner m³ kombinerat bräddvatten (American City & County 1996). År 2017 har Mississippi separerat cirka 75 % av sina kombinerade ledningar vilket har resulterat i att sedan 1996 har Mississippi enbart haft två små bräddningar (Metropolitab Council 2018).

Stockholm Vatten AB har långsiktiga ambitioner att separera sina kombinerade system till separata spill- och dagvattensystem. I och med att Hagastaden är i ett byggskede är det lämpligt att i samband med andra ledningsdragningar undersöka möjligheterna och effekterna av en separation av det kombinerade systemet. Anläggningen av nya dagvatten ledningar samt uppdimensionering av befintliga ledningar kan efter att exploateringen av Hagastaden har blivit fullständig bli en mer komplicerad och kostsam process (Stahre 2004). Projektet som utfördes i Mississippi beräknades att kosta 331 miljoner dollar (American City & County 1996), vilket motsvarar 2250 miljoner kronor baserat på valutakursen år 1996. I en högtrafikerad innerstad där kabeldragningar för till exempel el och fjärrvärme redan existerar kan priset per meter ledning uppnå summor på 40 000 kr (Widén 2017).

1.1 Syfte och frågeställningar

Syfte

Syftet med projektet var att utifrån en befintlig hydraulisk modell över Stockholm avloppsledningsnät, tillhandahållen av Stockholms Vatten och Avfall AB (SVOA), undersöka effekterna och möjligheterna av att separera dagens befintliga kombinerade system till ett duplikatsystem längs Norra Stationsområdet.

Frågeställningar

- Hur stor blir avlastningen på de kombinerade ledningsdragningarna i Norra Stationsgatan med avseende på flöden, volymer och trycknivåer?
- Hur stora mängder dagvatten kommer att reduceras av de volymer som idag går till reningsverket i Henriksdal?
- Hur mycket mindre kommer det att brädda från de kombinerade ledningsdragningarna i Norra Stationsgatan till recipienten Brunnsviken?
- Hur mycket större kommer dagvattenbelastningen till recipienterna Brunnsviken och Karlbergssjön att bli?
- Hur stor kommer föroreningsbelastningen bli på recipienterna Brunnsviken och Karlbergssjön med den ökande dagvattenbelastningen och vilka åtgärder kan genomföras för att rena dagvattnet innan det når recipienterna?
- Vad blir kostnaderna för en separation? I kostnadsanalysen ska kostnaderna för att anlägga nya dagvattenledningar, dimensionera upp befintliga ledningar samt dagvattenanläggningar ingå.

1.2 Avgränsningar

Modellen som var tillhandahållen från SVOA innehåller huvudledningar över hela Stockholms stad. I detta examensarbete valdes det att enbart analysera Norra Stationsområdet som är en del av Vasastan och Hagastaden.

Henriksdals reningsverk har sitt utlopp till recipienten Saltsjön. Saltsjön kommer dock inte att undersökas.

Datamaterialet som har använts är baseras på tidigare undersökningar och ingen egen insamling av råmaterial har utförts. Dessutom har inget dräneringsvatten antagits.

2 Teori

2.1 Grundläggande begrepp

2.1.1 Avloppssystem

Enligt miljöbalken 2§ LAV (*Lagen om allmänna vattentjänster*) är avloppssystem ”*bortledande av dagvatten och dränvatten från ett område med samlad bebyggelse eller från en begravningsplats, bortledande av spillvatten eller bortledande av vatten som använts för kylning*”. Avloppssystem delas upp i två kategorier, antingen ett kombinerat avloppssystem som avvattnar både spill-, dag-, och dräneringsvatten, eller ett separerat system där spillvattnet leds separat från dagvattnet. I det separata systemet avvattnas och fördröjs dagvattnet via diken (separat) eller parallellt med spilledningen (duplikat) (Svenskt Vatten AB 2016).

Avloppsvattnet som ska avledas i ett avloppssystem bör i så stor utsträckning som topografin tillåter göra detta med självfall för att undvika installation av pumpstationer (Lindblom 2014). Avloppssystem är dimensionerade för att hantera ett specifikt maximalt flöde för att inte gå överfulla. Vid kraftiga flödestoppar, från stora skyfall, kan kapaciteten på ledningarna överstigas och orsaka översvämningar. För att undvika översvämningar bräddar både spill- och dagvatten via ett bräddavlopp eller ett nödutlopp till närliggande recipient. Ett fördröjningsmagasin kan installeras på avloppssystemet för att jämna ut flödet och minska riskerna för bräddning. För att jämna ut utflödet har ofta fördröjningsmagasin en regulator kopplad till utloppet. Regulatorn kan anpassa flödet på avloppsvattnet efter reningsverkets kapacitet på lagring av avloppsvatten (Lindblom 2014).

2.1.2 Sektioner på ett avloppsnät

Bräddavlopp/nödutlopp

Bräddavlopp möjliggör bräddning på ett befintligt avloppssystem, magasin eller en befintlig bassäng. Vid överbelastning vid till exempel stora skyfall leds det bräddade avloppsvattnet direkt eller via en dagvattenledning till recipienten (Naturvårdsverket 1993).

Pumpar och pumpstationer

Då avloppsvatten inte kan bortledas med självfall anläggs en pumpstation som hjälper avloppsvattnet att stiga till en högre nivå. Det finns två val av pumpar, en lyftande och en tryckande där den sistnämnda är den vanligaste för avloppssystem (Lindblom 2014).

Pumpsump

Pumpsumpen utgör utloppet från ett magasin eller en självfallsledning till en avloppspumpstation. I pumpsumpen finns det en mätare för vattennivå och ibland även ett bräddutlopp. Genom att designa pumpsumpen utifrån pumpstationens storlek kan risken för att slam lagras i ledningen minskas (Lindblom 2014).

Fördröjning- och avsättningsmagasin

Dagvattenflöden är inte konstanta över tid och kan behövas regleras i dagvattensystemen för att inte överbelasta nedströms i systemet. En installation av ett fördröjningsmagasin kan därför vara lämpligt då magasinet kan jämna ut och fördröja dagvattenflödet. Fördröj-

ningsmagasinet kan även kompletteras med ytterligare ett magasin för att rena trafikvatten (Vägverket 2008). Reningseffekten fås då det förorenade trafikvattnet leds parallellt med fördröjningsmagasinet i ett avsättningsmagasin som renar trafikvattnet, för att sedan ansluta fördröjningsmagasinet innan det når utloppet, reningsverket eller recipienten (Handeland m fl. 2017).

2.2 Dagvattengenerering

Avloppsvattnet som leds i ledningarna består som tidigare nämnt av spill- och dagvatten. För att dimensionera ledningar behövs en uppskattning på hur mycket avloppsvatten som förväntas genereras för att inte få kapacitetsbrist eller överdimensionera ledningarna. Hur stor den mängd dagvatten som förväntas att belasta ledningarna, det vill säga dagvattengenereringen, beskrivs i avsnitt 2.2.1 - 2.2.2. Den rationella metoden (avsnitt 2.2.1) beräknar dagvattengenereringen för varje avrinningsområde i ett litet område medan tid-area metoden (avsnitt 2.2.2) kan ses som en påbyggnad på den rationella metoden, där man delar upp det stora avrinningsområdet i mindre delavrinningsområden .

2.2.1 Rationella metoden

Rationella metoden är en traditionell statistisk dimensioneringsmetod för dagvattensystem och är lämpad för areor upp till 50 hektar (Lyngfelt 1981). Dimensioneringsflödet är det förväntade beräknade flödet och är det flöde som ledningen dimensioneras utifrån. Det dimensionerande flödet är en produkt av regnintensiteten, arean på området samt dess avrinningskoefficient. Avrinningskoefficienten anger hur stor del av nederbörden som avrinner på ytan i förhållande till den dagvattenmängd som avdunstar, infiltrerar, magasineras i växter och markens skrovlighet. Avrinningskoefficienten ansätts alltid till ett värde mellan 0-1, där grönområden kan anta ett värde på 0,1 medan tak ofta anges till 0,9 (Tegelberg & Svensson 2013). Regntillfället som området utsätts för är förenklat, nederbörden antas ha en konstant intensitet och därmed vid en viss tidpunkt uppnå ett maximalt flöde. Tidpunkten vid det maximala flödet representerar den tid det tar för hela areans avrinning att nå utflödet och uttrycks som koncentrationstid. För att få en representativ bild av ett verkligt nederbördstillfälle då intensiteten varierar används ett intensitetsmedelsvärde över ett bestämt tidsintervall, kallat blockregn. En regnhändelse kan sedan beskrivas som en serie av blockregn där intensiteten och varaktigheten varierar (Lyngfelt 1981). För beräkning av det dimensionerade flödet används ekvation 1 där en klimatfaktor används för att ta hänsyn till ökad nederbörd i framtiden.

$$q_{dim} = i_{tr} \cdot \varphi \cdot A \cdot kf \quad (1)$$

q_{dim} : Dimensionerande flöde [l/s]

i_{tr} : Dimensionerande regnintensitet [l/s · ha]

A: Avrinningsområdets area [ha]

φ : Avrinningskoefficient [-]

kf: Klimatfaktor [-]

En sammanvägd avrinningskoefficient φ beräknas enligt ekvation 2 då avrinningsområden är uppdelat i delavrinningsområden där markytans material skiljer sig från varandra och har olika avrinningkoefficienter (Svenskt Vatten AB 2016).

$$\varphi = \frac{A_1 \cdot \varphi_1 + A_2 \cdot \varphi_2 + \dots A_n \cdot \varphi_n}{A_1 + A_2 + \dots A_n} \quad (2)$$

Regnintensiteten i_{tr} beräknas enligt ekvation 3 (Blomquist m. fl. 2016)

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

T: återkomsttid [mån]

t: dimensionerande regnvaraktighet [min]

2.2.2 Tid-area metoden

För att uppskatta det maximala flödet i ett stort avrinningsområde används ofta tid-area metoden som är en grafisk metod (Svenskt Vatten AB 2016). Tid-area metoden beräknar förutom det maximala flödet även avrinningshydrografer och volymer. Metoden går ut på att avrinningsområdet delas upp i delavrinningsareor som antas ha samma rinntid till beräkningspunkten. En kurva konstrueras över sambandet mellan den deltagande delavrinningsarean som en funktion av regnintensiteten som antas vara konstant. Denna funktion plottas sedan för varje delavrinningsarea för att sedan summeras till en graf över hela avrinningsområdet. Genom den rationella metoden beräknas det dimensionerade flödet som används för att uppskatta det maximala flödet (Svenskt Vatten AB 2016).

2.3 Spillvattengenerering

Spillvatten volymen som belastar ledningar beräknas oftast utifrån rekommenderade värden för dricksvattenförbrukning. Detta kan göras i och med att allt dricksvatten antas bilda spillvatten. Avvikelse kan uppstå då dricksvatten används för bevattning eller om industrier har intern återcirkulation av processvatten. I rapporten Svenskt Vatten P110 (Svenskt Vatten AB 2016) finns de rekommenderade värdena för de specifika spillvattenavrinningarna per person och dag [l/p · dag] (dimensionerande spillvattengenereringen) för hushåll och verksamheter (tabell 1).

Tabell 1: Rekommenderade specifika spillvattenavrinningar (liter per person och dag [$l/p \cdot dag$]) från Svenskt Vatten P110 för hushåll och allmänna verksamheter som till exempel affärer och skolor.

Spillvattenavrinning, hushåll [$l/p \cdot dag$]	
Flerbostadshus	170
Småhus	150
Spillvattenavrinning, allmän verksamhet [$l/p \cdot dag$]	
Flerbostadsområden	30
Småhusområden	20

Det som bör tas i beaktande är att riktlinjerna inte tar hänsyn till större enskilda verksamheter. För dessa verksamheter finns det särskilda rekommenderade specifika spillvattenavrinningar per person och dag (tabell 2) (Svenskt Vatten AB 2016).

Tabell 2: Rekommenderad specifik spillvattenavrinning från Svenskt Vatten P110 för större enskilda verksamheter.

Spillvattenavrinning		Enhet
Affärer, kontor	60	1/anställd och dag
Skolor	40	1/elev och dag
Daghem	50	1/barn och dag
Sjukhus	700	1/bädd och dag
Hotell	300	1/bädd och dag
Restauranger	500	1/anställd och dag

För att beräkna det dimensionerande spillvattenflödet används maxtimflödet som har uppstått under maxdygnet. Maxdygnet beskriver det dygn där störst vattengenerering har uppstått. Maxtimflödet som uppnås är kvoten av det maximala flödet under maxdygnet och medelflödet under samma dygn (Holm 2017). Om mer än 1000 personer är anslutna till spillvattenledningen kan schablonvärden för maxdygnet och maxtimflödet användas och nämns som maxdygnsfaktor och maxtimfaktor (tabell 3). För att beräkna det dimensionerande spillvattenflödet används ekvation 4 (Svenskt Vatten AB 2016).

Tabell 3: Schablonvärden för maxdygnsfaktor och maxtimfaktor från Svenskt Vatten P110.

Anslutna personer	C_{dmax} [-]	C_{tmax} [-]
1000-3000	2,3-1,5	3,0-1,7
>3000	2,1-1,3	2,7-1,4

$$q_{sdim} = \frac{q_{dmedel} \cdot p}{3600 \cdot 24} C_{dmax} \cdot C_{tmax} \cdot q_{sverks} \quad (4)$$

q_{sdim} : Dimensionerande spillvattenflöde [l/s]

q_{dmedel} : Specifik spillvattenavrinning [l/p · dag]

p : Antal anslutna personer [st]

C_{dmax} : Maxdygnsfaktor [-], (tabell 3)

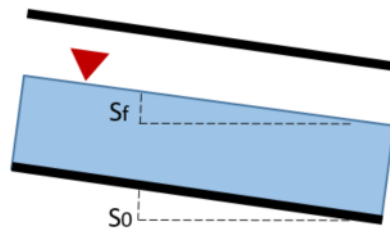
C_{tmax} : Maxtimfaktor [-], (tabell 3)

q_{sverks} : Spillvattenflöde från industri och större verksamheter [l/s]

2.4 Dimensionering av avloppsnät

Dimensioneringen av avloppsledningsnät skiljer sig från dricksvattenledningar då dessa inte är tryckbelagda då de ofta går via självfall (Mayotte 2018). Ledningarna kan kompletteras med pumpar och gå under tryck, vilket bör undvikas då pumparna kan sättas igen av solida avfall. Då avloppsledningar inte är trycksatta så länge som de inte har kompletterats med pumpar, blir läckaget relativt litet men bör ändå placeras under dricksvattenledningar för att undvika kontamination vid eventuella läckage (Mayotte 2018).

De dimensionerande flödena i avsnitt 2.2 - 2.3 används för beräkning och dimensionering av avloppsledningar. Oftast antas flödena vara stationära vilket medför att energilinjen gradient S_f går parallellt med ledningens gradient S_0 , (figur 1). Ledningar bör placeras med samma gradient som markytan för att underlätta schaktningsarbete vid ledningsdragning (Svenskt Vatten AB 2016).



Figur 1: Ledningskiss där S_f representerar energilinjen, S_0 ledningens lutning och den röda triangeln avloppsvattennivån i röret (modifiering från Mayotte 2018).

2.4.1 Cirkulära ledningar

För att dimensionera ledningar är diametern den väsentliga faktorn att beräkna. Den dimensionerande diametern beror bland annat på energi, area, hydraulisk radie och lutningar. Friktionen längs ledningarna, är den energi som tas hänsyn till vid dimensionering (Svenskt Vatten AB 2016). Mannings ekvation (ekvation 5) används vid beräkning för slutna rör som inte går fyllda och är en av de vanligaste ekvationerna inom dimensionering av avloppssy-

stem (Mayotte 2018). Den hydrauliska radien beräknas utifrån den våta perimetern p (figur 2) och ledningens area enligt ekvation 6.

$$q = A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot M \cdot \sqrt{S_0} \quad (5)$$

q : Flöde [m^3/s]

A : Tvärsnittsarean av flödet [m^2]

R : Hydraulisk radie [m]

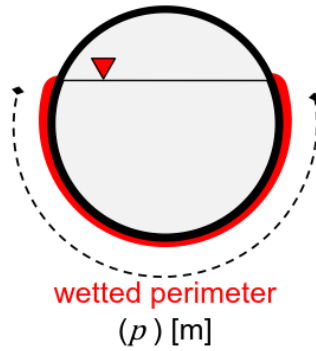
M : Mannings tal

S_0 : Bottenlutning

$$R = \frac{A}{p} \quad (6)$$

A : Tvärsnittsarea på flödet [m^2]

p : Våta perimetern [m]



Figur 2: Den våta perimetern som används för att beräkna den hydrauliska radien (Bildkälla: Mayotte 2018).

Mannings tal (M) utgår ifrån lednings råheten (skrovlighet) (Svenskt Vatten AB 2016). Manningstal (M) kan ses som inversen av Mannings råhets koefficient (n) som tar hänsyn till friktionsförluster och beräknas enligt ekvation 7 (Chow m. fl. 1988).

$$\frac{1}{M} = n = \sqrt{\frac{f}{8 \cdot g}} R^{\frac{1}{6}} \quad (7)$$

n : Mannings råhetskoefficient [-]

f : Friktionsförlust faktorn [-]

R : Hydraulisk radie [m]

g : Tyngdacceleration [m^2/s]

Friktionsförlustfaktorn fås ofta grafiskt via ett så kallat Moody diagram som beskriver förhållandet mellan ledningens relativa råhet och Reynolds tal (Re). Friktionsförlustfaktorn kan även beräknas via ekvation 8 för laminära flöden ($Re < 2000$), där C_L beror på ytans skrovlighet, till exempel anges $C_L=96$ för mjuka ytor (ekvation 8). Reynolds tal är en dimensionslös variabel som beror på fluidens densitet, fluidens viskositet samt diametern på ledningen. Reynolds tal beräknas enligt ekvation 9 (Chow m. fl. 1988).

$$f = \frac{C_L}{Re} \quad (8)$$

f: Friktionsförlustfaktorn [-]

C_L : Ytans skrovlighet [-]

Re: Reynolds tal [-]

$$Re = \frac{V \cdot \rho \cdot d}{\mu} \quad (9)$$

V: Hastighet [m/s]

ρ : Fluidens densitet [kg/m³]

d: Ledningens diameter [m]

μ : Fluidens viskositet [N · s/m²]

Friktionsförlustfaktorn kan även beräknas iterativt och empiriskt via Colebrooks formel, ekvation 10 (Chow m. fl. 1988).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log\left(\frac{\epsilon/d}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}}\right) \quad (10)$$

ϵ : Absoluta rörråheten [m]

d: Ledningens diameter [m]

Där den absoluta rörråheten ges av ekvation 11 med $\phi=1$

$$\epsilon = 3 \cdot 10^{\frac{-\phi R^{\frac{1}{6}}}{4n\sqrt{2g}}} \quad (11)$$

2.4.2 Självremsning

När dimensionering av spillvattenledningar görs ska självrensning ingå. Det vill säga att ledningens gradient är såpass stor att skjuvspänningen mellan avloppsvattnet och ledningens botten hindrar sediment från att sätta igen ledningen. Skjuvspänningen τ mellan avloppsvattnet i ledningen samt dess botten ska anta ett medelvärde på $\tau_{med} \geq 1,5 \text{ N/m}^2$ under minst en timme. Där τ_{med} representerar medelskjuvspänningen. Ledningar som avvattnar spillvatten från mer än 3000 personer används medelflödet som det dimensionerande flödet (q_d) och kan beräknas med ekvation 12. Tillskillnad från ekvation 4 så tar den ej hänsyn till säkerhetsfaktorer utan enbart spillvatten (Blomquist m. fl. 2016).

$$q_{s,sj\ddot{a}lvrens} = \frac{q_d \cdot p}{3600 \cdot 24} \quad (12)$$

$q_{s,sj\ddot{a}lvrens}$: Avloppsvattenflödet i ledningen [m^3/s]

p : Antal anslutna personer

q_d : Dygnsmedelflöde [$\text{l}/p \cdot \text{dag}$]

För att beräkna den minsta lutningen som krävs för att uppnå medelskjuvspänningen används ekvation 13 i samband med ekvation 1. Densiteten kan till exempel fås fram via mätningar.

$$S_0 = \frac{\tau_{med}}{\rho \cdot g \cdot R} \quad (13)$$

τ_{med} : Medelskjuvspänning mot rörvägg [N/m^2]

ρ : Fluidens densitet [kg/m^3]

R : Hydraulisk radie [m]

g : Tyngdacceleration [m^2/s]

2.5 Hydraulisk modellering av avloppsledningsnät

Med en ökad urbaniseringen blir dimensionering och analyser av avloppsnät allt mer komplexa. Kriterierna på till exempel rening blir allt striktare för att bibehålla en god vattenkvalitet, kunskap och tillsyn på ledningsnät blir viktigare (Frimodt 2008). I och med de ökade kraven på dag- och spillvattenhantering, blir verktyg innehållande datamodeller allt mer efterfrågade hos kommuner.

Med en hydraulisk modell kan brister och skador på ledningarna upptäckas genom att simulera en teoretisk bild av verkligheten (Blomquist m. fl. 2016). Även om modellen som används är en enkel bild av ett komplext system kan den ge en förståelse samt ta fram data för statistik. Det ska dock tas i beaktande att en modell inte kan förutse alla händelser i ett avloppssystem och stämmer inte helt överens med verkligheten (Granlund & Nilsson 2000).

Modellen kräver indata för att möjliggöra den hydrauliska simuleringen i avloppsnätet, till exempel dimensioner på ledningar, brunnar, pumpstationer men även information om avrinningsområden som avvattnar till brunnarna (Granlund & Nilsson 2000). För att efterlikna verkligheten i så stor utsträckning som möjligt ska kända parametrar tillämpas (egenskaper som ändras till ett konstant värde innan beräkningarna), annars bör empiriska värden på inparametrarna antas (Ljung & Glad 2014).

2.6 Modelleringsverktyg

Som beskrivet i avsnitt 2.5 blir det allt vanligare att modelleringsverktyg används för att undersöka dagvattenhanteringen. Idag finns det väldigt många etablerade modelleringsprogram

med varierande egenskaper på marknaden (Marttala 2016). Ett vanligt förekommande modelleringsverktyg är den amerikanska modellen Storm Water Management Model (SWMM) som har tagits fram av United States Environmental Protection Agency. SWMM används för simulering av dagvattnets kvalitet och volym i huvudsakligen urbana miljöer men även för dräneringssystem i icke-urbana miljöer. SWMM är ett gratisprogram och används världen över inom planering och analys av dagvattenavrinning till avloppsledningar (U.S Environmental Protection Agency 2018).

Den mest förekommande programvaran i Sverige är Mike Urban (Näsman Melander 2012) som är upprätthållen av ett danskt företag (DHI, Dansk Hydraulisk Institut) och innehåller tilläggspaket beroende på vad som ska simuleras (DHI 2017d). DHI strävar efter att vara en *"kostnadseffektiv, pålitlig och hållbar"* modell (DHI 2017a). Mike Urban används ofta som ett planeringsverktyg vid ny exploatering samt för åtgärdsplanering. En översvämningsanalys kan göras där två olika paket kopplas ihop och tillsammans beskriver förloppet dynamiskt med avseende på avrinningsområdets egenskaper samt avloppsledningsnätets kapacitet (DHI 2017c).

Enligt Frimondt 2008 är gratisprogrammet SWMM inte lämpligt för konsultuppdrag, eftersom hanteringen av CAD och GIS är bristfällig. Frimondt nämner även att Mike Urban är det mest användbara programmet tack vare sin förmåga att hantera *"avancerade simuleringar och mångsidighet"*, men kräver inköps- och licenskostnader (Frimondt 2008).

2.7 Mike Urban

Skyfallsavrinningsmodellering

Mike Urban är det modelleringsverktyg som används i majoriteten av hydrauliskautredningar i Sverige. I Mike Urban tillämpas beräkningspaketet MOUSE, (Modelling Of Urban SEwers), för avloppsledningsnätmodellering (Näsman Melander 2012). MOUSE baseras på fyra olika avrinningmodeller *tids-area*, *kinematisk våg*, *linjär reservoar* och *enhedshydrograf*, där en av de fyra metoderna väljs vid simulering. De olika metoderna går inte att kombinera i en och samma simulering då de kräver olika uppsättningar av inparametrar. Parametrarna baseras på generella avrinningsdata, modellspecifika avrinningsdata och modellparametrar. Det som skiljer generella avrinningsdata mot modellspecifika avrinningsdata är att den förstnämnda inkluderar grundläggande information om till exempel storlek, geografisk position och konstant inflöde. Den modellspecifika tar istället hänsyn till områdes geometri och har mer detaljerad markbeskrivning (Näsman Melander 2012).

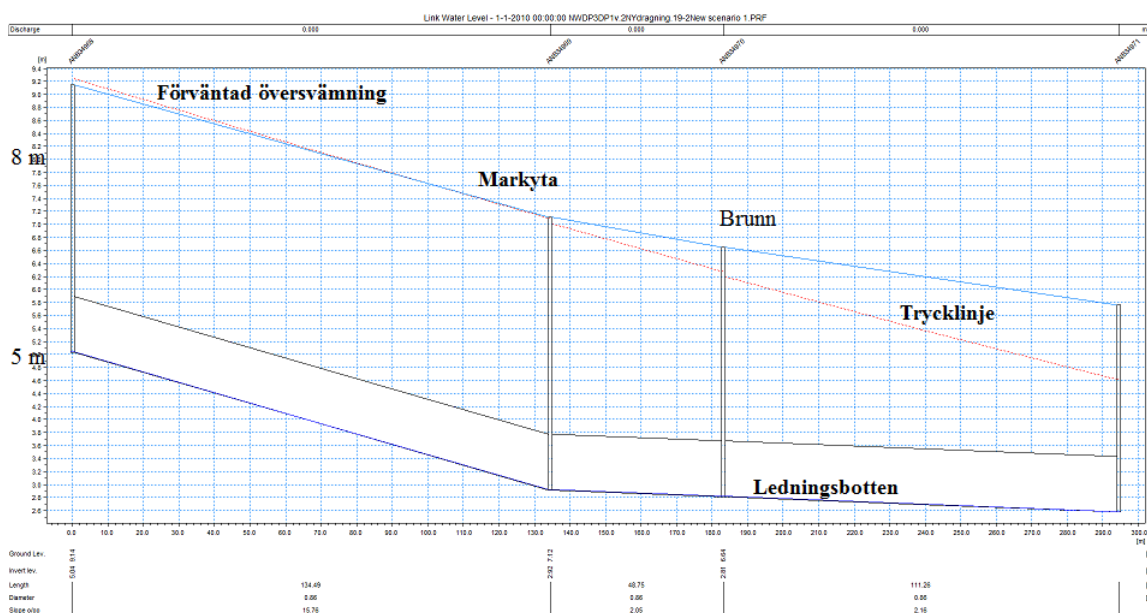
Tillskottsvattnet, vilket är vatten som utöver spillvatten avleds i spillvattenledningar, belastar ledningsnätet direkt vid nederbördstillfället eller efter en längre tid då avrinningen har avstannat på markytan (DHI 2017f). Detta fenomen är en konsekvens av nederbörden samt av de tidigare hydrologiska händelserna och benämns som nederbördsberoende infiltration (Rainfall Dependent Infiltration, RDI). För att beskriva flödet som genereras i ett avloppsnät används benämningarna Snabb ResponsKomponent (Fast Response Controll, FRC) samt Långsam ResponsKomponent (Slow response controll, SRC). FRC representerar den direkta konsekvensen av nederbörden medan SRC tar i hänsyn till de föregående hydrologiska händelserna (DHI 2017).

Hydrodynamisk nätverksmodellering

Den simulerade avrinningen till följd av nederbörden som beskrevs ovan används för att simulera tillskottsvattnet i ledningsnätet. MOUSE använder sig av dynamiskt flöde för att modellera avrinningen genom ledningarna. Det dynamiska flödet tillåter modellen att ta hänsyn till bland annat bakvattenseffekter, tryckflöden och lagringar i bassänger. Det dynamiska flödet kan appliceras på alla typer av konstruktioner till exempel ledningar, fria ytor och pumpar (DHI 2017b).

Tolkning av resultat

Resultaten från en simulering genererar en tryckprofil (figur 3) över ledningarna som har belastats av nederbörden. Trycklinjen visar de maximala trycknivåerna i ledningarna vid en simulering under en viss tidsperiod. Om trycknivån som fås under en simulering överstiger marknivån indikerar det en marköversvämning (figur 3). För att avgöra om ledningsnätets kapacitet är tillräcklig för det dimensionerande flödet kan trycklinjens gradient analyseras. Har trycklinjen en större gradient än ledningen tyder detta på att ledningen är underdimensionerad och har kapacitetsbrist för det dimensionerade flödet vid den studerade ledningssektionen (figur 3) (Blomquist m. fl. 2016).



Figur 3: Exempel på tryckprofil över en ledning som ett resultat av simulering. Den röda linjen visar trycklinjen medan den övre blå linjen visar marknivån. Y-axeln visar höjdnivån [m] och x-axeln den vågräta sträckan [m]. De svarta vertikala strecken visar brunnar.

2.8 Hydraulisk modelluppbyggnad

När ett ledningsnät byggs upp i en hydraulisk modell finns det parametrar som måste anges för att återskapa ett verkligt system. I detta avsnitt beskrivs några exempel på vanligt förekommande parametrar som används i Mike Urban.

Noder

Noder beskriver brunnar som är av en mindre storlek (0,1-2 m) där 1 m anses som ett standardvärde på diametern om inget annat anges. Noderna beskrivs i modellen med en bottennivå (Bottom level), marknivå (Ground level), diameter samt en energiförlust. Om inte bräddbrunnar, brunnar som leder ut bräddvatten, har större diameter än en vanlig brunn eller att dess geometri varierar i höjddled ska även dessa anges som noder (Blomquist m. fl. 2016).

Fiktiva noder

Fiktiva noder representerar brunnar som egentligen inte existerar, till exempel diken, öppna kanaler och ledningar för att kunna avsluta ett randvillkor. För ledningar läggs detta in i samband med att ledningen byter riktning eller gradient. Den största anledningen till att fiktiva noder placeras i en modell är på grund av att ett flöde ska kunna genereras i ledningen, då detta inte kan ansättas på varken avrinningsområdet eller på ledningen direkt utan måste komma från en belastningskälla (Blomquist m. fl. 2016).

Ledningar med konstant tvärsnitt

Ledningar konstrueras via databaser innehållande information om ledningarna. Ledningarnas tvärsnitt (cirkulärt, äggformat eller rektangulärt) måste anges samt dess storlek. För cirkulära ledningar ges diametern, äggformade den största horisontella diametern och för de rektangulära dess bredd och höjd. Ledningarnas gradient behöver ej anges då dessa beräknas utifrån höjd och koordinater på noderna som ledningarna är kopplade till (ibid.).

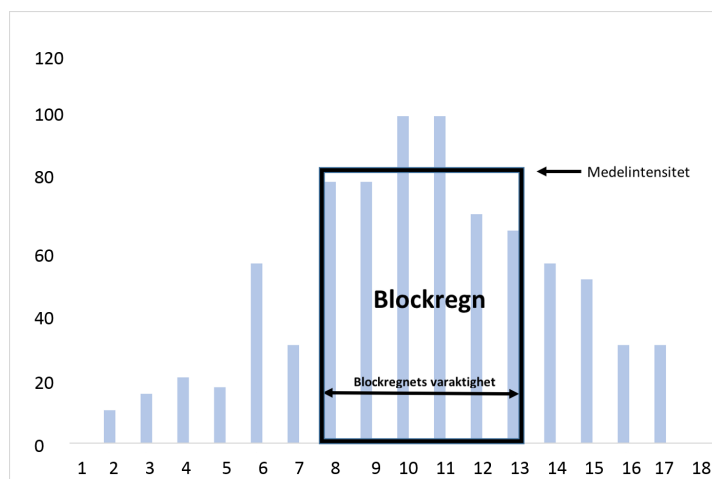
2.9 Indata för modellering

2.9.1 Randvillkor

En hydraulisk modellering kräver att modelleraren ställer olika randvillkor, det vill säga ”*villkor som lösningen till en differentialekvation skall uppfylla vid randen*” (NE u.å.). Randvillkoren kan utgöras av till exempel nederbörden, in- och utströmning, temperatur samt avdunstning om snösmältning antas (Blomquist m. fl. 2016). Då en hydraulisk modell ska simulera ett spill- och dagvattennät behövs indata som beskriver egenskaperna för ledningsnätet, avrinningsområdet samt belastningen som till exempel avrinningskoefficient (Svenskt Vatten AB 2016).

2.9.2 Chicago Design Storm (CDS-regn)

Vid simuleringar används vanligtvis tre olika typer av regn, *blockregn*, *Chicago Design Storm (CDS-regn)* och *historiskt uppmätta regn* (Blomquist m. fl. 2016). CDS-regn kan ses som en samling av blockregn med varierande återkomsttid och intensitet (figur 4). CDS-regn är anpassade för system där bräddavlopp finns uppströms samt där små volymer av dagvatten behandlas. Ska ett utjämningsmagasin dimensioneras bör CDS-regn inte appliceras då bräddvolymen riskeras att underskattas (Blomquist m. fl. 2016).



Figur 4: Ett blockregn där y-axeln representerar regnintensiteten [$l/s \cdot ha$], x-axeln tiden på regnhändelsen och den svarta rutan representerar centralblocken med en varaktighet på 5 minuter och medelintensiteten 80 [$l/s \cdot ha$] (Andersson m. fl. 2017).

2.9.3 Spillvattenbelastning

Vid modellering av avloppssystem beräknas spillvattenbelastningen som genereras från bostäder samt verksamheter som mängden vatten per abonnent och år. Om den debiterade genererade vattenmängden inte går att tillhandahålla används istället personekvivalenter (antalet personer i till exempel hushållet) som är bosatta eller befinner sig inom avrinningsområdet (Blomquist m. fl. 2016).

2.9.4 Brunnsförluster

Energiförluster sker oftast vid turbulens och friktionsförluster i ledningssystemet. Då vattnets potentiella och kinetiska energi omvandlas till värme försvinner den mekaniska energin från systemet och trycklinjen sjunker. För att undvika energiförluster i modellen kan en fiktiv nod placeras ut (Blomquist m. fl. 2016).

2.10 Miljökvalitetsnorm

I och med instiftande av miljöbalken 1999 infördes ett juridiskt styrmedel för att kontrollera miljöpåverkan från diffusa källor, *miljökvalitetsnormer* (Havs- och vattenmyndigheten 2018). Miljökvalitetsnormen ska representera den lägsta tillåtna kvaliteten eller ett uppge ett önskat tillstånd. Enligt 2 §, 5 kap i miljöbalken ska miljökvalitetsnormerna ange (Havs- och vattenmyndigheten 2018):

- Högsta nivå av föroreningshalter eller störning som inte medför risk för människan eller belastning på miljön och får inte över- eller understiga en viss koncentration under en given tidsperiod.

- Maximala och minimala förekomsten av yt- och grundvattenorganismer som har en påverkan på miljöns tillstånd.
- Krav som ställs från EU om miljökvalitet (Havs- och vattenmyndigheten 2018).

I vissa fall kan en miljökvalitetsnorm påverkas av en verksamhet som inte ingår i det geografiska området för miljökvalitetsnormen, till exempel omkringliggande industrier. I detta fall ska ett åtgärdsprogram upprätthållas där alla berörda verksamheter som påverkar normerna för det berörda området inkluderas. Åtgärdsprogrammen kan vara ett bra underlag när myndigheter och kommuner ställer krav via tillsyn att normerna följs (Havs- och vattenmyndigheten 2018).

EU-domstolen ställer krav på att miljökvalitetsnormer för ett vattendrag ska uppnå en god ekologisk- och kemisk ytvattenstatus. Statusen som vattendraget har uppnått får inte försämrats till en lägre klassificering. Detta medför att om en verksamhet prövas enligt tillstånds- och tillsynsärenden och påvisar en försämring av den aktuella statusen får denna verksamhet inte utövas (Havs- och vattenmyndigheten 2018).

2.10.1 Stockholm Vattens riktlinjer

För att uppnå en hållbar dagvattenhantering har Stockholm stad satt upp övergripande mål där vattenkvaliteten ska förbättras. För att uppnå målen för miljökvalitetsnormerna ska 70 - 80 % av föroreningshalten i dagvattnet reduceras. Reduceringsgraden svarar mot att 90 % av den årliga dagvattenvolymen fördröjs och renas. Vid projektering av magasineringsanläggningar bör de ha förmågan att fördröja och lagra de första 20 mm av nederbörden från en avrinningsyta för att nå målet med 90 % fördröjning av dagvattnet (Kustvall Larsson m fl. 2016).

Stockholm stad har även satt riktlinjer för dimensionering av ledningsnätet i Hagsataden. För avrinningskoefficienterna ska dessa inte överstiga ett värde på 0,3 för bostadskvarter eller 0,5 för kontorskvarter (Petterson Skog 2015).

2.11 Ansvarsfördelning i Hagastaden

Ansvarsfördelningen för dagvatten är en komplicerad process eftersom det är många aktörer som delar ansvaret (Svenskt Vatten AB 2016). Fastighetsägaren ansvarar för dagvattenhanteringen på sin fastighet fram till den så kallade förbindelsepunkten som är gränsen mellan två VA-huvudmän. Från och med förbindelsepunkten börjar den allmänna dagvattenhanteringen, vilket kommunfullmäktige år 2014 beslutade att lägga ansvaret på Stockholm Vatten VA AB (SVAB). Detta då det ansågs vara effektivare att enbart ha en huvudman för VA-frågor och dagvattenanläggningar i Stockholm (Petterson Skog 2015). I och med det enskilda huvudmannakapet står SVAB för rening och fördröjning av trafikvatten samt ledningssträckor som avvattnar allmänna ytor. Vid den allmänna platsen börjar SVABs ansvar nedströms sandfången (fångar upp partiklar som transporteras med dagvattnet) på diken samt nedströms reningsanläggningar. SVAB ansvarar även för de dagvattenanläggningar och utjämningsmagasin som har sitt utlopp mot Brunnsviken (Petterson Skog 2015). SVAB har

inte ansvaret för avloppshanteringen på den enskilda fastigheten eller underhåll av till exempel rännstensbrunnar, ledningar och vägdiken som tillhör den allmänna VA-anläggningen och förbindelsepunkten (SFS 2016:412).

2.12 StormTac

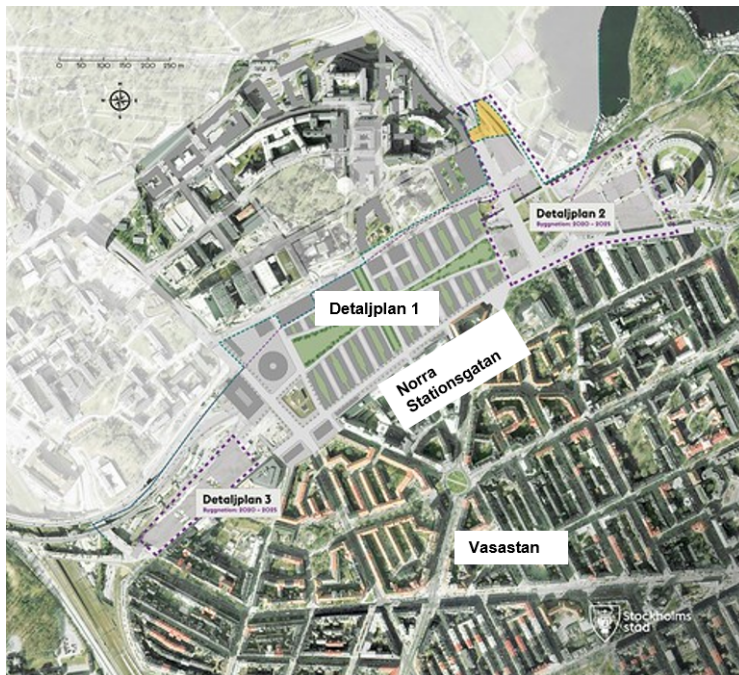
StormTac är en programvara som används bland annat för att beräkna föroreningstransporter och dimensionera dagvattenanläggningar utifrån schablonvärden (Larm 2000). Programvaran har funnits på marknaden i cirka 20 år och schablonvärdena uppdateras kontinuerligt. Verktöget syftar till att beräkna kvalitet och kvantitet på tillskottsvatten i ett avrinningsområde utifrån enkla beräkningar baserat på avrinning, recipient och reningsprocesser. StormTac innehåller en databas med riktvärden för olika parametrar som till exempel avrinningskoefficienter, nederbördsdata, koncentrationsdata för ämnen och reduktionsgrader. Databasen för parametrarna gör att modellen är enkel att använda då modelleraren enbart behöver implementera områdesspecifika data för recipienten, användningsområde (parkering, park m.m..) samt area på de undersökta områdena. För att få mer representativa resultat kan de schabloniserade värdena bytas ut mot platsspecifika data. StormTac beräknar även standardavvikelse på reningsgraderna för de olika reningsanläggningar baserat på underlag från databasen (Larm 2000).

Den totala föroreningshalten beräknas från basflödet (grundvatten som stadigt har ett inflöde av vatten (Havs- och vattenmyndigheten 2013) och dagvattenflödet samt föroreningskoncentrationerna i de båda flödena. De beräknade föroreningshalterna jämförs sedan mot riktvärden från naturvårdsverket för att få en generell bild över belastningen (ibid.).

3 Material och metod

3.1 Områdesbeskrivning

Stockholm växer och i dag har Stockholm stad en vision om att länka samman Stockholm stad och Solna med en ny stadsdel (Stockholms stad 2018). Norra Stationsområdet, Hagastaden, är en del av den planprocess som ska förverkliga denna vision och ska fram till 2025 bebyggas och expandera för att skapa ett berikat näringsliv. I dagsläget beräknas 3000 nya bostäder och 36 000 nya arbetsplatser att skapas när Hagastaden är fullständigt utbyggt (Stockholm stad 2018). Utbyggnaden av Hagastaden sker i tre etapper enligt detaljplanerna (DP), DP1, DP2 samt DP3 (figur 5) där DP1 är påbörjad och har vissa kvarter färdigbyggda (Handeland m fl. 2017). Totalt kommer en yta på 96 hektar, varav 30 hektar inom Stockholms kommungräns att utgöra den nya stadsdelen (Stockholm stad 2018).



Figur 5: Områdesbeskrivning över byggplanerna där DP1 representerar det första etappen som planerats, DP2 den andra och DP3 den sista etappen. De lila linjerna representerar områdena som ska byggas (källa: Hagastaden Stockholm 2018).

3.1.1 Dagvattenhantering

Dagvattenhanteringen i Hagastaden utgörs idag av tre delar,

- ett lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD).
- ett dagvattenledningsnät som är dimensionerat för att avleda och omhänderta 10-års, 20-års eller 30-årsregn med klimatfaktor.
- en sekundär avrinningsväg vilket avleder regn då ledningsnätet inte har tillräcklig kapacitet.

LOD

LOD syftar till att efterlikna naturens sätt att lokalt ta hand om nederbörd. Detta återspeglar i stor grad naturlig lokal infiltration och småskalig fördröjning genom till exempel infiltration i marken och avrinning på markytan via diken (Lundgren & Jansson 2018). LOD på DP1 utgörs av skelettjordar, underjordiska dagvattenmagasin, på de allmänna markerna medan i parkområdena används infiltration och fördröjning vilket sker på markytan. I området finns ledningar som fördröjer och avleder överskottsvatten till dagvattenledningsnätet. I parkområdet finns även svackdiken, fördröjningsdiken, samt perkolationsbrunnar (brunnar som leder dagvatten till ett magasin). LOD-lösningar för DP2 och DP3 är i dagsläget inte fastställda (Lundgren & Jansson 2018).

Dagvattenanläggningar

Dagvattenanläggningar omhändertar dagvattenflöden som är större än vad LOD kan hantera och avleder detta till ledningsnätet. Dagvattenanläggningar kan både rena och fördröja vattnet innan det leds till ledningsnätet eller recipienten (Lundgren & Jansson 2018). Dagvattenanläggningarna vid Norra Stationsgatan beskrivs i avsnitt 3.2.

Sekundära avrinningsvägar

Vid skyfall överstiger nederbörden dagvattenledningens kapacitet och dagvattnet kommer att avledas på markytan till översvämningssäkra punkter. Dessa sekundära avrinningsvägar beror på områdets topografi. Rent generellt har Hagastaden en bra höjdsättning med ett fåtal identifierade platser med översvämningrisker (Lundgren & Jansson 2018).

3.1.2 Recipienter

Brunnsviken

Brunnsviken (figur 6) är en stor dagvattenrecipient för Stockholm med en area på cirka 2 km² (VISS 2017). Brunnsviken är beläget vid en nationalpark och har därmed höga rekreation- och naturvärden (Lundgren & Jansson 2018). Brunnsviken har idag problem med miljögifter och uppnår en otillfredsställande ekologisk status. Orsaken till den otillfredsställande statusen är huvudsakligen förekomsten av total-kväve och total-fosfor och som under sommarhalvåret är ett stort problem. Brunnsviken uppnår idag ej god kemisk status. De främsta anledningarna till att sjön inte uppnår en god kemisk ytstatus är höga halter av kvicksilver, polybromerade difenyletrar (PBDE), perfluoroktansulfonsyra (PFOS), bly, kadmium, antracen och tributyltenn. Källorna för föroreningarna är omkringliggande marker samt utsläpp från jordbruk och industriverksamheter (VISS 2017).



Figur 6: Karta över Vasastan där recipienterna Brunnsviken och Karlbergssjön är markerade med lila markeringar (Bakgrundskarta: ©Lantmäteriet 2019).

Karlbergssjön

Karlbergssjön (figur 6) klassas som ett naturbadsområde och med sin strandnära miljö får ett rekreativvärde. Karlbergssjön används för båtsport vilket bidrar till utsläpp av föroreningar (Stockholm Vatten och Avfall 2017). Karlbergssjön har en ytareal på cirka 0,23 km² och är sammankopplad med Mälaren. Det finns inga miljökvalitetsnormer för Karlbergssjön men provtagningar har påvisat höga halter av näringsämnen och klorofyll (Stockholm Vatten och Avfall 2017).

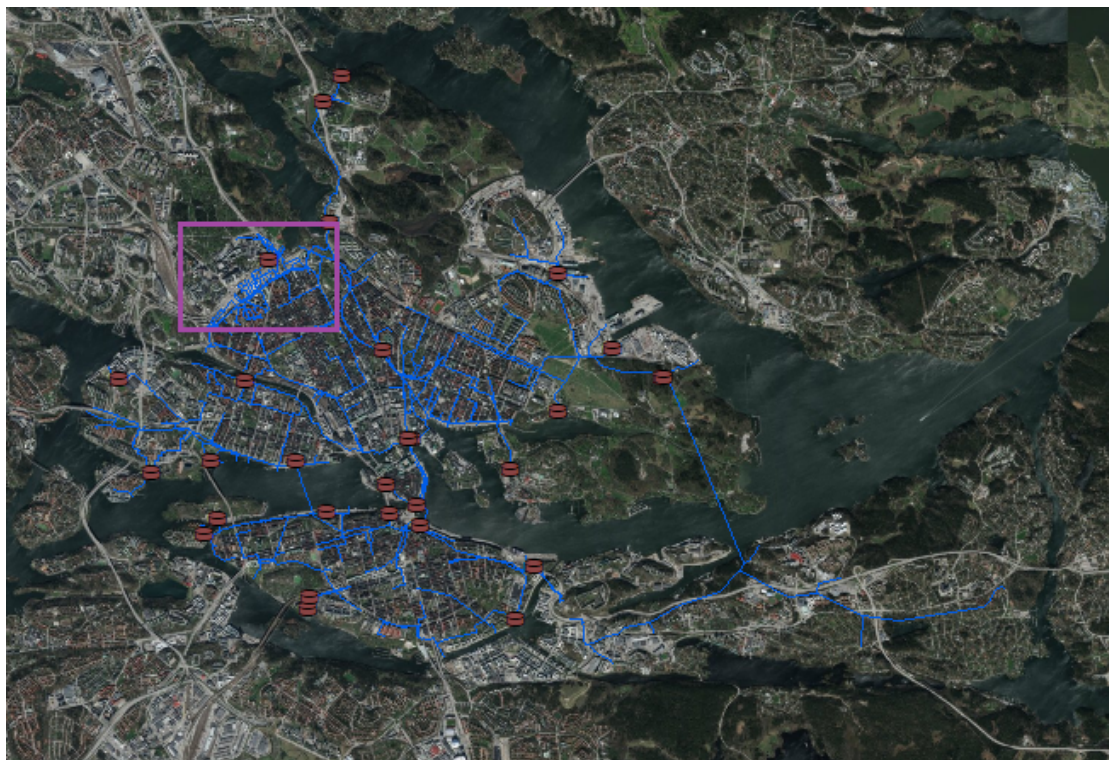
3.1.3 Henriksdals reningsverk

Henriksdalsverket är ett reningsverk som har varit i bruk sedan år 1941. Reningsverket har idag en kapacitet att rena 250 000 m³ kombinerat vatten varje dygn och har cirka 752 700 personer anslutna. Reningsverket har en relativt vanlig behandlingsmetod med kemisk och biologisk samt slambehandlingsteg. Slammet som fås i sedimenteringen rötas för att få ut biogas medan det renade vattnet släpps ut i Saltsjön (Stockholm Vatten AB u.å.).

3.2 Hydraulisk modell över Stockholm

Som nämnt i avsnitt 1.1 utgick detta projekt från en hydraulisk modelluppsättning tillhandahållen av SVOA. Modellen innehåller huvudledningssträckan för hela Stockholm (figur

7). Modellen som har tillämpas i detta arbete inkluderar även de kompletteringar Sweco Environment AB har tillfört för Hagastaden och representerar efter kompletteringarna ett framtida scenario då stadsdelen anses vara fullständigt utbyggd (Lyngfelt 1981). I modellen har inte servisedningar tagits med. Modellen som representerar ett framtida scenario kommer i detta arbete att se som befintligt och kommer därför att hänvisas exempel till dagens system eller det befintliga systemet.

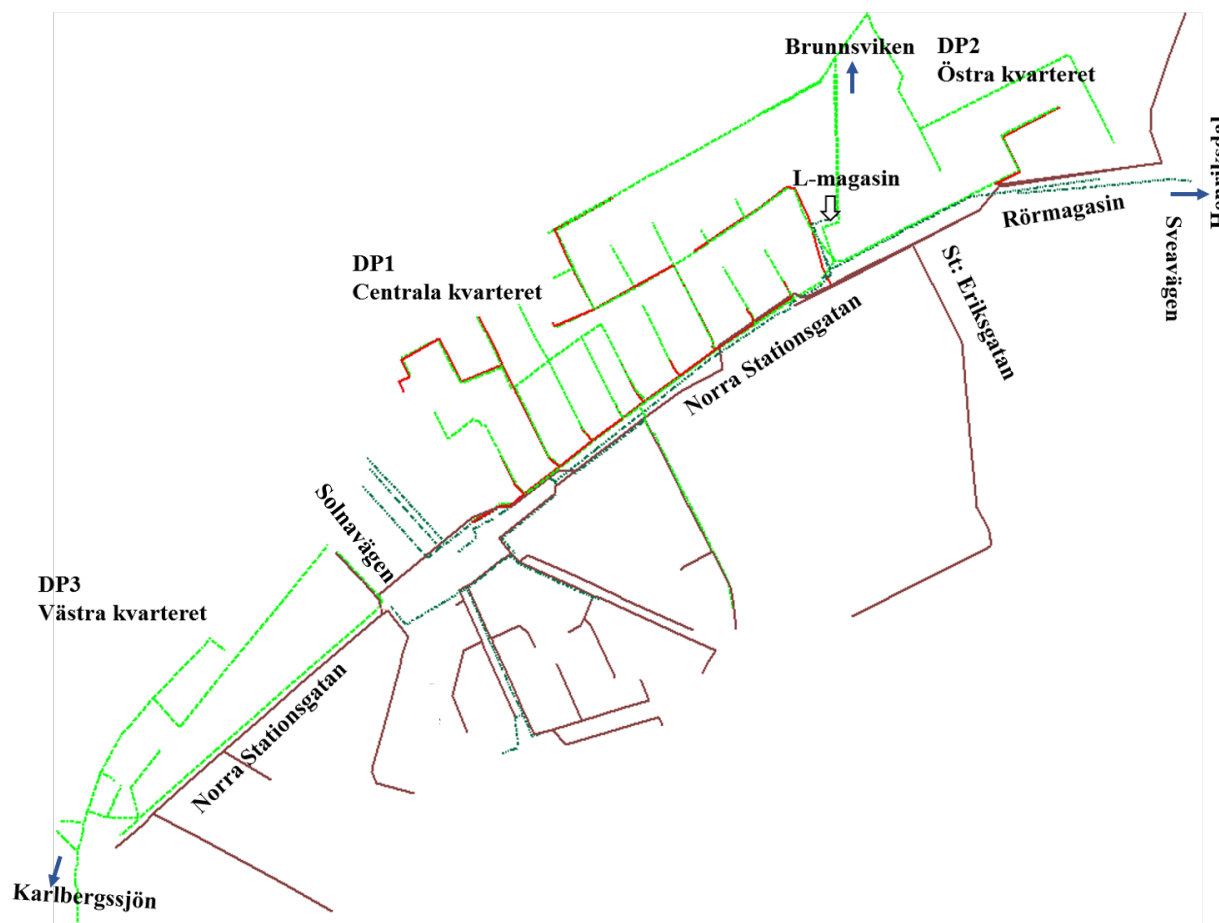


Figur 7: Ledningskarta över Stockholm från den befintliga hydrauliska modellen av SVOA. Blå linjer representerar huvudavloppsledningar, bruna cylindrarna representerar pumpstationer och den lila rutan visar det undersökta området (Bakgrundskarta erhållen från (Basemap, World Imagery 2019)).

Ledningsnätsöversikt

Ledningsnätet i Hagastaden utgörs idag till stor del av kombinerade avloppsledningar eller duplikatsystem som nedströms ansluts till en kombinerad avloppsledning. Längs med Norra Stationsgatan leds dag- och spillvattnet i en kombinerad ledning nordost mot Sveavägen (figur 8). DP1 har ett separat spill- och dagvattensystem där dagvattnet avleds till Brunnsviken via ett fördröjningsmagasin och spillvattnet ansluter till det kombinerade systemet i Norra Stationsgatan (figur 8). Även spillvatten från DP3:s ansluter till den kombinerade ledningen vid Norra Stationsgatan (figur 8). Dagvatten från DP3 avleds väster ut mot Karlbergssjön vid korsningen St Eriksgatan / Norra Stationsgatan. Det kombinerade systemet avvattnas mot ett rörmagasin vid Sveavägen som består av 4 rör med en diameter på 2 m och en längd på 154 m vardera (tabell 4). Rörmagasinet har en bräddnivå på 9,33 m och

bräddar till norrgående dagvattenledning i ett så kallat bräddutlopp vid kraftiga skyfall.



Figur 8: Ledningskarta över utrednings området där bruna linjer representerar det kombinerade systemet, röda linjer spillvatten, ljusgrön linjer dagvattnet och mörkgröna linjer trafikvattnet. De mörkblåa pilarna visar att avloppsvattnet leds mot de nämnda områdena, då områdena inte är placerade precis vid placeringen av namnet.

Från DP1 avleds dagvattnet längs Norra Stationsgatan i två separata ledningar, den ena med trafikvatten (dagvatten som kommer från trafikerade vägar) och den andra ledningen med dagvatten. Båda ledningarna avvattnas öster ut mot recipienten Brunnsviken (figur 8) via ett utlopp. I utloppet mot Brunnsviken ingår ett magasin som består av en avsättningsdel och en fördröjningsdel som går parallellt med avsättningsdelen. Dagvattnet leds direkt till fördröjningsdelen, medan trafikvattnet leds först till avsättningsdelen för rening och rinner sedan vidare till fördröjningsmagasinet. Fördröjningsmagasinet är dimensionerat för ett 10-årsregn med en klimatfaktor på 1,2 (tabell 5). Det kombinerade fördröjning- och avsättningsmagasinet kommer att benämnas som L-magasinet i denna rapport eftersom det är L-format.

Tabell 4: Dimensioner och bräddnivå för L-magasinet samt för rörmagasinet.

	Total area [m ²]	Total aktiv volym [m ³]	Bräddnivå [m]
L-magasin, avsättningsdel	350	796	9,5
L-magasin, fördröjningsdel	615	2030	-
Rörmagasin	3894	1932	9,33

DP2 och DP3 är fortfarande i planeringsstadiet och enbart kombinerade ledningar finns i området idag. I detta arbete har det dock antagits att alla spill- och dagvattenledningar (figur 8) har anlagts. Det vill säga att spill- och dagvattenledningarna (figur 8) planeras att anläggas i och med exploateringen av DP2 och DP3 men finns inte området idag. Spillvatten från DP1, DP2 och DP3 ansluter det kombinerade ledningssystemet och kommer att bidra med ett spillvattenflöde i den kombinerade ledningen längs Norra Stationsområdet innan en separering till ett separat system. Det bidragande flödet har tagits med vid simuleringarna i Mike Urban, där data på den genererade spillvattenbelastningen finns som indata i den tillhandahållna modellen över detaljplanerna.

Topografi

I den Norra delen av DP3 leds dagvattnet i en separat ledning väst mot recipienten Karlbergssjön. Det som bör betraktas vid Solnavägen, gränsen mellan DP3 och DP1 är en vattendelare som finns mellan områdena (figur 9). DEM-datan (Digital elevation modell) visar topografin över området där det kan ses att DP1 har högre punkter som går mot lägre punkter i DP3, vilket indikerar en ytvattendelare (Havs- och vattenmyndigheten 2013). DEM-bilden är höjddata som fåtts via laseracanning och har senare justerats av utredare för skyfallskartering för Hagastaden. Höjdmodellen används även för att kartera hur markförhållandena ser ut i området och där med används vid placering av dagvattenbrunnar via GIS-programmet ArcGIS. GIS är ett datoriserat geografiskt informationssystem som används bland annat ofta inom miljöbranschen för planering och analys av områden. GIS är oftast relaterat till kart hantering och är därför ett bra program för spårning av till exempel GPS-punkter och fjärranalys (Grabs 2017).



Figur 9: Topografin över det undersökta området där det röda representerar de högsta punkterna, de gröna lågpunkterna och den blå linjen visar vattendelaren (Mattisson & Karlsson 2018).

3.2.1 Dimensioneringskriterier

Riktlinjerna som har tillämpats för dimensioneringen av ledningsnätet skiljer sig mellan de olika detaljplansområdena. Detta beror på att Svenskt Vatten har ändrat sina riktlinjer under projekteringen av Hagastaden. Där bland annat klimatfaktor och de specifika spillvattenavrinningarna har ändrats. Till exempel för flerbostadshus har den specifika spillvattenavrinningen sänkts från $220 \text{ [l/p} \cdot \text{dag]}$ till $170 \text{ [l/p} \cdot \text{dag]}$. Ändringen medför att DP1 som projekterades först har tillämpat riktlinjer från rapporten Svenskt Vatten P90 medan DP2 och DP3 utgår från en uppdaterad version, Svenskt Vatten P110, med olika dimensionerade flöden (Lundgren & Jansson 2018). Spillvattnet från DP3 och DP2 som ansluter det kombinerade avloppssystemet antar båda riktlinjerna från Svenskt Vatten P90 (tabell 5). Medan vid dimensionering av dagvattenledningar antas Svenskt Vatten P110. Ett CDS-regn med 12 timmars varaktighet samt 10 minuters centralblock har används vid simulering (Handeland 2017).

Tabell 5: Dimensioneringskriterierna för ledningarna i de olika detaljplansområdena som har används i den befintliga modellen, S/K står för separat/kombinerat. De kombinerade ledningarna samt DP1 är baserat på Svenskt Vatten P90 medan dagvattenledningarna för DP2 och DP3 är ifrån Svenskt Vatten P110.

	Dimiensionerat regn [år]	Klimatfaktor [-]
DP1 Centrala		
S/K	10	1,2
Dagvatten	10	1,2
DP2 Östra		
S/K	10	1,2
Dagvatten	20	1,25
DP3 Västra		
S/K	10	1,2
Dagvatten	30	1,25

För dimensioneringen av spillvattenledningarna i området har värden från Svenskt Vatten P90 (tabell 6) antagits för beräkna hur stor ytarea eller antal personer som finns inom ett specifikt område. Samt från underlag för den planerade exploateringen, där kvartervis indelning av verksamheter, storlek och antal lägenheter i området har använts. Ytarealen och antalet personer kunde i kombination med värdena i tabell 6 tillsammans med rekommenderad specifik spillvattenavrinning för hushåll och mindre verksamheter (tabell 1) och specifik spillvattenavrinning för större enskilda verksamheter (tabell 2) ge en estimerad spillvattengenerering (Svenskt Vatten AB 2016).

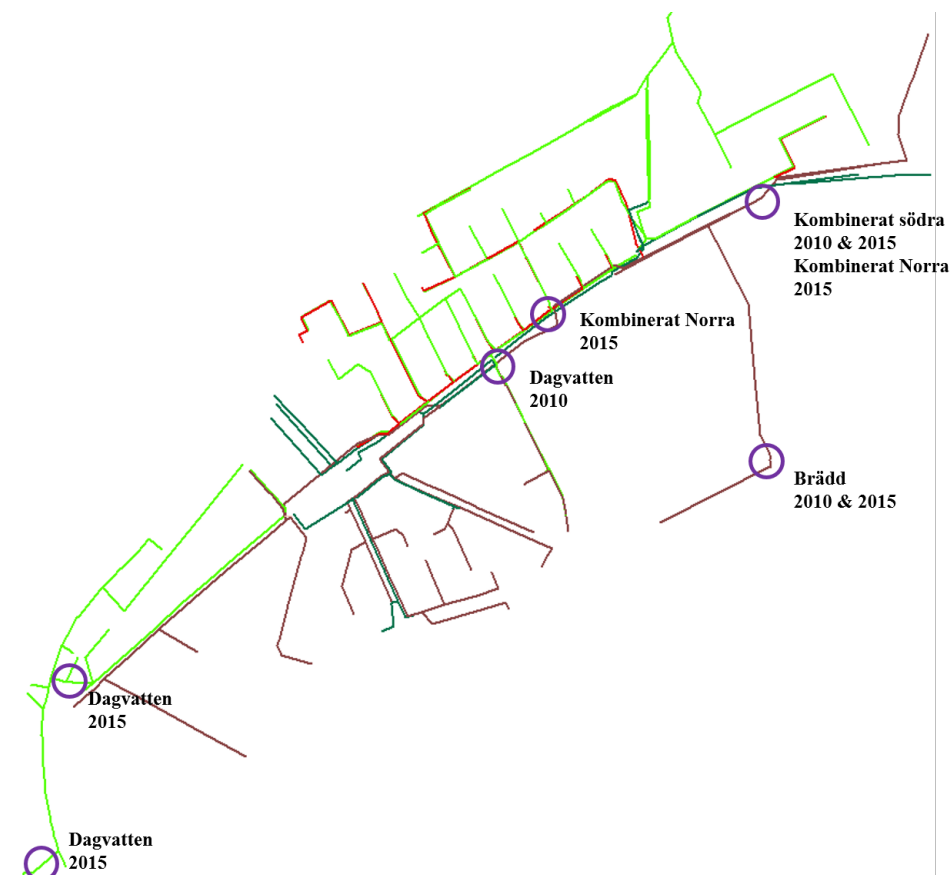
Tabell 6: Schablonvärden från Svenskt Vatten P90 på rekommenderad yta och antal boende per hushåll som har använts för att uppskatta spillvattengenereringen i den befintliga modellen.

Parameter	Schablonvärde
Våningar på höghus [st]	10
Personer per lägenhet [PE]	2,5
Yta per anställd i affär [m ²]	40
Yta per anställd på kontor [m ²]	27
Antal sängar per hotellrum [st]	2
Personer i studentlägenhet [st]	1,5
Yta på studentlägenhet [m ²]	40
Yta per skolelev i skola [m ²]	15
Skolelever/anställda [st]	10

3.2.2 Kalibrering

Kalibrering av modellen har utförts under tre tillfällen där de två första baserades på flödes- och nivåmätningar från 4 punkter (figur 10), uppmätta åren 2007 och 2010 där mätningarna utfördes av Sweco Environment AB. Kalibreringen på modellen utifrån de uppmätta värdena är utförda både av DHI Sverige (2007) samt Sweco Environment AB (2010) (Handeland m fl. 2017).

Den tredje och senaste kalibreringen är utförd år 2015 av Sweco Environment AB där kalibreringen baserades på nivå- och flödesmätningar år 2015 i 4 punkter samt en bräddpunkt (figur 10) (Handeland m fl. 2017).



Figur 10: Punkterna där flödesmätningar utfördes för kalibrering år 2010 och 2015. Mätpunkterna är tre stycken dagvattenpunkter, två kombinerade punkter och en bräddpunkt. Den lila ringen representerar de kalibrerade punkterna och vilket år de kalibrerades.

3.3 Indelning av avrinningsområden som separeras

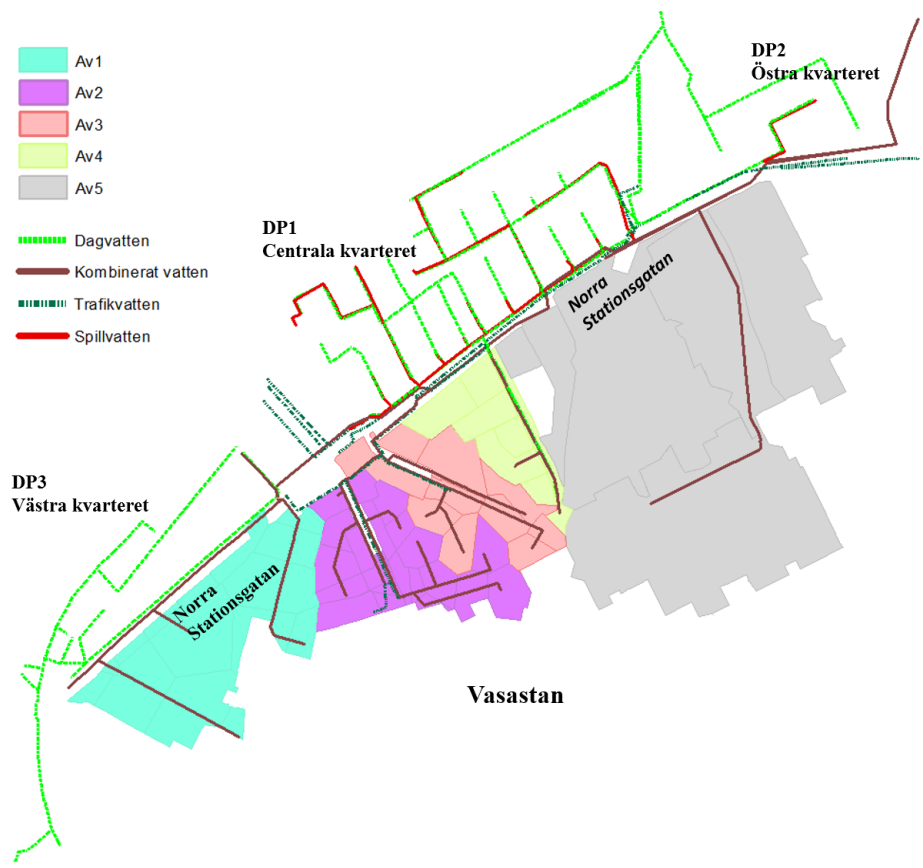
Området sydost om Norra Stationsgatan tillhör den äldre stadsdelen av Vasastan och har ett kombinerat avloppsystem. Delar av den äldre delen av Vasastan avvattnas mot Norra

Stationsgatan och i detta arbete ska en analys av en separation av detta område utföras. Området består av många små delavrinningsområden (Jansson 2017) som utgör en totalarea på 36,48 hektar. Delavrinningsområdena har i tidigare utredningar grupperats in i fem avrinningsområden, här Av1 - Av5 (figur 11) utefter vilken ledningsdragnings ytorna ansluter till (tabell 7) .

I äldre utredningar som indelningen baserats på, har delavrinningområden som ansluter till ledningsdragningen i Av5 enbart bestått av två delavrinningsområden. Efter att ha undersökt i modellen från SVOA adderades ytterligare två delavrinningsområden till Av5 då även dessa ansluter den kombinerade ledningen i Av5 som ska separeras.

Tabell 7: Storleken [ha] på de indelade avrinningområdena i Vasastan där ledningar ska separeras.

Avrinningområde	Storlek [ha]
Av1	6,12
Av2	3,66
Av3	3,43
Av4	2,10
Av5	21,17



Figur 11: Indelningen av delavrinningsområdena som har grupperats till fem huvudavrinningsområden där det kombinerade avloppssystemet ska ersättas med ett separat spill- och dagvattensystem. Det övre området som ej är markerat tillhör detaljplansområdena och bidrar med ett spillvattenflöde (röda ledningar) till det kombinerade systemet som tas i hänsyn vid simuleringar i Mike Urban.

3.4 Dimensionerande flöden

De dimensionerande flödena är baserade på dimensioneringskriterierna (tabell 5) och har använts för att dimensionera avloppssystemet i Hagastaden. Simuleringstiden som har använts är en dag.

3.4.1 Maximala flöden och dagvattenvolymer från avrinningsområden

För att uppskatta det maximala flödet och dagvattenmängden som genereras från avrinningsområdena (figur 11) vid ett skyfall enligt dimensionskriterierna (tabell 5) skapades fem fiktiva utlopp, ett för varje avrinningsområde. Till utloppen simulerades sedan ett 10-, 20-, och 30-årsregn med respektive klimatfaktor.

3.5 Scenarion

3.5.1 Nollscenariot/ Befintligt scenario

Nollscenariot representerar det befintliga systemet som det planeras att se ut i framtiden, där stora delar av ledningsnätet är kombinerat. För att ta fram underlag för att jämföra det befintliga ledningssystemet med ett framtida separerat ledningssystem simulerades det befintliga systemet med modellen från SVOA. Via tilläggsprogrammet Mike View kunde en tryckprofil över Norra Stationsgatan tas fram för att se hur trycknivån förändras i ledningssystemet. I samma program kunde flödet och den ackumulerade volymen som passerat i ledningarna, rörmagasinet och L-magasinet uppskattas.

De olika dimensionerande flödena för de olika områdena med respektive klimatfaktor (tabell 5) applicerades i simuleringen. Där alla avrinningsområden som avvattnar från DP2 belastades med ett 20-årsregn, DP1 som avvattnar mot L-magasinet och den kombinerade ledningen ett 10-årsregn och DP3s avrinningsområden som avvattnar mot Karlbergssjön med ett 30-årsregn. Resterande områden som inte tillhör DP1, DP2 eller DP3 belastades med ett 10-årsregn vilket inkluderar Vasastan.

3.5.2 Gradvis separering

Den gradvisa separeringen undersökte effekterna av att separera de kombinerade ledningarna för varje avrinningsområde (figur 11, figur 23-27 Bilaga 2) var för sig samt olika kombinationer (tabell 8) (figur 28-35), både mot Brunnsviken och Karlbergssjön. Genom att göra en gradvis separation av det kombinerade avloppssystemet i modellen kunde även det maximala flödet på L-magasinet uppskattas. Detta genom att se vid vilka separeringar som genererar ett för stort flöde så att magasinet går överfullt och jämföra det med tidigare separeringar.

Tabell 8: De enskilda och kombinerade scenarierna som har undersökts för olika grader av separering och vilken recipient de avvattnades till.

Separering	Av. som separeras	Karlbergssjön	Brunnsviken
0	Nollalternativ	-	-
1	Av1	Av1	-
2	Av2	-	Av2
3	Av3	-	Av3
4	Av4	-	Av4
5	Av5	-	Av5
6	Av1/Av2	Av1/Av2	-
7	Av1/Av2	Av1	Av2
8	Av1/Av3	Av1	Av3
9	Av1/Av4	Av1	Av4
10	Av1/Av5	Av1	Av5
11	Av1/Av2/Av3	Av1/Av2/Av3	-
12	Av1/Av2/Av3	Av1/Av2	Av3
13	Av1/Av2/Av3	Av1	Av2/Av3
14	Av1/Av2/Av3/Av4	Av1/Av2/Av3	Av4
15	Av1/Av2/Av3/Av4	Av1	Av2/Av3/Av4
16	Av1/Av2/Av3/Av5	Av1/Av2/Av3	Av5
17	Av1/Av2/Av3/Av4/Av5	Av1/Av2/Av3	Av4/Av5

För varje delseparering som utfördes i Mike Urban placerades en ny ledning för dagvatten parallellt med de befintliga kombinerade ledningarna som efter ledningsdragningen endast avvattnade spillvattnet. Brunnarnas bottennivå (Bottom level i Mike Urban) angavs till samma nivå som de brunnar i nollscenariot för de kombinerade ledningarna, brunnarnas initiala diameter sattes till 1 m. Brunnarnas diameter ökades till ledningens dimensioner om lednings diametern översteg 1 m, detta gjordes enbart för de nya dagvattenledningarna. Energiförlusterna för de tillagda brunnarna beräknades med modellens medelvärdesmetod (MOUSE_Mean_Energy_Approach, i Mike Urban). Marknivån (Groundlevel) på brunnarna sattes utifrån topografin från DEM-datan. Ledningarna placerades mellan brunnarna som utifrån lokaliseringen (X-Y koordinater) på brunnarna fick en gradient och längd.

De dimensionerande flödena som belastar ledningssystemet var lika det i Nollscenariot. Vid den gradvisa separeringen ändrades även belastningen. DP1, DP2 och DP3 utgick fortfarande enligt dimensioneringskriterierna, men Vasastan anpassades efter vilken riktning avrinningsområdena skulle separeras. För scenarierna 1; 6-17 (tabell 8) tillämpades ett 30-årsregn på Av1, Av2 och Av3 om dessa avvattnades mot Karlbergssjön. Om Av2 och Av3 istället avvattnades mot Brunnsviken separeringar 2-5; 7-17 (tabell 8) användes ett 10-årsregn.

Genom att studera tryckprofilen kunde risker, så som kapacitetsbrist i ledningarna analyseras. Ledningarna som visade risk för överbelastning dimensionerades upp tills att tryckprofilen visade en tillräcklig bra trycknivå i ledningarna. Ledningsdimensionerna ökades från ϕ 500 - 800 mm och sedan med ϕ 200 mm mellan varje iteration. Förutom att ändra ledningsdimensionerna anpassades även brunnsnivåerna genom att antingen höja eller sänka bottennivån så att ledningssektionen fick högre eller lägre flödeskapacitet.

3.5.3 Fullständig separering

Den fullständiga separeringen innebar att alla kombinerade ledningar skulle separeras till ett duplikatsystem med separata ledningar för spill- och dagvatten. Resultaten från den gradvisa separeringen visade att Av5 hade ett för högt maximalt flöde för att kunna avvattnas via L-magasinet till Brunnsviken för det dimensionerade flödet (figur 43, Bilaga 4). För att uppnå en fullständig separering behövdes Av5 separeras så att dagvattnet avvattnas oberoende av L-magasinet. En större ledningsdragning undersöktes där dagvattenledningen från Av5 anslöt rörmagasinet bräddutlopp. Detta kunde göras samtidigt som de övriga områdena var separerade och inget övrigt dagvatten passerade rörmagasinet. Den fullständiga separeringen utgick från fallet då Av1, Av2 och Av3 var separerat så att dagvattnet leds väst mot Karlbergssjön och Av4 mot Brunnsviken via L-magasinet (figur 30, Bilaga 4). Detta scenario valdes eftersom det ansågs som det mest fördelaktiga fallet då det befintliga ledningssystemet på Norra Stationsgatan är som minst belastat (tabell 15) och då dagvattnet ska försökas att avvattnas till Karlbergssjön i den mån som går. För separeringen av Av5 placerades ledningar så att dess utlopp kopplades samman med utloppet för rörmagasinet bräddutlopp (figur 36, Bilaga 2) så att dagvattnet leds nordost till Brunnsviken via en befintlig ledning.

L-magasinet som idag tar hand om trafik- och dagvatten bör undvikas att belastas ytterligare jämfört med idag då det finns risk att det går fullt vid extrema skyfall. Genom att istället koppla på Av4 som tidigare gick till L-magasinet, på den nya ledningsdragningen öst mot Brunnsviken (figur 37, Bilaga 2) bidrar inte avrinningsområdena i Vasastan till ökad belastning på L-magasinet.

3.5.4 Självrensning

För att uppnå självrensning krävs det att flödet i ledningarna ger upphov till tillräcklig stor skjuvspänning ($\tau_{medel} \geq 1,5 \text{ N/m}^2$). För att undersöka storleken på skjuvspänningen i de nya ledningsdragningarna samt i de befintliga ledningarna användes resultat från Mike Urban och som analyserades med ArcGIS. Genom en inbyggd beräkningsfunktion i Mike Urban kunde den maximala trycknivån i ledningarna beräknas för att sedan exporteras och importeras till ArcGIS. I ArcGIS beräknades skjuvspänningen i field calculator på två olika sätt, beroende på om ledningarna går fyllda eller ej.

3.6 Årsflöden

Årsflödena har använts för att beräkna de årliga dagvattengenereringarna från de undersökta områdena för att likna ett verkligt tillflöde för till exempel recipienterna. Årsflödet skiljer sig från de dimensionerade flödena då de representerar ett skyfall med en viss återkomsttid

vilket inte är troligt att skulle ske vid varje nederbördstillfälle vilket gör att det inte blir lämpligt att använda som årsvärde.

3.6.1 Årlig nederbörd

Den årliga nederbörden beräknades från data hämtad ifrån väderstationen Stockholm (SMHI 2019) cirka 1,5 km från Norra Stationsgatan. Beräkningarna baserades på mätningarna mellan åren 1988 - 2018, dock fanns det enbart mätningar att tillgå till och med oktober så istället för den sammanlagda nederbörden beräknades ett årsmedelvärde för 2018 baserat på värden från januari - oktober. Medelvärdet för de 31 åren gav ett årsflöde på 550 mm/år.

3.6.2 Årlig dagvattengenerering från avrinningsområden

Delavrinningsområdena (figur 11) genererar en viss mängd dagvatten beroende på dess delavrinningskoefficient och area. Den årliga dagvattenvolymen som avvattnas från varje avrinningsområde beräknades med hjälp av den rationella metoden (ekvation 1). Avrinningskoefficienten för varje delavrinningsområde (Av1.,..Av5) antog ett medelvärde för delavrinningskoefficienterna. Data på delavrinningsarea och delavrinningskoefficient har hämtats från modellen i Mike Urban.

3.6.3 Årsflöde från det kombinerade systemet till Henriksdal

Resultaten från den årliga dagvattengenereringen i avsnitt 3.6.2 användes för att beräkna den förväntade dagvattenvolymen som avvattnas från de undersökta områdena via det kombinerade systemet till Henriksdal för samtliga scenarier.

Det kombinerade ledningssystemet avvattnar även spillvatten från Vasastan samt från DP1, DP2 och DP3 som ansluter det kombinerade ledningssystemet nedströms. För att uppskatta hur mycket spillvatten som årligen avvattnas i det kombinerade systemet användes data från SVOAs modell. Modellen har belastningspunkter innehållande data på spillvattengenereringen för varje avrinningsområde. Genom att använda spillvattenbelastningen från varje belastningspunkt kunde årsflödet uppskattas.

3.7 Årsflöden till recipienterna

Årsflödet till recipienterna för de olika separeringarna beräknades genom att addera ihop de dagvattenvolymer som via separeringen avvattnas till respektive recipient. Beräkningarna baserades på de resulterade dagvattenvolymer som beräknades i avsnitt 3.6.2.

3.8 Föroreningsbelastning

En ökad dagvattentillförsel bidrar med en större föroreningsbelastning på recipienterna. Den ökande belastningen av föroreningar kan leda till att en eventuell reningsprocess behövs i området för att inte sänka miljöklassificeringen. För att uppskatta de tillkommande föroreningsbelastningarna användes StormTac. StormTac beräknade även de acceptabla nivåerna (gränsvärde) som recipienten kan ta emot innan det anses som en för hög belastning.

För att undersöka hur en separering av Vasastan påverkar föroreningsbelastningen på Karlbergssjön och Brunnsviken jämfört med nollscenariet, baserades analysen på Hagastadens alla bidragande områden (DP1, DP2 och DP3). Markanvändningen på de bidragande markytorna från DP2 och DP3 uppskattades via ortofoton i ArcGIS, där även arean på respektive markanvändning mättes. Information om DP1s markanvändning och dess area var data tillhandahållna från Thomas Larm som utförde en föroreningsberäkning i StormTac för DP1 i ett tidigare skede. Nollscenariet avses alltså på att DP3s dagvatten avvattnas till Karlbergssjön och det dagvatten från DP1 och DP2 som avvattnas via L-magasinet till Brunnsviken. Föroreningsberäkningarna i StormTac utgick från två huvudsimuleringar där avrinningsområdena för det undersökta området adderades, det vill säga en simulering mot Karlbergssjön och en simulering mot Brunnsviken. Tilläggen av avrinningsområdena baserades på de olika graderna av separation till respektive recipient (tabell 8).

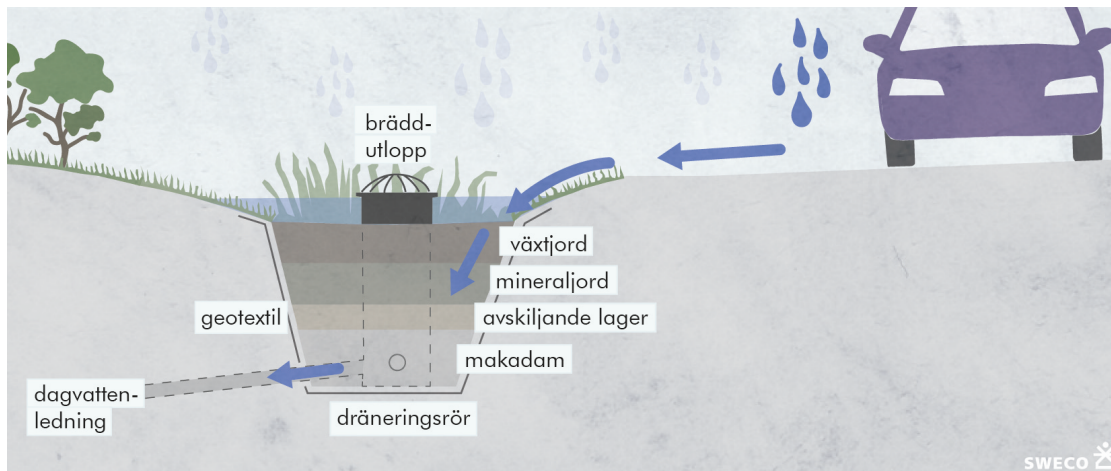
Då L-magasinet har en reningseffekt på det tillflödande trafikvattnet innan det leds vidare till Brunnsviken behövdes detta tillämpas i StormTac. Gamla versioner över designen på L-magasinet baserat på en äldre upplaga av StormTac har kunnat erhållits. Men då L-magasinet har modifierats och StormTac har uppdaterats har designen inte kunnat användas vid beräkningarna i StormTac. Reningsgraden för L-magasinet har därför baserats på en tidigare dagvattenutredning (Pettersson Skog 2015), där den procentuella reduktionen av olika ämnen beräknades. Detta gjordes genom att analysera belastningen av föroreningarna innan och efter dagvattnet hade passerat L-magasinet, vilket gav en procentuell reningsgrad. Simuleringen där dagvattnet avvattnas mot Brunnsviken utfördes i StormTac utan L-magasinet, där de resulterade föroreningsbelastningarna multiplicerades med de beräknade reningsgraderna för L-magasinet för att få en slutgiltig föroreningsbelastning.

3.9 Reningsprocesser

Då en verksamhet enligt miljökvalitetsnormerna inte får påverka ett vattendrag negativt kräver en ökad föroreningsbelastningen att dagvattnet renas. Utformningen av dagvattenhantering kan ske på olika sätt beroende på vad lösningen huvudsakligen ska appliceras på, det vill säga om det ska fördröja eller rena dagvattnet. Den lokala lösningen kan förutom fördröjning och rening även bidra med estetiska och sociala aspekter. En annan parameter som ska tas med i valet av lösning är underhåll och passage för trafik, gång och cykel.

3.9.1 Biofilter

Biofilter även kallade regnbäddar är en relativt ny metod på marknaden och är utvecklad i USA. Metoden är i utvecklingsfasen och i Sverige är den inte välbeprövad då regnbäddens funktion under vintern inte är känd (Fridell & Jergmo 2015).

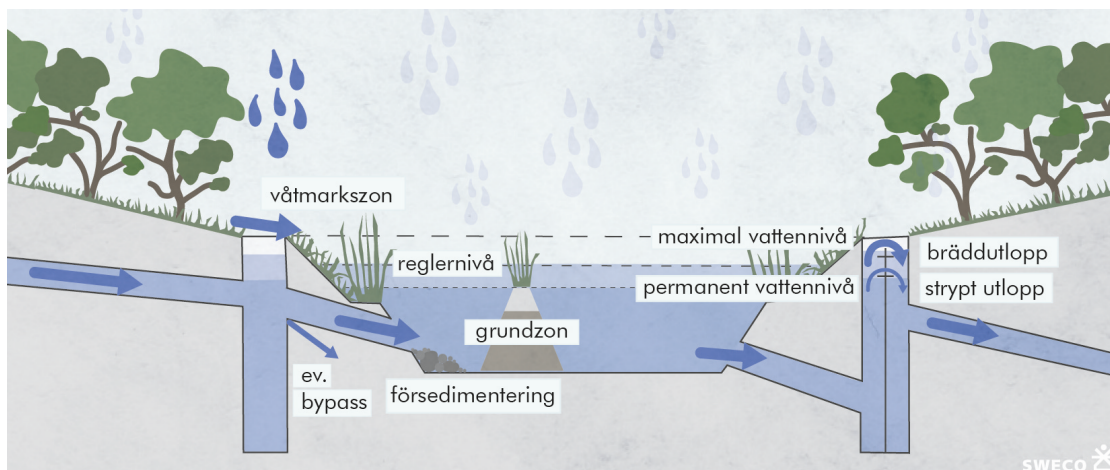


Figur 12: Exempel på hur ett biofilter kan konstrueras (Bildkälla: Dahlström, A. Sweco (2019)).

Biofilter appliceras i huvudsyfte av att rena dagvatten genom kemiska, biologiska och fysiska processer. Biofiltret bör inte tillämpas om syftet är att fördröja en förväntad nederbördsintensitet som överstiger en återkomsttid på 1-2 år, då infiltrationskapaciteten annars överskrids (Blecken 2015). Reningen av dagvattnet sker då dagvattnet infiltrerar och perkolerar via en växtbäddad infiltrationsyta som kvarhåller föroreningarna genom mekanisk filtrering, absorption och växtupptag. Föroreningarna bryts ner då filterbädden innehåller mikrobiell aktivitet (Blecken 2015). Biofilters effektiva rening påverkas av filtermediet men kan generellt klassas som en effektiv reningsprocess för lösta föroreningar. Då utformningen på anläggningen är anpassningsbar till omgivningen kan regnbäddar placeras på ytor nästintill oberoende på markanvändning. Vid utformningen av regnbäddar är en förbehandling rekommenderat eftersom det finns risker för igensättning på grund av att större substrat transporteras med dagvattnet och täpper igen porerna. Svackdiken, sedimentationsdammar och översilningsytor är några exempel på förbehandlingsmetoder som tillämpas (Haninge kommun 2017).

3.9.2 Dagvattendammar

Tillskillnad från biofilter appliceras dagvattendammar för att både fördröja och rena dagvatten (Stockholm Vatten och Avfall AB u.å.). Reningsprocessen sker i dammen där föroreningarna flockulerar med partiklarna i vattnet och sedimenterar. Reningseffekten av föroreningarna påverkas av hur formen på dammen ser ut samt hur lång uppehållstiden är. För att få den optimala reningen bör en avlång och grund damm väljas av hydrauliska skäl. För att öka uppehållstiden och därmed sedimentationen bör en djupare zon placeras i mitten av dammen. Den djupa zonen bör omges av en grundare växtbäddad yta för att avskilja större partiklar. Den växtbäddade ytan kan även bidra med biologisk rening då mikrobiell aktivitet främjas. Det kan även finnas risk för att sediment vid höga dagvattenflöden eroderar och vid höga föroreningsbelastningar kan det behövas en försedimenteringsdamm (Stockholm Vatten och Avfall AB).



Figur 13: Exempel på hur en dagvattendamm kan konstrueras (Bildkälla: Dahlström, A. Sweco (2019)).

Reningseffekterna från dammar beror på hur de utformas och val av media. Generellt har dammar en god förmåga att avskilja suspenderat material om en vegetationszon finns (Stockholm Vatten och Avfall AB u.å.). Även fosfor och metaller har en relativt bra reningseffekt i detta lager men ett biologiskt steg behövs för kvävereduktion. Vid tillräckligt lång uppehållstid sedimenterar och avskiljs oljepartiklar, organiska miljögifter och mikrobiologiskaorganismer (Stockholm Vatten och Avfall AB).

3.10 Kostandsanalys

3.10.1 Reningskostnad

Att anlägga ett nytt avloppssystem är en kostsam process då det ska göras investeringar i schaktning, projektering och ledningsmaterial. För att få en uppskattning på hur mycket installationen av ett nytt separatsystem skulle kosta, samt priset för att rena avloppsvattnet som når Henriksdals reningsverk i jämförelse med idag har en kostnadsanalys utförts.

För att uppskatta den årliga reningskostnaden för de undersökta avrinningsområdena, användes den årliga dagvattenmängden som genererats från Vasastan och leds i det kombinerade ledningssystemet till Henriksdal. För att få de totala kostnaderna användes Stockholm Vattens nyckeltal från 2012 (tabell 9) (Stockholm Vatten 2012). Där den totala dagvattenvolymer multipliserades med summan av nyckeltalen för att få den slutliga kostnaden. Detta gjordes även för spillvattnet för de olika detaljplansområdena och Vasastan.

Tabell 9: Nyckeltal från Stockholm Vatten som har använts för att uppskatta kostnaderna för att rena avloppsvattnet i reningsverket.

Verksamhet	Nyckeltal [kr/m ³]
Drift och underhåll vid avloppsverk	1,77
Gemensam administration	0,23
Kapitalkostnad, drift och underhåll	0,92

3.10.2 Anläggningskostnad

För att få en överblick över kostnaderna gjordes en överslagsräkning på den nya ledningsdragningen samt på de befintliga dagvattenledningar som behövs uppdimensioneras. Längden på ledningarna mättes upp med hjälp av ArcGIS och schablonvärden (CIT Urban Water Management AB m. fl. 2010) för anläggning av nya ledningar tillämpades (tabell 23). I investeringskostnaderna (tabell 23) ingår ledningsrätt, geotekniska undersökningar, projektering, besiktning, entreprenad och pumpar+ sump. I detta projekt har det antagits att alla ledningar som anläggs är VA-huvudledningar. Antagandet om att alla ledningar är huvudledningar gjordes då prisintervallet är relativt stort i verkligheten så att felmarginalerna hamnar inom prisklasserna (CIT Urban Water Management AB m. fl. 2010).

Tabell 10: Schablonvärden som användes för att uppskatta kostnaderna [kr/m] vid anläggning av nytt ledningssystem (CIT Urban Water Management AB m. fl. 2010).

Produkt	Kostnad [kr/m]
VA-Huvudledning	8000
Investering	7000

3.11 Fördjupad kostnadsanalys

3.11.1 Anläggningskostnad

I samråd med SVOA utfördes en fördjupad kostnadsanalys för separationen och dagvattenanläggning. För att få en mer representativ kostnad än de schablonvärden och antaganden som gjordes innan användes en beräkningsmodell framtagen av Emil Widén, som ett examensarbete för SVOA (Widén 2017). Modellen är ett Excel baserat kalkylverktyg som utifrån geometrin på schakt och uppbyggnad av stödmaterial från Stockholm Vattens projekteringsanvisningar (figur 20, Bilaga 1) och allmän data för ledningsdragning beräknar ett meterpris för den specifika ledningsdimensionen. Beroende på hur många ledningar som ska anläggas väljs dimensionen för 1-3 ledningar (figur 21, Bilaga 1) för att sedan få ett kostnadsförslag per meter ledning och schaktdjup (figur 22, Bilaga 1). Den totala summan som fås multipliceras med en faktor beroende på om arbetet ska ske i innerstad eller ytterstad samt om externa entreprenörer eller egen regi ska användas. I detta projekt har en faktor

4,51 använts, vilket representerar innerstad och extern entreprenör (Widén 2017).

Kostnaderna delades upp i två kategorier, en uppdimensioneringskostnad och en anläggningskostnad. De uppdimensionerande är de befintliga dagvattenledningarna som behöver dimensioneras upp för att kunna omhänderta det ökade dagvattenflödet. Ledningarnas dimensioner, schaktdjup och längd hämtades ifrån Mike Urbans databas över ledningarna samt ArcGIS, där schaktdjupet grundades på brunnarnas bottennivå. Den totala kostnaden beräknades utifrån kalkylverket där det slutliga priset blev summan av de två kategorierna. För att få en årlig kostnad beräknades kapitalkostnaden enligt annuitetsmodellen (ekvation 14) där räntan sattes till 3 % från rekommendationer av diskonteringsräntor i Storbritannien och avskrivningstiden 50 år (McConiville 2018).

$$\text{Kapitalkostnad} = \text{investering} \cdot \text{Annuitetsfaktor} \quad (14)$$

$$\text{Annuitetsfaktor} = \frac{(\frac{R}{100})(1 + \frac{R}{100})^T}{(1 + \frac{R}{100})^T - 1} \quad (15)$$

T: Avskrivningstiden [år]

R: Ränta [%]

3.11.2 Dagvattenreningsanläggning

Biofilter

Kostnaderna för att anlägga biofilter uppskattas till 3200 kr/m³ vilket multiplicerades med den resulterade volymen på biofiltret som fåtts i StormTac. Till detta tillkommer årliga kostnader för underhåll på 95 kr/m³ år. Kapitalkostnaderna för anläggning av biofilter beräknades med en avskrivningstid på 20 år (VISS 2015).

Dagvattendammar

Dagvattendammar utgår från en minsta och högsta kostnad beroende på dammens djup och om spontan växtlighet sker då mer underhåll krävs. Den lägsta kostnaden är 230 kr/m² och den högsta 1100 kr/m² (Agnarsson & Hansson 2017). Vid beräkningen av anläggningskostnaden antogs medelvärdet för de två prisklasserna och multiplicerad med den resulterade arean på dagvattendammen. Den årliga kostnaden för underhåll är 20 000 kr/ha. Även i detta fall beräknades kapitalkostnaden där avskrivningstiden antogs till 25 år (VISS 2016).

Övriga kostnader

Förutom anläggnings-, renings- och underhållskostnader tillkommer utgifter för skadestånd av källaröversvämningar samt spill- och dagvattenrening i Henriksdals reningsverk. SVOA har en reserverad budget på 500 000 kr för skadestånd vid översvämningar (Spaak 2019). Budgeten för skadestånd på källaröversvämningar överskrider årligen och ett medelvärde på 14 miljoner kronor betalas årligen ut (Isaksson & Vingmyr 2019).

3.11.3 Inkomster

SVOA får intäkter form av taxeringskostnader för användning av ledningsnätet samt olika serviceåtaganden (tabell 11) (Stockholm Vatten och Avfall AB 2019). Antalet utförda åtagande baserades på år 2018 (Karlsson 2019) och där 80 % av åtagandena antogs vara utförda under en vanlig veckodag och arbetstid. Servicetiden för stängning / öppning av ventil vid förbindelsepunkten är timbaserad där en servicetid på 1,5 timme per utfört arbete har antagits.

Tabell 11: *Priser för olika serviceåtagande som SVOA har utfört där antalet är baserat på år 2018 och antalet utförda serviceåtagande per veckodag är antaget till 80 %.*

Service	Antal [st]	Veckotid [st]	Övrig tid [st]	Kostnad veckotid	Kostnad övrig tid
Spolningar	68	54	14	541	1011
Stängning/öppning av ventil	1413	1130	283	3493	2610

SVAB får årligen in 1,53 miljoner i intäkter relaterande till VA (tabell 12) (Stockholm Vatten AB 2018).

Tabell 12: *Intäkterna Mkr relaterade till VA under året 2017.*

Intäkt	2017 [Mkr]
VA-avgifter	1,25
Anläggningsavgifter och liknande	0,23
Summa VA-intäkter	1,3
Övriga intäkter	0,23
Nettoomsättning	1,53

4 Resultat

4.1 Dimensionerande flöden

Det maximala flödet för avrinningsområdena ökade med ett större dimensionerande regn och klimatfaktor (tabell 13). Det högsta maximala flöde uppnåddes från Av5 som erhöll ett maximalt flöde 23 % högre vid ett 30-årsregn jämfört med 10-årsregnet. Den minsta procentuella skillnaden var för Av1 och 4 med 8 % ökning och den högsta för Av2 med 25 %.

Tabell 13: De maximala flödena [m^3/s] och dagvattenvolymererna [m^3] från avrinningsområdena med dimensionerat 10-, 20- och 30-årsregn (figur 11, tabell 7).

Avrinningsområde	10-årsregn		20-årsregn		30-årsregn	
	Max flöde [m^3/s]	Volym [m^3]	Max flöde [m^3/s]	Volym [m^3]	Max flöde [m^3/s]	Volym [m^3]
Av1	0,47	1600	0,49	2100	0,51	2400
Av2	0,35	900	0,42	1200	0,44	1300
Av3	0,42	1100	0,46	1400	0,47	1600
Av4	0,45	1200	0,48	1600	0,49	1757
Av5	0,84	7900	0,96	10000	1,03	12000

4.1.1 L-magasinet

L-magasinet som tar emot trafik- och dagvatten har en begränsad kapacitet innan det går överfullt. I nollscenariet tar L-magasinet emot ett dagvattenflöde på $2,23 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabell 14). Trycknivåerna i Mike Urban visade att Av1, Av2, Av3 och Av4 enskilt kunde separeras utan att L-magasinet flödeskapacitet överstegs för det dimensionerade flödet. Medan Av5s maximal flöde resulterade i att trycknivån översteg L-magasinet tak vilket indikerar att flödet var större än magasinets kapacitet 43, Bilaga 4), det maximala flödet var alltså inte känt innan analysen påbörjades. I samband med att Av1 separeras och avvattnas mot Karlbergssjön kunde Av2 och Av3 i kombination separeras mot Brunnsviken via L-magasinet. Att separera Av2, Av3 och Av4 tillsammans bidrog till ett för högt maximalt inflöde till L-magasinet och trycknivån översteg L-magasinet tak (figur 44, Bilaga 4). Kapaciteten för L-magasinet ligger någonstans mellan $2,87 \text{ m}^3/\text{s}$ - $3,46 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabell 14) för det dimensionerade flödet. L-magasinet kan alltså öka sitt maximala inflöde med 20 % - 55 % jämfört med nollscenariot.

Tabell 14: Det maximala flödet [m^3/s] till L-magasinet och dess ackumulerade volym m^3 till Brunnsviken för det dimensionerande regnet. Där separeringarna kan ses i tabell 8. (K) anger att avrinningsområdet avvattnas mot Karlbergssjön och (B) mot Brunnsviken.

Separering	Av. som separeras	Maximalt flöde [m^3/s]	Volym [m^3]	% ökning av flöde
0	-	2,23	5200	-
2	Av2	2,37	6000	6
3	Av3	2,57	6300	15
4	Av4	2,51	6100	13
5	Av5	4,87*	13000	118
13	Av1/Av2/Av3	2,87	7200	30
15	Av1Av2/Av3/Av4	3,46*	9200	55
17	Fullständig	2,07	4800	(-)7

* Flödet överstiger L-magasinet kapacitet

4.1.2 Dimensionerande flöden vid olika grad av separering

Den kombinerade ledningen som vid nollscenariet transporterar spill- och dagvatten längs med Norra Stationsgatan uppnådde ett maximalt flöde på $3,63 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabell 15) innan det nådde rörmagasinet. Genom att utföra en fullständig separering kunde flödet reduceras med 93 % (tabell 15) och därmed kan bräddningar från rörmagasinet till Brunnsviken elimineras. Störst enskild påverkan på flödet i den kombinerade ledningen hade Av5 som genom en separering sänkte det maximala flödet med 60 % (tabell 15).

Tabell 15: Maximala flödet [m^3/s] i den kombinerade ledningen innan den når rörmagasinet för olika grader av separering där avrinningsområdena enskilt eller kombinerat har separerats. Separeringarna redovisas i tabell 8.

Separering	Av. som separeras	Maximala flöden [m^3/s]	% minskning av maximalt flöde
0	-	3,63	-
1	Av1	3,45	5
2	Av2	3,47	4
3	Av3	3,37	7
4	Av4	3,42	6
5	Av5	1,46	60
6, 7	Av1/Av2	3,29	9
11, 12, 13	Av1/Av2/Av3	2,98	18
14, 15	Av1/Av2/Av3/Av4	2,75	24
16	Av1/Av2/Av3/Av5	0,55	84
17	Fullständig	0,26	93

Tryckprofilerna längs med Norra Stationsgatan

Det befintliga kombinerade ledningssystemet i Norra stationsgatan är hårt belastat med den högsta trycklinjenivån på cirka 4,5 m över ledningens botten (vattengången) och 0,5 m under marknivån (figur 38^A, Bilaga 3). Genom att separera Av5 (separering 6, tabell 8)

som bidrog med den största mängden dagvatten kunde trycknivån sänkas till 3,5 m över vattengången och 2 m under marknivån (figur 39^B, Bilaga 3).

Från tryckprofilerna kunde det tolkas att när Av1, Av2 och Av3 (separering 11, tabell 8) avvattnas till Karlbergssjön sänks trycklinjen så att trycknivån går upp till 20 cm i ledningen mellan brunn 5 och 6 räknat från vänster (figur 40^B, Bilaga 3). Vid en fullständig separering (separering 17, tabell 8) sänktes trycklinjen ytterligare med cirka 10 cm vid samma sektion som ovan.

I nollscenariet fanns det tecken på kapacitetsbrist i stora delar av den kombinerade ledningsdragningen i Norra Stationsgatan (figur 38^B, Bilaga 3). Genom att separera Av1 mot Karlbergssjön eller Av2 mot antingen Karlbergssjön eller Brunnsviken figur 38^{B&C}, Bilaga 3) minskades riskerna för kapacitetsbristen i ledningen.

4.1.3 Bräddning av kombinerat avloppsvatten till Brunnsviken

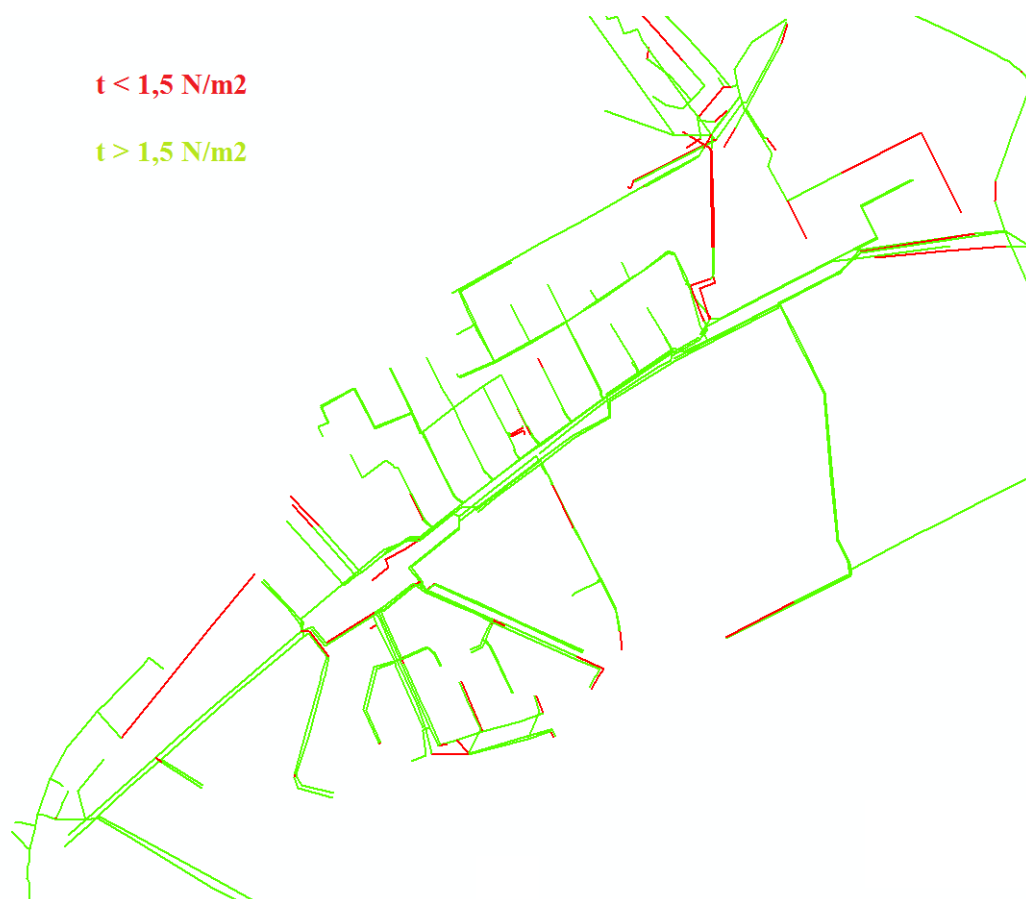
Vid kraftiga skyfall kommer rörmagasinet som tar emot spill- och dagvatten från den kombinerade ledningen gå fullt och brädda över till bräddutloppet. Bräddning sker för samtliga fall förutom då Av5 separeras (tabell 16). För nollscenariet bräddar rörmagasinet med ett maximalt flöde på 1,66 m³/s och en volym på 1760 m³ till Brunnsviken (tabell 16) vid det dimensionerande regnet. För att undvika att rörmagasinet bräddar krävdes det att dagvattnet från Av5 separeras från det kombinerade systemet (tabell 16). För att minska bräddningen till Brunnsviken bör Av1 separeras så att dagvattnet avvattnas väst mot Karlbergssjön istället för öst via Norra Stationsgatan. Separationen av Av1 skulle innebära en flödesreduktion på 30 % och en minskning av den ackumulerade volymen med 32 %.

Tabell 16: Maximala flöden [m³/s] och ackumulerad volym [m³] vid bräddning från rörmagasinet till Brunnsviken. Separeringarna kan ses i tabell 8.

Separering	Av. som separeras	Maximalt flöde [m ³ /s]	Volym [m ³]	% minskning av volym
0	-	1,66	1760	-
1	Av1	1,18	1190	32
2	Av2	1,3	1370	22
3	Av3	1,16	1260	28
4	Av4	1,25	1320	25
5	Av5	0	0	100
6, 7	Av1/Av2	0,95	860	51
11, 12 ,13	Av1/Av2/Av3	0,43	380	79
14,15	Av1/Av2/Av3/Av4	0,10	70	96
16	Av1/Av2/Av3/Av5	0	0	100
17	Fullständig	0	0	100

4.1.4 Självrensning

Till största del var det fullständigt separata systemet (separering 17, tabell 8) självrensande för det maximala flödet (figur 14) vid ett 10-årsregn. De områden som påverkades till största del var de nya ledningsdragningsarna för dagvatten (figur 14 & figur 37, Bilaga 2). Om det minimala flödet användes för beräkning så var enbart ett fåtal delar av ledningssystemet självrensande (figur 15).



Figur 14: Förväntad skjuvspänning baserat på det maximala flödet för ett 10-årsregn i ledningssystemet för den fullständiga separeringen. Det gröna representerar ett självrensandesystem medan det röda partierna inte uppnådde tillräckligt hög skjuvspänning.



Figur 15: Förväntad skjuvspänning baserat på minimala flödet för ett 10-årsregn på ledningssystemet för den fullständiga separeringen. Det gröna representerar ett självrensandesystem medan det röda partierna inte uppnådde tillräckligt hög skjuvspänning.

4.2 Årsflöden

4.2.1 Årsflöde till det kombinerade systemet

Totalt uppskattas att en dagvattenvolym på 127 200 m³ årligen transporteras i de kombinerade ledningarna till Henriksdals reningsverk från avrinningsområdena. Av5 hade den största enskilda bidragande volymen dagvatten (tabell 17).

Tabell 17: Mängden dagvatten [m³] beräknad via rationella metoden och spillvatten beräknad via Svenskt Vatten P110 som årligen genereras från varje avrinningsområde och leds i de kombinerade ledningarna mot Henriksdal.

Avrinningsområde	Dagvatten [m ³]	Spillvatten [m ³]
Av1	17 600	138 100
Av2	11 200	66 400
Av3	11 600	125 800
Av4	6800	74 000
Av5	80 000	385 400

4.2.2 Årsflöde i det kombinerade systemet mot Henriksdal

Henriksdal tar årligen emot 0,92 miljoner (M) m³ spill- och dagvatten från de undersökta avrinningsområdena via det kombinerade systemet (tabell 18) (Beräknat enligt rationella metoden och Svenskt Vatten P110). Vid separering av ett enskilt avrinningsområde bidrog Av4 med den lägsta reducerande volymen till Henriksdal (tabell 18) medan Av5 bidrog till den högsta enskilda procentuella reducerade volymen (tabell 18).

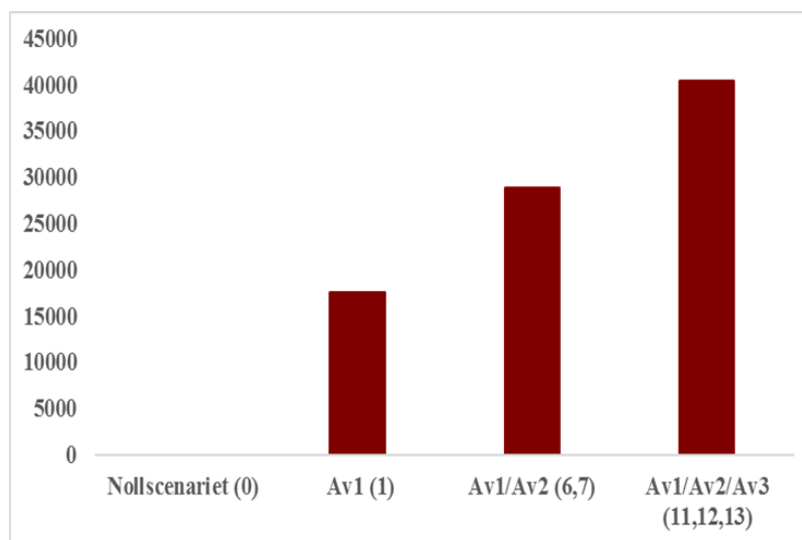
Till Henriksdal tillkommer även ett spillvattenflöde på 0,68 Mm³/år från DP1, 0,24 Mm³/år från DP2 och 0,26 Mm³/år från DP3 från de delar som är separerat uppströms och ansluter det kombinerade ledningen nedströms.

Tabell 18: Årlig spill- och dagvattenvolym från Vasastan [m^3], dagvattenvolym [m^3] samt de reducerade volymerna % jämfört med nollscenariet. Siffrorna inom parentes representerar separering enligt tabell 8.

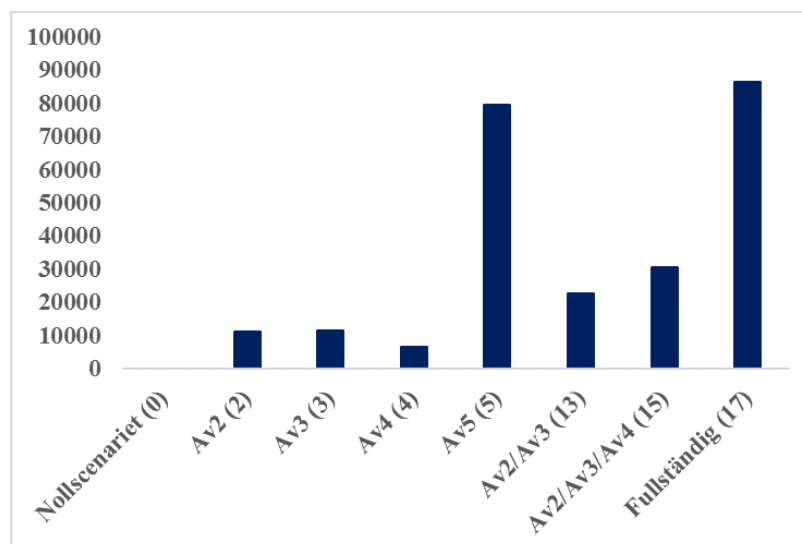
Avrinningsområde	Spill- och dagvatten [m^3]	Dagvatten [m^3]	% total reducerad	% reducerad dagvatten
Nollscenariet (0)	920 000	127 200	-	-
Av1 (1)	900 000	109 000	2	14
Av2 (2)	910 000	119 500	1	6
Av3 (3)	910 000	115 300	1	9
Av4 (4)	910 000	120 100	1	5
Av5 (5)	840 000	47 200	9	63
Av1/Av2 (6,7)	890 000	98 000	3	23
Av1/Av2/Av3 (11,12,13)	880 000	86 400	4	32
Av1/Av2/Av3/Av4 (14,15)	870 000	79 600	5	37
Fullständig (17)	790 000	0	14	100

4.2.3 Årsflöden till recipienterna

Vid en separering av de kombinerade ledningarna ökade det årliga tillflödet till recipienterna. Vid en separering av Av1, Av2 och Av3 (separering 11, tabell 8) mot Karlbergssjön ökade den årliga dagvatten tillförsel med 40 000 m^3 (figur 16). Genom att enskilt separera Av2, Av3, Av4 eller Av5 (separering 2 ,3 ,4 5 tabell 8) påverkades inte Karlbergssjön då dagvattnet avvattnas öster ut mot Brunnsviken. Den ökande belastningen på Karlbergssjön sker enbart då Av1 enskilt eller i kombination med ett annat avrinningsområde separeras. Brunnsviken kommer vid en fullständig separering belastas årligen med cirka 86 000 m^3 dagvatten.



Figur 16: Dagvattenvolymer [m^3] (y-axeln) som årligen avvattnas till Karlbergssjön för de olika separeringarna samt för nollscenariet. Siffrorna inom parentes representerar separeringarna enligt tabell 8.



Figur 17: Dagvattenvolymer [m³] (y-axeln) som avvattnas till Brunnsviken för de olika separering samt för nollscenariet. Siffrorna inom parentes representerar separeringarna enligt tabell 8.

4.3 Föroreningsbelastning

Analysen av föroreningsbelastning (avsnitt 3.8) på Brunnsviken och Karlbergssjön har utförts i StormTac (avsnitt 2.12). De acceptabla nivåerna är platsspecifika gränsvärden som har beräknats i StormTac och baseras på data för recipienten och det område som undersöks.

Från Norra Stationsområdet belastades Karlbergssjön med höga värden av tungmetaller och näringsämnen. Fosfor mängden uppnådde en årlig belastning på 4,1 kg och kväve 32 kg/år (tabell 29, Bilaga 5) för nollscenariet. Genom att separera Av1 (separering 1, tabell 8), Av1/Av2 (separering 6, tabell 8) och Av1/Av2/Av3 (separering 11, tabell 8) bidrog området med en ökad belastning för fosfor på 78 - 168 % respektive 71 - 153 % för kväve. Vid en separering visade koppar höga årsvärden som översteg den acceptabla nivån med 0,83 kg/år. Redan vid separering av Av1 översteg kopparbelastningen den acceptabla nivån med cirka 1 %. Bens(a)pyren var det ämne som var mest kritiskt då det översteg det acceptabla riktvärdet redan i nollscenariet med 3560 % och vid Av1/Av2/Av3 med 7700 %.

Den ökande föroreningsbelastningen på Brunnsviken var högst för Av4/Av5 (separering 17, tabell 8) och Av5 (separering 5, tabell 8) (tabell 31). Av4/Av5 leds inte via L-magasinet och renas därför inte innan det når Brunnsviken. Vid en fullständig separering (separering 17, tabell 8) tillkommer också föroreningsbelastningar för Av1/Av2/Av3 (separering 11, tabell 8) till Karlbergssjön. Den beräknade förhöjda dagvattenbelastningen överskred inte de acceptabla föroreningsbelastningarna för något av de undersökta ämnena (figur 31).

4.4 Dagvattenreningsanläggning

För att minska påverkan på recipienterna vid separeringen och därmed inte påverka dess klassificering har effekten av två olika typer av dagvattenanläggningar undersökts.

4.4.1 Biofilter

Biofiltret hade en hög reningsgrad för de polyaromatiska ämnena där 90 % förväntas att avskiljas (tabell 29). Även metallerna hade en reningsgrad mellan 60-90 % (tabell 29). Gällande näringsämnen som ofta bidrar till övergödning kunde föroreningsbelastningen reduceras med 70 % för fosfor och kvävet med 55 % (tabell 29). Genom att anlägga ett biofilter bidrog avrinningsområdena fortfarande med föroreningsbelastningar till Karlbergssjön men i betydligt mindre mängder (tabell 29).

Arean som krävdes för att uppnå tillräcklig rening var relativt litet i jämförelse med storleken på avrinningsområdet. Av1 krävde den största biofilter-arean i förhållande till dess storlek på 6 % (tabell 19).

Tabell 19: Area på biofiltret [m^2] för respektive separering för att uppnå tillräcklig reningseffekt samt förhållande till storleken på avrinningsområdet [%]. Separeringarna representeras i tabell 8.

Separering	Av. som separeras	Area på Biofilter [m^2]	Förhållande till Av.area [%]
1	Av1	3500	6
6,7	Av1/Av2	4500	5
11, 12, 13	Av1/Av2/Av3	5400	4

4.4.2 Dagvattendammar

Dagvattendammarna hade mer statistiskt säkerställda data på reningsgraden än biofilter. För de polyaromatiska ämnena var reningsgraden 80 % och för metaller var reningsgraden mellan 40 % - 80 % (tabell 30). I och med den låga reningsgraden för kvicksilver reducerades inte det årliga värdet tillräckligt för att klara de acceptabla nivåerna för tillåtna föroreningstransporter. Fosfor hade en relativt bra reningseffekt på 50 % medan kvävet hade en låg reningseffekt på 30 % (tabell 30).

För att få en tillräcklig bra reningseffekt från dammarna krävdes en liten area i förhållande till avrinningsområdena. Den största arean som behövdes appliceras var för Av1 på 900 m^2 vilket motsvarade 2 % av avrinningsområdet (tabell 20).

Tabell 20: *Arean [m²] på dagvattendamm som behövdes appliceras på området för att ha tillräcklig reningseffekt och dess förhållande till storleken på avrinningsområdet [%]. De olika separeringarna kan ses i tabell 8.*

Separering	Av. som separeras	Area på damm [m ²]	Förhållande till Av.area [%]
1	Av1	900	2
6,7	Av1/Av2	1100	1
11,12,13	Av1/Av2/Av3	1400	1

4.5 Kostnad

Genom att beräkna reningskostnaderna för de delar som avvattnas mot Norra Stationsgatan med Stockholm Vattens nyckeltal (avsnitt 4.5) kan vinsterna av en fullständig separering med hänsyn till sänkta reningskostnader till Henriksdals reningsverk uppskattas. Kostnaderna som årligen läggs på att rena områdets dagvattnet reduceras med 100 % (tabell 21). Genom att enskilt separera Av5s dagvatten från ledningssystemet sparas det 63 % av den summan som läggs på att rena dagvatten från de delar av Vasastan som undersöks.

Tabell 21: *Årskostnaderna [Mkr] för att rena det dagvatten som når Henriksdal samt den procentuella minskningen jämfört med nollscenariot. Separeringarna presenteras i tabell 8.*

Separering	Av. som separeras	Årskostnad [Mkr]	% minskning
0	-	0,37	-
1	Av1	0,32	14
2	Av2	0,34	8
3	Av3	0,34	9
4	Av4	0,35	5
5	Av5	0,14	63
6,7	Av1/Av2	0,29	22
11,12,13	Av1/Av2/Av3	0,25	32
14,15	Av1/Av2/Av3/Av4	0,23	37
17	Fullständig	0	100

Den årliga summan som betalas för att rena spillvattnet från Vasastan uppnår en kostnad på 2,31 miljoner kronor. Den totala reningskostnaden från detaljplansområdena som bidrar med ett spillvattenflöde till Henriksdals reningsverk är cirka 3,4 miljoner kronor per år.

Tabell 22: Kostnaderna [Mkr/år] för att rena spillvattnet från de olika områdena.

Område	Kostnad att rena spillvatten [Mkr/år]
Vasastan	2,31
DP1	1,98
DP2	0,69
DP3	0,76

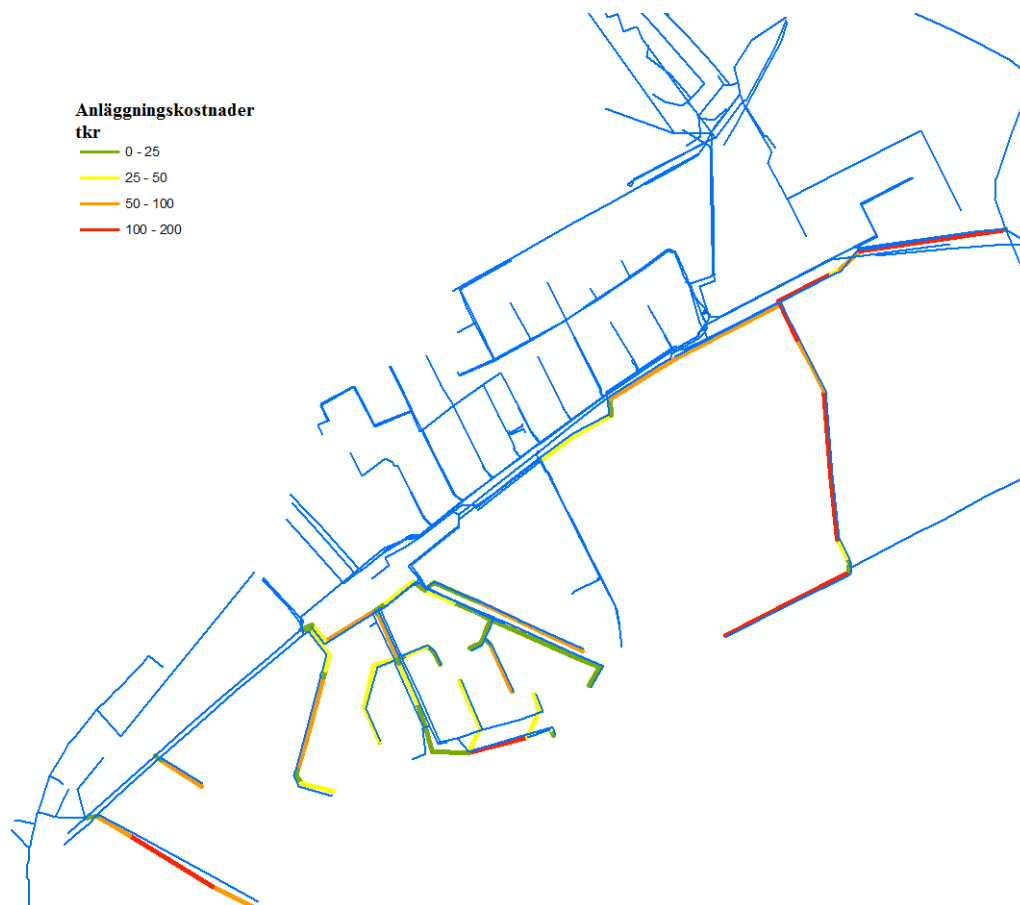
Det krävs stora investeringar i att anlägga nya dagvattenledningar samt dimensionera upp befintliga ledningar som i och med det ökande dagvattenflödet fick kapacitetsbrist. Resultaten visar att (beräknat från avsnitt 3.10.2) det billigaste alternativet var att separera Av4 (tabell 23). Detta då stora delar av dagvattnet kunde separeras från den kombinerade ledningen till befintliga dagvattenledningar. Däremot krävde alternativet en relativt stor investering av att dimensionera upp gamla ledningar. För att få en överblick över vilka delar på ledningssystemet som är mest kostsamma gjordes två kartor, en över uppdimensioneringen på det befintliga ledningsnätet (figur 18) och en över de nya ledningsdragningarna (figur 19).

Tabell 23: Anläggningskostnaderna [Mkr] för att anlägga nya ledningar samt dimensionera upp befintliga ledningar. (B) representerar att det avvattnas mot Brunnsviken, (K) mot Karlbergssjön och (R) mot Brunnsviken via bräddutloppet från rörmagasinet. Siffrorna inom parentes representerar separeringarna i tabell 8.

Separering	Längd nya ledningar [m]	Längd på ledningar som upp.dimensioneras [m]	Kostnad [Mkr]
Av1 (1)	588	414	15,0
Av2 (2)	960	194	17,3
Av3 (3)	770	194	14,5
Av4 (4)	105	320	6,4
Av1/Av2 (6)	1468	414	28,2
Av1/Av2/Av3 (11)	2201	414	39,2
Av1/Av2/Av3/Av4 (14)	2306	719	45,4
Av1/Av2 (7)	1508	815	34,9
Av1/Av2/Av3 (13)	2178	618	41,9
Av1/Av2/Av3 (12)	2234	607	42,6
Av1/Av2/Av3/Av4(B)/Av5 (17)	2788	719	52,6
Av1/Av2/Av3/Av4(R)/Av5 (17)	2845	414	48,9



Figur 18: Kostnadsfördelning [Tkr] för uppdimensionering av befintliga dagvattenledningar baserad på en fullständig separering.



Figur 19: Kostnadsfördelning [Tkr] för att anlägga nya dagvattenledningar utifrån det fullständigt separerade scenariot.

4.6 Fördjupad kostnadsanalys

4.6.1 Anläggningskostnad ledningar

Genom att beräkna kostnaderna med SVOAs kalkylverktyg (avsnitt 3.11.1) steg totalkostnaderna för att anlägga ledningsnätet med cirka 395 % i jämförelse med att använda schablonvärdena från CIT Urban management (tabell 23 och 25) för en fullständig separering. Kostnaderna bestod huvudsakligen av att anlägga nya ledningar för dagvatten där 20 - 35 % av utgifterna lades på att installera ledningar. Priset per meter ledning för betong varierade beroende på dimension och schaktdjup. Den minsta kostnaden oberoende schaktdjupet är 1600 kr/m för en ϕ 500 mm ledning medan det maximala priset steg till 27 000 kr/m för en ϕ 1600 mm ledning (tabell 26). Medelvärdet för ledningsdragningen är inom intervallet 16 000 - 22 000 kr/m (tabell 26). Genom att multiplicera det önskade schaktdjupet och den totala sträckan som ska anläggas kan en uppskattad anläggningskostnad fås i en innerstad med extern entreprenör.

Tabell 24: Anläggningskostnaderna [Mkr] för att dimensionera upp befintliga ledningar och att gräva ner nya dagvattenledningar både totalsumman [Mkr] samt en årlig kostnad [Mkr]. Siffrorna inom parentes representerar separeringarna i tabell 8.

Separering	Upp-dimensionering	Upp-dimensionering	Anläggning	Anläggning
	Total kostnad [Mkr]	Kapitalkostnad [Mkr/år]	Total kostnad [Mkr]	Kapitalkostnad [Mkr/år]
Av1 (1)	22,6	0,2	32,6	0,29
Av2 (2)	10,4	0,09	41,4	0,37
Av3 (3)	10,6	0,09	39,0	0,35
Av4 (4)	12,2	0,11	2,5	0,02
Av1/Av2 (6)	30,2	0,27	73,3	0,65
Av1/Av2/Av3 (11)	37,6	0,33	96,1	0,85
Av1/Av2/Av3 (13)	37,0	0,33	107,2	0,95
Av1/Av2/Av3/Av4/Av5 (17)	62,6	0,56	178,8	1,59

Tabell 25: De totala kostnaderna [Mkr] för att uppdimensionera och anlägga nya dagvattenledningar, kapitalkostnader [Mkr/år].

Separering	Av. som separeras	Totalkostnad [Mkr]	Kapitalkostnad [Mkr/år].
1	Av1	55,2	0,49
2	Av2	51,8	0,46
3	Av3	49,6	0,44
4	Av4	14,7	0,13
6	Av1/Av2	103,5	0,92
11	Av1/Av2/Av3	133,7	1,19
13	Av1/Av2/Av3	144,2	1,28
17	Fullständig	241,4	2,14

Tabell 26: Maximala-, medel-, och minsta kostnaden [kr/m] som har beräknats från beräkningsmodellen för olika dimensioner för att anlägga ledningar oberoende schaktdjup.

Diameter [mm]	Min [kr/m]	Medel [kr/m]	Max [kr/m]
500	1600	16 000	19 000
800	13 500	18 000	20 000
900	13 000	18 500	23 000
1000	15 000	20 000	22 000
1200	17 000	19 000	25 000
1400	20 000	23 000	33 200
1600	17 000	22 000	27 000

4.6.2 Anläggningskostnad dagvattenrening

Vid en separation av det kombinerade ledningssystemet kommer årskostnaderna att öka drastiskt. I jämförelse med nollscenariot där kostnaderna för att enbart rena dagvattnet i Henriksdal är 0,37 miljoner kronor (tabell 21) så ökar utgifterna med 120 - 590 % eller 410 - 930 % de kommande åren beroende på vilken dagvattenreningsanläggning som appliceras (tabell 27). De årliga kostnaderna som inkluderar budgeten för källaröversvämningar samt dagvattenanläggning och underhåll uppnår en summa på 2,17 Mkr/år (dammar) och 3,29 Mkr/år (biofilter) (tabell 27). Denna kostnad gäller så länge dagvattenanläggningen fortfarande har kvar respektive avskrivningstid (25 år för dammar och 20 år för biofilter), som sedan övergår till kapitalkostnaderna (tabell 25) tills att ledningarna har blivit avskrivna (total avskrivningstid på 50 år). Till den senare kostnaden då dagvattenanläggningen är avskriven tillkommer kostnader för årlig underhåll. Den totala slutsumman inkluderar rening av dagvatten i Henriksdal reningsverk vilket ger en årlig kostnad på 2,18 miljoner kronor för dagvattendamm och 3,18 miljoner kronor för biofilter.

Till de totala kostnaderna tillkommer utbetalning för skadestånd för källaröversvämningar på 14 miljoner kr/år. Denna kostnad kommer att reduceras i takt med separeringen och vid den fullständiga separeringen helt elimineras. Skadeståndet är inte medräknat i den slutliga summan (tabell 27) utan enbart den årliga budgeten på 0,5 miljoner kronor (tabell 25) har tagits med i beräkningarna.

Tabell 27: Årliga kostnaderna Kapitalkostnader för dagvattenanläggningar [Mkr/år], dagvattenanläggningar + rening av dagvatten i Henriksdal [Mkr/år]. De värden som står med / representerar kostnaderna före och efter avskrivningstid av dagvattenanläggning. För separering se tabell 8.

Separering	Av.som separeras	Dammar [Mkr/år]	Biofilter [Mkr/år]	Rening i Henriksdal+ Dammar [Mkr/år]	Rening i Henriksdal+ Biofilter [Mkr/år]
1	Av1	0,51	1,24	0,83/0,81	1,90/1,14
2	Av2	0,46	0,6	0,8	0,8
3	Av3	0,44	0,44	0,78	0,78
4	Av4	0,13	0,13	0,48	0,48
6	Av1/Av2	0,94	1,89	1,29/1,27	2,67/1,70
11	Av1/Av2/Av3	1,22	2,34	1,47/1,44	3,11/2,87
13	Av1/Av2/Av3	1,30	2,03	1,55/1,53	2,62/1,86
17	Fullständig	2,17	3,29	2,18/2,14	3,81/2,65

4.6.3 Inkomster

Serviceåtaganden

De totala inkomsterna från serviceåtaganden summeras till 5,3 miljoner kronor årligen där stängning/ öppning av ventil bidrar med den största inkomsten (tabell 28).

Tabell 28: *Inkomsten [kr] till SVOA under 2018 för utredningsområdet efter att ha utfört serviceåtaganden. Vanlig tid är dagtid under veckodagar och representeras av ungefär 80 % av samtliga serviceåtaganden.*

Service	vanlig tid [kr/år]	övrig tid [kr/år]	Totalt [kr/år]
Spolningar	29 000	14 000	43 000
Stängning/öppning ventil	392 0000	140 0000	530 0000

Den totala summan som Stockholm får in årligen från serviceåtagande (tabell 28) och VA-relaterande intäkter (tabell 12) är 6,83 miljoner kronor.

5 Diskussion

5.1 Dimensionerande flöden

Genom att studera de dimensionerande flödena för avrinningsområdena (tabell 13) kunde det ses att desto större avrinningsområde och högre klimatkoefficient (tabell 5) ju större maximalt flöde. Om det dimensionerande regnet ökade från ett 20-årsregn till ett 30-årsregn med samma klimatkoefficient ökade maximala flödet med 4 %. Om det dimensionerande regnet ökade från ett 10-årsregn till ett 20-årsregn samt med 0,05 på klimatkoefficienten så resulterade även det i en 4 % ökning av maximala flödet. I och med en ökning av flöde och ackumulerad volym vid ett högre dimensionerat regn och klimatkoefficient är dessa kriterier viktiga vid projektering av VA-system. Detta då det annars kan få konsekvenser av bristande kapacitet i ledningarna när de är anlagda (Granlund & Nilsson 2000). I och med att det blir allt vanligare med kraftigare skyfall (SOU m fl. 2007) bör det vid projektering dimensioneras för ett större nederbördstillfällen.

Ledningssystemet i Mike Urban, både det för nollscenariet och de nya dagvattenledningarna hade kunnat optimeras i lutning och dimensionering för att eventuellt få bättre värden på de dimensionerade flödena för de olika scenarierna. Vid anläggning av nya ledningar i Mike Urban har det enbart placerats betongledningar. Ett alternativ till betongledningar är plastledningar vilket inte har studerats i detta arbete. Materialet påverkar både flödet i och med den inre friktionen samt kostnaderna i kostnadsanalysen.

5.1.1 L-magasinet

L-magasinet var en begränsande faktor för att kunna separera dagvattnet längs Norra Stationsgatan och avleda det till Brunnsviken istället för att leda det till Henriksdals reningsverk. Den begränsade faktorn var inflödet som för de dimensionerade regnen hade en maximal kapacitet mellan 2,87 - 3,46 m³/s (tabell 14). Det maximala inflödet var inte ett exakt värde utan befann sig inom det ovanstående intervallet som fått i Mike Urban vid de olika scenarierna. Det lägsta värdet i intervallet representerar det scenario där Av1 leds mot Karlberssjön och Av2 och Av3 (separering 13, tabell 8) mot L-magasinet. Detta var det högsta av de studerade flödena där L-magasinet inte fick kapacitetsbrist. Det högsta värdet i intervallet var då Av4 leds mot L-magasinet tillsammans med Av2 och Av3 (separering 15,

tabell 8) och var det lägsta av de studerade flödena där L-magasinet visade kapacitetsbrist. Orsaken till begränsningen var att inflödet var större än utflödet i L-magasinet och den aktiva volymen som lagrar dagvattnet överskreds. Att byta ut L-magasinet mot ett uppdimensionerat L-magasin skulle vara ett alternativ men troligtvis inte realistiskt, på grund av L-magasinet läge skulle det både vara kostsamt och komplicerat.

5.1.2 Dimensionerande flöden längs med Norra Stationsgatan

I och med en separering till ett duplikat spill- och dagvattensystem avlastades det kombinerade ledningssystemet längs Norra Stationsgatan. Den maximala reduktionen skedde vid en fullständig separering där Av5 bidrog till den största flödessänkningen (93 %). Att det skedde en så drastisk förändring beroende på att Av5 är betydligt större än de resterande avrinningsområdena. Genom att studera tryckprofilbilderna kunde det ses att trycklinjen i ledningarna sänktes.

Det reducerande flödet var en positiv faktor både för det kombinerade ledningssystemet och för reningsverket som tog emot mindre dagvatten. Dock så kan avlastningen och det reducerade flödet innebära ökande underhåll- och driftskostnader på ledningssystemet då förmågan till självrens minskar. Flödet som används vid beräkning av medelskjuvspänningen, τ_{medel} , ska enligt Svenskt Vatten beräknas med medelflödet. Mike Urbans inbyggda funktion för flödesberäkningar i ledningsnätet gjorde beräkningarna för det maximala flödet och minimala flödet och inte medelflödet. Vattennivån i ledningssystemet var baserat på flödet vilket då antingen blev en maximalnivå eller minimalnivå och inte för medelnivån. Genom att använda maximala vattennivån kunde ledningssystemet för ett helt fullständigt separerat system anses ha en god förmåga för självrensning (figur 14). I jämförelse med den minimala vattennivån där ledningssystemet inte uppnådde ett tillräckligt högt flöde för självrens (figur 15). Då det maximala flödet har studerats i detta arbete antogs detta representera systemets förmåga till självrens.

5.1.3 Bräddning av kombinerat avloppsvatten till Brunnsviken

Tidigare studier visade att en fullständig separering kan reducera översvämningar med 95 % och uppåt (Granlund & Nilsson 2000). Resultaten över rörmagasinet bräddfunktion (tabell 16) i Hagastaden kan jämföras med Granlunds och Nilssons studie. Genom att fullständigt separera de kombinerade ledningarna uppnåddes en reduktion på 100 % av bräddningsvolymen (kombinerat dag- och spillvatten) till Brunnsviken och vid en nästan fullständig separering uppnåddes en 96 % minskning. Om en reduktion av bräddningsvolym är huvudsyftet med separeringen bör fokuset ligga på att separera Av5 från det kombinerade ledningssystemet. Utifrån bräddvolymerna från rörmagasinet kunde det tydas att bräddningsvolymen kunde sänkas med cirka 6 % för varje hektar avrinningsyta som separerades från det kombinerade ledningssystemet.

En fullständig separering innebär en 100 % reduktion av föroreningsbelastningen på recipienten (United States Environmental Protection Agency 1999). Detta stämmer för det

kombinerade bräddningsvattnet men inte för dagvattnet. Detta då dagvattnet ökar belastningen på recipienten i och med att området tidigare inte bidrog med några tillflöden av dagvatten till varken Brunnsviken eller Karlsbergssjön. Fördelen är att de ämnen från spillvattnet som bidrar med akuta och långsamma negativa effekter på recipienten vid bräddning förhindras (Luleå tekniska universitet 2017).

5.2 Årsflöden

De genererade dagvattenvolymererna från avrinningsområdena baserades på den totala arean för delavrinningsareorna samt ett medelvärde för delavrinningskoefficienterna för varje area.

5.2.1 Årsflöde i det kombinerade systemet mot Henriksdal

En fullständig separering innebär att allt dagvatten som avvattnas via de kombinerade ledningarna mot Henriksdals reningsverk leds till antingen Brunnsviken eller Karlbergssjön. Genom att separera hela systemet minskades den inkommande dagvattenvolymer med 100 % (tabell 18) och den totala inkommande spill- och dagvattenvolymer med 14 % (tabell 18) från Vasastan. Den totala reduktionen bidrog inte med några större förändringar då det årligen inkommer 91,3 Mm³ till reningsverket (Stockholm Vatten AB u.å.) och utredningsområdet skulle bidra med en total volymminskning på 1,4 %. Jämfört med den totala procenten dagvatten som årligen tillkommer till reningsverket på 40 % (Stockholm stad u.å.) är reduktionen från det undersökta området betydande. Speciellt i förhållande till storleken på utredningsområdet och relativt hela Stockholm är det inte en försumbar årsreducering. Den största effektivitetsvinsten skulle troligtvis handla om energisparning i reningsverket för tillväxt av bakteriell biomassa då mindre lågtempererat dagvatten hämmar tillväxten. Men även slutprodukterna från reningsverket förbättras något. Då tillskottsvattnet innehåller mycket tungmetaller, organiska och oorganiska ämnen. Slammet som har rötats i Henriksdal är certifierat (ibid.) och används för bland annat för kompostering samt som spridningsmedel på åkermark. Riskerna med detta är att alla ämnen inte avskiljs i reningsverket och kvarstår i rötslammet som sedan sprids som gödsel. Detta medför att spår av föroreningarna kan finnas kvar i de grödor som sedan intas som föda.

5.2.2 Årsflöden till recipienterna

Tillskottet av dagvatten till både Brunnsviken och Karlbergssjön var påtagliga vid en separation av de kombinerade ledningarna. Av5 som både hade högst delavrinningskoefficient samt störst avrinningsarea bidrog med ungefär dubbelt så stor dagvattenvolym som Av1, Av2 och Av3 tillsammans. Det kan även ses att desto större hårdgjord avrinningsyta som kopplas på ledningssystemet ju större dagvattenvolym nådde recipienterna. Det flöde som beräknades var ett medelvärde med en klimatfaktor och representerar därför inte de exakta volymererna för varje enskilt år då årsmedelnederbörden varierar från år till år.

5.3 Föroreningsbelastning

Osäkerheterna vid mätning av föroreningsbelastning är stora bland annat för att mängderna i ytvatten varierar med årstiderna (Helsel & Hirsch 2002). Flödestopparna från snösmältningar och stora nederbördstillfällen samt nederbördsfria perioder är några faktorer som har

en påverkan på koncentrationen. Där det ej är hårdgjort kan även grundvattnet stiga till ytan och blanda sig med dagvattnet som får en annan koncentration i och med att grundvatten även tar med mineraler från jorden. Även om det mesta vid Norra Stationsområdet är hårdgjorda ytor så finns det delar som består av parker eller annan mark där grundvattnet kan stiga upp till markytan. Föroreningskällan är en av de viktigaste inparametrarna i StormTac och markanvändningen är grundpelaren till detta. I denna studie har markanvändningen baserats på tidigare utredningar, ortofoton samt information från kommunens hemsida. Inventering och provtagning av föroreningshalter på dagvattnet från området hade varit ett komplement till att använda beräkningsprogram. Områdets storlek i förhållande till tiden på projektet gjorde att alternativet inte var genomförbart.

För den årliga föroreningsbelastningen tillämpades inga gränsvärden då dessa inte finns tillgängliga för beräkning av föroreningstransporter. Däremot finns det riktvärden på vad som anses vara en acceptabel nivå och bör därför ses som ett gränsvärde. Denna acceptabla nivå påverkas av volymen på recipienten, koncentrationen av föroreningar i vattenmassan samt empiriska värden för avrinningskoefficienten och uppehållstiden för recipienten (Larm 2000).

5.4 Dagvattenanläggning

Då det enligt Svenskt Vatten AB behövs ett hållbart dagvattensystem för att kunna säkerställa att recipienterna bibehåller god miljö, behövdes en form av dagvattenrening tillämpas. För att uppnå en hållbar dagvattenhantering utifrån reningsgraden (tabell 29) som uppnåddes i StormTac är biofilter det mest lämpliga alternativet av biofilter och dagvattendammar. Dagvattenanläggningen beräknas uppfylla Stockholm Stads riktlinjer med att reducera föroreningsbelastningen med 70 - 80 % för att uppnå miljö kvalitetsnormerna för nästan alla ämnen (tabell 29). Kväve och koppar var de enda som inte nådde upp till reningsgraderna. Biofiltret är inte en välbeprövad metod i Sverige vilket bidrar till att reningsgraden för anläggningen inte är helt statistiskt säker då dataunderlaget är fåtaligt. StormTacs databas visade att fosfor och kväve visar osäkra reningsgrader, trots att dessa borde vara bland de säkraste då mest forskning har gjorts just på näringsämnena. Då Karlbergssjön är klassat som ett naturbadsområde och redan har höga belastningar av näringsämnena bör de ämnena prioriteras vid rening för att undvika övergödning vilket skulle kunna medföra att sjön blir otjänlig. Förutom reningsgraden kan ett biofilter relativt enkelt appliceras på de hårdgjorda ytorna utan att förhindra passage av till exempel cykel och samtidigt uppnå ett estetiskt värde. En stor nackdel med biofiltren är att kunskapen är låg om dess funktion under vintern då bakterietillväxt och hydraulik påverkas av kallare temperaturer (Fridell & Jergmo 2015). Anläggningen kräver i sig en relativt liten area som kan spridas ut uppströms och anpassas efter omgivningen.

Dagvattendammarna har generellt en lägre reningsgrad än biofiltren men är säkrare statistiskt enligt underlagen i StormTac. Genom att använda dammar uppnåddes inte reningskraven då kvicksilverbelastningen översteg de acceptabla värdena för Karlbergssjön (tabell 30). Det som bör ses över är filtermediet (det material som filtrerar orenheter) i dammen eller om en kompletterande förbehandling för kvicksilver bör installeras. Detta kommer att bidra med ökande kostnader och underhåll. Dammar är dock ett bra alternativ då lösningen

är beprövad, tar upp en relativt liten yta (tabell 20) och kan bidra med estetiska inslag.

5.5 Kostnadsanalys

Genom att använda olika metoder för att beräkna anläggningskostnader kan resultaten skilja sig drastiskt. Från kostnadsanalysen där både Stockholm Vattens nyckeltal och deras beräkningsmodell användes skiljde sig priserna åt med cirka 395 % för en fullständig separering. Den största skillnaden mellan de båda metoderna är att Widéns metod (avsnitt 3.11.1) beräknade metervärdet för ledningsdragning utifrån material och dimensioner på ledningen samt schaktdjupet medan nyckeltalsmetoden (avsnitt 4.5) enbart tog hänsyn till meterledning. Båda modellerna är tillämpbara om en överskådlig kostnad behövs, men om en mer noggrann utredning behövs bör kalkylmodellen användas då den tar med mer detaljer i beräkningen. Widéns kalkylmodell är ett bra och enkelt verktyg, dock så saknas värden för vissa ledningsdimensioner. Detta bidrar till att kostnader får uppskattas utifrån liknande dimensioner vilket medför en osäkerhet för priset per meter ledning.

Att schakta upp och anlägga nya ledningar på grund av kapacitetsbrist är som Stahre (2014) nämner en kostsamsprocess. Vid en fullständig separering av Norra Stationsområdet skulle det med Widéns modell totalt kosta 62,6 miljoner kronor (tabell 23) att byta ut underdimensionerade ledningar. Till detta tillkommer 178,8 miljoner kronor för att installera de nya ledningsdragningarna. Medelvärdet per meter ledning med dimensionen ϕ 500 mm är 16 000 kr vilket stämmer överens med det värde som fåtts från Stockholm Vattens nyckeltal. Det maximala värdet som uppnåddes var 33 200 kr/m ledning för en ϕ 1400 mm vilket är inom referensramen (Widén 2017). Anläggningskostnaderna ökar, vilket troligtvis beror på att samhället blir allt mer komplext och kräver därför bättre planering och utförande för att vara hållbart. En grundligare utredning av behovet av spontar (stödmaterial) har inte utförts, vid de tillfällen modellen har angett att spont behövs har dessa antagits behövas för anläggning. Även geometrisk indata som var förinställd (figur 20) har inte ändrats då detta ansågs som ett standardvärde (Widén 2017). För alla dessa faktorer hade det kunnat gjorts en djupare utredning för och fått ett mer platsspecifikt pris. Men då metervärdet per ledning ska kunna appliceras på andra liknande områden (enligt önskemål från SVOA) valdes standardvärdena.

Kostnaderna som beräknades med Widéns modell för att anlägga en betongledning oberoende schaktdjup (tabell 26) följer inte det förväntade värdena då en större dimension bör vara kostsammare eftersom ledningspriset stiger med diametern (Widén 2017). Det kan bero på att kostnaderna för dimensionerna ϕ 900, 1200 och 1400 mm är osäkra eftersom underlagsdata för dessa ledningar var fåtaliga. Kostnaderna kommer dock att stiga för dessa då schaktdjupet inkluderas, då djupet multipliceras med kostnaderna för den valda ledningsdimensionen.

Den totala årliga kostnaden för att anlägga det nya dagvattenledningssystemet inklusive ledningsdragning, uppdimensionering av befintliga ledningar, anläggning och underhåll av dagvattenanläggning, budget för källaröversvämningar samt kostnad för rening av dagvatten i Henriksdals reningsverk uppnår en årlig summa på 3,81 miljoner kronor (tabell 27). Då

de årliga kostnaderna för skadestånd för källaröversvämningar bör elimineras i och med den fullständiga separeringen (Greeley & Hansen 2015) bör den årliga budgeten för skadestånd inte överstigas i framtiden.

De dagvattenledningar som finns i DP3 (längs med Norra stationsgatan) vilka de nya dagvattenledningarna som läggs in i modellen för Av1, Av2 och Av3 kommer att ansluta vid separeringen då de leds väst mot Karlbergssjön, planeras att anläggas i och med exploateringen av DP3.

Inkomsterna som är relaterade till VA uppnår en summa på 6,83 miljoner kronor varje år. Intäkterna är högre än de årliga kostnaderna för att anläggningen som har beräknats, vilket innebär att SVOA skulle kunna täcka omkostnaderna för anläggningen. Dock så tillkommer utgifter för till exempel rening av spillvatten på totalt 5,74 miljoner kronor (tabell 22), drift av reningsverk, administration, personal, dricksvatten etc.. De VA-relaterade inkomsterna kommer därför inte enskilt kunna betala separeringen av det kombinerade ledningssystemet.

5.6 Osäkerheter

Det finns många faktorer som har påverkat de slutliga resultaten i Mike Urban. Vid modellering är de huvudsakliga osäkerheterna: observationer, modellparametrar och modellstruktur (Andrieu m.fl 2019). Stockholm Vatten har satt ett gränsvärde på hur välkalibrerad modellen behöver vara. Ett volymfel på $\pm 10\%$ och ett nivåfel på ± 20 mm jämfört med observationer anses vara acceptabelt (Blomquist m. fl. 2016). Vid anläggning och uppdimensionering av dagledningar har dimensionerna undersökts genom att analysera trycklinjer i ledningarna tills ett önskvärt resultat har uppnåtts. Det finns osäkerheter i både schaktdjup och ledningslängder då till exempel DEM-data innehåller systematiska och stokastiska fel vilka påverkar de topografiska och vertikala distanserna upp till 9 % (Kroll & Wechsler 2006). En 10 - 20 % osäkerhet på ackumulerade volymer samt på ledningsdimensioner i Mike Urban har uppskattats från de ovanstående resonemangen. Den procentuella skillnaden som hade fåtts med hänsynstagande till osäkerheten ger inga stora differenser i det slutliga resultatet. En 10 % ökning av flödet bidrar med en nästintill försumbar påverkan på ledningsdimensionerna och därmed även på kostnaderna.

6 Slutsatser

En fullständig separering till ett duplikat spill- och dagvattensystem för de delar av Vassastan som avvattnas mot Norra Stationsgatan är möjligt. Separeringen blir kostsam och bidrar med en ökad dagvattenbelastning på recipienterna men i utbyte fås en reduktion av kombinerat bräddvatten och lägre reningskostnader. En gradvis separering av avrinningsområdena ger störst inverkan om Av5 separeras från det kombinerade systemet. För att uppnå en relativt bra separering bör kombinationen Av1, Av2 och Av3 separeras där dagvattnet leds väst mot Karlbergssjön.

- Vid en fullständig separering uppnås en reduktion på 93 % av det maximala flödet. Att enbart separera Av5 leder till att det maximala flödet minskas med 60 % och trycklinjen i ledningen sänks betydligt. En 93 % reduktion ger en 2,70 m sänkning av trycklinjen uppströms (mellan brunn 5 och 6, figur 38 & 42, Bilaga 3) och 1,70 m sänkning av trycklinjen nedströms (mellan brunn 19 och 20, figur 38 & 42, Bilaga 3). Dagvattenbelastningen kommer att reduceras med 100 %.
- De årliga dagvattenmängderna som leds i de kombinerade ledningarna i Norra Stationsgatan mot Henriksdals reningsverk beräknat utifrån, kommer vid en fullständig separering helt att reduceras. Detta medför att den totala volymen spill- och dagvatten som leds till reningsverket från utredningsområdet minskas med 14 % vilket motsvarar 1,4 % av den årliga spill- och dagvattenvolymen som Henriksdal tar emot årligen.
- Rörmagasinet bräddar idag med 1760 m³ kombinerat spill- och dagvatten till Brunnsviken vid dimensionerade regn. Genom att separera Av5 elimineras denna bräddningsvolym. Resultaten visar att för varje hektar som separeras sänks bräddningsvolymen från rörmagasinet med ca 6 %.
- Belastningen på recipienterna kommer att öka betydligt då det innan separeringen inte skedde någon avvattnings av dagvatten till varken Karlbergssjön eller Brunnsviken från de undersökta avrinningsområdena (förutom vid bräddningar från rörmagasinet). För det mest fördelaktiga scenariot då de kombinerade ledningarna avlastas helt ökar den årliga belastningen på Karlbergssjön med cirka 40 000 m³. Den årliga belastningen på Brunnsviken förhöjs med en dagvattenvolym på cirka 86 000 m³, där Av5 bidrar med ungefär 80 000 m³ dagvatten.
- Den ökande dagvattentillförseln från de undersökta avrinningsområdena kommer inte att ha en kraftig påverkan på Brunnsviken, då föroreningsbelastningarna erhåller ett värde som är betydligt lägre än den acceptabla belastningen på recipienten. Karlbergssjön kommer att få en negativ påverkan av separeringen där fosfor, koppar och Bens(a)pyrén överskrider de acceptabla nivåerna. Den reningsmetod som anses vara mest lämpad baserat på reningsgrad och applicerbarhet utifrån de undersökta metoderna är biofilter.
- Priset för att anlägga 2845 m nya dagvattenledningar uppgår till 178,8 miljoner kronor. Till detta adderas summan för att dimensionera upp 414 m befintliga dagvattenledningar på 62,6 miljoner kronor. Förutom ledningskostnaderna tillkommer kostnader för anläggning och underhåll av dagvattenanläggningen, källaröversvämningar

och rening i Henriksdal. Den slutliga summan för att utföra en fullständig separering de första åren kommer att hamna på 3,18 miljoner kronor per år eller en totalsumma på 258,7 miljoner kronor för anläggning av dagvattenledningar och biofilter samt uppdimensionering av befintliga dagvattenledningar.

För att få säkrare och mer representativa värden på resultaten krävs ytterligare undersökningar. Ledningsdragningarna är utplacerade parallellt med de kombinerade ledningarna och inte efter ett helt verkligt scenario. Så studier på ledningarnas position och om det eventuellt behövs ett större antal dagvattenledningar inom området för att inkludera till exempel lågpunkter behövs utföras. Projektering av ledningsdragningar och dimensionering sker ofta på en mer detaljnivå i CAD-program vilket kan vara ett användbart underlag som medför mer realistisk utformat ledningsnät. Beräkningen av föroreningsbelastningen på recipienterna är förenklad. En mer utförlig dagvattenutredning av det undersökta området skulle ge en mer korrekt årlig belastning. Vid en fullständig dagvattenutredning kan större fokus läggas på att välja rätt dagvattenanläggning samt dess placering för att uppfylla Stockholm Vattens riktlinjer och önskemål.

7 Referenser

Agnarsson, M & Hansson, C (2017). *Underlag till framtagande av lokalt åtgärdsprogram för Långsjön*. Stockholm: Miljöförvaltningen, Stockholm stad (rapport 1143805)

American City & County (1996). *CSO control revitalizes stretch of the Mississippi*. American City & County.

Tillgänglig: <https://www.americancityandcounty.com/1996/12/01/cso-controlrevitalizes-stretch-of-the-mississippi/> [2019-05-02]

Andersson Cada, E. Bergenstråle, T & Johansson D (2017). *Dagvattenutredning, ett konsultuppdrag* Sveriges lantbruksuniversitet. Mark och miljö (Projektarbete för vattenresursteknik 2017)

Blecken, G (2015). *Kunskapssammanställning, Dagvattenrening*. Bromma: Svenskt Vatten AB, (rapport 2016-05) [2019-02-04]

Blomquist, D. Hammarlund, H. Härle, P & Karlsson, S (2016). *Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem*. Bromma: Svenskt Vatten AB (rapport 2016-15)

Burton, A.G & Pitt, R.E jr (2013). *Stormwater Effects Handbook. A toolbox for Watershed Managers, Scientists and Engineers*. Boca Raton: Taylor and Francis Group, LLC

Chow, V. Maidment, D.r Mays, L.W (1988). *Applied Hydrology, International edition*. Singapore: McGraw-Hill Book Company (ISBN:0-07-100174-3)

CIT Urban Water Management AB, Ecoloop AB, Stockholm Vatten AB & Värmdö kommun, Uppsala kommun, Södertälje kommun, Norrtälje kommun och Tanums kommun (2010). *Ve Va- Verktyg för miljö- och ekonomibedömning av VA-system i omvandlingsområden*

DHI (2017a). *Avloppsledningsnät*.

Tillgänglig: <https://worldwide.dhigroup.com/se/vara-tjanster/avloppsledningsnat> [2019-01-28]

DHI (2017b). *Collection system, Modelleing of storm water drainage networks and water sewer collection system*.

Tillgänglig: <http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Cities/CollectionSystem.pdf> [2019-03-08]

DHI (2017c). *Dagvattenhantering*.

Tillgänglig: <https://worldwide.dhigroup.com/se/vara-tjanster/dagvattenhantering> [2019-01-28]

DHI (2017d) *Mike programvara*.

Tillgänglig: <https://worldwide.dhigroup.com/se/mike%20programvara> [2019-01-28]

DHI (2017e) *Modelling of stormwater drainage networks and sewer collection systems*.

Tillgänglig: <https://www.mikepoweredbydhi.com/-/media/shared%20content/mike%20by%20dhi/flyers%20and%20pdf/software%20flyers/cities/mikebydhiproductflyermikeurbanstormwaterandwastewater.pdf> [2019-01-25]

DHI (2017f) *MOUSE- Runoff, Reference Manual*.

Tillgänglig: <http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Cities/MOUSERunoffReference.pdf> [2019-01-25]

Esri (2019), *Basemap, World Imagery* [Kartografiskt material] 1:280

Fletcher, T.D, Andrieu, H & Hamel, p (2013). *Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art*. Advances in Water Resources. Vol. 2013. Melbourne, Bouguenais, Monash: Elsevier

Fridell, K & Jergmo, F (2015). *Regnbäddar- Biofilter för behandling av dagvatten*. Alnarp: SLU (Movium fakta, 2)

Grabs, T (2017). *GIS for water resources*

Oppublicerat manuskript. Institutionen för geovetenskaper: Uppsala Universitet

Granlund, B & Nilsson, D (2000). *Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller*. Stockholm: VBB VIAK AB (rapport 2000-7)

Greeley & Hansen (2015). *Alternatives Evaluation: Sewer Separation*. City of Alexandria: Department of transportation och environmental services

Hagastaden Stockholm (2018). *Illustration över Hagastaden-detaljplan 2 och detaljplan 3* [Illustration].

Tillgänglig: <https://www.flickr.com/photos/hagastaden/26665371128/> [2019-04-15]

Handeland, S. Jansson, C. Lundgren, S. Myrsten, A & Olsson, A (2017). *Dimensionering av självfallsystemen i Hagastaden (Norra Stationsområdet)*. Stockholm: Sweco Environment AB (Uppdrag 1970243000).

Haninge kommun (2017). *Handbok för hållbar dagvattenhantering*. Haninge: Stadsbyggnadsförvaltningen.

Havs- och vatten myndigheten (2013). *Basflöde*.

Tillgänglig: <https://www.havochvatten.se/funktioner/ordbok/ordbok/a-c/ordbok-a-c/2013-03-14-basflode.html> [2019-03-21]

Havs- och vattenmyndigheten (2018). *Miljökvalitetsnormer*.

Tillgänglig: <https://www.havochvatten.se/hav/vagledning-lagar/vagledningar/miljokvalitetsnormer/miljokvalitetsnormer.html> [2019-03-21]

- Havs- och vattenmyndigheten (2013). *Grundvattendelare*. Tillgänglig: <https://www.havochvatten.se/funktioner/ordbok/ordbok/g-i/ordbok-g-i/2013-03-14-grundvattendelare.html> [2019-04-26]
- Helsel, D.R & Hirsch, R.M (2002). *Chapter A3 Statistical Methods in Water Resources*. Tillgänglig: <https://pubs.usgs.gov/twri/twri4a3/pdf/twri4a3-new.pdf> [2019-04-16]
- Holm, E (2017) *Vattenanvändning hos samhällsbrukare. En studie om flöden och maxfaktorer för en förbättrad dimensionering*. Uppsala: Energi och teknik (Examensarbete UPTECW 17012)
- Isaksson, E & Vingmyr, K (2019). *Arbetsgrupp tillskottsvatten*. E-post. Stockholm Vatten och Avfall AB
- Jansson, C (2017). *Utredning rörmagasinet under Sveavägen*. Stockholm: Sweco Environment AB (Tekniskt PM 1141464000)
- Karlsson, T (2019). *Frågor angående avloppledningssystem*. E-post. Stockholm Vatten och Avfall AB
- Kroll, C.N & Wechsler, S.P (2006). *Quantifying DEM Uncertainty and its Effect on Topographic Parameters*. Photogrammetric Engineering Remote Sensing. Vol. 2006. 72 vol. 9. American Society for Photogrammetry och remote sensing. (ISBN: 0099-1112/06/7209-1081)
- Kustvall Larsson, V. Ljungqvist, P Mohlander, U. Skönström, T, Strand, L & Vall, E (2016). *Dagvattenhantering, åtgärdsnivå vid ny- och större ombyggnation*. Stockholm: Stockholm Stad. Tillgänglig: <http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/atgardsnivav1-1fi.pdf> [2019-04-17]
- Lantmäteriet (2019). *Kartsök och ortnamn*. Tillgänglig: <https://kso.etjanster.lantmateriet.se/> [2019-04-25]
- Larm, T (2000). *Watershed-based design of stormwater treatment facilities: model development and applications*. Stockholm: Civil och environmental engineering (Doktorsexamen 1038)
- Lindblom, T (2014). *Modellering av avloppspumpstationer- En modelloptimering och känslighetsanalys av pumpstationer i Uppsala och Västervik*. Uppsala: Informationsteknologi (Examensarbete 1401-5765) [2019-01-28]
- Ljung, L & Glad, T (2014). *Modellbygge och simulering*. Utgåva.2. Studentlitteratur (ISBN:978-91-44-02443-1)
- L'Ons, D. Mattson, A. Olsson, M & Van der Salm, K (2016). *Lokalisering av eventuellt till-*

ningsmängder.Solna: Samhällstekniska (ISBN: 91-620-0076-4)

NE (u.å). *Randvillkor*.

Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/randvillkor> [2019-01-30]

Näsman Melander, E (2012). *Dimensionering av åtgärder i kombinerade ledningssystem vid ökad spillvattenbelastning*. Uppsala: Geovetenskaper, Luft-, vatten och landskapslära (Examensarbete 1401 5765)

OpenStreetMap (2019). *Sveavägen mot Norra stationsgatan*.

Tillgänglig: <https://www.openstreetmap.org/directions?engine=fossgisosermbikeroute=59.3422%C2%18.0573%C3%B59.3489%C2%18.0409map=16/59.3459/18.0491>.

Petterson Skog, A (2015). *Hagastaden Dagvattenstrategi*. Stockholm: Sweco Environment AB (Uppdrag 1143639000)

SFS (2006:412) *Lag om allmänna vattentjänster*. Miljö- och energidepartementet

SMHI (2019). *Nederbörds mängd (Dygn), Stockholm*. Stockholm: Data från väderstation.

Tillgänglig: <https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/param=precipitation24HourSum,stations=all,stationid=98210> [2019-02-28]

SOU (2007). *Sverige inför klimatförändringarna- hot och möjligheter (kap1-3)*. Stockholm: Miljö- och energidepartementet (SOU 2007:60).

Tillgänglig: <https://www.regeringen.se/49bbac/contentassets/94b5ab7c66604cd0b8842fd6510b42c9/sverige-infor-klimatforandringarna-hot-och-mojligheter-missiv-kapitel-1-3-sou-200760> [2019-05-02]

Spaak, S (2019), *Arbetsgrupp tillskottsvatten*. Epost. Stockholm Vatten och Avfall AB

Stahre, P(2004). *En långsiktigt hållbar dagvattenhantering*. Vol.2004. Malmö: Svenskt Vatten (ISBN:91-85159-17-4)

Stockholm Vatten (2012) *Nyckeltal 2003-2012*.

Tillgänglig: <https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/pdf1/rapporter/svoa/nyckeltal-20032012.pdf> [2019-03-18]

Stockholm Vatten AB (2018). *Årsredovisning 2017-01-01–2017-12-31*. Stockholm: Stockholm Vatten AB (Årsredovisning 556210-6855)

Stockholm Vatten AB (u.å). *Henriksdals avloppsreningsverk*.

Tillgänglig: <http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/pdf1/avloppsvatten/henriksdals-reningsverk/henriksdals-reningsverk> [2019-03-15]

Stockholm Vatten och Avfall AB (2017). *Mälaren och Mälärsviken. Mälaren och Mälärsviken*.

Tillgänglig: <http://www.stockholmvattenochavfall.se/vatten-och-avlopp/sjo-och-vattenvard/malarenoch-malarvikar/> [2019-01-30]

Stockholm Vatten och Avfall AB (2019). *Särskilda serviceåtaganden*

Tillgänglig: <http://www.stockholmvattenochavfall.se/kundservice/avgifter-och-taxor/avgift-for-vatten-och-avlopp/false> [2019-04-09]

Stockholm Vatten och Avfall AB (u.å). *Dammar och våtmarker*.

Tillgänglig: <http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/dammar.pdf> [2019-02-03]

Stockholms stad (2015). *Hagastaden, Fördjupad gestaltungs- och funktionsprogram Parker, torg och gator- DP1*. Stockholm: Stockholm stad

Stockholms stad (2018). *Hagastaden. Stockholm växer*.

Tillgänglig: <https://xn-vxer-loa.stockholm/omraden/norrmalm-hagastaden/> [2019-01-29]

Stockholm stad (u.å). *Ta hand om ditt vatten*.

Tillgänglig: [http://miljobarometern.huddinge.se/content/docs/Ta%20hand%20om%20ditt%20vatten\[1\].pdf](http://miljobarometern.huddinge.se/content/docs/Ta%20hand%20om%20ditt%20vatten[1].pdf) [2019-06-04]

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

Tegelberg, L & Svensson, G (2013). *Utvärdering av Svenskt Vattens rekommenderade sammanvägda avrinningskoefficienter*. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling (rapport 2013-05)

United States Environmental Protection Agency (1999). *Combined Sewer Overflow Management Fact Sheet- Sewer Separation*. Washington D.C: Office of water (rapport 832-F-99-041)

U.S Environmental Protection Agency (2018). *Application that helps predict the quantity and quality of runoff within urban areas. Storm Water Management Model (SWMM)*.

Tillgänglig: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> [2019-01-28]

VISS (2015). *Biofilter*.

Tillgänglig: <https://viss.lansstyrelsen.se/Measures/EditMeasureType.aspx?measureTypeEUID=VISSMEASURETYPE000790> [2019-04-07]

VISS (2016). *Dagvattendammar*.

Tillgänglig: <https://viss.lansstyrelsen.se/Measures/EditMeasureType.aspx?measureTypeEUID=VISSMEASURETYPE000785> [2019-04-08]

VISS (2017). *Brunnsviken*.

Tillgänglig: <https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA68040883> [2019-01-29]

Vägverket (2008). *VVMB 310 Hydraulisk dimensionering*. Borlänge (rapport 2008:61)

8 Bilagor

8.1 Bilaga 1, Fördjupad kostnadsanalys

Geometrisk indata (enl typritning B5.311)					
A1=	0,35	m	Bergschakt	4	:1
A2=	0,35	m	Jordschakt	4	:1
A3=	0,35	m	Ledningsbädd, t=	0,15	m
C2=	0,35	m	Förstlager, t=	50	cm
C3=	0,35	m	Bärlager, t=	15	cm
Kringfhj=	0,30	m	Slitlager, t=	4	cm
			Bel. utanför	0,5	m
			Matjord, t=		cm
			Geoduk	1	Ja=1, Nej=0
			Jordsch u berg	0,5	m
			Kantsten	100	% per m
			Spont från djup	2,7	m
			Hammarband	120	mm
			Vg V och D max	1,8	m

Uppgifter i markerade rutor skall justeras efter behov.

OBS; Om 0 cm = gatunivå

Projektbaserade uppgifter			
Allm kostn	248 400	kr tot	600 kr/m
Baserat på längd	414	m	
En NB per	50	m	
En servis per	25	m	
En BP per		m	
En ventil per		m	

OK

Figur 20: Geometrisk och projektbaserad indata för ledningsdragnings där de geometriska värdena är baserat på Stockholm Vattens projektanläggning.

PRISLISTOR

Välj geometriska data [Gå vidare](#)

Du har ett rör, välj

btq150
btq1800
btq225
btq300
btq400

[Gå till Tabell för 1 rör](#)

Du har två rör, välj först nedersta röret

btq1000
btq150
btq1800
btq225
btq300

 därefter översta röret

vrs150
vrs200
vrs250
vrs300
vrs400

[Gå till Tabell för 2 rör](#)

Du har tre rör, välj först nedersta röret

btq300
btq400
btq800
peh400.10
peh400.4

 därefter nästa

pem50
pem63
pvc160
pvc200
pvc250

 sedan det översta röret tryckrör

vrs150
vrs200
vrs250
vrs300
vrs400

[Gå till Tabell för 3 rör](#)

Figur 21: Prislista för olika dimensioner och material på lednings samt om 1,2 eller 3 ledningar ska installeras.

PRISLISTA FÖR 1 RÖR

UTSKRIFT

Rör1

btg150

2

Gatemark

Djup t vg	Jordschakt		Bergnivå i %				Anm
		spont	25	50	75	100	
1,60	3 900		5 400	5 600	6 100	5 200	
1,80	4 000		5 700	5 800	6 400	5 400	
2,00	4 200		5 900	6 000	6 700	5 700	
2,20	4 400		6 100	6 200	7 000	6 100	
2,40	4 500		6 400	6 500	7 400	6 400	
2,60	4 700		6 600	6 800	7 700	6 800	
2,80	4 900	9 500	6 900	7 100	7 400	7 100	
3,00	5 100	10 000	7 200	7 400	7 800	7 500	
3,20	5 300	10 500	7 400	7 700	8 100	7 900	
3,40	5 500	10 900	7 700	8 000	8 400	8 300	
3,60	5 700	11 400	8 000	8 300	8 800	8 700	
3,80	5 900	11 900	8 300	8 600	9 200	9 200	
4,00	6 200	12 300	8 500	8 900	9 500	9 600	
4,20	6 400	12 800	8 800	9 200	9 900	10 100	
4,40	6 600	13 300	9 100	9 600	10 300	10 600	
4,60	6 800	13 700	9 400	9 900	10 700	11 000	
4,80	7 100	14 200	9 700	10 300	11 100	11 500	
5,00	7 300	14 700	10 000	10 600	11 600	12 000	

Anm: *)spont bör användas

Anm. *spont bör användas

Figur 22: Prislista per meter ledning som utgår från schaktdjupet, spontning samt bergsnivåer.

8.2 Bilaga 2, Scenarion

8.2.1 Enskilda avrinningsområden

Avrinningsområde 1 (Av1) mot Karlbergssjön



***Figur 23:** Separering av Av1 där det rena dagvattnet leds väst mot Karlbergssjön.*

Avrinningsområde 2 (Av2) mot Brunnsviken



Figur 24: Separering av Av2 där det rena dagvattnet leds öst mot L-magasinet och Brunnsviken.

Avrinningsområde 3 (Av3) mot Brunnsviken



Figur 25: Separering av Av3 där det rena dagvattnet leds öst mot L-magasinet och Brunnsviken.

Avrinningsområde 4 (Av4) mot Brunnsviken



Figur 26: Separering av Av4 där det rena dagvattnet leds öst mot L-magasinet och Brunnsviken.

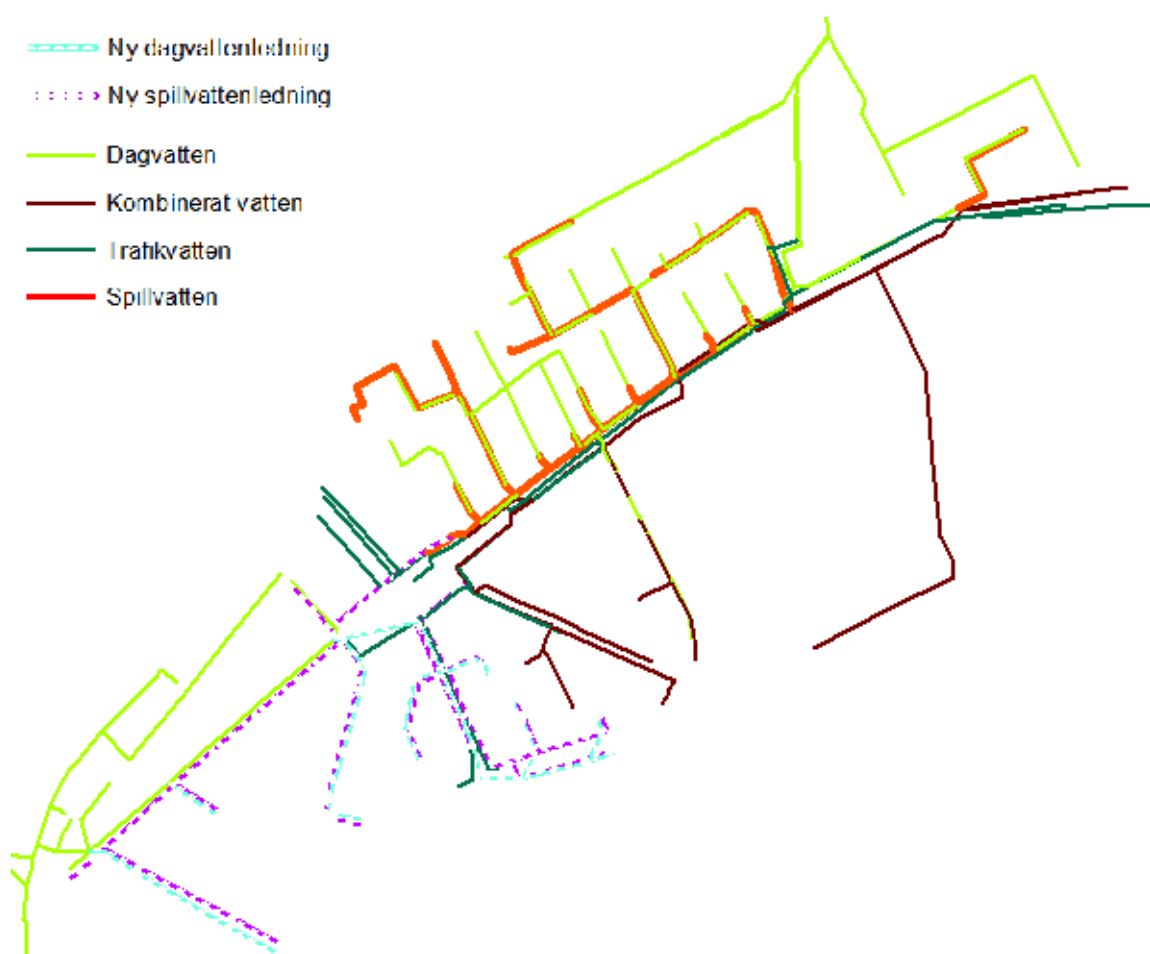
Avrinningsområde 5 (Av5) mot Brunnsviken



Figur 27: Separering av Av5 där det rena dagvattnet leds öst mot L-magasinet och Brunnsviken.

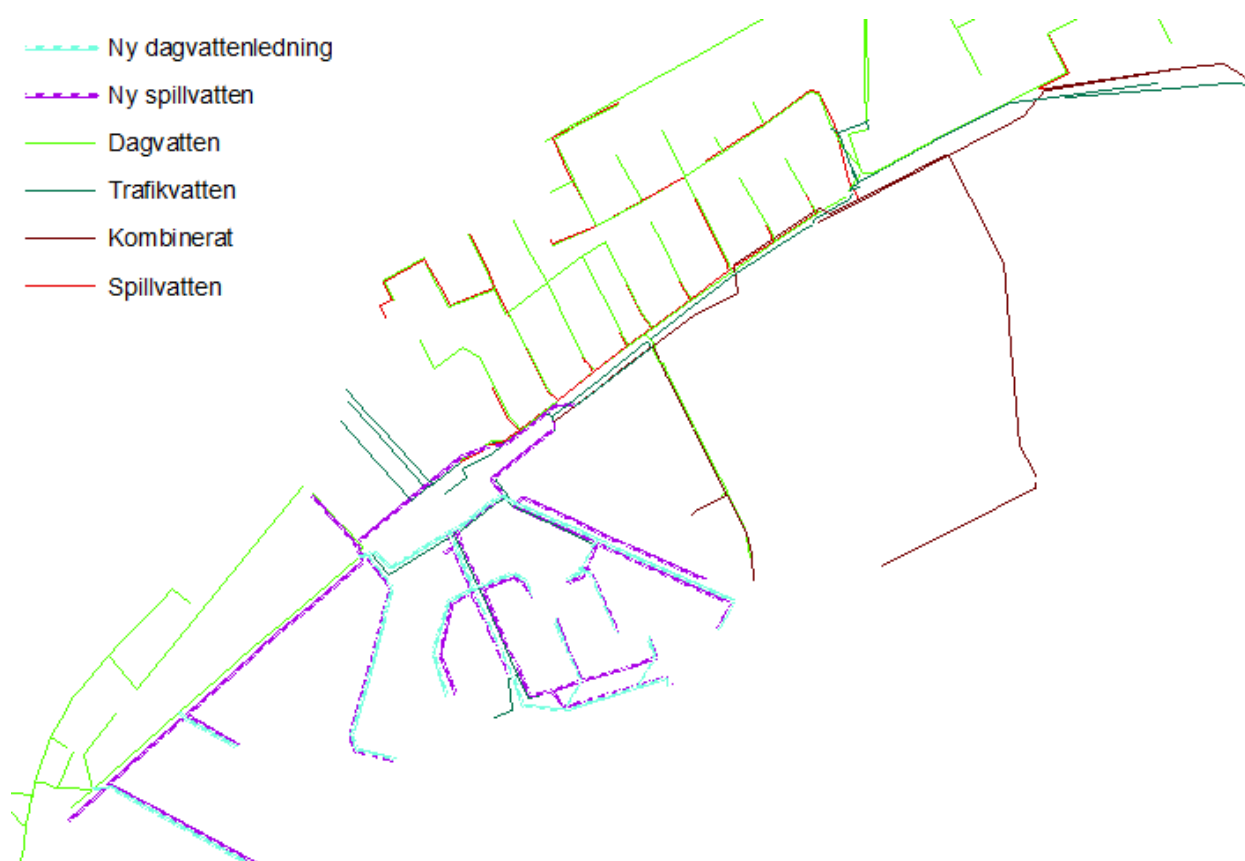
8.2.2 Kombinationer av avrinningsområden

Av1 och 2 mot Karlbergssjön



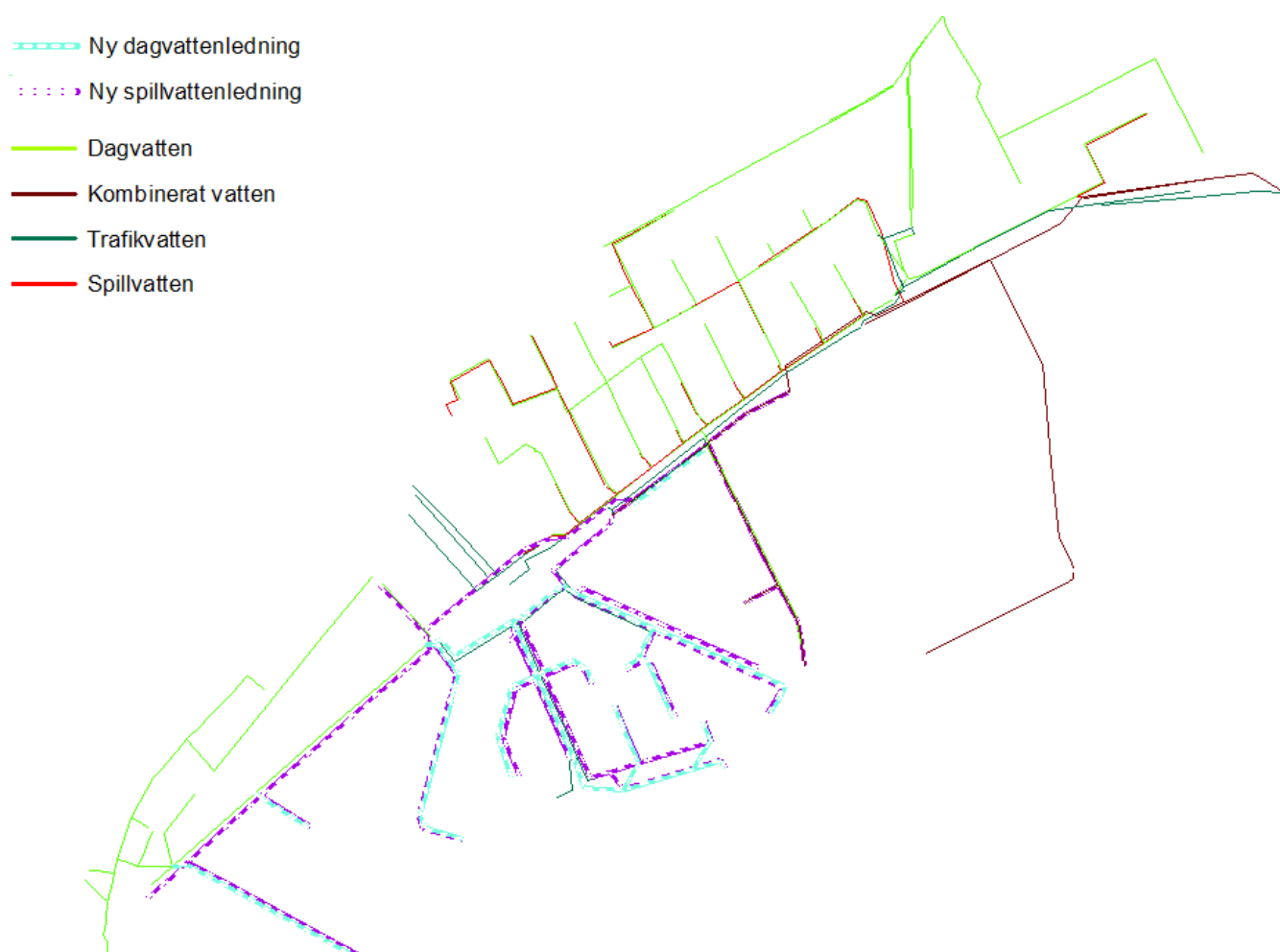
Figur 28: Separeing av Av1 Västra kvarteret och Av2 Centrala kvarteret där dagvattnet leds väst mot Karlbergssjön.

Av1, Av2 och Av3 mot Karlbergssjön



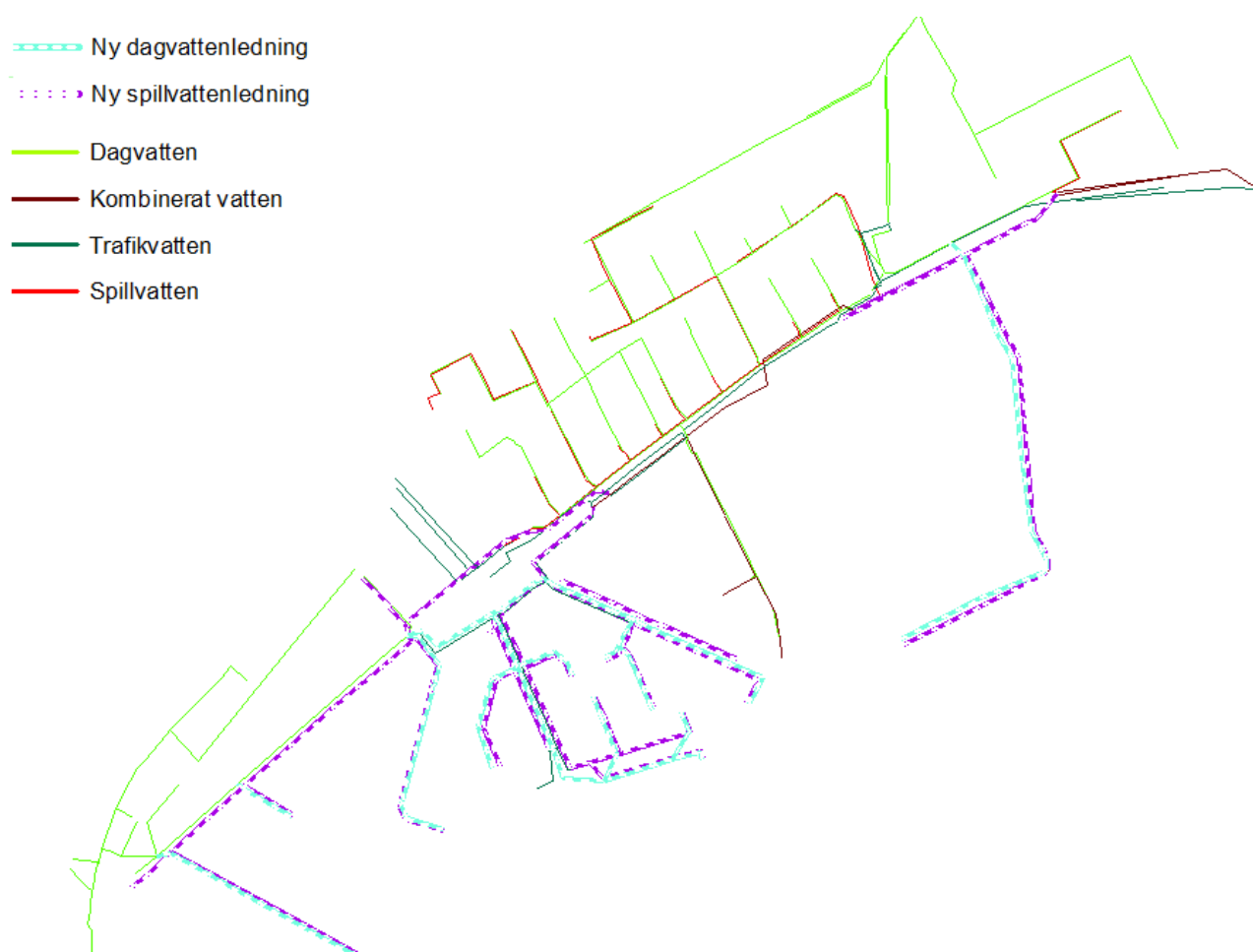
Figur 29: *Separeing av Av1, Av2 och Av3 där dagvattnet leds väst mot Karlbergssjön.*

Av1, Av2 och Av3 mot Karlbergssjön och Av4 mot Brunnsviken



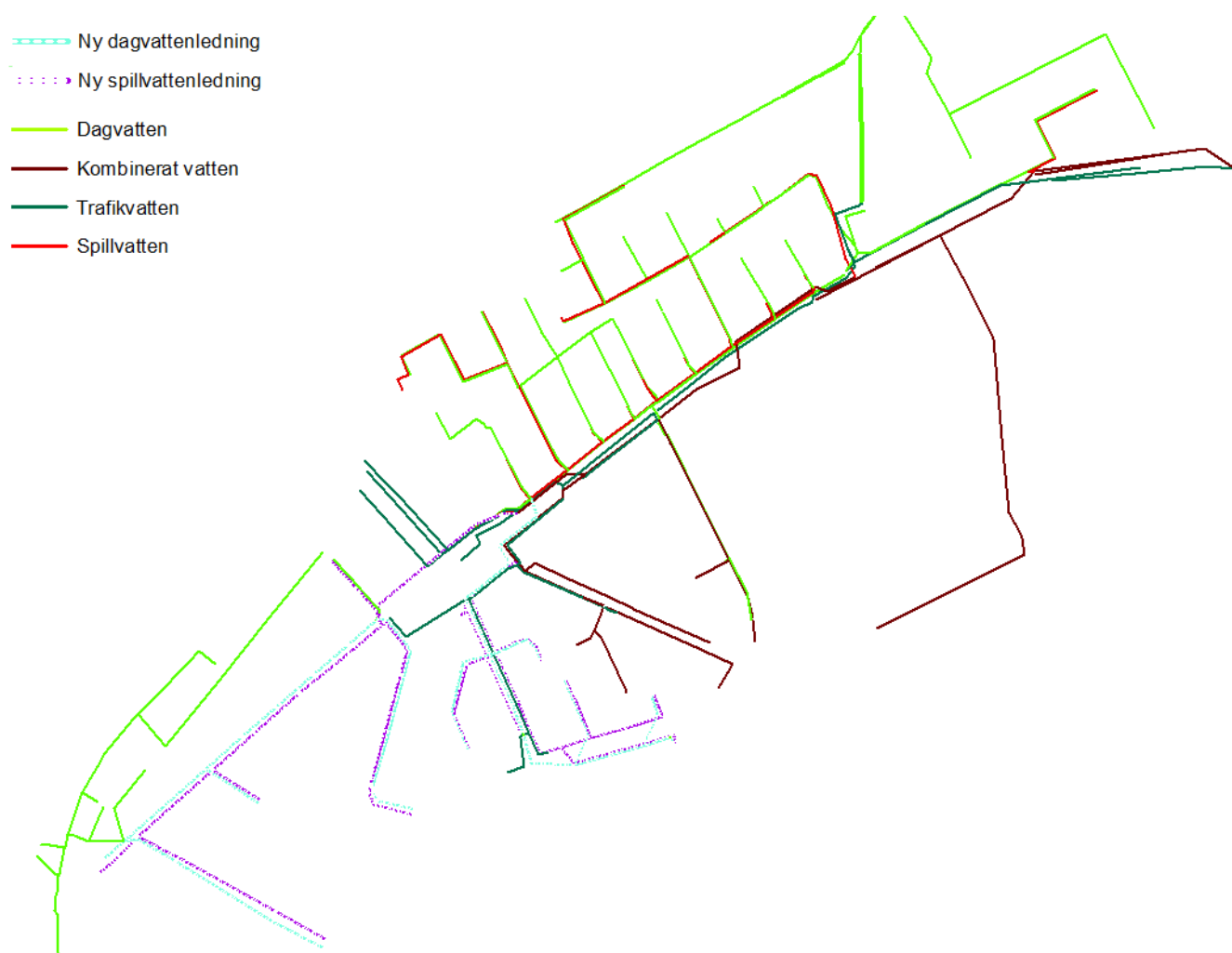
Figur 30: *Separeing av Av1, Av2 och Av3 där dagvattnet leds väst mot Karlbergssjön och Av4 öst via L-magasinet mot Brunnsviken.*

Av1, Av2 och Av3 mot Karlbergssjön och Av5 mot Brunnsviken



Figur 31: Separeing av Av1, Av2 och Av3 där dagvattnet leds väst mot Karlbergssjön och Av5 mot Brunnsviken via L-magasinet.

Av1 mot Karlbergssjön och Av2 mot Brunnsviken



Figur 32: *Separeing av Av1 väst mot Karlbergssjön och Av2 öst mot Brunnsviken via L-magasinet.*

Av1 mot Karlbergssjön och Av2 Av3 mot Brunnsviken



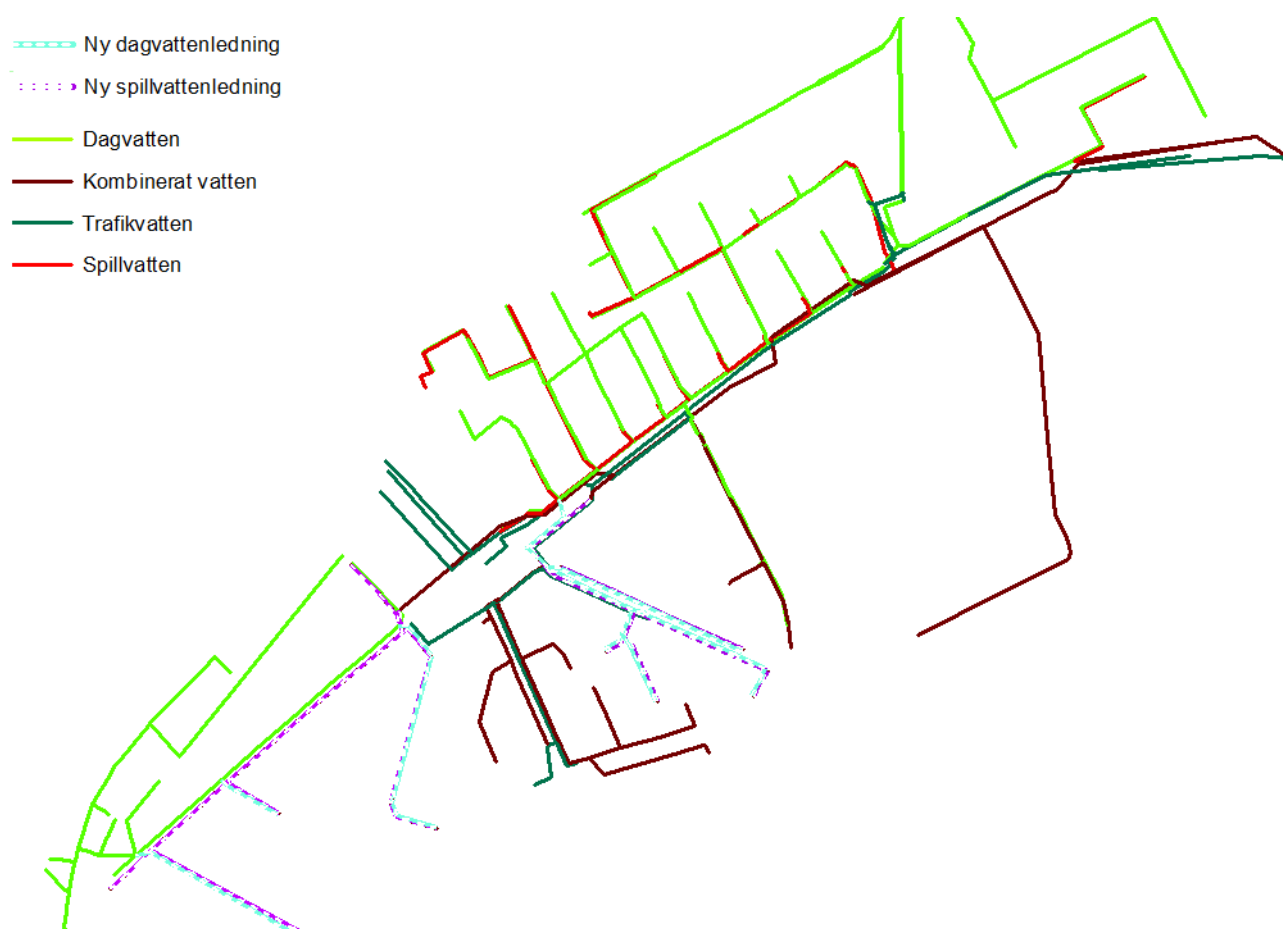
Figur 33: *Separeing av Av1 väst mot Karlbergssjön och Av2 Av3 öst via L-magasinet mot Brunnsviken.*

Av1 mot Karlbergssjön och Av2 Av3 Av4 mot Brunnsviken



Figur 34: Separeing av Av1 väst mot Karlbergssjön och Av2 Av3 Av4 öst via L-magasinet mot Brunnsviken.

Av1 mot Karlbergssjön och Av3 mot Brunnsviken



Figur 35: Separering av Av1 väst mot Karlbergssjön och Av3 öst via L-magasinet mot Brunnsviken.

Av1 Av2 Av3 mot Karlbergssjön, Av4 mot Brunnsviken nordöst och Av5 mot Brunnsviken nordväst



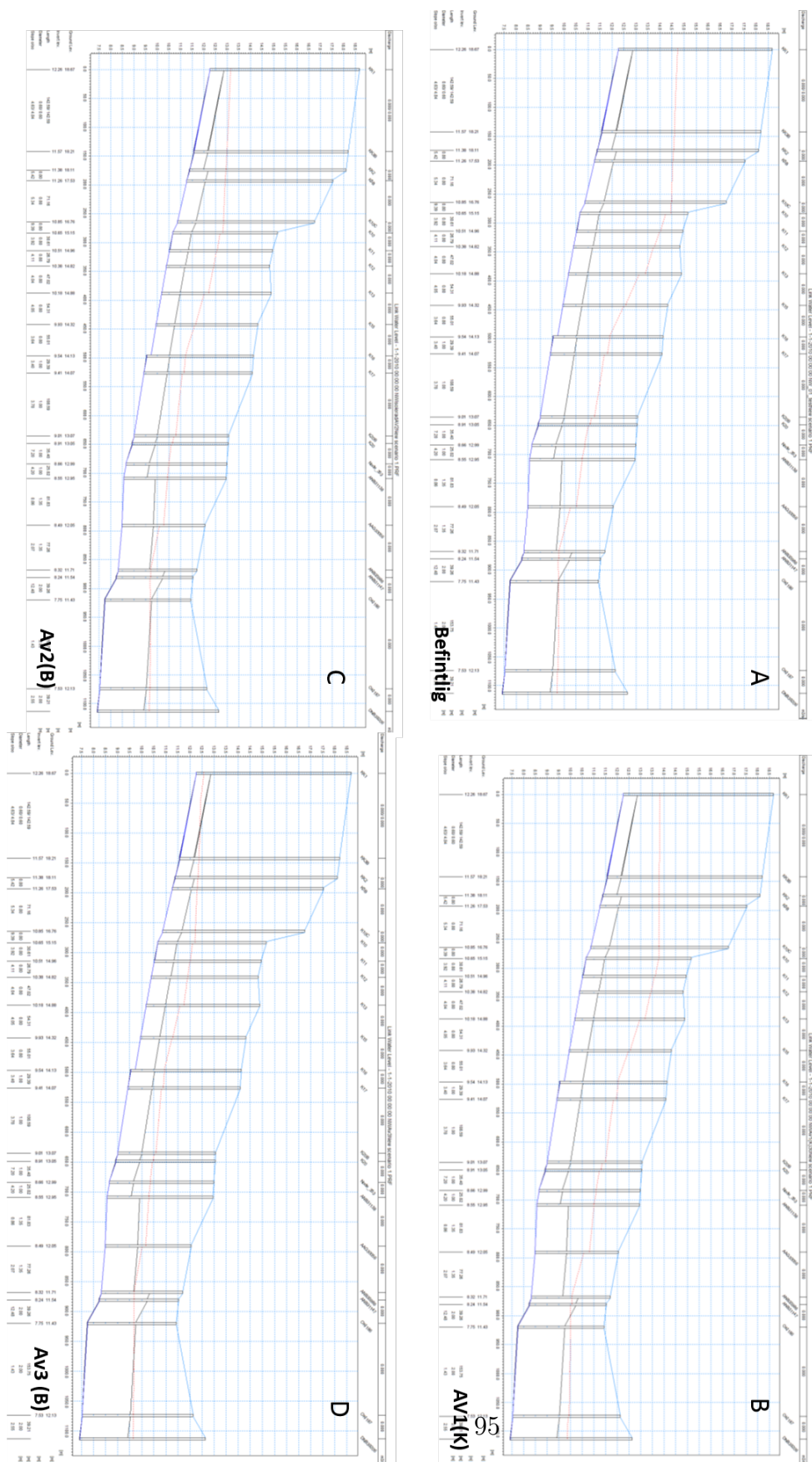
Figur 36: Separeing av Av1 Av2 Av3 väst mot Karlbergssjön, Av4 mot Brunnsviken via L-magasinet och Av5 Nordväst via bräddavloppet för rörmagasinet.

Av1 Av2 Av3 mot Karlbergssjön, Av4 Av5 mot Brunnsviken nordöst via bräddavloppet för rörmagasin

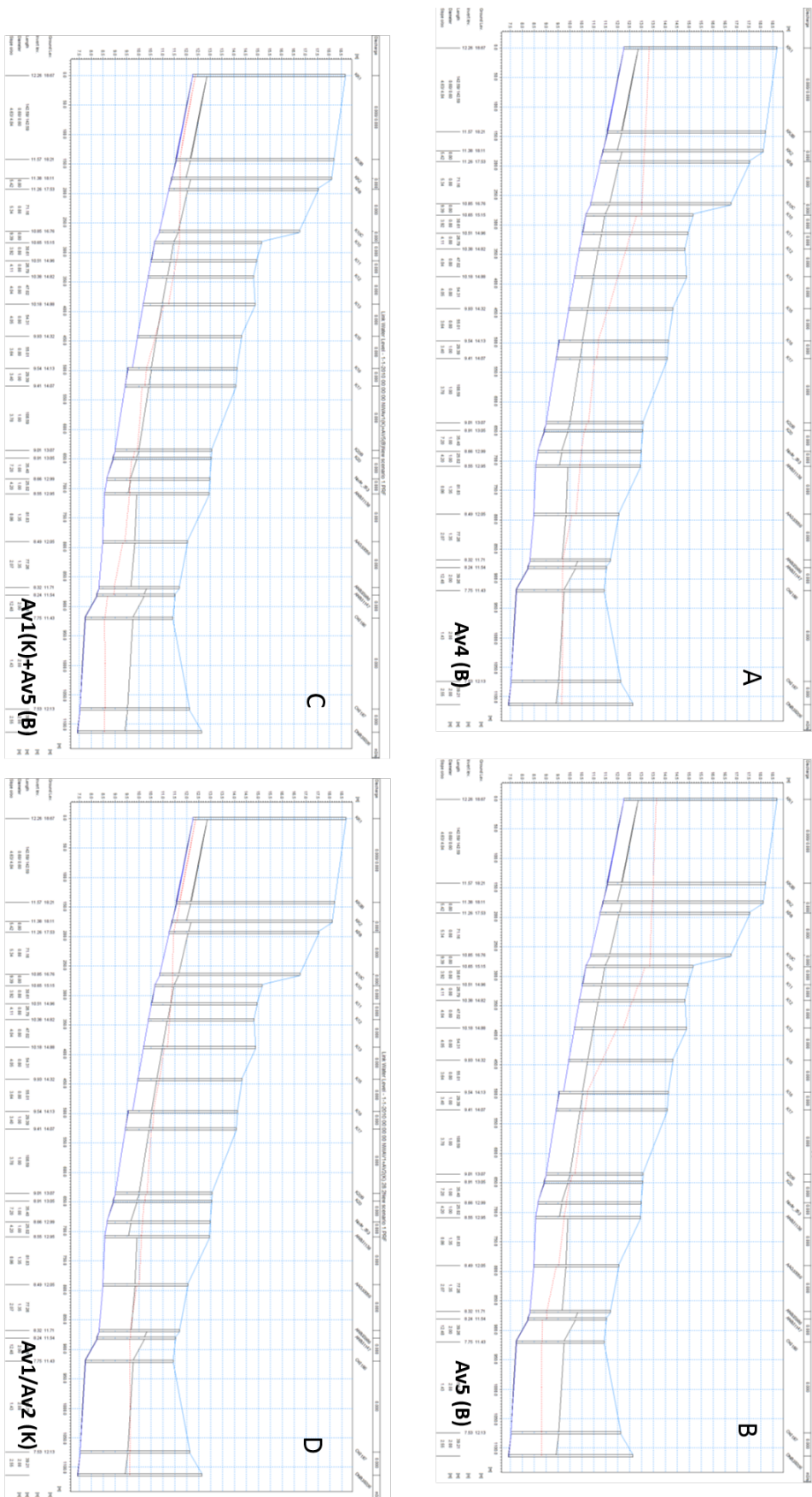


Figur 37: Separeing av Av1 Av2 Av3 väst mot Karlbergssjön och Av4 Av5 Nordöst via bräddavloppet för rörmagasin.

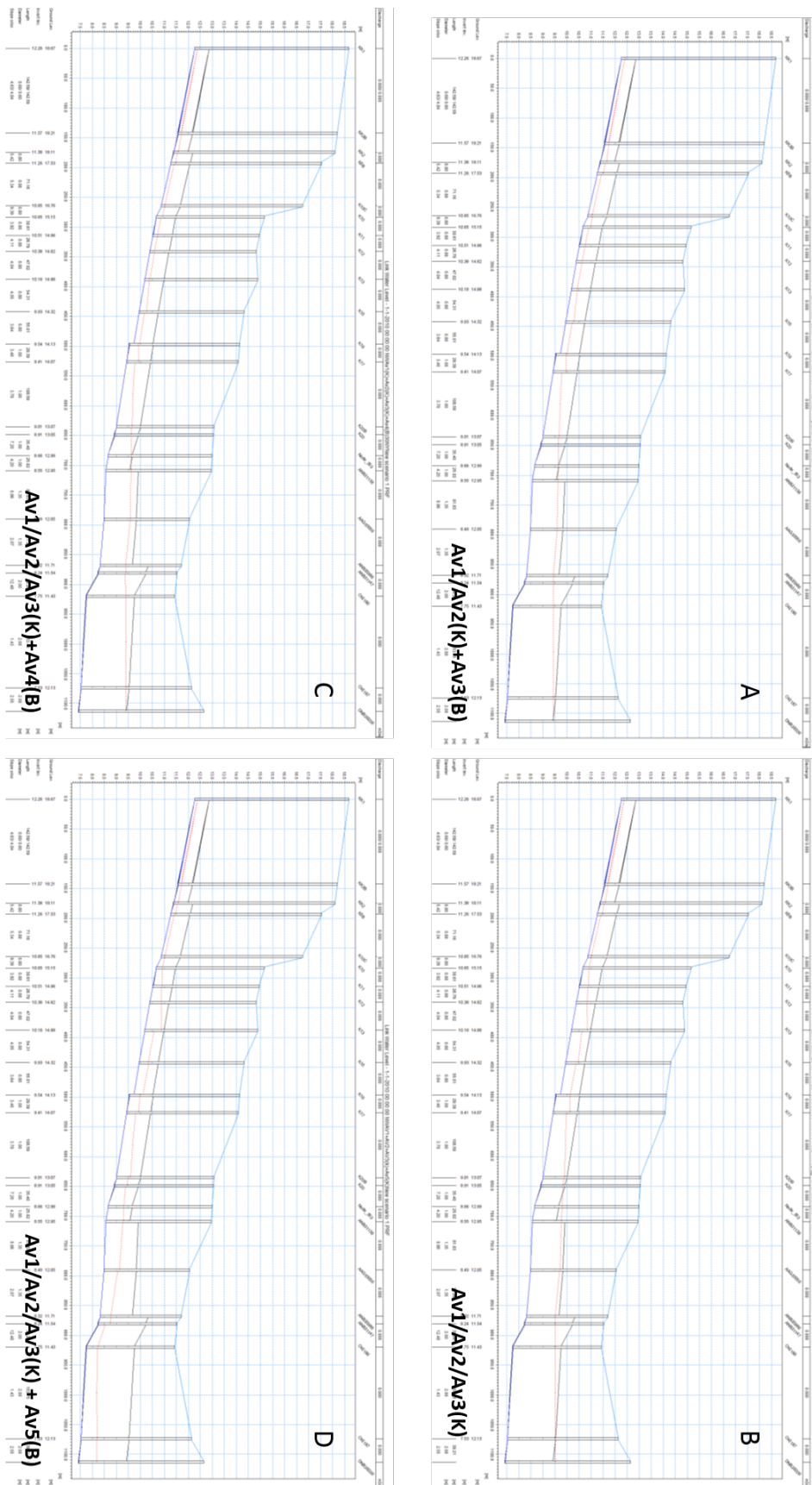
8.3 Bilaga 3, Tryckprofiler över Norra Stationsgatan



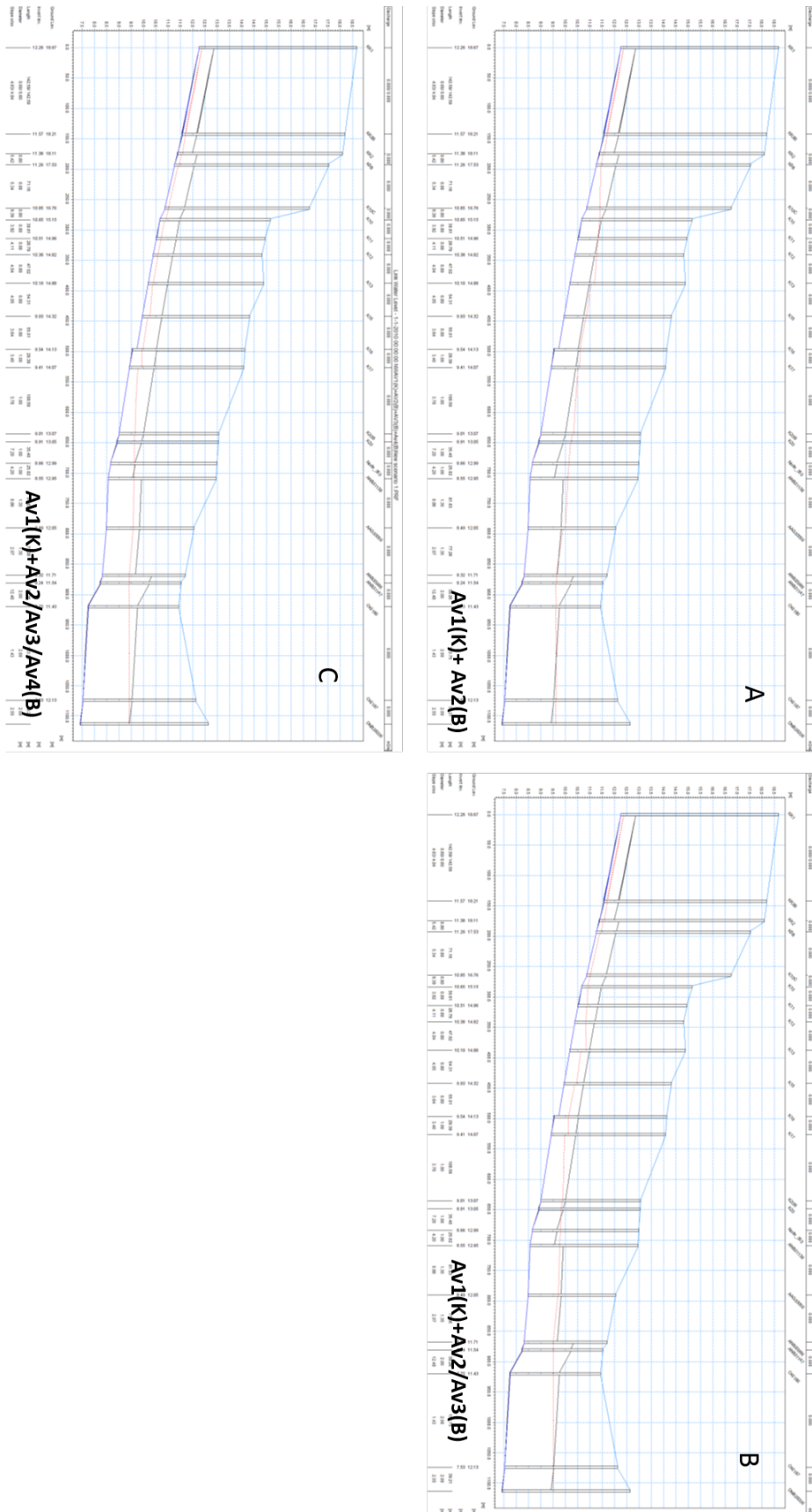
Figur 38: Tryckprofil för de kombinerade ledningarna längs Norra Stationsgatan för nollscenariet samt separeringarna Av1(K), Av2(B) och Av3(B), där (K)= Karlbergsjön och (B)= Brunnsviken. Se figur 3 för förklaring av bild.



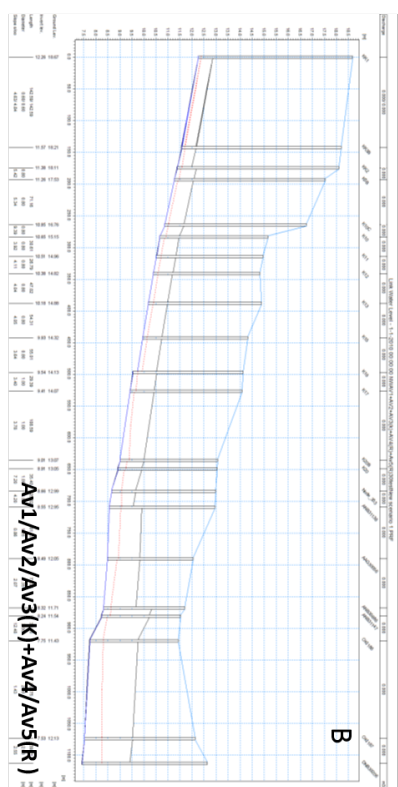
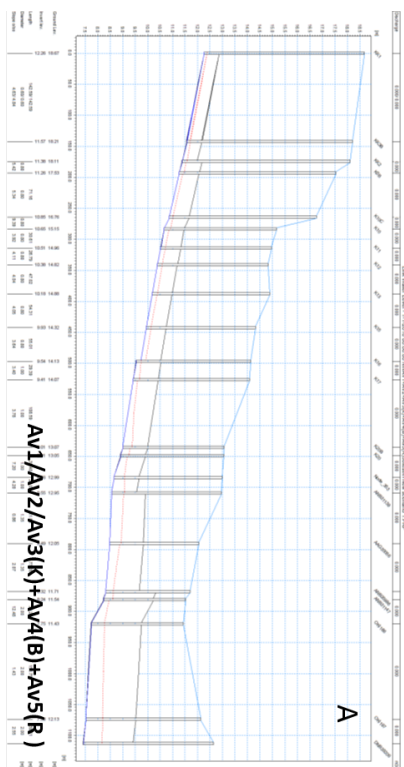
Figur 39: Tryckprofil för de kombinerade ledningarna längs Norra Stationsgatan för separeringarna Av4(B), Av5(B), Av1(K)+Av5(B) och Av1/Av2(K), där (K)= Karlbergssjön, (B)= Brunnsviken. Se figur 3 för förklaring av bild.



Figur 40: Tryckprofil för de kombinerade ledningarna längs Norra Stationsgatan för separeringarna $Av1/Av2(K)+Av3(B)$, $Av1/Av2/Av3(K)$, $Av1/Av2/Av3(K)+Av4(B)$ och $Av1/Av2/Av3(K)+Av5(B)$, där (K)= Karlbergssjön och (B)= brunnsviken. Se figur 3 för förklaring av bild.

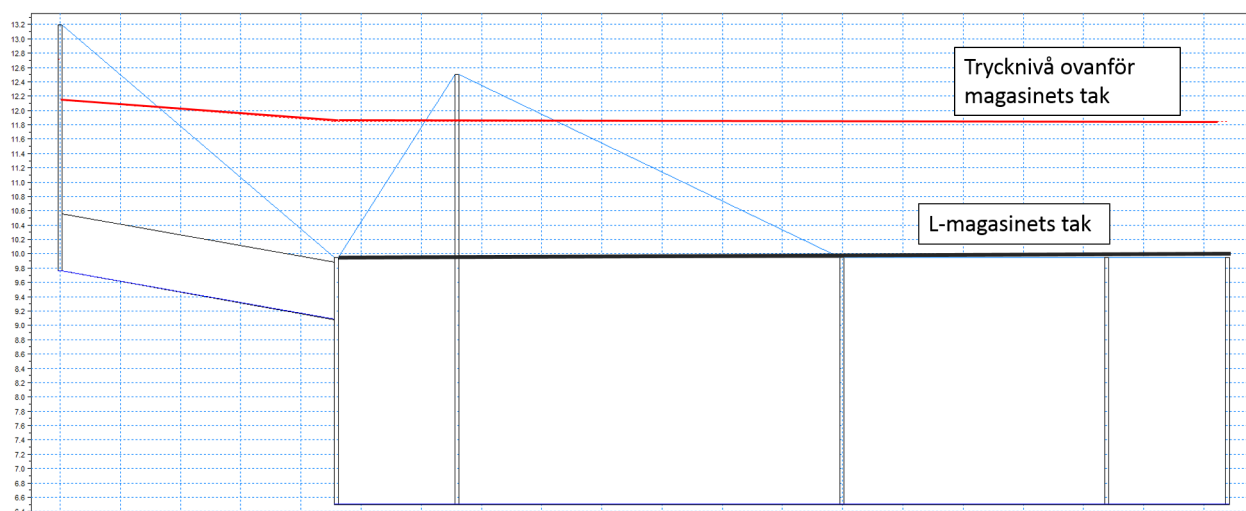


Figur 41: Tryckprofil för de kombinerade ledningarna längs Norra Stationsgatan för separeringarna $Av1(K)+Av2(B)$, $Av1(K)+Av2/Av3(B)$ och $Av1(K)+Av1/Av2/Av3/Av4(B)$, (K)= Karlbergssjön och (B)=Brunnsviken. Se figur 3 för förklaring av bild.

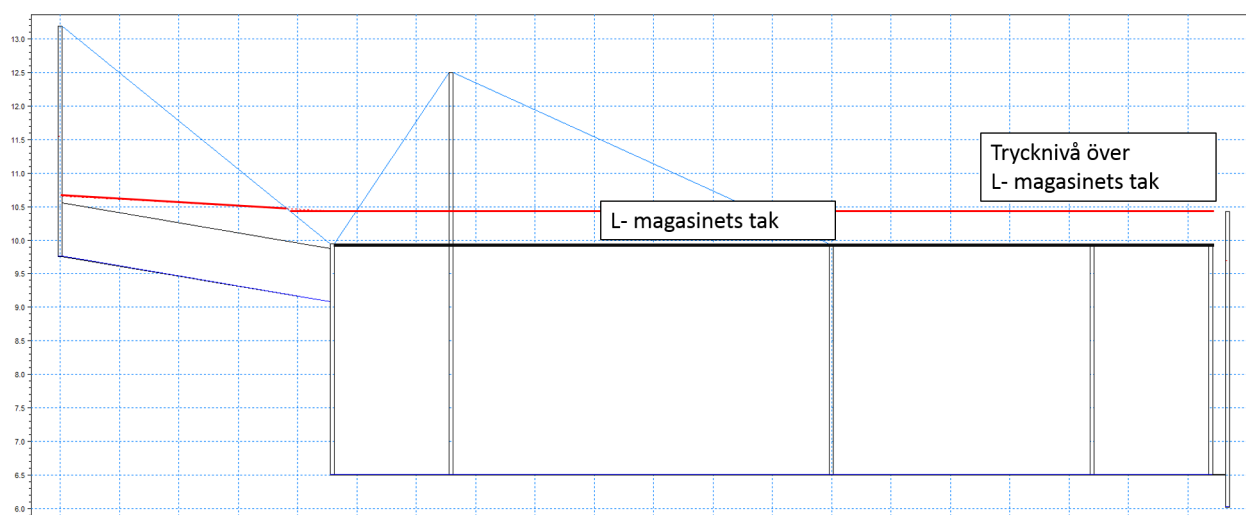


Figur 42: Tryckprofil för de kombinerade ledningarna längs Norra Stationsgatan för separeringarna $Av1/Av2/AV3(K)+Av4(B)+Av5(R)$ och $Av1/Av2/Av3(K)+Av4/Av5(R)$, (K)=Karlbergssjön, (B) Brunnsviken via L-magasin och (R)= Brunnsviken via rörmagasinet. Se figur 3 för förklaring av bild.

8.4 Bilaga 4, L-magasin



Figur 43: Trycknivån i L-magasinets när Av5 separeras och dess dagvatten leds till Brunnsviken via L-magasinets.



Figur 44: Trycknivån i L-magasinets när Av2, Av3 och Av4 separeras och dess dagvatten leds till brunnsviken via L-magasinets.

8.5 Bilaga 5, Föroreningsbelastning

Tabell 29: Föroreningshalt [kg/år] till Karlbergssjön med och utan biofilter. Det ljusgråa partiet representerar avrinningen innan applicering av biofilter och den mörkgråa med biofilter. Färgerna på biofiltretsreningsgrad visar hur statistiskt säkert värdena är där rosa rutor är lägst. De mörkröda rutorna visar de värden som överstiger gränsvärdena. Gränsvärdena beräknades av StormTac.

Föroreningsbelastning till Karlbergssjön kg/år utan och men biofilter										
	Nollscenariet	Av1	Av1/Av2	Av1/Av2/Av3	Gränsvärde	Nollscenario	Av1	Av1/Av2	Av1/Av2/Av3	Reningsgrad
Fosfor	4,1	7,3	9,3	11	11	1,2	2,3	2,9	3,4	71
Kväve	32	55	69	81	240	16	28	35	42	56
Bly	0,32	0,48	0,59	0,67	2,9	0,035	0,063	0,08	0,095	87
Koppar	0,52	0,84	1	1,2	0,68	0,12	0,22	0,28	0,33	76
Zink	2	3,3	4,1	4,8	14	0,27	0,46	0,57	0,67	88
Kadmium	0,013	0,021	0,026	0,031	0,17	0,0016	0,0028	0,034	0,0041	87
Krom	0,18	0,27	0,33	0,38	3,4	0,074	0,12	0,14	0,16	60
Nickel	0,15	0,24	0,3	0,36	0,95	0,026	0,048	0,061	0,073	82
Kvicksilver	0,0015	0,0017	0,0019	0,002	-	0,00063	0,00073	0,00079	0,00085	62
SS	1600	2300	2700	3100	15000	220	440	260	670	81
Olja	23	29	33	37	150000	6,1	7,8	8,9	9,8	75
PAH16	0,01	0,02	0,026	0,031	-	0,0015	0,0024	0,003	0,0035	90
BaP	0,0015	0,0023	0,0028	0,0032	0,000041	0,00015	0,00023	0,00028	0,00033	90

Tabell 30: Föroreningshalt kg/år till Karlbergssjön med och utan dagvattendammar. Det ljusgråa partiet representerar avrinningen innan applicering av biofilter och den mörkgråa med biofilter. Färgerna på dammarnas reningsgrad visar hur statistiskt säkert värdena är där de rosa rutorna är lägst. De röda rutorna visar de värden som överstiger gränsvärdena. Gränsvärdena beräknades av StormTac.

Föroreningsbelastning kg/år till Karlbergssjön utan och med dagvattendammar										
	Nollscenariet	Av1	Av1/Av2	Av1/Av2/Av3	Gränsvärde	Nollscenario	Av1	Av1/Av2	Av1/Av2/Av3	Reningsgrad
Fosfor	4,1	7,3	9,3	11	11	2	3,6	5,4	5	55
Kväve	32	55	69	81	240	27	47	70	59	27
Bly	0,32	0,48	0,59	0,67	2,9	0,11	0,17	0,24	0,19	71
Koppar	0,52	0,84	1	1,2	0,68	0,24	0,41	0,6	0,48	60
Zink	2	3,3	4,1	4,8	14	0,86	1,4	2	1,58	67
Kadmium	0,013	0,021	0,026	0,031	0,17	0,0066	0,011	0,016	0,01	52
Krom	0,18	0,27	0,33	0,38	3,4	0,046	0,076	0,11	0,09	77
Nickel	0,15	0,24	0,3	0,36	0,95	0,072	0,12	0,18	0,15	58
Kvicksilver	0,0015	0,0017	0,0019	0,002	-	0,001	0,0012	0,0014	0,00	38
SS	1600	2300	2700	3100	15000	340	630	940	620	80
Olja	23	29	33	37	150000	3,6	4,6	5,8	5,6	85
PAH16	0,01	0,02	0,026	0,031	-	0,0033	0,0057	0,0085	0,0068	78
BaP	0,0015	0,0023	0,0028	0,0032	0,000041	0,0004	0,0006	0,0008	0,0007	78

Tabell 31: *Föroreningsbelsatningen [kg/år] från avrinningsområdena där alla scenarion utom Av4/Av5 leds genom L-magasinet. Värdena för nollscenariets belastning samt den procentuella reningsgraden som har beräknats fram är baserad på belastningar och reduktion från tidigare utredningar. % rening av L-magasin är de reningsgrader för L-magasinet som har beräknats för de olika föroreningarna.*

Föroreningsbelastning kg/år till Brunnsviken från avrinningsområden

	Nollscenariet	Av2	Av3	Av4	Av5	Av2/Av3	Av2/Av3/Av4	Av4/Av5	% rening av L-magasin	Gränsvärde
Fosfor	12	13,5	13,5	12,8	21,75	15	15,8	30	25	490
Kväve	150	141	141	131	206	150	159	230	6,3	10000
Bly	0,6	0,7	0,7	0,7	1,1	0,78	0,84	1,9	40	70
koppar	2	1,6	1,5	1,5	2,5	1,7	1,9	3,9	33	25
Zink	5	3,99	3,95	3,8	5,9	4,2	4,6	15	58	480
Kadmium	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,32	0,04	0,08	33	5
Krom	0,5	0,4	0,35	0,38	0,73	0,46	0,5	1,3	44	27
Nickel	0,4	0,42	0,42	0,39	0,67	0,47	0,5	1,1	33	20
SS	3200	3249	3249	3078	5130	3648	3819	9300	43	480000
Olja	61	38	38	36	60	43	45	93	33	6000000