



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 19 005

Examensarbete 30 hp
Januari 2019

Dimensioneringsförutsättningar för spillvattennät i nybyggda småhusområden

En fallstudie i Lindbacken

Sofie Boman

REFERAT

Dimensioneringsförutsättningar för spillvattennät i nybyggda småhusområden – en fallstudie i Lindbacken

Sofie Boman

Spillvatten är förorenat vatten från hushåll, allmänna verksamheter och industrier. I bostadsområden har kommunen enligt *Lagen om allmänna vattentjänster* ett ansvar att ordna med avlopp för att skydda människors hälsa eller miljön. För att se till att detta uppfylls har branchorganisationen Svenskt Vatten tagit fram riktlinjer för dimensionering av spillvattenförande system. Dimensioneringen grundar sig på det sannolikt högsta flödet under en tidsperiod, vilket beräknas baserat på specifik spillvattenavrinning, antal anslutna personer, en maxdygnsfaktor och en maxtimfaktor. Maxfaktorerna har i en tidigare studie visat sig ligga onödigt högt. Detta skulle kunna medföra att systemen dimensioneras större än nödvändigt. Spillvattensystem dimensioneras i ett tidigt skede då alla förutsättningar inte kända. Då Mälardalen växer kraftigt och förtätningar i nybyggda småhusområden inte är ovanliga skulle denna överdimensionering kunna möjliggöra att fler hushåll än vad som planerats för kan anslutas till spillvattennätet utan att systemet behöver dimensioneras upp.

Syftet med examensarbetet var att undersökta förutsättningarna för dimensionering av spillvattennät i nybyggda småhusområden. Detta gjordes genom att analysera spillvattenflödet i Lindbacken utanför Uppsala. Specifika spillvattenavrinningen beräknades utifrån uppmätta flöden och utifrån de uppmätta flödena tillsammans med frekvensanalyser predikterades även det sannolikt högsta dygns- respektive timflödet under ett år för att ta fram nya maxdygnsfaktorer och maxtimfaktorer.

Specifika spillvattenavrinningen beräknades till 114 (110-118) liter per person och dag, vilket är lägre än vad som rekommenderas i Svenskt Vattens riktlinjer. Maxdygnsfaktorerna som beräknades låg i intervallet 1,7–2,3 och maxtimfaktorerna i intervallet 1,9–3,2. För maxdygnsfaktorn sammanfaller intervallet med Svenskt Vattens rekommenderade värden. Maxtimfaktorn sammanfaller till viss del med Svenskt Vattens värden, men högsta värdet är något högre. Schablonvärdena i Svenskt Vattens riktlinjer verkar därmed lämpliga att använda i det studerade nybyggda småhusområdet. Eventuellt bör maxtimfaktorn väljas något högre än det rekommenderade intervallet.

En utvärdering av dimensioneringen som gjordes 2010 för det studerade området visade att den största osäkerheten vid beräkning av det dimensionerande flödet ligger i skattningen av antalet anslutna personer. Dessutom visades att systemen inte dimensioneras större än nödvändigt och att den stora ökningen i antalet anslutna personer kan istället medföra att systemet underdimensioneras.

Nyckelord: spillvatten, dimensionering, maxdygnsfaktor, maxtimfaktor, specifik spillvattenavrinning, småhus

ABSTRACT

Sanitary Sewer Design in New Build Residential Areas – a Case Study in Lindbacken

Sofie Boman

According to Swedish law, sewage flow from a community must be properly taken care of to prevent negative effects on human health or the environment. For this purpose, the organization Swedish Water & Wastewater Association (SWWA), has established recommendations and guidelines for designing sewage systems. Design of sewers is based on the most critical flow rates, which focuses on annual peak flow rates. The peak flow is estimated based on an average flow, the size of the population, and daily and hourly peak flow factors. A previous study has shown that the peak flow factors recommended by SWWA might be unnecessarily high, which could lead to an over dimensioned system. The design process takes place at a very early stage, and rough calculations are made to determine the capacity for the system. Mälardalen is an expanding region in Sweden, which grows very fast. Thus, if the existing sewer have a higher capacity than needed, the population and the number of houses could be safely increased without having to change dimension of the sewage pipes.

The conditions for the design of sanitary sewers in newly built residential areas were investigated by analyzing the sewage flow in Lindbacken, Uppsala. The mean daily flow was calculated from measured flow rates. The maximum daily and hourly flow within a year were predicted using frequency analysis. Based on the result from the frequency analysis, daily and hourly peak flow factors were calculated for a return period of one year.

The mean daily flow was 114 (110-118) liters per person per day, which is lower than in the guidelines. The daily peak flow factor was in the range 1.7-2.3 and the hourly peak flow factor in the range 1.9-3.2. For the daily factor, the range overlaps with the values recommended by SWWA. The hourly factor coincides to some extent with the values by SWWA, but the highest value was outside the range. Thus, the values recommended in the guidelines by SWWA are suitable to apply in the studied newly built residential area. The maximum factor should possibly be chosen slightly higher than the recommended range.

An assessment of the design made in 2010 for the study area showed that the greatest uncertainty lies in the estimation of the population. In addition, it was found that the system was not dimensioned larger than necessary, and that the increase in the number of buildings could cause the system to be under dimensioned.

Key words: sewers, sanitary sewage flow, design flow factors, peak flow factors, daily peak flow factor, hourly peak flow factor

FÖRORD

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng och avslutar fem års studier vid civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet har utförts i samarbete med WSP i Uppsala.Handledare var Kristina Wilén och Susanna Ciuk Karlsson. Ämnesgranskare var Thomas Grabs och examinator var Mattias Winterdahl, båda vid Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala universitet.

Jag vill först och främst tacka mina handledare Kristina och Susanna på WSP samt min ämnesgranskare Thomas Grabs för hjälp, stöttning och givande diskussioner genom hela projektet. Jag vill även tacka inblandade på Uppsala Vatten som bidragit med mätdata och intressanta diskussioner. Jag vill även rikta ett stort tack till övriga medarbetare på WSP i Uppsala för att ha välkomnat mig och fått mig att känna mig som hemma på kontoret. Till sist vill jag även rikta ett tack till min familj och mina vänner som varit ett stort stöd under hela min studietid.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Spillvatten är förorenat vatten från hushåll, allmänna verksamheter, så som skolor och affärer, samt industrier. Det mesta av vattnet som används inomhus bildar spillvatten, och kan komma från toalett, dusch, tvätt och disk. För områden med fler än 20 fastigheter har kommunen ett ansvar att ta hand om spillvattnet för att inte negativa konsekvenser ska uppstå för människors hälsa eller för miljön. Spillvattnet leds bort från en fastighet i en ledning som går vidare till ett avloppsreningsverk. För att se till att ledningarna kan transportera bort allt spillvatten från ett område är det viktigt att de dimensioneras rätt, det vill säga att rätt storlek på ledningarna väljs. För att säkerställa detta finns riktlinjer framtagna av Svenskt Vatten, som är en branschorganisation för Sveriges organisationer inom vatten och avlopp. Ledningsstorleken på spillvattenledningar väljs efter det största flödet som rimligtvis kan uppstå. Detta flöde beräknas baserat på hur mycket vatten en person i snitt gör av med per dygn och hur många personer som bor i området. För att ta hänsyn till att det inte förbrukas lika mycket vatten under dygnets alla timmar justeras flödet med en maxdygnsfaktor och en maxtimfaktor för att få ut det högsta flödet. En tidigare studie kom fram till att maxdygnsfaktorn och maxtimfaktorn kan vara onödigt högt satta i riktlinjerna. För höga faktorer kan leda till att det största flödet överskattas och att ledningarna som läggs blir större än de behöver vara.

Mälardalen i Sverige växer för närvarande kraftigt och det är många som vill flytta till villa eller radhus. Spillvattenledningarna läggs i ett tidigt skede då det ofta inte är bestämt hur många bostäder som ska byggas inom ett område. I många nybyggda områden byggs fler bostäder än vad som var tänkt från början och det är viktigt att spillvattenflödet inte blir för stort för ledningarna. Om flödet blir för högt finns risk för översvämning. Om ledningarna läggs större än de behöver kan det ge möjligheten att bygga fler hus än vad systemet från början var planerat för utan att behöva gräva upp och byta till en större ledning. För att detta ska vara möjligt är det däremot viktigt att veta hur förhållandena i området ser ut.

För att undersöka hur förutsättningarna för dimensionering av spillvattenledningar ser ut i nybyggda villaområden mättes spillvattenflödet i Lindbacken utanför Uppsala. Specifika spillvattenavrinningen, det vill säga hur mycket vatten en person i snitt gör av med under ett dygn beräknades utifrån de uppmätta flödena. För att beräkna maxdygnsfaktorn och maxtimfaktorn uppskattades det sannolikt högsta dygns- respektive timflödet genom att använda de uppmätta flödena och metoder som bygger på statistik.

Specifika spillvattenavrinningen beräknades till 114 (110-118) liter per person och dag, vilket är lägre än vad som rekommenderas i Svenskt Vattens riktlinjer. Maxdygnsfaktorerna låg inom intervallet som rekommenderas i Svenskt Vattens riktlinjer, medan maxtimfaktorn till viss del låg lite högre. Detta visar att de rekommenderade värdena passar bra att använda i nybyggda områden. Eventuellt bör maxtimfaktorn väljas lite högre än vad Svenskt Vatten rekommenderat.

En utvärdering av dimensioneringen som gjordes 2010 för det undersökta området visade att den största osäkerheten ligger i skattningen av hur många personer som kommer att bo i området när det är färdigbyggt. Dessutom visades att systemen inte dimensioneras större än nödvändigt, utan att ökningen i antalet personer istället kan medföra att systemet underdimensionerats.

ORDLISTA

Avloppsvatten	Samlingsnamn för spillvatten, dagvatten och dränvatten.
CDF	(Kumulativ) fördelningsfunktion (eng. Cumulative Distribution Function). Definieras som $F(x) = P(X \leq x_T)$ för $-\infty < x_T < \infty$.
Dagvatten	Vatten som tillfälligt rinner på markytan eller hårdgjorda ytor.
Dimensionerade flöde	Största flödet en ledning ska kunna avleda utan att olägenheter uppstår. I detta arbete har ett år använts som tidsperiod för största sannolika flöde.
Dränvatten	Vatten som kommer från avvattning av mark.
Flerbostadshus	Hus med tre eller fler bostadslägenheter. Inkluderar inte radhus eller kedjehus.
Matlab	Datorprogram och programspråk för matematiska och tekniska beräkningar.
Maxdygnsfaktor	Förhållandet mellan det maximala dygnsflödet och medeldygnsflödet, i detta arbete under tidsperioden ett år.
Maxtimfaktor	Förhållandet mellan det högsta timflödet och medeltimflödet under ett årsmedeldygn.
Medeldygnflöde	Det totala spillvattenflödet under en period dividerat på antalet dygn under perioden.
Mindygnsfaktor	Förhållandet mellan det minimala dygnsflödet och medeldygnsflödet under en period.
P90/P110	Publikationer från Svenskt Vatten med funktionskrav och dimensioneringsanvisningar för dag-, drän- och spillvatten. P110 (2016) är en genomgripande omarbetning av P90 (2004).
Personekvivalent	Beskriver belastningen från allmän verksamhet och industri. Beräknas genom att dividera det totala flödet (liter/dygn) med ett antaget specifikt flöde per person (liter/person/dygn).
Småhus	Friliggande hus med en eller två bostäder, radhus eller kedjehus.
Specifik spillvattenavrinning	Kvoten mellan medeldygnsavrinning och antal anslutna personer eller areal. Uttrycks vanligen i liter/person/dygn eller liter/sekund/hektar.
Spillvatten	Förorenat vatten från hushåll, industrier och allmänna verksamheter.

Svenskt Vatten	Branschorganisation för Sveriges VA-organisationer.
Tillskottsvatten	Oönskat vatten i spillvattennätet. Kan komma från felkopplade dag- och dränvattenledningar eller vara vatten som läcker in i otäta ledningar.
Uteliggare	Inom statistik en benämning för ett avvikande värde. Eng. outlier
VA	Vatten och avlopp.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

REFERAT	i
ABSTRACT	ii
FÖRORD.....	iii
POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING.....	iv
ORDLISTA	v
1. INLEDNING	1
1.1 SYFTE.....	1
1.1.1 Frågeställningar.....	1
1.1.2 Avgränsningar	2
2. SPILLVATTENFÖRANDE SYSTEM.....	3
2.1 DIMENSIONERANDE FLÖDEN	4
2.1.1 Spillvattenflöde	4
2.1.2 Dimensionerande spillvattenflöde.....	6
2.1.3 Dimensionerande flöde	7
2.2 HYDRAULISK DIMENSIONERING.....	8
2.2.1 Självremsning och minimilutning	9
2.3 PUMPSTATIONER	10
3. METOD OCH MATERIAL.....	11
3.1 DATA	11
3.1.1 Områdesbeskrivning.....	11
3.1.2 Flödesdata.....	13
3.2 ANALYS AV FLÖDESDATA OCH FLÖDESVARIATIONER	15
3.2.1 Flödesvariationer	16
3.2.2 Specifik spillvattenavrinning.....	16

3.2.3	Skattning av högsta flöde	16
3.3	BERÄKNING AV MAXFAKTORER	18
3.3.1	Maxdygnsfaktor	18
3.3.2	Maxtimfaktor.....	18
3.3.3	Konfidensintervall	19
3.3.4	Känslighetsindex	19
3.4	DIMENSIONERING OCH UTVÄRDERING	19
3.4.1	Jämförelse av dimensioneringar	19
3.4.2	Framtidsscenario	20
4.	RESULTAT	22
4.1	FLÖDEN OCH FLÖDESVARIATIONER.....	22
4.1.1	Specifik spillvattenavrinning.....	23
4.1.2	Skattning av högsta dygnsflöde.....	23
4.1.3	Skattning av högsta timflöde.....	26
4.2	MAXFAKTORER.....	28
4.2.1	Maxdygnsfaktor	28
4.2.2	Maxtimfaktor.....	28
4.3	DIMENSIONERING OCH UTVÄRDERING	29
4.3.1	Jämförelse av dimensioneringar	29
4.3.2	Framtidsscenario	29
5.	DISKUSSION	31
5.1	FLÖDEN OCH FLÖDESVARIATIONER.....	31
5.1.1	SPECIFIK SPILLVATTENAVRINNING	32
5.2	MAXFAKTORER.....	32
5.2.1	Maxdygnsfaktor	32

5.2.2	Maxtimfaktor.....	33
5.2.3	Osäkerheter.....	33
5.3	DIMENSIONERING OCH UTVÄRDERING	34
5.3.1	Jämförelse av dimensioneringar.....	34
5.3.2	Framtidsscenario	35
5.4	Förslag på fortsatta studier	35
6.	SLUTSATSER.....	37
7.	REFERENSER.....	38
7.1	TRYCKTA KÄLLOR OCH INTERNETREFERENSER	38
7.2	PERSONLIGA MEDDELANDEN.....	39
	APPENDIX A.....	40
	APPENDIX B	41
	APPENDIX C	44
	Sannolikhetsfunktioner för anpassade fördelningar.....	44
	Dygnsflöden	44
	Timflöden.....	45
	Anpassning av fördelningsfunktioner till högsta timflödet för varje dygn	45
	Anpassning av fördelningsfunktioner till samtliga timflöden.....	45
	APPENDIX D.....	46
	APPENDIX E.....	48

1. INLEDNING

Vid dimensionering av spillvattenförande system är rimliga skattningar av det dimensionerande flödet viktigt för att få ett väl fungerande system. Sådana skattningar kan vara svåra att göra då de beror på ett antal olika faktorer: antalet anslutna personer, variationer i spillvattenflödet, samt om det finns några allmänna verksamheter eller industrier i området. VA-planeringen sker i ett tidigt skede då exakta förutsättningar oftast inte är kända och för nybyggda områden kan sådana skattningar därför vara svåra att göra. Ofta används detaljplanen för området som grund för dimensioneringen. Det är dock inte ovanligt att antalet bostäder angivet i detaljplanen skiljer sig åt jämfört med antalet när området är färdigutbyggt, vilket kan leda till att spillvattenflödet underskattats. Hur stora skillnaderna blir beror bland annat på detaljplanens utformning och vilka bestämmelser som satts för bebyggelsen (Elfström, pers. medd., 2017).

Dimensionering av spillvattenledningar sker idag med stöd av Svenskt Vattens publikation P110 från 2016. I denna finns schablonvärden för medelavrinning, maxdygnsfaktor och maxtimfaktor för att skatta dimensionerande flöde. Ullén & Abdu (2014) har funnit att maxdygns- och maxtimfaktorerna tycks vara onödigt högt satta. Studien innefattade större kommuner där bostadsbeståndet var relativt heterogent eller hade en stor andel flerbostadshus. I områden med enhetlig bebyggelse väljs faktorerna högre vid dimensionering. Detta på grund av att många har liknande vanor och därmed använder vatten vid liknande tidpunkter (Lidström, 2013).

Då Mälardalsregionen i Sverige växer kraftigt för närvarande och efterfrågan på boende i småhus är stor görs stora satsningar på nybyggda småhusområden, vilka ofta blir väldigt homogena. Det är därför intressant att undersöka om maxfaktorerna kan anses för högt satta, även i mindre homogena områden, där faktorerna ofta väljs högre vid dimensionering. Om maxfaktorerna visar sig vara överdimensionerande skulle detta kunna ge en extra marginal om antalet bostäder i ett nybyggt område skulle bli fler än vad som planerats för. Detta skulle i så fall kunna möjliggöra att fler hushåll kan anslutas till spillvattennätet utan att någon uppdimensionering behövs.

Lindbacken är en nybyggd stadsdel cirka åtta kilometer nordost om centrala Uppsala. Området består i huvudsak av småhus där samtliga är anslutna till det kommunala VA-nätet. Med tiden har förutsättningarna i området förändrats, framförallt med avseende på att det byggts tätare än vad som först var tänkt och detta väcker frågeställningen om kapaciteten i ledningsnätet kommer att räcka till när området är färdigställt.

1.1 SYFTE

Examensarbetets syfte var att undersöka förutsättningarna för dimensionering av spillvattennät i nybyggda småhusområden genom en fallstudie i Lindbacken. Målet var att ta fram nya värden för specifik spillvattenavrinning, maxdygnsfaktor och maxtimfaktor utifrån uppmätta spillvattenflöden. Dessa jämfördes sedan med Svenskt Vattens schablonvärden. Dessutom undersöktes spillvattennätets kapacitet med avseende på om denna är tillräcklig för att leda bort flödet som förväntas när området är färdigutbyggt.

1.1.1 Frågeställningar

För att uppnå syftet undersöktes följande frågeställningar:

- Är specifika spillvattenavrinningen högre i det studerade området än i Svenskt Vattens riktlinjer?
- Är schablonvärdena för maxdygnsfaktorn och maxtimfaktorn högre i det studerade området än i Svenskt Vattens riktlinjer?

1.1.2 Avgränsningar

Studien syftar inte till att ta fram ett färdigt dimensioneringsunderlag, men kan komma att vara intressant som underlag för framtida satsningar på nybyggda småhusområden. Resultatet är tänkt att utgöra ett underlag för Uppsala kommun för att besluta om ytterligare investeringar i Lindbackens ledningsnät behövs.

2. SPILLVATTENFÖRANDE SYSTEM

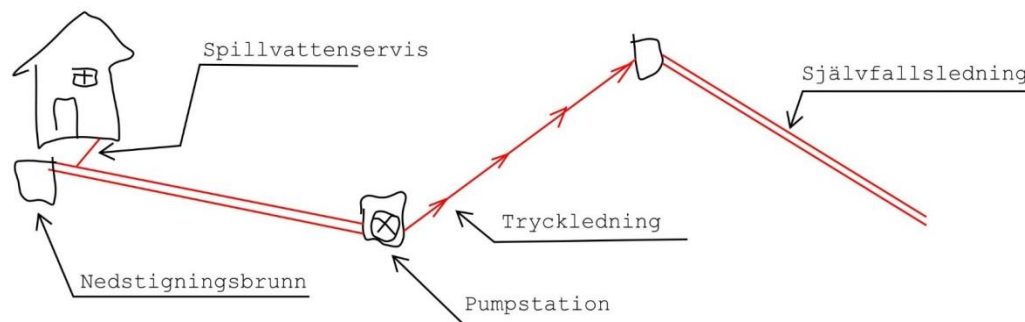
Spillvatten är förorenat vatten från såväl hushåll som allmänna verksamheter och industrier. Det mesta av vattnet som används inomhus kommer att bilda spillvatten. Det kan komma från toaletter, bad, disk och tvätt. Spillvatten är det som i folkmun ofta kallas avloppsvatten. I definitionen av avloppsvatten ingår dock även dagvatten och dränvatten (MB 9 kap. 1 §). Dagvatten är det vatten som tillfälligt rinner på markytan eller på hårdgjorda ytor, såsom vägar eller hustak, och dränvatten är det vatten som kommer från avvattning av mark (Svenskt Vatten, 2016a).

Enligt Miljöbalken (1998:808) (MB) 9 kap. 1 § klassas utsläpp av avloppsvatten som miljöfarlig verksamhet och måste enligt MB 9 kap. 7 § avledas och renas eller tas om hand på något annat sätt så att olägenhet för människors hälsa eller miljön inte uppkommer. Enligt vattentjänstlagen (2006:412) har kommunerna ett ansvar för att tillhandahålla avlopp i ett större sammanhang, om det behövs med hänsyn till skyddet för människors hälsa eller miljön. Detta gäller både inom blivande och befintliga bebyggelseområden. Den som låter bygga och därmed äger en allmän VA-anläggning kallas huvudman. VA-huvudmannens uppgift är att se till så att avledningen av avloppsvatten sker på ett tillfredställande sätt.

Hur avloppsvatten avletts genom åren beror på vilken typ av avloppssystem som valts. Det finns kombinerade och separerade system, där separerade system kan delas upp i typerna duplikatsystem och separatsystem (Svenskt Vatten, 2004). Tidigare var det vanligt med kombinerade system, där spillvatten, dagvatten och dränvatten avleddes i samma ledning. Idag byggs endast separerade system. Duplikatsystem började tas i bruk under 1950-talet. I dessa avleds spill- och dagvatten i separata ledningar. Dränvatten kopplas i första hand på dagvattenledningen för att minska belastningen på avloppsreningsverket (Svenskt Vatten, 2016a). I separatsystem avleds spillvatten i ledning och dagvatten i dike, rännsten eller via infiltration. Dränvatten kan avledas med spillvatten, i dike tillsammans med dagvatten eller i egen ledning (Svenskt Vatten, 2016a).

Kommunala avloppssystem är ofta väldigt stora och komplexa. Ut- och ombyggnad sker hela tiden och systemen är därför i ständig förändring. Avloppsledningar är ofta sammankopplade i stora system som knyts ihop i ett reningsverk. I Sverige finns drygt 100 000 km avloppsledningar, vilket motsvarar två och ett halvt varv runt jorden, som knyts ihop i 1700 avloppsreningsverk över hela landet (Svenskt Vatten, 2016b).

En illustration av hur ett spillvattenförande system kan se ut visas i Figur 1. Spillvattnet som bildas leds från bostaden i en servis som förbinder huset med kommunens ledningar. Därefter leds det genom systemet till ett avloppsreningsverk. Den övervägande delen av ett spillvattenförande system utgörs av ledningar, vilka kan vara självfallsledningar eller tryckledningar. I självfallsledningar leds vattnet med hjälp av gravitationen och i tryckledningar pumpas vattnet fram med hjälp av en pumpstation. Utöver serviser, ledningar och pumpstationer tillkommer brunnar i systemet (Lidström, 2013).



Figur 1. Illustration av ett spillvattenförande system och dess ingående delar. Spillvattnet som bildas leds från fastigheten i en servisledning som förbinder huset med kommunens ledningar. Ledningarna kan vara självfallsledningar där vattnet leds med gravitationen eller tryckledningar där vattnet pumpas fram med hjälp av en pumpstation. Förutom ledningar och pumpstationer finns även brunnar i systemet.

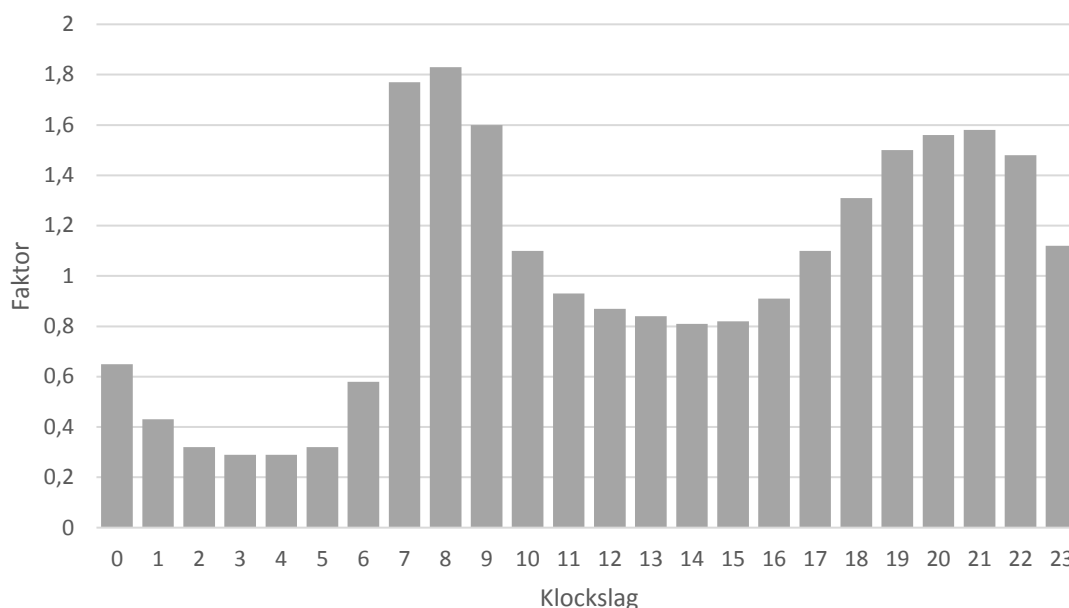
För att klara av att leda bort spillvattnet på ett säkert sätt måste ledningarna dimensioneras rätt, det vill säga att rätt rörstorlek väljs. Det är viktigt att veta hur stort spillvattenflödet förväntas bli i ett område för att den hydrauliska dimensioneringen ska bli korrekt. En för låg uppskattning av flödet kan leda till att kapaciteten i systemet snabbt blir otillräckligt med ökade risker för översvämning som konsekvens. Om flödet istället skattas för högt kan detta leda till en överdimensionering. Detta kan medföra onödigt höga kostnader, både för material och schaktning. Det kan även leda till utveckling av svavelväten och deposition av partiklar i systemet om vattnet inte rinner undan med tillräcklig hastighet (Svenskt Vatten, 2016a). Vad gäller eventuella pumpstationer finns även här en miljöaspekt eftersom felaktig dimensionering kan göra att energianvändningen blir större än nödvändigt (VAV, 1984).

2.1 DIMENSIONERANDE FLÖDEN

2.1.1 Spillvattenflöde

Det mesta av vattnet som används inomhus bildar spillvatten. Spillvattenflödet är därmed nära sammankopplat med vattenanvändningen. Spillvattenflödet varierar på dygns- vecko- och årsbasis och går för det mesta att koppla till variationen i vattenförbrukning. Det finns dock tillfällen då det förbrukade vattnet inte kommer att bilda spillvatten. Exempel på sådana tillfällen är vid större läckor i vattennätet eller bevattning sommartid (Svenskt Vatten, 2016a).

Variationen i spillvattenflödet är starkt kopplat till mänsklig aktivitet och sett över ett dygn uppstår största flödena generellt under morgon och kväll, medan flödet är lågt under natten (Lidström, 2013). Hur spillvattenavrinningen kan variera under ett dygn illustreras i Figur 2.



Figur 2. Typiskt mönster för spillvattenavrinningen under ett dygn. Faktorerna anger hur flödet förhåller sig till medelflödet i Hässelby Villastad under vardagar. Figuren är reproducerad med data hämtade från Nikell (1994).

Branchorganisationen Svenskt Vatten har tagit fram riktlinjer för hur dimensionering ska utföras för att VA-huvudmannens åtagande enligt Vattentjänstlagen (2006:412) ska vara fullgjort. Dessa finns i publikationen P110 från 2016. Tidigare användes publikationen P90 från 2004. I den nyare publikationen P110 baseras schablonvärdena på femårsmedelvärden för vattenförbrukningen under 2008–2012. I P90 anges istället genomsnittlig medelförbrukning och genomsnittlig variation baserat på året 1997. Det är önskvärt att utgå ifrån kunskap och statistik över lokala förhållanden för att få en så bra uppskattning av spillvattenflödet som möjligt. För detta ändamål kan flödesvariationer registreras och analyseras kontinuerligt genom driftövervakningssystem. Finns inga sådana uppgifter används schablonvärden listade i Svenskt Vattens riktlinjer (Tabell 1, Svenskt Vatten, 2016a).

Tabell 1. Rekommenderade värden för specifik spillvattenavrinning i hushåll (l/p/d) enligt Svenskt Vatten P110 (2016a) respektive P90 (2004). För P90 anges även den genomsnittliga variationen.

	Specifik spillvattenavrinning (l/p/d)	
	P110	P90
Flerbostadshus	170	220 (140–280)
Småhus	150	160 (120–240)

Den specifika spillvattenavrinningen, det vill säga avrinningen per person och dag, är i regel högre för flerbostadshus än för småhus. I och med omarbetningen av Svenskt Vattens riktlinjer sänktes de rekommenderade värdena både för flerbostadshus och småhus. Tidigare prognostiserades en ökning av specifika spillvattenavrinningen från hushåll, men till följd av installation av mer vattensparande utrustning är det troligt att den förblir oförändrad eller till och med ytterligare minskad (Svenskt Vatten, 2016a). Det är sedan tidigare känt att införande

av vattensparade utrustning kan ha en betydande inverkan på förbrukningen per person (Davis, 2010). Hur stor minskning som kan erhållas beror dock på hushållet i fråga då vanorna kring vattenförbrukning kan skilja sig åt (Jacobs & Haarhoff, 2004). Även prissättningsmodellen för vatten kan påverka vattenförbrukningen. Rörliga taxor, till exempel baserade på den faktiska vattenförbrukningen eller prissättning efter tid på dagen, verkar för en mindre förbrukning, medan fasta taxor ofta leder till en högre förbrukning (US EPA, 2016).

Utöver hushållsvatten tillförs ledningssystemet även vatten från allmänna verksamheter. Även för dessa finns schablonvärden framtagna om mätningar inte finns att tillgå (Tabell 2).

Tabell 2. Schablonvärden för specifik spillvattenavrinning för allmänna verksamheter (Svenskt Vatten, 2016a; Svenskt Vatten, 2004).

Specifik spillvattenavrinning	
Affärer, kontor (l/anställd/d)	60
Skolor (l/elev/d)	40
Daghem (l/barn/d)	50
Sjukhus (l/bädd/d)	700
Hotell (l/bädd/d)	300
Restauranger, kaféer (l/anställd/d)	500

Spillvattenflödet från industrier är beroende av typen av verksamhet och bör därför undersökas i varje enskilt fall. Generellt kan dock en specifik spillvattenavrinning på 1 l/s/ha under åtta timmar dagtid antas för planerade industriområden där den kommande verksamheten inte är känd (Svenskt Vatten, 2016a).

2.1.2 Dimensionerande spillvattenflöde

För att ta hänsyn till variationer i spillvattenflödet korrigeras medeldygnsfloödet med en maxdygnsfaktor och en maxtimfaktor vid dimensionering. Detta för att beräkna det största flödet som sannolikt kan komma att uppstå (Svenskt Vatten, 2016a), i detta arbete under ett år. Detta kallas det dimensionerande flödet och är det flöde som avgör hur stor ledning som ska väljas för den aktuella sträckan. För områden med fler än 1000 personer kan schablonvärdena angivna i Tabell 3 användas. För områden med färre än 1000 personer bestäms det dimensionerande flödet istället ur ett diagram som tar hänsyn till utjämnande effekter i ledningssystemet (Svenskt Vatten, 2016a). Intervallet för maxdygnsfaktorn och maxtimfaktorn är skrivna från hög till låg då en högre faktor väljs vid det lägre antalet anslutna personer och vice versa.

Tabell 3. Schablonvärden för min- och maxdygnsfaktorer samt maxtimfaktorer för områden med fler än 1000 personer (Svenskt Vatten, 2016a; Svenskt Vatten, 2004).

Anslutna personer	Mindygnsfaktor	Maxdygnsfaktor	Maxtimfaktor
p	Cd min	Cd max	Ct max
1000–3000	0,5–0,6	2,3–1,5	3,0–1,7
>3000	0,6–0,8	2,1–1,3	2,7–1,4

I områden med enhetlig bebyggelse bör faktorerna väljas högre. Detta kan motiveras av att fler har liknande vanor och därför använder vatten vid samma tidpunkter, vilket medför ett högre flöde (Lidström, 2013).

Dimensionerande spillvattenflöde beräknas enligt Ekvation 1.

$$q_{s \text{ dim}} = \frac{q_{d \text{ medel}} \cdot p}{3600 \cdot 24} \cdot c_{d \text{ max}} \cdot c_{t \text{ max}} + q_{s \text{ ind}} \quad (1)$$

där

$q_{s \text{ dim}}$ = dimensionerande spillvattenflöde (l/s)

$q_{d \text{ medel}}$ = specifik spillvattenavrinning från hushåll och allmän verksamhet (l/p/d)

p = antal anslutna personer (-)

$c_{d \text{ max}}$ = maxdygnsfaktor (-)

$c_{t \text{ max}}$ = maxtimfaktor (-)

$q_{s \text{ ind}}$ = industrispillvattenflöde (l/s)

(Svenskt Vatten, 2016a).

2.1.3 Dimensionerande flöde

Utöver det avloppsvatten som systemet är tänkt att ta emot belastas det ofta med tillskottsvatten. Detta kan komma från läckage eller tillförsel av dag- och dränvatten till följd av felkopplingar. För ledningsnät där dränvatten inte får avledas i spillvattenledningen adderas en term för inläckande vatten till det dimensionerande spillvattenflödet. I ett bra system uppskattas flödet av tillskottsvatten vid torrväder till 0,05–0,15 l/s/ha. Vid regnfall kan dock mängderna öka avsevärt. Hur mycket regn som faller varierar regionalt men normalt antas ett tillskott på 0,2–0,7 l/s/ha (Svenskt Vatten, 2016a). Dimensionerande flödet beräknas enligt Ekvation 2. Om inget inläckage antas är det dimensionerande flödet detsamma som det dimensionerande spillvattenflödet.

$$q_{dim} = q_{s \text{ dim}} + q_{inläck} \quad (2)$$

där

q_{dim} = dimensionerande flöde (l/s)

$q_{s \text{ dim}}$ = dimensionerande spillvattenflöde (l/s)

$q_{inläck}$ = $q_{läcktorr} + q_{läckregn}$ = inläckande vatten vid torrväder och regn (l/s/ha)

(Svenskt Vatten, 2016a).

Beräkningen av dimensionerande flöde är förknippat med stora osäkerheter och för att säkerställa att ledningarna klarar samtliga förekommande flöden läggs därför en säkerhetsfaktor till för att undvika uppdamning. Säkerhetsfaktorn bör enligt P110 vara minst 1,5. En högre säkerhetsfaktor bör väljas om det finns osäkerheter kring tillskottsvatten eller i dimensioneringsförutsättningarna, eller om en framtida exploatering av området är tänkbart (Svenskt Vatten, 2016a).

2.2 HYDRAULISK DIMENSIONERING

Syftet med ett spillvattenförande system är att avleda dimensionerande flödet på ett betryggande sätt. Detta bör så långt som möjligt ske med självfall och det uppkomna flödet bör vara nog stort för att skölja bort eventuella sedimentavlagringar som samlats i rören (se avsnitt 2.2.1). På sträckor där självfall ej är möjligt används pumpstationer med efterföljande tryckledning (se avsnitt 2.3). Ledningarna bör läggas med samma lutning som markytan för att minska schaktdjupet (Lidström, 2013).

Tryck och hastighet hos en vätska längs en flödeslinje kan uttryckas med hjälp av Bernoullis ekvation (Elger et al., 2014). För två punkter längs en strömningslinje där vissa strömningsförluster uppstår kan Bernoullis ekvation skrivas om till Ekvation 3. Sambandet tar hänsyn till friktionen som uppstår vid rörets väggar medan all annan friktion försummas (Svenskt Vatten, 2016a).

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_f \quad (3)$$

där

$z_{1,2}$ = höjden ovanför en referenspunkt (m)

$p_{1,2}$ = absolut tryck (Pa)

$v_{1,2}$ = hastighet (m/s)

ρ = densitet (kg/m³)

g = tyngdaccelerationen (m/s²)

h_f = energiförluster i form av friktion (m).

Vid dimensionering antas ledningarna vara raka och helt fyllda. I självfallsledningar antas stationära förhållanden, det vill säga att hastigheten och vattendjupet är konstant längs ledningen. Vidare antas trycket vara noll då ledningen inte är trycksatt och atmosfärstryck råder på vattenytan (Lidström, 2013). Med antagandena att $p_1 = p_2 = 0$ och $v_1 = v_2$, fås uttrycket i Ekvation 4.

$$h_f = z_1 - z_2 \quad (4)$$

Energiförlusten, h_f , motsvarar därmed förändringen i lägesenergi. Vidare medför detta att ledningens energiförluster (energilinjens lutning), S_f , motsvaras av ledningens lutning, S_0 , det

vill säga att $S_f = S_0$. Detta är en förutsättning för att diametern ska kunna bestämmas ur Colebrook-Whites samband (Ekvation 5). Från sambandet erhålls ett flöde som utgör ledningens kapacitet. Flödet motsvarar situationen där ledningen nätt och jämnt går fylld, men ännu inte är trycksatt (Lidström, 2013). Det erhållna flödet enligt sambandet måste därmed vara högre än det dimensionerande flödet. Diametern väljs genom att testa olika standarddimensioner vid provberäkning. Vanligtvis fås en viss överkapacitet och denna kan utnyttjas som en ökad säkerhetsmarginal (Svenskt Vatten, 2016a).

$$q = -\frac{\pi \cdot D^2}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot S_0} \cdot \log \left[\frac{2,51 \cdot v}{D \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot S_0}} + \frac{k \cdot 10^{-3}}{3,71 \cdot D} \right] \quad (5)$$

där

q = flöde (m^3/s)

D = rördiameter (m)

S_0 = bottenlutning (m/m)

k = råhetsvärde (mm)

v = kinematisk viskositet (m^2/s) ($1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ vid $10 \text{ }^\circ\text{C}$)

(Crowe et al., 2004)

Olika ledningsmaterial ger olika råhet, k (Tabell 4). Dessa värden gäller för ledningar i gott skick. Om sediment avsatts i ledningarna försämras kapaciteten på grund av reducerad tvärsnittsarea och ett ökat råhetsvärde (Svenskt Vatten, 2016a).

Tabell 4. Värden på råhet (k) för ledningar i god kondition. Rekommenderade enligt Svenskt Vatten P110 (2016a) och P90 (2004).

	Betong	Gjutjärn	Stål	PE, PVC
k (mm)	1,0	1,0	1,0	0,2

Istället för att göra beräkningar enligt Prantl-Colebrooks samband kan Colebrooks diagram användas. Colebrook-diagrammet väljs efter lämpligt råhetsvärde för den aktuella ledningen. Ur diagrammet kan sedan flödet läsas av i skärningspunkten för ledningens lutning (‰) och ledningens innerdiameter (mm). Det erhållna flödet motsvarar ledningens kapacitet (l/s).

2.2.1 Självrening och minimilutning

Spillvattenledningar dimensioneras för att vara självrensande. Det vill säga att ett flöde stort nog för att rensola ledningen bör uppkomma minst en gång per dygn. Detta gör att det maximala timflödet under ett minimidygn har betydelse. Enligt Svenskt Vattens riktlinjer anses en skjuvspänning $\tau_{\text{med}} \geq 1,5 \text{ N/m}^2$ under minst en timme vara självrensande. Om skjuvspänningen understiger 1 N/m^2 anses den inte vara självrensande (Svenskt Vatten, 2016a).

För områden med fler än 3000 personer anses maxtimflödet under minimidygnet vara ungefär detsamma som medelflödet, vilket blir det dimensionerande flödet för självrensning och beräknas enligt Ekvation 6 (Svenskt Vatten, 2016a).

$$q_{s \text{ självrens}} = \frac{p \cdot q_{d \text{ medel}}}{3600 \cdot 24} \quad (6)$$

För områden med färre än 3000 men fler än 100 anslutna personer beräknas istället det dimensionerande flödet för självrensning med Ekvation 7.

$$q_{s \text{ självrens}} = \frac{p \cdot 0,7 \cdot \left(1 + \frac{25}{\sqrt{p}}\right) \cdot q_{d \text{ medel}}}{3600 \cdot 24} \quad (7)$$

Bestämning av minsta lutning kan sedan göras med hjälp av ett nomogram (Avsnitt 10.5 i Svenskt Vatten, 2016a).

För att minska risken för avlagringar och stopp i ledningsnätet läggs ledningar med en viss minimidimension. Allmänna huvudledningar bör generellt ha minsta innerdiameter 200 mm (Svenskt Vatten, 2016a).

2.3 PUMPSTATIONER

När spillvattnet inte kan ledas med självfall är det nödvändigt att anlägga en pumpanordning. Pumpens uppgift är att leda vatten från en lägre liggande punkt till en högre. I självfallssystem leds vattnet ner till pumpstationen med hjälp av gravitationen där det samlas i ett magasin, en så kallad pumpgrop. När volymen i pumpgropen nått en viss nivå startas pumpen och vattnet pumpas upp till en högre liggande punkt i en trycksatt ledning. Vid önskad nivå släpps sedan vattnet i en självfallsledning igen. När tömning av pumpgropen skett till önskad nivå stoppar pumpen. Det är önskvärt att ha korta pumpsträckor för att minska systemets underhållsbehov (Lidström, 2013). För att minska friktionsförluster bör vattenhastigheten i tryckledningen hållas låg, samtidigt som ledningen bör vara självrensande (VAV, 1984).

Dimensionering av pumpstation görs med hänsyn till den största sannolika tillrinningen (VAV, 1984). Den teoretiska maxtillrinningen beräknas enligt Ekvation 8. För att väga in risken för störningar multipliceras det dimensionerande flödet med en säkerhetsfaktor S . Säkerhetsfaktorn väljs utifrån bräddningsmöjligheter, recipientens känslighet, risk för ekonomiska skador och kraftförsörjning vid strömbortfall (Svenskt Vatten, 2016a).

$$q_{pump} = \left(\frac{q_{d \text{ medel}} \cdot p}{3600 \cdot 24} \cdot c_{d \text{ max}} \cdot c_{t \text{ max}} + q_{drän} + q_{inläck} \right) \cdot S \quad (8)$$

En pumpstation kan ha en eller flera pumpar. Antalet väljs efter stationens storlek och önskad säkerhet vid eventuella driftstörningar. Faktorer som tillrinnande mängd spillvatten, pumpnings- och underhållskostnader samt effektbehov bör vägas in. För små och mellanstora stationer rekommenderas två likadana pumpar där en pump klarar 80-100 % av q_{pump} beroende på risken för driftstörningar och vilka konsekvenser dessa får (VAV, 1984).

3. METOD OCH MATERIAL

För att undersöka dimensioneringsförutsättningarna i nybyggda småhusområden gjordes en fallstudie i Lindbacken i Uppsala kommun. Den huvudsakliga arbetsgången för det här examensarbetet illustreras i Figur 3.

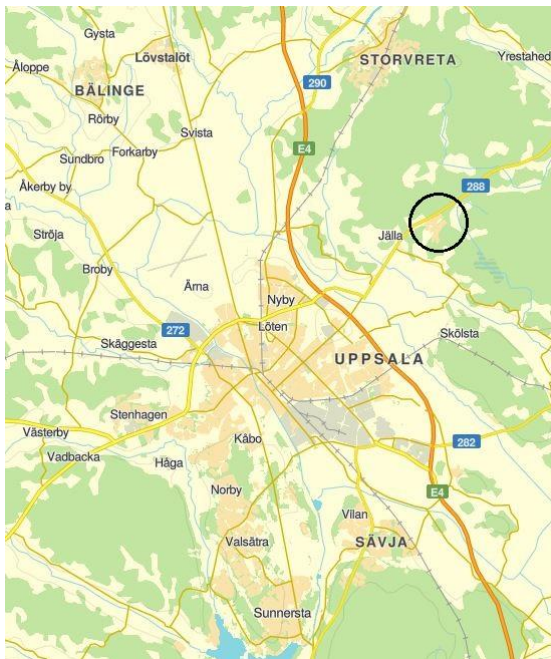


Figur 3. Översikt över examensarbetets arbetsgång.

3.1 DATA

3.1.1 Områdesbeskrivning

Det studerade området Lindbacken är ett nytt bostadsområde nordost om Uppsala, ungefär åtta km från Uppsala centrum (Figur 4). Enligt detaljplanen från 2010 planerades drygt 700 bostäder i form av friliggande småhus, kedjehus, parhus och lägenheter (Uppsala kommun, 2010). Utbyggnaden av området har skett etappvis. Några av de tidiga etapperna är ännu inte färdigställda och den sista etappen i norr, Etapp 4, är ännu inte klar för bebyggelse (Lindbacken, u.å.a). Illustrationsplanen i Figur 5 visar hur området är tänkt att se ut vid färdigställande. Området är relativt homogent, både med avseende på bebyggelse och på invånare. Största delen av bebyggelsen består av småhus och många barnfamiljer bor i området. De allmänna verksamheter som för närvarande finns inom området är en livsmedelsbutik och två förskolor.



Figur 4. Lindbackens placering i förhållande till Uppsala (© Lantmäteriet).



Figur 5. Illustrationsplan för området Lindbacken (Uppsala kommun, 2010).

En uppskattning av antalet bostäder när området är färdigställt gjordes utifrån fastighetsbeteckningar och projekteringsunderlag. Ett platsbesök gjordes för att räkna antalet bostäder i de byggnader där antalet inte framgick tydligt enligt annat material. Detta gällde främst i radhus. För att uppskatta antalet bostäder inom större fastigheter som ännu ej bebyggs användes söktjänsten Hitta.se för att kontrollera vilka gatunummer som angetts för den aktuella fastigheten. För den kommande delen, Etapp 4, räknades antalet bostäder från ett projekteringsunderlag daterat 2015-06-08, vilket var det nyaste som fanns att tillgå. Det tilltänkta antalet bostäder i området under planeringsstadiet räknades fram utifrån illustrationsplanen (daterad 2009-06-18) i detaljplanen för området. En jämförelse mellan antalet bostäder enligt de båda materialen gjordes för att få en indikation på hur mycket mer området kan komma att bebyggas än vad som först var tänkt, se Tabell 5. Sammanställningen visade att antalet småhus förväntas bli knappt 200 fler än vad som först planerats för och antalet lägenheter drygt 100 fler.

Tabell 5. Antal småhus baserat på illustrationsplan och projekteringsunderlag jämfört med det förväntade utfallet samt procentuell skillnad mellan dem. "Centrala" utgör området där spillvattnet rinner till pumpstationen, "Västra" resterande område där avrinningen sker med självfall mot utloppet och "Norra" motsvarar Etapp 4 som ännu ej är påbörjad.

Område	Småhus			Lägenheter		
	Planerat	Förväntat	Skillnad	Planerat	Förväntat	Skillnad
Centrala	128	176	38 %	50	180	260 %
Västra	291	354	22 %	0	0	0 %
Norra	243	312	28 %	0	0	0 %
Totalt	662	842	27 %	50	180	260 %

När området är färdigutbyggt väntas antalet förskoleplatser vara ungefär 250 i centrala området och 100 i norra delen av området (Lindbacken, u.å.b). Även en skola med plats för cirka 600 elever i centrala delen är planerad (Uppsala kommun, 2017).

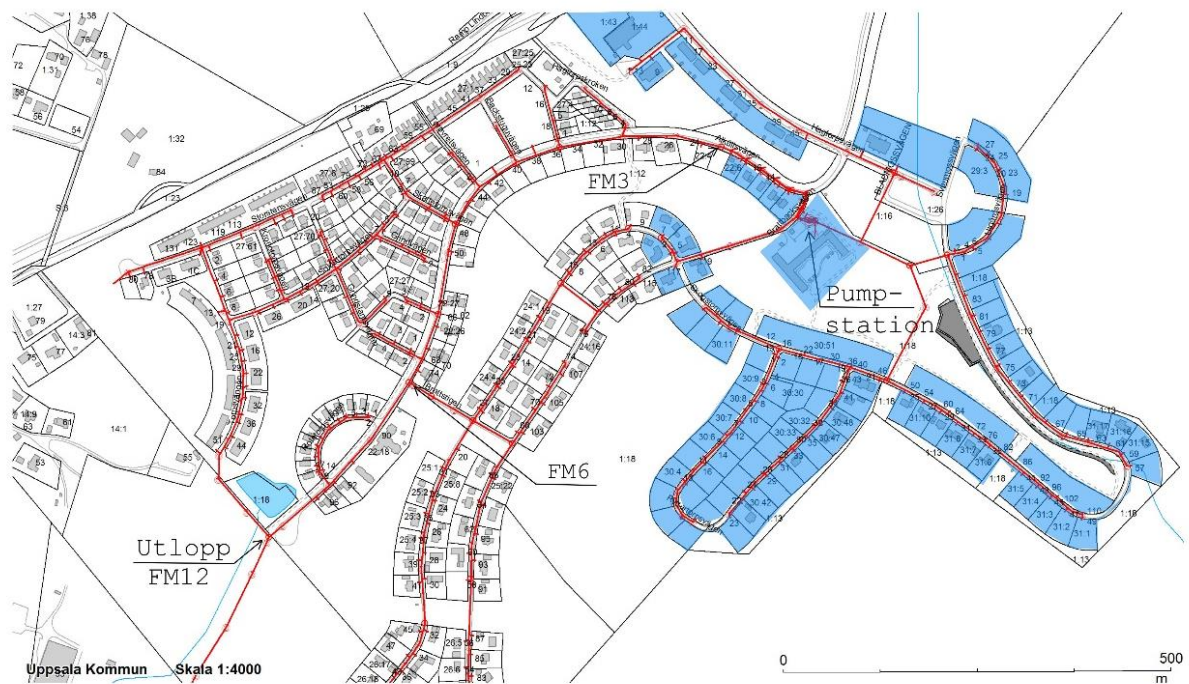
3.1.2 Flödesdata

Flödesdata som ligger till grund för det här examensarbetet kommer från mätningar utförda i samarbete med Uppsala Vatten. Totalt placerades tre mätare ut i området (Tabell 6, Figur 6 samt Figur 15 i APPENDIX A). Flödesmätarna som användes kommer från Mainstream (Mainstream Portable AV-Flowmeter) och bygger på ultraljudsteknik. Givaren mäter hastigheten hos partiklar och luftbubblor i vattnet och tillsammans med nivån i ledningen beräknas därefter flödet. För varje mätvärde registrerades signalkvaliteten, vilket gav en indikation på tillförlitligheten i mätningen. Givaren mäter inom hastigheterna 10 mm/s-5 m/s med en upplösning på 1 mm/s och en noggrannhet på 2 % av uppmätt hastighet. Nivån mäts inom området 0-2 m med en upplösning på 2 mm. Noggrannheten är $\pm 0,25$ % av kalibrerat mätområde.

Tabell 6. Mätperiod, tidsintervall mellan mätningar samt vilket flöde/område givaren mätte. Totalt placerades tre givare ut.

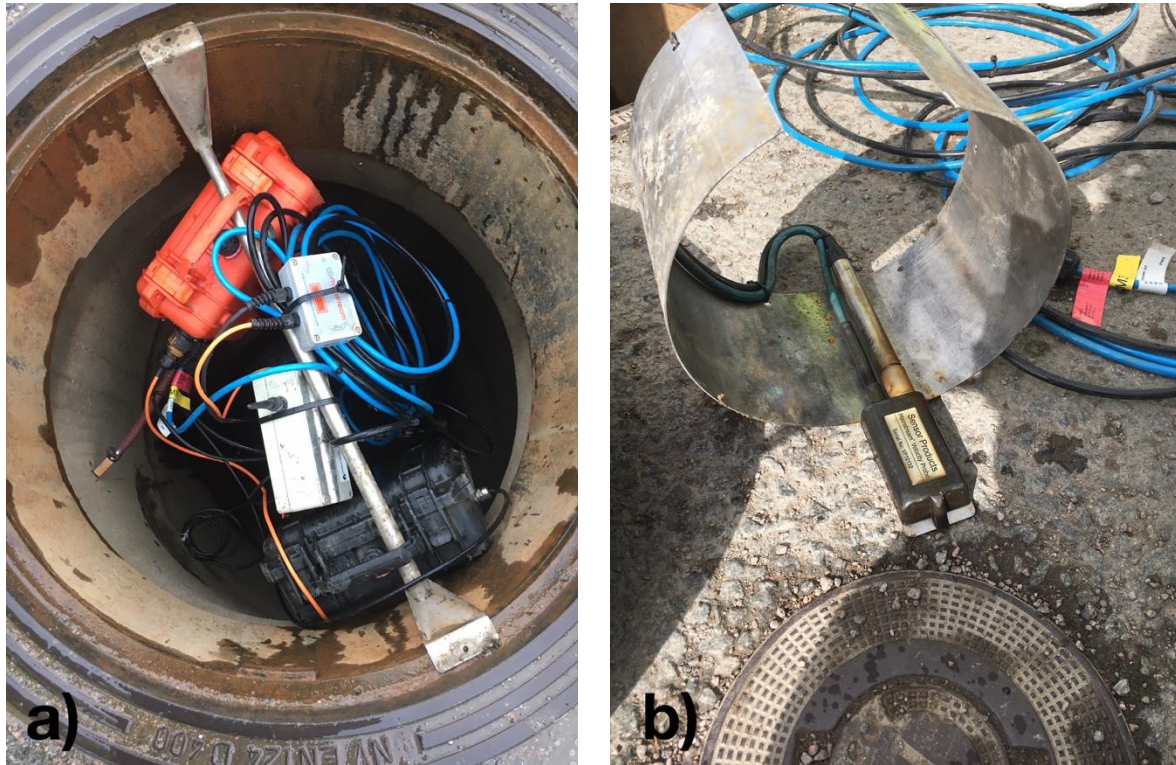
Givare	Mätperiod		Intervall för mätning	Flöde/område
FM3	2017-04-27	2017-08-13	30 sekunder	Flöde från pump
FM6	2017-05-16	2017-08-13	2 minuter	Sydöstra västra
FM12	2017-04-27	2017-08-13	1 minut	Hela området

Spillvattnet passerar området genom ett fåtal ledningar innan det leds vidare mot Uppsala via utloppet i sydväst (Figur 6). I områdets centrala del finns en pumpstation som tar emot vatten från centrala delen av området, samt det spillvatten som kommer att tillkomma från Etapp 4 i norr. Från pumpstationen leds spillvattnet vidare i en tryckledning tills det återigen kan ledas med självfall.



Figur 6. Befintligt spillvattennät i Lindbacken (röda linjer). Pumpstationen i centrala området, utloppet i sydväst samt mätarnas placering är markerade i bild. FM3 mätte flödet från pumpstationen, FM6 flödet från det vitmarkerade området till höger om givarens placering och FM 12 flödet från hela området. Flödet från det blåmarkerade området går till en pump i centrala delen av området, för att sedan ledas i en tryckledning fram till punkten där mätare FM3 är placerad, och sedan vidare med självfall till utloppet markerat i sydväst (Uppsala Vatten). Pumpstationen i centrala området samt utloppet i sydväst är markerade i bild.

Figur 7a och Figur 7b visar den utrusning som användes för flödesmätningarna.



Figur 7. Utrustning för flödesmätning. I (a): utrustning tillhörande givaren, logger samt GSM-sändare upphängd i nedstigningsbrunn. Loggern registrerade de uppmätta flödena och GSM-sändaren gjorde dessa tillgängliga via internet. I (b): flödesgivare på fastmonterad på en böjd plåtskiva som placerades i ledningen via nedstigningsbrunnen.

3.2 ANALYS AV FLÖDESDATA OCH FLÖDESVARIATIONER

En kvalitetsgranskning av flödesdata gjordes i Microsoft Excel 2016. Totalt loggades ett värde per minut under hela mätperioden (2017-04-27 till 2017-08-13). Signalkvaliteten undersöktes visuellt för att säkerställa att data var tillförlitlig och tidpunkter där inga eller negativa värden registrerats raderades. Data sammanställdes och en pivottabell skapades i Excel. Med hjälp av grupperingsfunktionen beräknades timvisa medelflöden (l/h) för samtliga dygn genom att summera uppmätta flöden för varje timme. Medeldygnsfloden (l/d) beräknades på motsvarande sätt genom att summera samtliga uppmätta flöden för varje dygn. De två dataserierna innehållande dygns- och timflöden undersöktes sedan med avseende på om de innehöll några extrema uteliggare. För att göra detta beräknades kvartilerna samt kvartilavståndet (IQR, *Interquartile Range*), för respektive serie. IQR är ett spridningsmått som anger skillnaden mellan 75:e och 25:e percentilerna, eller mellan övre och under kvartilerna, och beräknas enligt Ekvation 9. (Tukey, 1977) definierade extrema uteliggare som värden större än $Q_3 + 3 \times IQR$ eller lägre än $Q_1 - 3 \times IQR$, vilken även är den definition som användes inom detta projekt.

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (9)$$

där

$Q_{1,3}$ = första respektive tredje kvartilen/25:e respektive 75:e percentilen.

3.2.1 Flödesvariationer

Variationerna i spillvattenflödet under mätperioden undersöktes genom att studera medeltimflödet samt högsta och lägsta uppmätta timflöde för varje dag. Flödesmönstret inom ett dygn undersöktes genom att beräkna medelflödet för tre olika situationer, under vardag, helg samt under en hel vecka. Till helgdagar räknades lördagar, söndagar, midsommarafton samt röda dagar. Ett konfidensintervall på 95 % beräknades kring medelvärdet för varje timme.

3.2.2 Specifik spillvattenavrinning

Den specifika spillvattenavrinningen (l/p/d) togs fram genom att beräkna det totala flödet under hela mätperioden och sedan dividera detta på antalet anslutna personer och dagar. För att inte underskatta medelavrinningen per person försumrades de personekvivalenter som eventuellt kommer från allmän verksamhet, såsom förskoleverksamhet och butik.

Antalet anslutna personer i området under mätperioden togs fram ur Uppsala Vattens databas (2017-05-11; Tabell 7).

Tabell 7. Antal anslutna personer under mätperioden (hämtat 2017-05-11). "Centrala" utgör området där spillvattnet rinner till pumpstationen och "Västra" resterande område där avrinningen sker med självfall mot utloppet.

Område	Antal anslutna personer
Centrala	163
Västra	1168
Totalt	1331

3.2.3 Skattning av högsta flöde

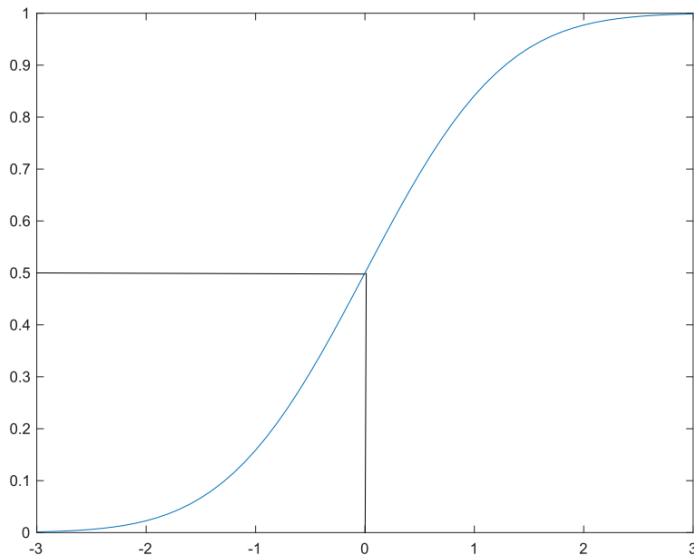
För att kompensera för den relativt korta mätperioden (drygt 3 månader) skattades högsta dygns- och timflödet som sannolikt uppstår under ett år med en kumulativ frekvensanalys. En frekvensanalys kan säga något om hur ofta en händelse av en viss storlek inträffar. Data antas vara oberoende och tillhöra samma fördelning.

Frekvensanalysen bygger på en kumulativ fördelningsfunktion, vilken definieras som

$$F(x) = P(X \leq x_T) \text{ för } -\infty < x_T < \infty$$

(Alm & Britton, 2011).

Fördelningsfunktionen visar sannolikheten för att slumpvariabeln X är mindre eller lika med värdet x_T . För en normalfördelning (0, 1) ser sannolikhetsfördelningen ut som i figuren nedan.



För varje x-värde fås ett motsvarande y-värde som säger hur stor sannolikheten att en slumpvariabel från fördelningen är mindre eller lika med y. För $x = [-2, -1, 0, 1, 2]$ fås $y = [0,02, 0,16, 0,50, 0,84, 0,98]$. Detta säger att det är 50 % chans att få ett slumpmässigt värde mindre eller lika med noll, medan det endast är 2 % chans att få ett värde mindre eller lika med -2.

Den kumulativa fördelningsfunktionen kan även skrivas enligt Ekvation 10.

$$P(X \leq x_T) = 1 - P(X > x_T) \quad (10)$$

Återkomsttiden för en händelse definieras inom frekvensanalys enligt Ekvation 11 (Hamed & Rao, 1999) och innebär att storleken på en händelse får överstigas en gång på T år.

$$T = \frac{1}{P(X > x_T)} \quad (11)$$

Detta tillsammans med Ekvation 10 kan kombineras till uttrycket i Ekvation 12, som kan användas för att skatta storleken på ett flöde givet en viss återkomsttid.

$$P(X \leq x_T) = 1 - P(X > x_T) = 1 - \frac{1}{T} \quad (12)$$

där

x_T = storlek på flöde med återkomsttiden T

T = återkomsttid

(Xu, 2011).

Innan frekvensanalysen gjordes en visuell jämförelse mot ett flertal täthets- och fördelningsfunktioner i Matlabs applikation ”Distribution Fitting” för att se vilken fördelning flödesdata kunde komma från. Applikationen anpassar parametrar för en vald fördelning till ett givet dataset. De fördelningar som visuellt matchade data bäst valdes ut för Kolmogorov-Smirnovs test.

Kolmogorov-Smirnovs test är ett icke-parametriskt test som beräknar avståndet mellan två fördelningsfunktioner, i detta fall från empiriska data och från en referensfördelning. Testet ställer nollhypotesen, H_0 : *data kommer från den antagna fördelningen*, mot den alternativa hypotesen, H_1 : *data kommer inte från en sådan fördelning*, mot varandra (Lopes, 2011). Resultatet ges med 5 % signifikansnivå, vilket innebär att risken att förkasta H_0 av misstag är 5 %. Resultatet ses som ett mått på hur väl funktionerna passar data.

När teoretiska fördelningsfunktioner tagits fram beräknades det sannolikt högsta dygns- och timflödet. På motsvarande sätt som för exemplet ovan läses sannolikheten beräknad ur Ekvation 12 för $T=365$ av på y-axeln och motsvarande x-värde ger det maximala flödet.

3.3 BERÄKNING AV MAXFAKTORER

3.3.1 Maxdygnsfaktor

Maxdygnsfaktorn beräknades, enligt definitionen i Svenskt Vattens riktlinjer (2016a; 2004), ur Ekvation 13.

$$c_{d \max} = \frac{\text{maxdygnsflöde}}{\text{medeldygnsflöde}} \quad (13)$$

En faktor $c_{d \max, emp}$ beräknades från uppmätt data. Faktorer beräknades även från de fördelningsfunktioner som anpassades till data. Från fördelningsfunktionen togs det sannolika maxdygnsflödet fram genom att utnyttja sambandet i Ekvation 12 tillsammans med $T=365$. Medeldygnsflödet från fördelningen beräknades genom matlabfunktionen ”mean”. Se APPENDIX B.

3.3.2 Maxtimfaktor

Maxtimfaktorn beräknades, enligt definitionen i Svenskt Vattens riktlinjer (2016a; 2004), ur Ekvation 14.

$$c_{t \max} = \frac{\text{maxtimflöde}}{\text{medeltimflöde under årsmedeldygn}} \quad (14)$$

En faktor $c_{t \max, emp}$ beräknades från uppmätt data, där det högsta uppmätta timflödet antogs representera det högsta flödet under ett år. Även medeltimflödet antogs representativt för hela året.

Faktorer beräknades även för de fördelningsfunktioner som anpassades till data. På grund av det stora antalet låga flöden (Figur 16 i APPENDIX C) gjordes anpassningen till ett dataset med högsta timflödet för varje dygn. Från varje fördelningsfunktion togs det sannolika maxtimflödet fram genom att utnyttja sambandet i Ekvation 12 tillsammans med $T=365$. Faktorn beräknades sedan med medeltimflödet från det beräknade medeldygnsflödet.

3.3.3 Konfidensintervall

För varje maxfaktor beräknades ett konfidensintervall. Ett konfidensintervall anger hur sannolikt det är att ett värde ligger inom gränserna för intervallet. Konfidensintervallet anges med en konfidensgrad, $1-\alpha$, där α anger risken för att få ett intervall som inte innehåller värdet (Alm & Britton, 2011). Då α är 0,05 erhålls ett 95 procentigt konfidensintervall.

För att beräkna konfidensintervallet kring medelflöden utnyttjades centrala gränsvärdessatsen. Enligt centrala gränsvärdessatsen kommer medelvärdet av ett antal oberoende stickprov att närma sig en normalfördelning i takt med att antalet stickprov ökar. Detta gör att konfidensintervallet runt ett medelvärde kan skattas utifrån en normalfördelning om antalet stickprov är tillräckligt många (Alm & Britton, 2011). Konfidensintervall för maxfaktorerna beräknade från anpassade fördelningar beräknades genom att utnyttja inbyggda funktioner i Matlab kopplade till de inversa fördelningsfunktionerna. Nedan visas kommandot som användes för normalfördelningen. P beräknades ur Ekvation 12, μ och σ är parametrar kopplade till fördelningen och $pcov$ är kovariansen mellan de två parametrarna och α .

$$[X,XLO,XUP] = norminv(P,\mu,\sigma,pcov,\alpha)$$

3.3.4 Känslighetsindex

Ett känslighetsindex, SI , infördes för att uttrycka den relativa variabiliteten för maxdygns- och maxtimfaktorn. Detta gjordes genom att utnyttja högsta respektive lägsta gränsen för konfidensintervallet för de anpassade fördelningarna, samt medelvärdet av den bästa anpassningen för varje fördelning. SI beräknades genom att subtrahera den lägsta konfidensgränsen från den högsta för alla fördelningar och sedan dividera detta med medelvärdet av respektive faktor (se Ekvation 15).

$$SI = \frac{(\text{övre värde} - \text{undre värde}) \text{ för konfidensintervallet för maxfaktor}}{\text{mean(beräknade maxfaktorer)}} \quad (15)$$

3.4 DIMENSIONERING OCH UTVÄRDERING

3.4.1 Jämförelse av dimensioneringar

Dimensionering med framtagna maxfaktorer och specifik spillvattenavrinning gjordes och jämfördes med dimensionering med schablonvärden i P110, P90 och Uppsala Vattens dimensioneringsanvisningar för att se om någon skillnad erhöles. I övrigt gjordes dimensioneringarna med samma antaganden rörande antal personer och faktorer för pump och tryckledning som i den ursprungliga dimensioneringen.

Dimensioneringen av spillvattenledningarna gjordes år 2010 efter riktlinjerna i P90 (2004) tillsammans med Uppsala Vattens projekteringsanvisningar (2011). Antalet tomter räknades fram från illustrationsplanen i Figur 5, det vill säga utifrån hur området planerades 2010, från vilken ungefär 600 villor/radhus, fem flerbilshus, tre förskolor, en skola och en närbutik väntades anläggas i området. För småhus antogs 4 personer/bostad och för flerbostadshus 3 personer/lägenhet. Vidare antogs att varje förskola inhyser 100 barn och skolan 500 elever baserat på information från områdets hemsida (Lindbacken, u.å.a). Maxfaktorerna som användes valdes som medelvärdet av värdena mitt i de rekommenderade intervallen 1000-3000 respektive >3000 anslutna personer (se Tabell 3). Den specifika spillvattenavrinningen för hushåll är vald efter Uppsala Vattens anvisningar. Inget inläckage eller oönskade inflöden

till följd av felkopplingar antogs då ledningarna är nya, och inte heller något tillskott från industrier då det inte finns några inom området. Maxfaktorerna för flödena från pumpstationen är valda högre än för flödena i självfallsledningarna i den ursprungliga dimensioneringen som gjordes. Detta i sig ger en säkerhetsmarginal, och säkerhetsfaktorn S sattes därför till 1. Ingen säkerhetsfaktor applicerades på självfallsledningen då riktlinjerna i P90 inte rekommenderade någon. Valda värden återges i Tabell 8.

Tabell 8. Specifik spillvattenavrinning för hushåll, maxdygnsfaktor, maxtimfaktor, tillskott från industri och inläckage samt säkerhetsfaktor som antogs vid dimensioneringen av spillvattennätet i Lindbacken för självfallsledningar respektive pumpstation.

	Självfallsledning	Pumpstation
Q _d medel (l/p·d)	190	225
C _d max	1,8	2
C _t max	2,2	2,5
Q _{ind}	0	0
Q _{inläck}	0	0
S	1	1

Dimensionerande flöde vid utloppet samt för pumpstationen redovisas i Tabell 9. För ledningen vid utloppet anges även lutning, ledningsdiameter och kapacitet. Fullständig dimensionering återfinns i APPENDIX D. Ledningen har som minst en lutning på 4 promille, vilket är på sträckan strax innan utloppet. Detta är därmed den sträcka som begränsar kapaciteten och därför den sträcka som är intressant att undersöka då denna kan vara kritisk vid höga flöden.

Tabell 9. Dimensionerande flöde för självfallsledning vid områdets utlopp samt för pumpstation. För självfallsledningen anges även diameter och kapacitet vid lutningen 4 ‰.

	q_{dim} (l/s)	Lutning (‰)	Diameter (mm)	Kapacitet (l/s)
Q _{pump}	21	-	-	-
Q _{utlopp}	31	4	250	40

3.4.2 Framtidsscenario

För att undersöka om spillvattennätets kapacitet är tillräcklig för att leda bort flödet som väntas när området är färdigutbyggt antogs två scenarier, båda baserade på det förväntade antalet bostäder samt tillkommande flöde från allmänna verksamheter (se avsnitt 3.1.1). I Scenario 1 antogs 2,7 personer/småhus och 2 personer/lägenhet enligt SCB (2014) och i Scenario 2 antogs 4 personer/småhus och 3 personer/lägenhet, vilket var antagandet som gjordes i den ursprungliga dimensioneringen.

Tabell 10. Beräknat antal personer för de båda scenarierna. I Scenario 1 antogs 2,7 personer/småhus och 2 personer/lägenhet enligt SCB (2014) och i Scenario 2 antogs 4 personer/småhus och 3 personer/lägenhet, vilket var antagandet som gjordes i den ursprungliga dimensioneringen.

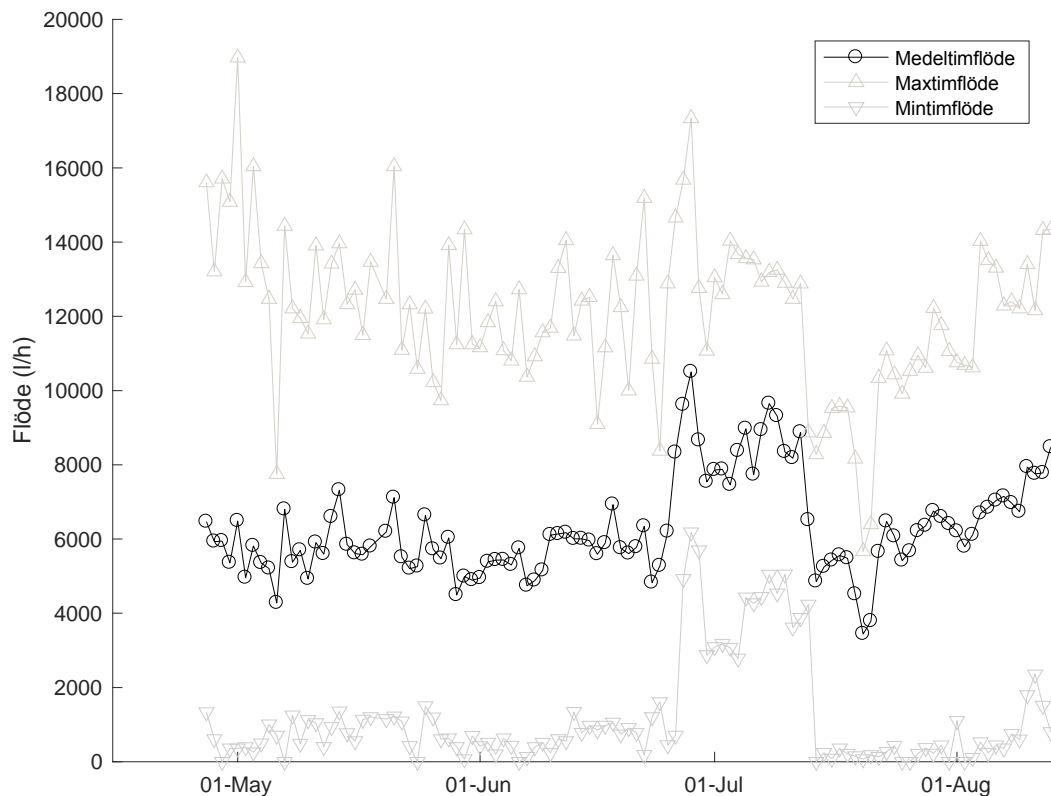
	Scenario 1	Scenario 2
Antal anslutna	2650	3900

Maxfaktorerna valdes utifrån resultaten erhållna enligt avsnitt 4.2, medan specifika spillvattenavrinningen varierades från 110-170 l/p/d (APPENDIX E). Pumpstationen dimensionerades enligt Ekvation 8 med samma faktorer som självfallsledningarna och säkerhetsfaktorn $S=1,5$, som är den minsta rekommenderade säkerhetsfaktorn i Svenskt Vattens riktlinjer P110 (2016a).

4. RESULTAT

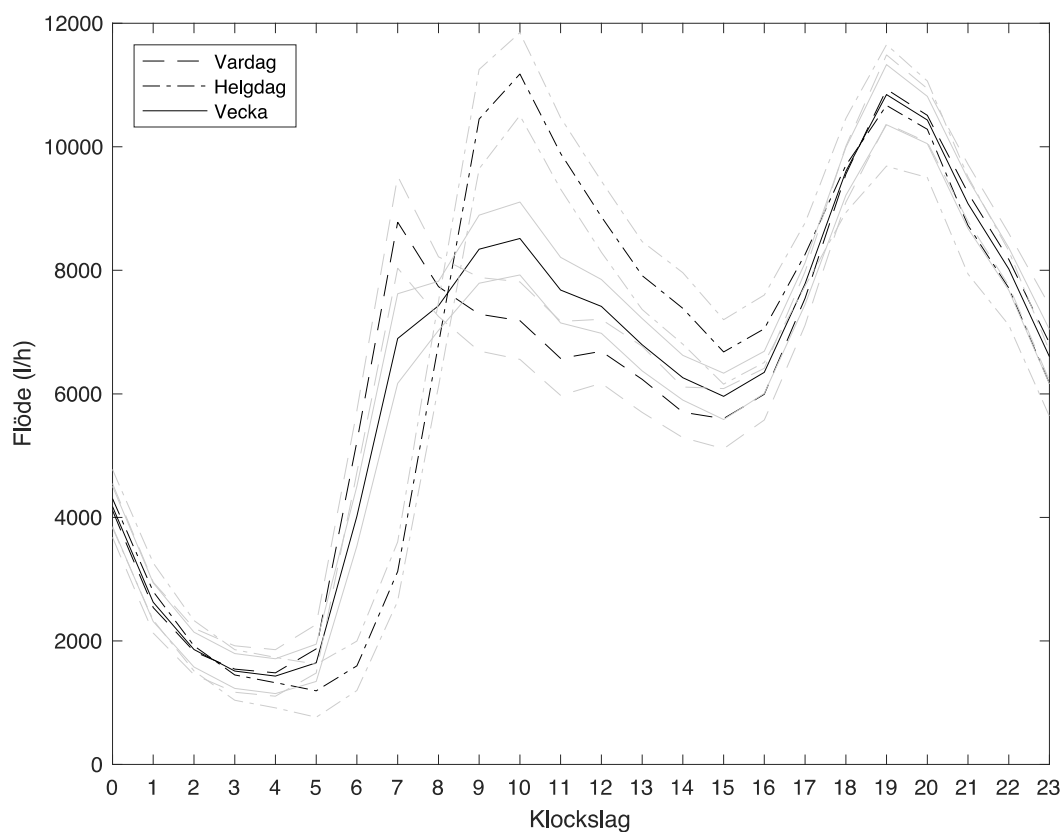
4.1 FLÖDEN OCH FLÖDESvariationER

Medeltimflödet under perioden 27 april - 13 augusti 2017 låg på 6300 l/s. Högsta timflödet var 19 000 l/h och lägsta var 0 l/h (Figur 8). Flödena mättes upp med givare FM12.



Figur 8. Medeltimflöde samt högsta och lägsta timflöde under perioden 27 april - 13 augusti. Medeltimflödet under mätperioden var 6300 l/h, högsta timflödet var 19 000 l/h och lägsta var 0 l/h. Cirklarna och trianglarna markerar beräknade datapunkter för varje dygn ($n=107$), dessa baseras på minutvisa flöden uppmätta och lagrade med givare FM12.

Variationen inom ett dygn ser olika ut beroende på om det är vardag eller helg (Figur 9). På morgonen finns en förskjutning i spillvattenflödet, och det största flödet inträffar något senare under helgdagar än under vardagar. Under kväll och natt är spillvattenflödet likartat oberoende av veckodag.



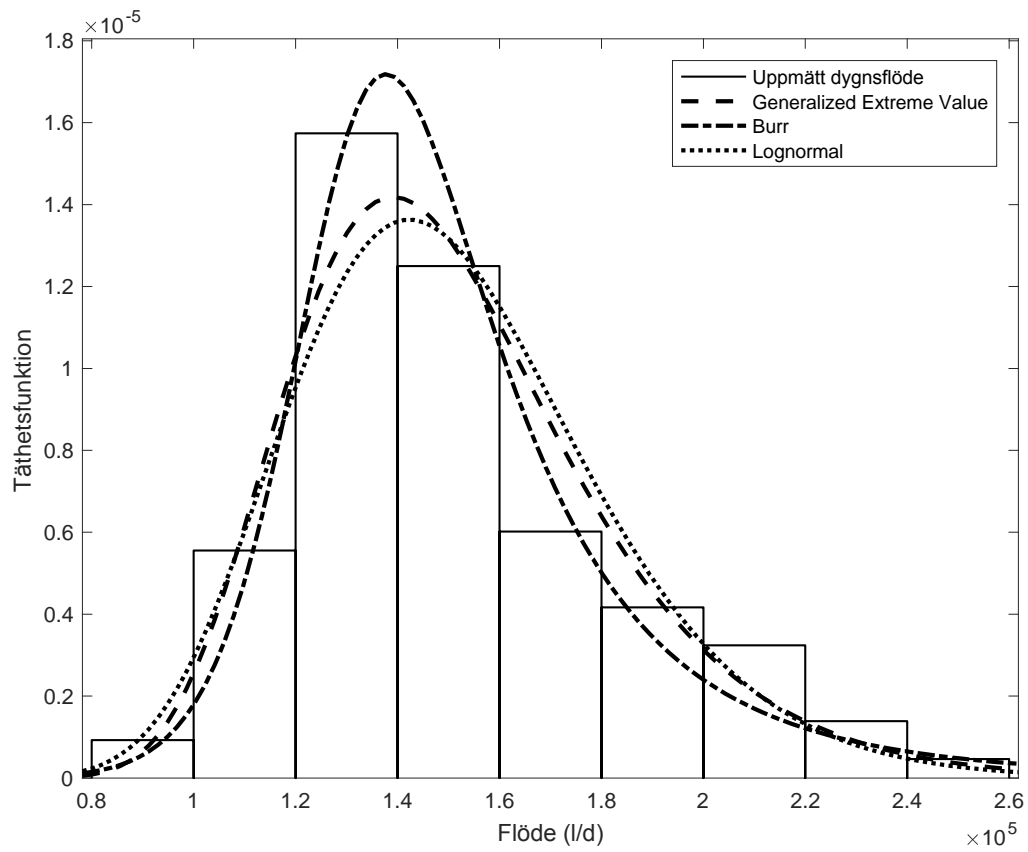
Figur 9. Spillvattenflöde under ett medeldygn beräknat för vardag, helgdag samt över en hel vecka. De ljusa linjerna anger konfidensintervallet för konfidensgraden 95 %.

4.1.1 Specifik spillvattenavrinning

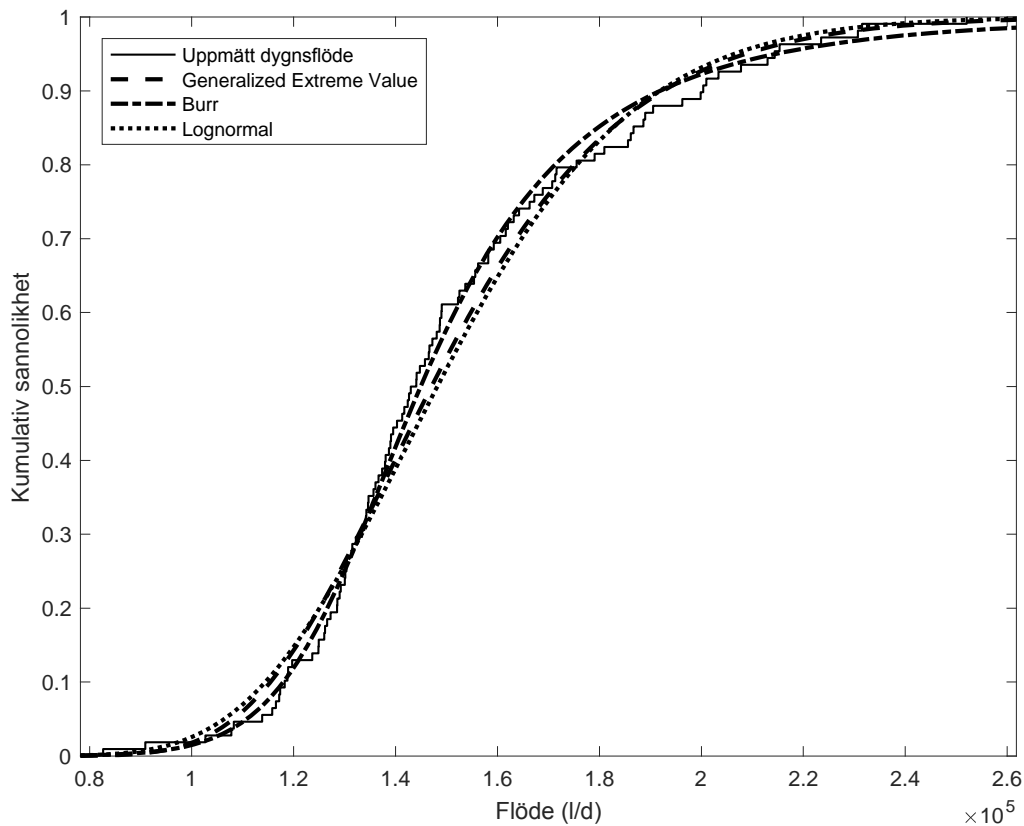
Specifika spillvattenavrinningen under mätperioden var 114 l/p/d. Konfidensintervallet runt medelvärdet beräknades baserat på centrala gränsvärdessatsen till 110-118 l/p/d.

4.1.2 Skattning av högsta dygnsflöde

Fördelningarna som visuellt gav bästa anpassningarna till de uppmätta dygnsflödena var Generalized Extreme Value, Burr och lognormal (Figur 10 och Figur 11). Sannolikhetsfunktionen samt anpassade parametervärden för fördelningarna återfinns i Tabell 17 i APPENDIX C.



Figur 10. Täthetsfunktion med uppmätta dygnsflöden samt de anpassade fördelningarna Generalized Extreme Value, Burr och lognormal.



Figur 11. Empirisk fördelningsfunktion för uppmätta dygnsflöden samt teoretiska fördelningsfunktioner för de anpassade fördelningarna Generalized Extreme Value, Burr och lognormal.

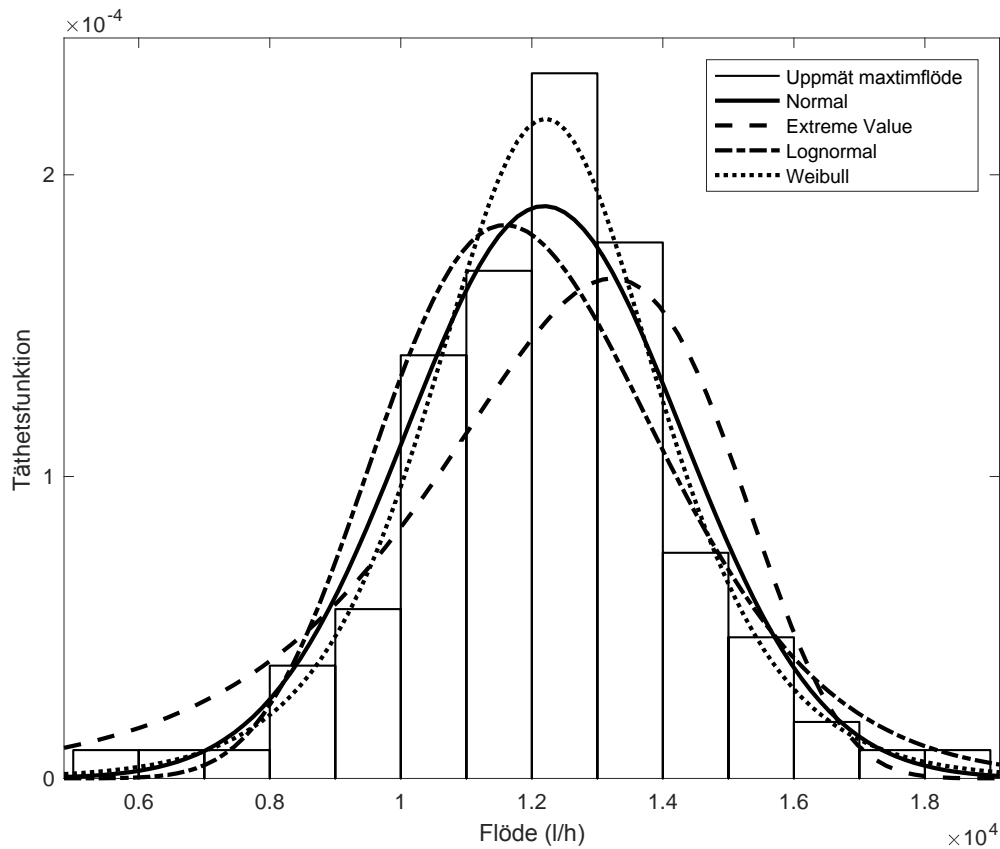
Nollhypotesen kunde inte förkastas för fördelningarna Generalized Extreme Value, Burr och lognormal (Kolmogorov-Smirnovs test, $n=107$, $p>0,05$; Tabell 11), vilket innebär att det inte gick att förkasta att data kommer från de antagna fördelningarna. Det erhållna p-värdet ses som ett mått på hur väl fördelningarna passar data.

Tabell 11. Summering av testresultat från Kolmogorov-Smirnovs test för dygnsflöden ($n=107$). Om testresultatet är 0 ($p>0,05$) kan nollhypotesen, H_0 : data kommer från den antagna fördelningen, inte förkastas med fördel för den alternativa hypotesen, H_1 : data kommer inte från en sådan fördelning, med signifikansnivån 5 %.

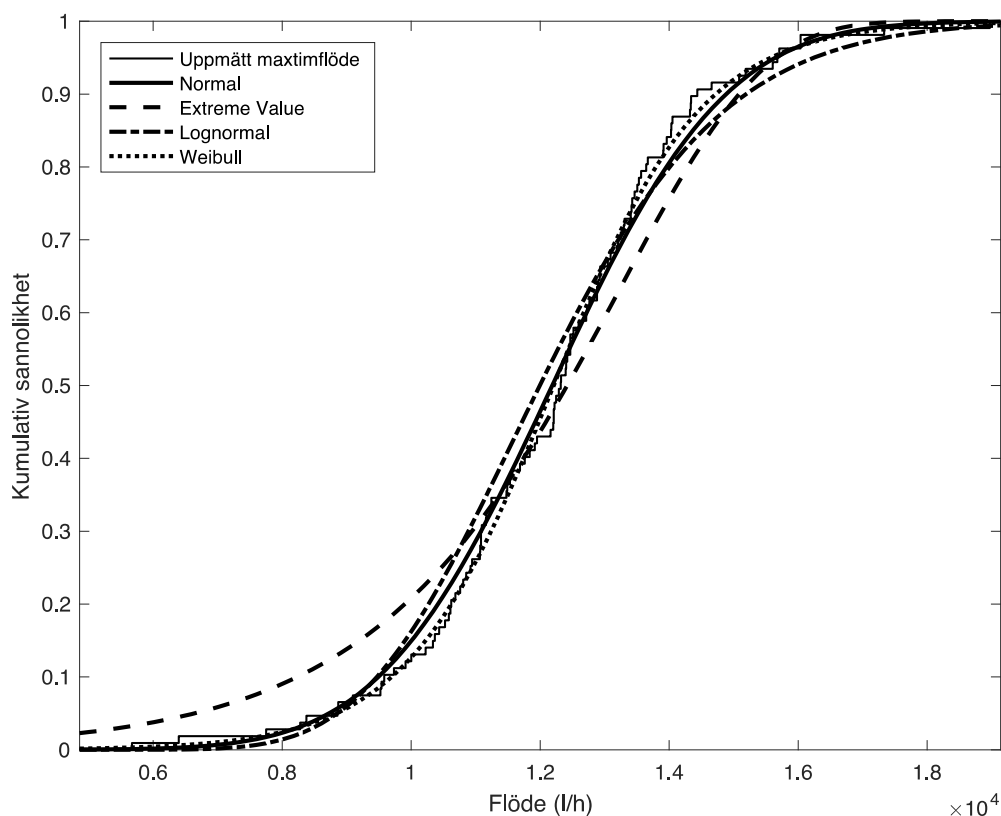
Fördelning	Testresultat	p-värde
Generalized Extreme Value	0	0,41
Burr	0	0,91
Lognormal	0	0,22

4.1.3 Skattning av högsta timflöde

Fördelningarna som visuellt gav bästa anpassningarna till de uppmätta maximflödena för varje dygn var normal, Extreme Value, lognormal och Weibull (Figur 12 och Figur 13). Sannolikhetsfunktionen samt anpassade parametervärden för fördelningarna återfinns i Tabell 19 i APPENDIX C.



Figur 12. Täthetsfunktion över uppmätta maximflödet för varje dygn samt för de anpassade fördelningarna normal, Extreme Value, lognormal och Weibull.



Figur 13. Empirisk fördelningsfunktion för uppmätta maxtimflödet för varje dygn samt teoretiska fördelningsfunktioner för de anpassade fördelningarna normal, Extreme Value, lognormal och Weibull.

Nollhypotesen kunde inte förkastas för fördelningarna normal, Extreme Value, lognormal och Weibull (Kolmogorov-Smirnovs test, $n=107$, $p>0,05$; Tabell 12), vilket innebär att det inte gick att förkasta att data kommer från de antagna fördelningarna. Det erhållna p-värdet ses som ett mått på hur väl fördelningarna passar data.

Tabell 12. Summering av testresultat från Kolmogorov-Smirnovs test för högsta timflöde för varje dygn ($n=107$). Om testresultatet är 0 ($p>0,05$) kan nollhypotesen, H_0 : data kommer från den antagna fördelningen, inte förkastas med fördel för den alternativa hypotesen, H_1 : data kommer inte från en sådan fördelning, med signifikansnivån 5 %.

Fördelning	Testresultat	p-värde
Normal	0	0,72
Extreme Value	0	0,14
Lognormal	0	0,22
Weibull	0	0,82

4.2 MAXFAKTORER

4.2.1 Maxdygnsfaktor

Maxdygnsfaktorn från uppmätta flöden, $C_{d \max, emp}$, beräknades till 1,7 (1,60-1,74). De maxdygnsfaktorer som skattades med hjälp av frekvensanalysen låg något högre. *SI*, som anger den relativa variabiliteten, beräknades till 0,36 (Tabell 13).

*Tabell 13. Beräknade maxdygnsfaktorer, $C_{d \max}$, med 95 % konfidensintervall från uppmätt data samt för de anpassade fördelningarna Generalized Extreme Value (GEV), Burr och lognormal ($lnorm$). Medelvärde för maxdygnsfaktorerna, $C_{d \max, medel}$, spridningen samt den relativa variabiliteten, *SI*, är sammanställda i den undre delen av tabellen. Spridningen anger högsta och lägsta värdet för den beräknade faktorn samt för högsta och lägsta konfidensgränsen. Även erhållet *p*- och *KS*-värde från Kolmogorov-Smirnovs test redovisas.*

	Maxdygnsfaktor	Konfidensintervall	p-värde
$C_{d \max, emp}$	1,67	1,60-1,74	-
$C_{d \max, GEV}$	1,77	1,58-2,18	0,41
$C_{d \max, Burr}$	2,25	-	0,91
$C_{d \max, lnorm}$	1,72	1,58-1,87	0,22
$C_{d \max, medel}$	1,85		
Spridning	1,67-2,25	1,58-2,25	
<i>SI</i>	0,36		

4.2.2 Maxtimfaktor

Maxtimfaktorn från uppmätta flöden, $C_{t \max, emp}$, beräknades till 3,0 (2,95-3,08). När maxtimfaktorn beräknades med hjälp av lognormalfördelningen blev den högre än så, och övriga fördelningar lägre. *SI*, som anger den relativa variabiliteten, beräknades till 0,57 (Tabell 14).

*Tabell 14. Beräknade maxtimfaktorer med 95 % konfidensintervall från uppmätt data samt för de anpassade fördelningarna normal, Extreme Value, lognormal och Weibull. Medelvärde för maxtimfaktorerna, $C_{t \max, medel}$, spridningen samt den relativa variabiliteten, *SI*, är sammanställda i den undre delen av tabellen. Spridningen anger högsta och lägsta värdet för den beräknade faktorn samt för högsta och lägsta konfidensgränsen. Även erhållet *p*-värde från Kolmogorov-Smirnovs test redovisas.*

	Maxtimfaktor	Konfidensintervall	p-värde
$C_{t \max, emp}$	3,01	2,95-3,08	-
$C_{t \max, norm}$	2,86	2,72-3,00	0,72
$C_{t \max, EV}$	2,73	2,64-2,81	0,14
$C_{t \max, lnorm}$	3,18	2,94-3,43	0,22
$C_{t \max, wbl}$	1,94	1,88-2,00	0,82
$C_{t \max, medel}$	2,74		
Spridning	1,94-3,18	1,88-3,43	
<i>SI</i>	0,57		

4.3 DIMENSIONERING OCH UTVÄRDERING

4.3.1 Jämförelse av dimensioneringar

För dimensioneringen med empiriska värden valdes specifika spillvattenavrinningen till den som beräknats från uppmätta flöden, för maxfaktorerna valdes det erhållna medelvärdet för respektive faktor.

Det totala dimensionerande flödet beräknat med empiriska värden var lägre än när dimensionering gjordes enligt Uppsala Vattens anvisningar och enligt P90 och P110. Då antaganden gällande pumpstationen var desamma i samtliga fall erhöles ingen skillnad i dimensionerande flöde för denna. Det framgår att pumpens dimensionering till stor del styr hur stort det dimensionerande flödet i utloppet blir (Tabell 15). Fullständiga dimensioneringar återfinns i APPENDIX D.

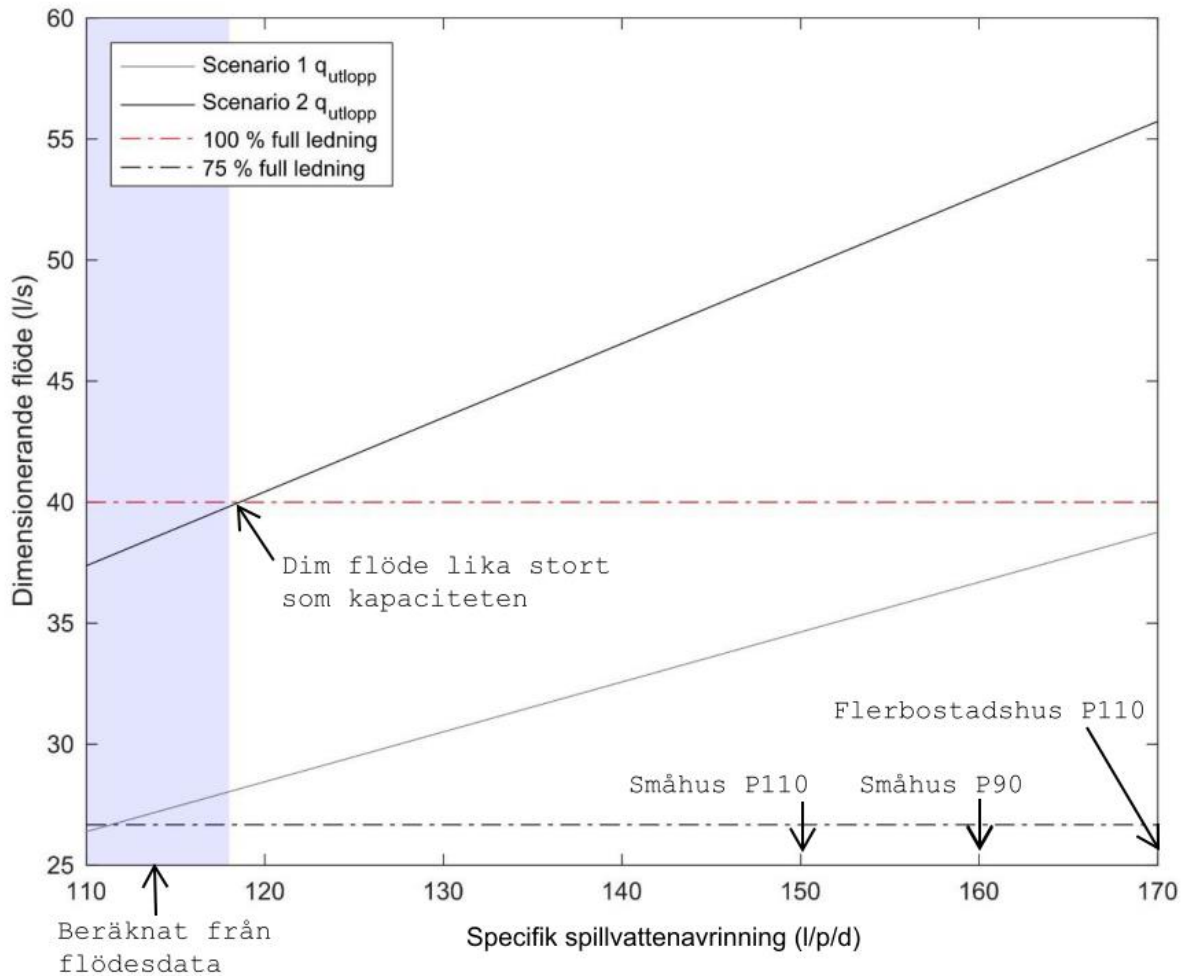
Tabell 15. Dimensionerande flöde för pumpstation, självfallsledning till områdets utlopp samt vid utloppet beräknat enligt Uppsala Vattens projekteringsanvisningar (UVAB), P90, P110 och med värden beräknade från flödesmätningarna. Dimensionerande flödet i utloppet, q_{utlopp} , är summan av dimensionerande flödet för pumpstationen, q_{pump} , och sträckan mellan pumpstationen och utloppet, q_{p-u} . De tre sista kolumnerna visar skillnad i dimensionerande flöde enligt UVAB, P90 resp. P110 jämfört med dimensionering med empiriska faktorer (Emp) framtagna under examensarbetet, det vill säga $(Emp - UVAB)/UVAB$ etc. För pumpstationen användes $q_{d\ medel} = 225\ l/p/d$, $c_{d\ max} = 2,0$ och $c_{t\ max} = 2,5$.

	Dimensioneringssätt				Skillnad		
	UVAB	P90	P110	Emp	UVAB	P90	P110
Dimensionerande flöde för pumpstation							
q_{pump} (l/s)	21	21	21	21	0 %	0 %	0 %
Dimensionerande flöde för sträckan mellan pumpstation och utlopp							
$q_{d\ medel}$ (l/p/d)	190	160	150	114	-40 %	-29 %	-24 %
$c_{d\ max}$	1,8	1,8	1,8	1,9	6 %	6 %	6 %
$c_{t\ max}$	2,2	2,2	2,2	2,7	23 %	23 %	23 %
q_{p-u} (l/s)	11	9	8	8	-22 %	-8 %	-2 %
q_{utlopp} (l/s)	31	30	44	29	-8 %	-2 %	-50 %

Om skillnaderna mellan värdet baserat på flödesmätningar och frekvensanalys skiljt sig mer än $\pm 20\ %$ från UVAB, P90 eller P110 har detta markerats i grått.

4.3.2 Framtidsscenario

För att beräkna dimensionerande flödet när området är färdigutbyggt användes $c_{d\ max} = 1,9$, $c_{t\ max} = 2,7$ som är medelvärdena från de olika uppskattningarna av faktorerna (se Tabell 13 och Tabell 14). Den röda linjen markerar kapaciteten i den befintliga ledningen. Punkten där dimensionerande flödet är detsamma som kapaciteten är utmärkt i figuren. Detta sker för Scenario 2 som är baserat på ett högre antal anslutna personer. Troligtvis hamnar antalet anslutna någonstans mellan vad som är antaget i Scenario 1 och Scenario 2 (Tabell 10). Om specifika spillvattenavrinningen blir för hög eller om antalet anslutna personer blir stort så finns en risk att kapaciteten för ledningen överstigs. Redan vid låga värden på specifik spillvattenavrinning kan den önskade maximala fyllnadsgraden på 75 % överstigas (Figur 14).



Figur 14. Dimensionerande flöde för 842 småhus och 180 lägenheter, 350 förskoleplatser, 600 elever, 30 butiksanställda. Maxfaktorerna valdes som $C_{d\max} = 1,9$ och $C_{t\max} = 2,7$. Specifik spillvattenavrinning har antagits vara densamma för småhus och flerbostadshus. Det skuggade området innefattar det beräknade konfidensintervallet för den uppmätta spillvattenavrinningen, vilket var 110-118 l/p/d. Rekommenderade värden för specifik spillvattenavrinnings enligt P110 och P90, samt det beräknade värdet från flödesdata är utmärkt med pilar. I Scenario 1 antogs 2,7 personer/småhus och 2 personer/lägenhet enligt statistik från SCB (2014). I Scenario 2 antogs 4 personer/småhus och 3 personer/lägenhet, vilket antogs i den ursprungliga dimensioneringen.

5. DISKUSSION

5.1 FLÖDEN OCH FLÖDESVARIATIONER

Av de tre flödesmätare som monterades i ledningsnätet för spillvatten användes endast FM12 som var placerad i områdets utlopp och mätte flödet från hela området. Flödet från området som mätare FM6 täckte var för lågt och gav därmed inget tillförlitligt resultat. Då dimensioneringen inte tar hänsyn till någon flödesdynamik i ledningssystemet användes inte heller FM3 som mätte flödet från pumpstationen. Istället antogs efterföljande ledning dimensioneras för att klara av hela dimensionerande flödet för pumpstationen. Om FM6 hade gett tillförlitliga resultat hade det varit intressant att undersöka om det finns variationer inom ett homogent område.

Vid vissa tidpunkter registrerades negativa flöden. De negativa flödena kan ha berott på att något fastnat på flödesmätaren och att det uppkommit virvlar i flödet. Då negativa flöden uppenbart är felaktiga raderades dessa vid kvalitetsgranskningen (83 st). Borttagandet av dessa skulle kunna ha en påverkan på beräknade medelvärden, men då endast ett fåtal värden tagits bort anses denna vara försumbar då mätvärden erhöles varje minut.

Spillvattenflödet under mätperioden 27 april-13 augusti 2017 uppvisade en del variationer mellan dygnen (Figur 8). Det fanns en utstående period där medel-, max och mintimflödet var högre än för resten av perioden. Denna inföll 27 juni-13 juli och är mest troligt sammankopplad med att många varit hemma under en semesterperiod. Det hade varit önskvärt att samla in data från flödesmätningarna över en längre tidsperiod för att få med ytterligare säsongsvariationer, men på grund av den begränsade tiden för ett examensarbete var detta inte möjligt. Faktumet att spillvattenflödet vissa dygn var noll nattetid tyder på att inget inläckage sker. Detta kan dock vara kopplad till en låg nederbörd under mätperioden, och bör således undersökas närmare för att helt kunna utesluta eventuellt läckage. Det hade även varit intressant att undersöka spillvattenavrinningen specifikt under perioder som särskiljer sig från resten av året, till exempel under semesterperioder och storhelger för att ytterligare öka förståelsen för hur beteendet kring vattenförbrukning ser ut. Detta bör i så fall studeras under ett flertal år för att få med samma tidsperioder under fler än ett år. För att inte behöva ha flödesmätare utplacerade under en så lång tidsperiod skulle studien kunna ske i områden där individuell vattenförbrukning tillämpas och då plocka ut data över en lång tidsperiod.

Spillvattnets variation på dygnsbasis visade på två tydliga toppar (Figur 9), vilket följer mönstret som tidigare påvisats av (Nikell, 1994) relativt bra. Nikell undersökte vattenförbrukningens variation, men det var väntat att spillvattenflödet följer samma mönster eftersom flödena för det mesta samvarierar (Svenskt Vatten, 2016a). Flödestopparna framträder morgon och kväll, i samband med att folk vaknar och gör sig klara för dagen och efter att de kommit hem från sina arbeten. Avvikelserna från Nikells resultat återfinns främst i flödet under vardagar. Nikell fann att det maximala flödet i Hässelby Villastad inträffar morgontid (se Figur 2), medan största flödet i Lindbacken inträffar kvällstid. Likt resultaten från Nikell finns en förskjutning i flödet på morgnarna under helgdagar jämfört med under vardagar. Största flödet uppkommer senare under helgdagar, vilket mest troligt beror på att folk börjar sin dag senare. Kvällstid och natt fanns ingen större skillnad i flödet mellan vardag och helg, vilket tyder på att folk har liknande vanor oavsett dag i veckan. Medeldygnsfloendet under helgdagar var något större än under vardagar, vilket kan förklaras av att fler personer är hemma en större del av dagen och då använder mer vatten i hushållet.

Då befolkningen i dagsläget är relativt liten och homogen (Lindbacken, u.å.a) är det möjligt att spillvattnets variation förändras i takt med att fler bostäder färdigställs och antalet anslutna personer ökar. Förändringar i flödesvariationerna kan även ske i takt med att området åldras. Idag bor många barnfamiljer i området och det möjligt att variationerna i dessa hushåll förändras i takt med att barnen åldras, då det med största sannolikhet medför nya vanor kopplade till vattenanvändningen.

5.1.1 SPECIFIK SPILLVATTENAVRINNING

Specifika spillvattenavrinningen beräknades till 114 l/p/d, vilket är lägre än vad som är angett i både de nya och de gamla riktlinjerna. Även om schablonvärdena för den specifika spillvattenavrinningen sänktes i och med att P110 publicerades är resultatet från detta examensarbete betydligt lägre än de rekommenderade 150 l/p/d. En studie i USA har visat att vattenanvändningen i nybyggda hus är lägre än i äldre hus, mycket till följd av vattensparande utrustning (DeOreo, 2011). Sådan utrustning kan antas finnas i majoriteten av husen i det studerade området och kan eventuellt förklara det låga värdet. En medveten vattenförbrukning kan också vara en bidragande faktor.

En av osäkerheterna förknippade med beräkningen av specifika spillvattenavrinningen är antalet dagar det baseras på, vilket var 107. För att få ett mer statistiskt säkerställt värde bör mätning ske under en längre tidsperiod, gärna mer än ett år, för att få med variationer inom året, och även variationer mellan år. En annan osäkerhet är antalet personer som det totala flödet fördelats på. Då området är ett nyproduktionsområde som ännu inte är färdigställt är det möjligt att personantalet som togs fram i början av mätperioden inte är detsamma under hela mätperioden om fler flyttat in. Av denna anledning togs antalet boende i området fram i ett tidigt skede av arbetet för att undvika att underskatta avrinningen per person. Flödet antogs endast komma från bostäder. Den största allmänna verksamheten utgörs av förskoleverksamhet, vilken under en stor del av mätperioden mest troligt var mindre eller obefintlig jämfört med resten av året. Det ansågs därför rimligt att försumma denna för att inte underskatta medelavrinningen per person och dag. I nuläget bor många barnfamiljer i området och de flesta har barn i relativt unga åldrar. Det är troligt att flödet kommer att förändras i takt med att barnen blir äldre. Inga studier på hur en sådan förändring skulle kunna se ut hittades dock.

5.2 MAXFAKTORER

5.2.1 Maxdygnsfaktor

Maxdygnsfaktorn $c_{d\ emp}$ ligger inom Svenskt Vattens rekommenderade intervall (Tabell 13). Faktorerna $c_{d, \max\ GEV}$, $c_{d\ max, Burr}$ och $c_{d\ max, Inorm}$ som togs fram från antagna fördelningsfunktioner visade sig ligga något högre, men fortfarande inom intervallet för schablonvärdena. Då antalet anslutna personer antogs vara ungefär 1300 under mätperioden bör värdena jämföras med de rekommenderade för 1000-3000 personer. För det intervallet rekommenderas en maxdygnsfaktor mellan 2,3-1,5 och de beräknade faktorerna, med konfidensintervall inkluderade, sträcker sig från 2,3-1,6. Det går därmed inte att säga att faktorerna rekommenderade i Svenskt Vatten är för höga. Ullén och Abdu (2014) fann att maxdygnsfaktorn kan vara överdimensionerande och att Svenskt Vattens schablonvärden bör ses över, vilket inte stämmer med resultaten från denna studie.

Inga extrema uteliggare hittades vid kvalitetsgranskningen för maxdygnsflödena. Detta gör att maxdygnsfaktorerna kan anses ha ett rimligt värde. En längre mätperiod hade troligen

resultat i en mer representativ faktor. Detta kan göra att de faktorerna erhållna från frekvensanalysen bättre återspeglar verkligheten över en längre tidsperiod då de är baserade på det sannolikt högsta flödet under ett år. Faktorn beräknad endast från de uppmätta värdena är baserad på 107 dagar. Burrfördelningen stack ut i jämförelse med de andra anpassade fördelningarna i och med att den erhållna faktorn $c_{d\text{ Burr}} = 2,25$ låg utanför konfidensintervallen för de andra fördelningarna. Enligt p-värdet erhållet från Kolmogorov-Smirnovs test gav fördelningen dock en bra anpassning till data (Tabell 18 i APPENDIX C).

5.2.2 Maxtimfaktor

Maxtimfaktorn $c_{t\text{ max, emp}}$ ligger inom intervallet i Svenskt Vattens riktlinjer, om än precis på gränsen (Tabell 14). För intervallet 1000-3000 anslutna personer rekommenderas en maxtimfaktor mellan 3,0-1,7 och de beräknade faktorerna, med konfidensintervall inkluderade, sträcker sig från 3,4-1,9. Då inga av de beräknade maxtimfaktorerna låg under Svenskt Vattens rekommenderade intervall går det inte att säga att de är för högt satta. Det är däremot möjligt att maxtimfaktorn skulle kunna ligga över det rekommenderade intervallet för områden med omkring 1000 anslutna personer.

På grund av det stora antalet låga timflöden var det svårt att anpassa en fördelning till samtliga timflöden. Anpassningen av en teoretisk fördelning till en dataserie innehållande endast de högsta timflödena för varje dag gav ett bättre resultat. Maxtimfaktorerna från de anpassade fördelningarna beräknades under antagandet att det uppmätta medeltimflödet under medeldygnen är representativt för ett helt år. Problemet med detta beräknings sätt kan vara att ett högre maximalt timflöde bör göra att även medeltimflödet under ett medeldygn ökar.

Vid kvalitetsgranskningen hittades en extrem uteliggare. Detta gör att maxtimfaktorn eventuellt kan ligga något högre. Om denna lämnats kvar i dataserien hade timfaktorn utifrån uppmätt data istället beräknats till 3,6, vilket är högre än Svenskt Vattens rekommenderade intervall.

Om de erhållna värdena för maxtimfaktorerna är jämförbara med de i riktlinjerna kan dock diskuteras. Faktorerna angivna i P110 och P90 baseras på de faktorer som används för dimensionering av vattenledningsnät, vilket görs enligt Svenskt Vattens publikation P83 (2001). I P83 definieras maxtimfaktorn som kvoten mellan det maximala timflödet under ett dygn med maximal förbrukning och medeltimförbrukningen under det dygnet, vilket inte överensstämmer med definitionen i riktlinjerna för dimensionering av spillvattennät. Då maxtimfaktorn beräknades enligt P83 erhöles ett lägre värde (Tabell 16).

Tabell 16. Beräknade maxtimfaktorer enligt definitionerna i P90 respektive P83. Beräkningarna är gjorda utifrån uppmätt data.

	Maxtimfaktor
$c_{t\text{ max, P90}}$	3,0
$c_{t\text{ max, P83}}$	2,2

5.2.3 Osäkerheter

Maxfaktorerna beräknas baserat på högsta flödet under ett dygn respektive en timme. Samtidigt som det är önskvärt att ta bort orimligt höga värden kan det ha stor inverkan på vilken faktor som erhålls. Det var lättare att avgöra rimliga maxvärden på dygnsbasis än på

timbasis då timflödena visar större variation än dygnsflödena. Då högsta värdet för ett dataset är känsligt för avvikande värden skulle det kunna vara lämpligare att använda sig av percentiler, till exempel 95:e eller 90:e percentilen, för att få en mer robust faktor. Det beräknade värdet för känslighetsindexet *SI* avspeglar även den variationerna som fanns mellan de olika faktorerna. Att *SI* var högre för maxtimfaktorn tyder på att denna varierar i större grad än maxdygnsfaktorn (Tabell 13 och Tabell 14).

Osäkerheterna förknippade med de framtagna faktorerna ligger främst i vilket högsta maxdygns- eller maxtimflöde som anses rimligt. Även den korta mätperioden och om perioden kan anses vara representativ för området över en längre tid är en osäkerhet. Det vore därför intressant att mäta under en längre tid för att se om resultatet skulle påverkas. Maxfaktorerna, såväl som flödesvariationerna och specifika spillvattenavrinningen, kan komma att förändras över tid om området blir större och mer heterogent. Enligt resonemanget att faktorerna bör väljas högre i mindre områden (Lidström, 2013) bör faktorerna inte bli högre med tiden utan snarare lägre. Viktigt att komma ihåg är även att de framtagna värdena utifrån uppmätt data endast reflekterar förhållandena på en plats över en kortare tidsperiod. Det finns även en del osäkerheter i frekvensanalysen då den bygger på en relativt kort mätperiod. Det är möjligt att inte alla säsongsvariationer avspeglas i denna.

Att Ullén och Abdu (2016) har använt sig av mätvärden från områden med en stor befolkning (>10000) är en trolig orsak till varför resultaten skiljer sig åt. En större andel anslutna ger generellt en lägre faktor. Bostadsbeståndet i deras arbete har mestadels utgjorts av flerbostadshus, eller en blandning mellan flerbostadshus och småhus, medan bostadsbeståndet i detta arbete nästan enbart består av småhus. En annan skillnad är att de inte urskiljt industrier och verksamheter från hushållsförbrukningen, vilket kan ha påverkat de erhållna maxfaktorerna. De har även använt sig av mätvärden från en tvåårsperiod, vilket ger ett mer robust resultat.

5.3 DIMENSIONERING OCH UTVÄRDERING

5.3.1 Jämförelse av dimensioneringar

Samtliga dimensioneringsätt gav liknande utfall (Tabell 23). Pumpstationen dimensionerades på samma sätt i alla fyra fall. Då flödet från pumpstationen står för största delen av det totala dimensionerande flödet i utloppet kommer detta till stor del avgöra hur stort detta blir.

Den specifika spillvattenavrinningen är den individuella parameter som varierar mest mellan de fyra dimensioneringsätten. Maxfaktorerna som använts är lika för UVAB, P90 och P110 där de valts i mitten av rekommenderade intervall, medan värdena framtagna i detta projekt skiljer sig från dessa. Maxtimfaktorn är den som procentuellt avviker mest av maxfaktorerna (23 %), medan maxdygnsfaktorn endast skiljer sig 6 %.

Det totala dimensionerande flödet skiljde sig mest mellan Uppsala Vattens anvisningar och beräkning med de empiriskt framtagna värdena. Detta beror på den relativt stora skillnaden i specifik spillvattenavrinning. Denna valdes enligt Uppsala Vattens anvisningar till 190 l/p·d, medan det uppmätta värdet var 114 l/p·d. Skillnaderna för de andra dimensioneringarna jämfört med den med empiriska faktorer blev mindre eller ingen alls. Detta beror till stor del på att den lägre specifika spillvattenavrinningen tillsammans med de högre faktorerna tar ut varandra och ger därför ett liknande dimensionerande flöde. Dimensionerande flöde utifrån P110 innan säkerhetsfaktorn lades på blev lika högt som när de empiriska värdena användes. Dimensionerande flöde för P110 med säkerhetsfaktor blev 44 l/s och för de andra

dimensioneringssätten 30 l/s, vilket vid lutningen 5 % överstiger kapaciteten i en ledning med ytterdiameter 200 mm. Därmed skulle 250 mm väljas i samtliga fall. Denna har kapaciteten 46 l/s vid 5 %. Vid 4 % är kapaciteten hos en ledning med 250 mm 40 l/s, vilket innebär att nästa standarddiameter bör övervägas för att inte ledningen ska vara fylld till mer än 75 % vid det dimensionerande flödet.

5.3.2 Framtidsscenario

Det är möjligt att ledningskapaciteten överstigs när området är färdigutbyggt. Dimensioneringarna för de båda scenarierna gjordes med $c_{d\ max} = 1,9$, $c_{t\ max} = 2,7$, medan specifika spillvattenavrinningen varierades. Dessa faktorer speglar variationerna som för nuvarande finns i området, och kan dock komma att ändras över tid. Specifika spillvattenavrinningen antogs vara densamma för både småhus och flerbostadshus. I verkligheten brukar den antas högre i flerbostadshus än i småhus, men då majoriteten av bostäderna i området är småhus bör detta inte ha någon större betydelse. Det är svårt att avgöra hur många personer som kommer att bo i området när det är färdigställt, vilket påverkar storleken på det dimensionerande flödet. Genomgången av material rörande antalet förväntade bostäder i området visade att antalet småhus väntas bli 27 % fler än vad som först planerats för. Antalet lägenheter väntas bli 240 % fler (Tabell 5). Det totala antalet personer i området blir ungefär 2650 enligt Scenario 1 och 3900 enligt Scenario 2 (Tabell 10). Antalet i Scenario 1 är ungefär vad området dimensionerades för 2010, men då utslaget på ett färre antal bostäder. Då antalet bostäder som väntas i området blivit så pass mycket större än först tänkt kan antalet anslutna personer påverka dimensionerande flödet i Ekvation 2 betydligt mer än förändringar i faktorerna eller specifika spillvattenavrinningen. Antagandet med 4 personer/småhus och 3 personer/lägenhet i Scenario 2 kan anses något högt, men kan utgöra en bra säkerhetsmarginal om antalet bostäder, som i detta fall, verkar bli fler än vad som planerades för. Rimligen hamnar dimensionerande flödet någonstans mellan de som beräknats för de båda scenarierna. Önskvärt är att uppnå en säkerhetsmarginal på minst 1,5, detta medför att ledningen är fylld till max 75 % vid det dimensionerande flödet. Även för det lägre antalet personer i Scenario 1 överstigs den önskade fyllnadsgraden för ledningen. För Scenario 2 överstigs den önskade fyllnadsgraden och går nästan full till 100 % redan vid en relativt låg spillvattenavrinning.

I takt med att området åldras är det möjligt att specifika spillvattenavrinningen ökar, men det är samtidigt troligt att maxfaktorerna minskar i takt med att området blir större. Faktorerna som användes är baserade på hur flödet i området ser ut i dagsläget. Detta gör att diagrammet i Figur 14 blir mer osäkert ju högre specifika spillvattenavrinningen är. Ingen hänsyn har tagits till att ledningarnas råhet kan komma att öka med tiden, samt att ett visst inläckage kan ske.

5.4 FÖRSLAG PÅ FORTSATTA STUDIER

- Fortsatt insamling av flödesdata är att rekommendera för att möjliggöra att dimensionering baseras på lokala förhållanden.
- För att validera resultaten i denna studie kan liknande undersökningar göras i andra, likvärdiga områden.
- Fortsatta studier i småhusområden som är byggnadsmässigt homogena, men äldre än det studerade området, kan vara intressanta för att se hur flödet i ett nybyggt område kan komma att utvecklas över tid.

- Det kan vara intressant att undersöka den låga spillvattenavrinningen ytterligare, då med fokus på hur stor roll vattensparande utrustning spelar gentemot beteendet hos användaren.

6. SLUTSATSER

Utifrån resultat och diskussion kunde följande konstateras:

- Specifika spillvattenavrinningen var lägre än i Svenskt vattens riktlinjer.
- Maxfaktorerna som rekommenderas i Svenskt Vattens riktlinjer är lämpliga att applicera på nybyggda småhusområden, som ofta är väldigt homogena. Det kan vara lämpligt att välja faktorerna i den högre delen av intervallet för att inte underdimensionera systemet.
- Flexibiliteten i en detaljplan medför en stor osäkerhet kring antalet bostäder, vilket gör det ännu svårare att uppskatta antalet anslutna personer. Detta är något som bör tas i beaktning vid nyanläggning av spillvattenförande system i andra områden.

7. REFERENSER

7.1 TRYCKTA KÄLLOR OCH INTERNETREFERENSER

Alm, S. E. & Britton, T. (2011). Stokastik. 2. ed Stockholm: Liber AB. ISBN 987-91-47-05351-3.

Davis, M. L. (2010). General Water Supply Design Considerations. I *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*. McGraw Hill Professional.

DeOreo, W.B. (2011). *Analysis of Water Use in New Single Family Homes*. Aquacraft, Inc. Water Engineering and Management.

Crowe, C. T., Elger, D. F., Roberson, J. A. (2014). Engineering Fluid Mechanics. 8 ed. Wiley. ISBN 978-04-71-48737-1.

Hamed K. & Rao A. R. (1999). Flood Frequency Analysis. CRC Press. ISBN 978-08-49-30083-7.

Jacobs, H. E. & Haarhoff, J. (2004). Application of a residential end-use model for estimating cold and hot water demand, wastewater flow and salinity. *Water SA*, 30 (3), 305–316.

Lag om allmänna vattentjänster, SFS 2006:412.

<http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/20060412.htm> (Hämtad 2017-05-10).

Lidström, V. (2013). *Vårt vatten*. 2. uppl. Solna: Svenskt Vatten AB.

Lindbacken (u.å.a). <http://www.lindbacken-uppsala.se/omradet/> (Hämtad 2017-06-20).

Lindbacken (u.å.b). <http://www.lindbacken-uppsala.se/omradet/utveckling/> (Hämtad 2017-07-07)

Lopes, R. H. C. (2011). Kolmogorov-Smirnov Test. I Lovric, M. (Red.) *International Encyclopedia of Statistical Science*, 718-720. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-04898-2.

Mathworks (u.å.a). stats::normalCDF.

https://se.mathworks.com/help/symbolic/mupad_ref/stats-normalcdf.html (Hämtad 2018-07-09)

Mathworks (u.å.b). logncdf. <https://se.mathworks.com/help/stats/logncdf.html> (Hämtad 2018-07-09)

Mathworks (u.å.c). ExtremeValueDistribution.

<https://se.mathworks.com/help/stats/prob.extremevaluedistribution.html> (Hämtad 2018-07-09)

Mathworks (u.å.d). gevcdf. <https://se.mathworks.com/help/stats/gevcdf.html> (Hämtad 2018-07-09)

Mathworks (u.å.e). Burr Type XII Distribution. <https://se.mathworks.com/help/stats/burr-type-xii-distribution.html> (Hämtad 2018-07-09)

Mathworks (u.å.f). wblcdf. <https://se.mathworks.com/help/stats/wblcdf.html> (Hämtad 2018-07-09)

Miljöbalk, SFS 1998:808. <http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/19980808.htm#K9P7S2> (Hämtad 2017-05-10).

Nikell, L. (1994). *Vattenförbrukningens dygnsvariation*. Stockholm: Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV.

SCB (2014). Villa vanligaste boendeformen. 2014-03-04. (Hämtad 2017-09-20).

Svenskt Vatten (2001). Publikation: Allmänna ledningsnät. anvisningar för utformning, förnyelse och beräkning: Hur du dimensionerar och utformar ett vattenledningsnät. Svenskt Vatten Publikation P83.

Svenskt Vatten (2004). Publikation: Dimensionering av allmänna avloppsledningar. Svenskt Vatten Publikation P90.

Svenskt Vatten (2016a). Publikation: Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Svenskt Vatten Publikation P110.

Svenskt Vatten (2016b). Avloppsfakta. (2016-03-30). <http://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/avloppsfakta/> (Hämtad 2017-09-29).

Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company.

Ullén, P. & Abdu, M. (2014). *Dimensionerande vattenförbrukning och dess variationer*. Diss., KTH Arkitektur och samhällsbyggnad.

United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2016). Pricing and Affordability of Water Services. 2016-01-25. Hämtad (2017-10-30).

Uppsala kommun (2010). *Detaljplan för Vaksala-Lunda 1:12 m fl (Jälla)*.

Uppsala Vatten (2011). PM 22 - Projekteringsanvisningar för VA-anläggningar.

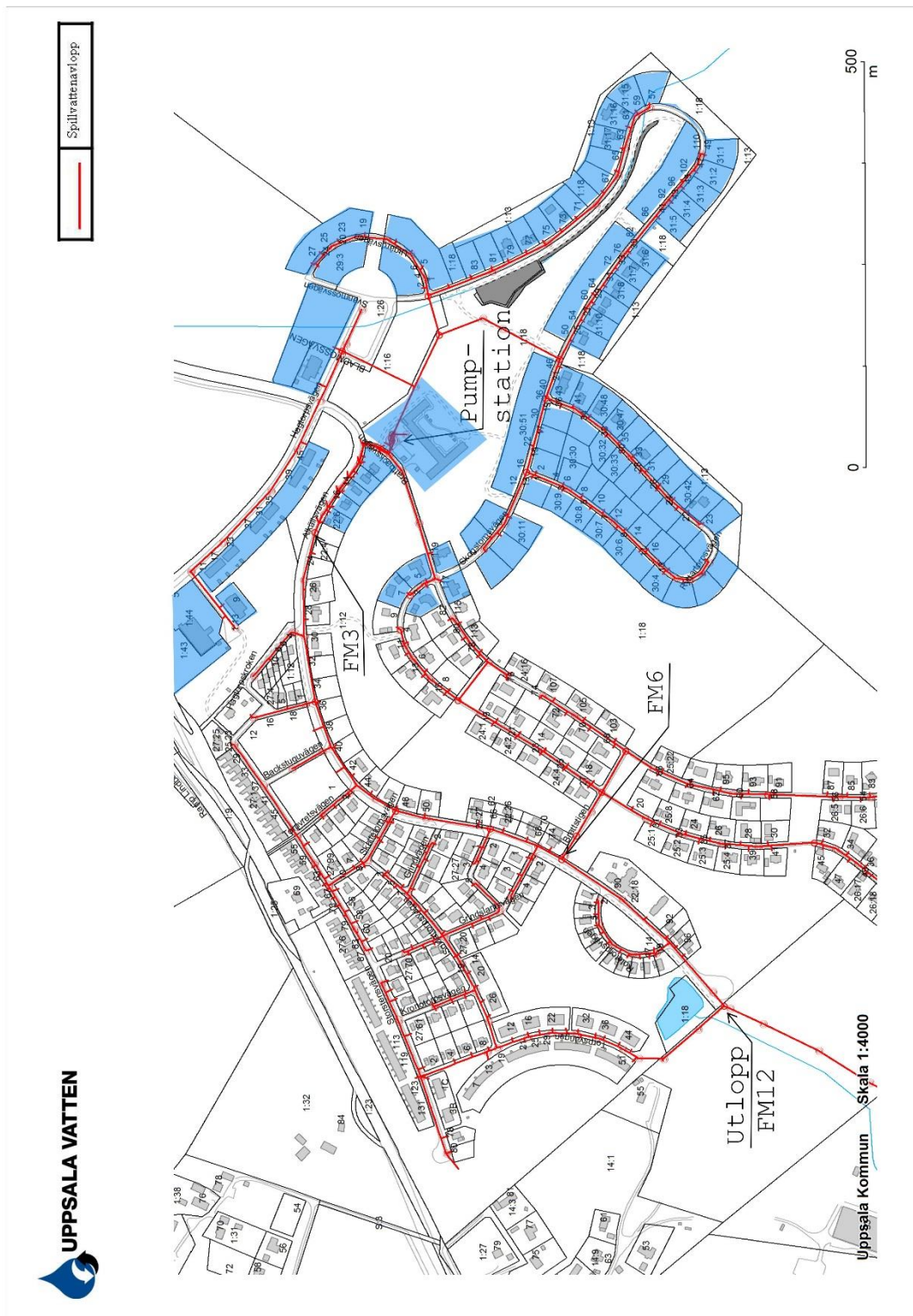
VAV, Svenska vatten- och avloppsverksföreningen (1984). Publikation: Avloppspumpstationer – Dimensionering, utformning och drift. Svenskt Vatten Publikation P47.

Xu, C. (2011). *Statistical and Stochastic Methods in Hydrology*. Department of Geosciences, University of Oslo.

7.2 PERSONLIGA MEDDELANDEN

Elfström, M-L. (2017). Marie-Louise Elfström, planarkitekt, Uppsala kommun. Skriftl. e-post 2017-09-22.

APPENDIX A



Figur 15. Befintligt spillvattennät i Lindbacken (röda linjer). Flödet från det blåmarkerade området går till en pump i centrala delen av området för att sedan ledas vidare till utloppet markerat i sydväst (Uppsala Vatten). Pumpstationen i centrala området, utloppet i sydväst samt de tre flödesmätarnas placering är markerade i bild.

APPENDIX B

Matlabkod för anpassning av fördelningsfunktioner till uppmätta dygnsflöden samt beräkning av maxdygnsfaktorer. Motsvarande gjordes för maxtimflödena.

```
% Testar lämpliga sannolikhetsfördelningar för uppmätta
dygnsflöden för att
% beräkna maxdygnsfaktorer.
% De mest lämpliga fördelningarna från applikationen
Distribution Fitting
% plottas grafiskt för visuell jämförelse och testas med
% Kolmogorov-Smirnovs test.

close all
%clear all
%clc
%% q_daily
% läs in data
qd = dlmread('q_daily.csv',';',1,1); %läser in
dygnsmedelflöden
%% Visuell inspektion av data
hist(qd) % histogram över dygnsmedelflöde
title('Histogram q_d')

figure
[h,stats] = cdfplot(qd); % empirisk CDF-plot

% Ta fram parametervärden och rita upp CDF
% tar fram parametervärden för Normal-, General Extreme Value-,
, Burr- och
% lognormal-fördelning anpassat till qd.
[muhat,sigmahat] = normfit(qd); % normalfördelning
[paramEsts_gev,paramCIs_gev] = gevfit(qd); % GEV
paramEsts_burr = fitdist(qd,'Burr'); % Burr
paramEsts_logn = fitdist(qd,'Lognormal'); %lognormal

% ritar upp kumulativa fördelningsfunktionen för
fördelningarna ovan
rng default;
hold on
x = 50000:1000:400000;
fNorm = normcdf(x,muhat,sigmahat);
fGEV =
gevcdf(x,paramEsts_gev(1),paramEsts_gev(2),paramEsts_gev(3));
fBurr =
cdf('Burr',x,paramEsts_burr.alpha,paramEsts_burr.c,paramEsts_b
urr.k);
fLogn =
cdf('Lognormal',x,paramEsts_logn.mu,paramEsts_logn.sigma);
plot(x,fNorm,x,fGEV,x,fBurr,x,fLogn,'m') % plottar empirisk
och teoretiska CDF
```

```

legend('Empirical
q_d', 'Normal', 'GEV', 'Burr', 'Lognormal', 'Location', 'NW')
hold off

%% Kolmogorov-Smirnovs test för att kontrollera fördelning för
data
% skapar fördelningar baserade på parametervärdena framtagna
från qd
test_cdf_norm =
makedist('Normal', 'mu', muhat, 'sigma', sigmahat);
test_cdf_gev =
makedist('GeneralizedExtremeValue', 'k', paramEsts_gev(1), 'sigma
', paramEsts_gev(2), 'mu', paramEsts_gev(3));
test_cdf_burr = makedist('Burr', 'alpha', paramEsts_burr.alpha,
'c', paramEsts_burr.c, 'k', paramEsts_burr.k);
test_cdf_logn =
makedist('Lognormal', 'mu', paramEsts_logn.mu, 'sigma', paramEsts_
logn.sigma);

% ks-test: testar avstånd mellan emp CDF och de som skapats
ovan
% signifikansnivå 5 % (risken att förkasta H0 av misstag är 5
%)
% Om hyp_dist = 0: h0 kan inte avfärdas -> tillhör fördelning
% Om hyp_dist = 1: data tillhör inte fördelning
[hyp_gev, pgev] = kstest(qd, 'CDF', test_cdf_gev)
[hyp_burr, pburr] = kstest(qd, 'CDF', test_cdf_burr)
[hyp_norm, pnorm] = kstest(qd, 'CDF', test_cdf_norm)
[hyp_logn, plogn] = kstest(qd, 'CDF', test_cdf_logn)

%% Beräknar maxdygnsfaktorer, cdmax = max(qd)/mean(qd)
% Uppmätt data
cdmax_emp = max(qd)/mean(qd) % maxdygnsfaktor från uppmätta
värden

% Från CDF
% Sannolikhet att inte överstiga flödet med återkomstperioden
R: P(qd<x) =
% 1-1/R.
R = 365;

% GEV
qmax_gev = gevinv(1-
1./R, paramEsts_gev(1), paramEsts_gev(2), paramEsts_gev(3)); %
sannolikt maxdygnsflöde under ett år
cdmax_gev = qmax_gev/mean(test_cdf_gev)

nllCritVal =
gevlike([paramEsts_gev(1), paramEsts_gev(2), paramEsts_gev(3)], q
d) + .5*chi2inv(.95,1)

```

```

CIobjfun = @(params) gevinv(1-
1./R,params(1),params(2),params(3));

CIconfun = @(params) deal(gevlike(params,qd) - nllCritVal,
[]);

opts = optimset('Algorithm','active-set', 'Display','notify',
'MaxFunEvals',1000, ...
'RelLineSrchBnd',.1,
'RelLineSrchBndDuration',Inf);
[params,qmax_gevLower,flag,output] = ...
fmincon(CIobjfun,paramEsts_gev,[],[],[],[],[],[],CIconfun,
opts);

CIobjfun = @(params) -gevinv(1-
1./R,params(1),params(2),params(3));

[params,qmax_gevUpper,flag,output] = ...
fmincon(CIobjfun,paramEsts_gev,[],[],[],[],[],CIconfun,
opts);

qmax_gevUpper = -qmax_gevUpper;

qmax_gevCI = [qmax_gevLower, qmax_gevUpper]; % CI för
maxdygnsflöde från GEV
cdmax_gevCI = [qmax_gevLower/mean(test_cdf_gev),
qmax_gevUpper/mean(test_cdf_gev)] % konfidensintervall för
maxdygnsfaktorn

% Burr
qmax_burr = icdf(test_cdf_burr,(1-1/R)); % sannolikt
maxdygnsflöde under ett år
cdmax_burr = qmax_burr/mean(test_cdf_burr) % sannolik
maxdygnsfaktor för ett år

% Lognormal
[qdmax_logn, qdmax_lognLower, qdmax_lognUpper] = logninv((1-
1/R),paramEsts_logn.mu,paramEsts_logn.sigma,paramEsts_logn.Par
ameterCovariance,0.05) % sannolikt maxdygnsflöde under ett år
cdmax_logn = qdmax_logn/mean(test_cdf_logn) % sannolik
maxdygnsfaktor för ett år
cdmax_lognCI = [qdmax_lognLower/mean(test_cdf_logn),
qdmax_lognUpper/mean(test_cdf_logn)] % konfidensintervall för
maxdygnsfaktorn

```

APPENDIX C

SANNOLIKHETSFUNCTIONER FÖR ANPASSADE FÖRDELNINGAR

Normalfördelning

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \text{ där } \mu = \text{medelvärde, } \sigma = \text{standardavvikelse (Mathworks, u.å.a)}$$

Lognormalfördelning

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{e^{-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{t} dt, \text{ där } \mu = \text{medelvärde, } \sigma = \text{standardavvikelse (Mathworks, u.å.b).}$$

Extreme Value

Innehåller två parametrar, där μ = lägesparameter, σ = skalparameter (Mathworks, u.å.c).

Generalized Extreme Value

Innehåller tre parametrar, där k = formparameter, σ = skalmarameter, μ = lägesparameter (Mathworks, u.å.d).

Burr Type XII

$$f(x|a, c, k) = 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{x^c}{a}\right)^k}, \text{ där } a = \text{skalparameter, } c = \text{formparameter, } k = \text{formparameter (Mathworks, u.å.e).}$$

Weibull

$$f(x|a, b) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b} I_{(0,\infty)}(x), \text{ där } a = \text{skalparameter, } b = \text{formparameter (Mathworks, u.å.f).}$$

DYGNSFLÖDEN

Tabell 17. Parametervärden för sannolikhetsfördelningarna som användes i Kolmogorov-Smirnovs test för att testa avståndet mellan den empiriska fördelningsfunktionen för dygnsflöden och den teoretiska för respektive fördelning.

Fördelning	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
GEV	k: -0,056	σ : 2,5977e+04	μ : 1,3764e+05
Burr	α : 1,3278e+05	c: 12,3657	k: 0,5044
Lognormal	μ : 11,9063	σ : 0,2015	-

Tabell 18. Medeldygnsflöde, maxdygnsflöde samt beräknad maxdygnsfaktor utifrån fördelningsfunktionen för respektive fördelning i Tabell 17. Det 95-procentiga konfidensintervallet är angivet i parentes.

Fördelning	Medeldygsflöde (l/d)	Maxdygsflöde (l/d)	Maxdygsfaktor
GEV	151260	268004 (238840-330394)	1,77 (1,58-2,18)
Burr	151680	341943	2,25
Lognormal	151240	259386 (238432-282181)	1,72 (1,58-1,87)

TIMFLÖDEN

Anpassning av fördelningsfunktioner till högsta timflödet för varje dygn

Tabell 19. Parametervärden för sannolikhetsfördelningarna som användes i Kolmogorov-Smirnovs test för att testa avståndet mellan den empiriska fördelningsfunktionen för högsta timflöden och den teoretiska för respektive fördelning.

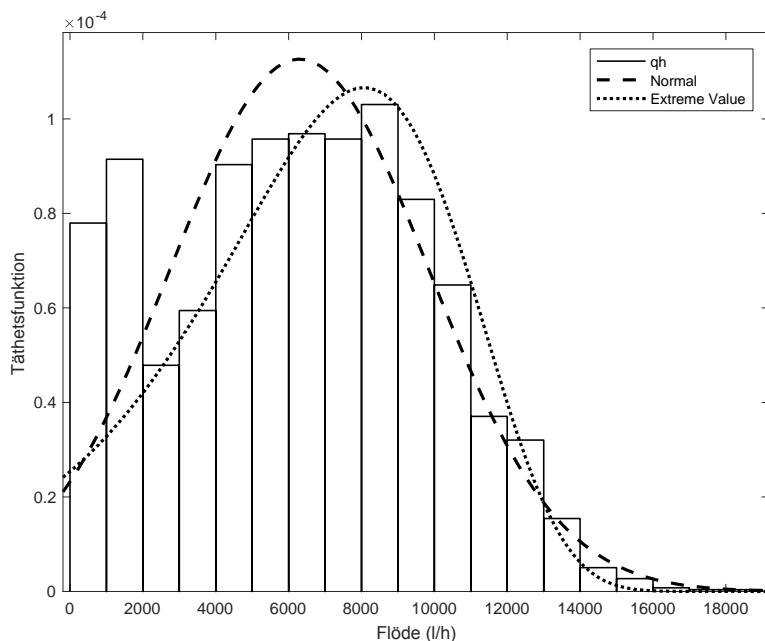
Fördelning	Parameter 1	Parameter 2
Normal	μ : 1,2187e+04	σ : 2,1036e+03
Extreme Value	μ : 1,3232e+04	σ : 2,2202e+03
Lognormal	μ : 9,3921	σ : 0,1845
Weibull	a: 1,2209e+04	b: 1,1435e+03

Tabell 20. Medeltimflöde under medeldygn, maxtimflöde samt beräknad maxtimfaktor utifrån fördelningsfunktionen för respektive fördelning i Tabell 19. Medeltimflöde under medeldygn beräknades utifrån uppmätta flöden. Det 95-procentiga konfidensintervallet är angivet i parentes.

Fördelning	Medeltimflöde (l/h)	Maxtimflöde (l/h)	Maxtimfaktor
Normal	6300	18029 (17146-18913)	2,86 (2,72-3,00)
Extreme Value	6300	17173 (16624-17722)	2,73 (2,64-2,81)
Lognormal	6300	20022 (18529-21635)	3,18 (2,94-3,43)
Weibull	6300	12228 (11859- 12609)	1,94 (1,88-2,00)

Anpassning av fördelningsfunktioner till samtliga timflöden

Fördelningarna som visuellt gav bästa anpassningarna till samtliga uppmätta timflödena var en normalfördelning och en Extreme Value-fördelning (Figur 16). Anpassade parametervärden för fördelningarna återfinns i Tabell 21. På grund av det stora antalet låga värden förkastades nollhypotesen för Kolmogorov-Smirnovs test i båda fallen (Kolmogorov-Smirnovs test, $p < 0,05$; Tabell 22). Resultat från Kolmogorov-Smirnovs test återfinns i Tabell 22.



Figur 16. Täthetsfunktion över samtliga uppmätta timflöden samt för anpassad normalfördelning och Extreme Value-fördelning.

Tabell 21. Parametervärden som användes i Kolmogorov-Smirnovs test för att testa avståndet mellan den empiriska fördelningsfunktionen för samtliga timflöden och den teoretiska för respektive fördelning.

Fördelning	Parameter 1	Parameter 2
Normal	μ : 6,2966e+03 σ :	3,5417e+03
Extreme Value	μ : 8,0722e+03 σ :	3,4505e+03

Tabell 22. Summering av testresultat från Kolmogorov-Smirnovs test för samtliga timflöden. Om testresultatet är 0 ($p > 0,05$) kan nollhypotesen, H_0 : data kommer från den antagna fördelningen, inte förkastas med fördel för den alternativa hypotesen, H_1 : data kommer inte från en sådan fördelning, med signifikansnivån 5 %.

Fördelning	Testresultat	p-värde
Normal	1	5.2474e-08
Extreme Value	1	3.2226e-23

APPENDIX D

Jämförelse av olika dimensioneringsätt (Tabell 23). Ursprunglig dimensionering från 2010 motsvarar första kolumnen UVAB.

Tabell 23. Dimensionerande flöde för pumpstation, självfallsledning till områdets utlopp samt vid utloppet beräknat enligt Uppsala Vattens projekteringsanvisningar (UVAB), P90, P110 och med empiriska värden. Dimensionerande flödet i utloppet, q_{utlopp} , är summan av

dimensionerande flödet för pumpstationen och sträckan mellan pumpstationen och utloppet. De tre sista kolumnerna visar skillnad i dimensionerande flöde enligt UVAB, P90 resp. P110 jämfört med dimensionering med empiriska faktorer framtagna under examensarbetet, det vill säga (UVAB-Emp)/UVAB etc. För pumpstationen användes $q_{d\text{ medel}} = 225 \text{ l/p}\cdot\text{d}$, $c_{d\text{ max}} = 2,0$ och $c_{t\text{ max}} = 2,5$. För P110 visas dimensionerande flöde samt procentuell skillnad före och efter säkerhetsfaktorn lagts på.

	Dimensioneringsätt				Skillnad		
	UVAB	P90	P110	Emp	UVAB	P90	P110
Dimensionerande flöde för pumpstation							
pe	1580	1580	1580	1580	0 %	0 %	0 %
$q_{d\text{ medel}} \text{ (l/p}\cdot\text{d)}$	225	225	225	225	0 %	0 %	0 %
$c_{d\text{ max}}$	2,0	2,0	2,0	2,0	0 %	0 %	0 %
$c_{t\text{ max}}$	2,5	2,5	2,5	2,5	0 %	0 %	0 %
$q_{\text{pump}} \text{ (l/s)}$	20,6	20,6	20,6	20,6	0 %	0 %	0 %
Dimensionerande flöde mellan pump och utlopp							
pe	1232	1232	1232	1232	0 %	0 %	0 %
$q_{d\text{ medel}} \text{ (l/p}\cdot\text{d)}$	190	160	150	114	-40 %	-29 %	-24 %
$c_{d\text{ max}}$	1,8	1,8	1,8	1,9	6 %	6 %	6 %
$c_{t\text{ max}}$	2,2	2,2	2,2	2,7	23 %	23 %	23 %
$q_{p-u} \text{ (l/s)}$	10,7	9,0	8,5	8,3	-22 %	-8 %	-2 %
$q_{\text{utlopp}} \text{ (l/s)}$	31,3	29,6	29,0/43,6	28,9	-8 %	-2 %	0/-50 %

APPENDIX E

```
% Dimensionering Lindbacken
clear all
close all
%% Områdesinformation
% Till pump
hus_centr = 488;
lgh_centr = 180;
forskola_centr = 250; %a nta l förskolebarn
skola_centr = 600; % antal elever
butik_centr = 30; % antal butiksanställda

% Från pump
hus_sodr = 354;
lgh_sodr = 0;
forskola_sodr = 100;
skola_sodr = 0;
butik_sodr = 0;
%% Konstanter
p_hus_1 = 2.7; % antal personer/småhus
p_lgh_1 = 2; % antal personer/lägenhet
p_hus_2 = 4;
p_lgh_2 = 3;
S_pump = 1.5; % säkerhetsfaktor för pump
S_P110 = 1.5; % säkerhetsfaktor enligt P110

% Specifik spillvattenavrinning från allmän verksamhet
qd_forskola = 50; % l/barn*d
qd_skola = 40; % l/elev*d
qd_butik = 60; % l/anställd*d

% Maxfaktorer
cd_grav = 1.9;
ct_grav = 2.7;

% Övriga flöden
q_ind = 0;
q_inlack = 0;
%% Scenario 1
qd = [110:5:200]

for i = 1:length(qd)
    % qdim_pump, dimensionerande flöde från pumpstation
    q_hushall_pump_1 = qd(i)*hus_centr*p_hus_1 +
qd(i)*lgh_centr*p_lgh_1;
    q_allm_pump = qd_forskola*forskola_centr +
qd_skola*skola_centr + qd_butik*butik_centr;

    qdim_pump_1(i) = ((q_hushall_pump_1 +
q_allm_pump)*cd_grav*ct_grav/(3600*24))*S_pump;
```

```

    % qdim_p-u, dimensionerande flöde mellan pumpstation och
    utlopp
    q_hushall_sodr_1 = qd(i)*hus_sodr*p_hus_1 +
qd(i)*lgh_sodr*p_lgh_1;
    q_allm_sodr = qd_forskola*forskola_sodr +
qd_skola*skola_sodr + qd_butik*butik_sodr;

    qdim_sodr_1(i) = (q_hushall_sodr_1 +
q_allm_sodr)*cd_grav*ct_grav/(3600*24);

    % qdim_utlopp, totalt dimensionerande flöde i utlopp
    qdim_utlopp_1(i) = qdim_pump_1(i) + qdim_sodr_1(i);
end
%% Scenario 2
qd = [110:5:200]

for i = 1:length(qd)
    % qdim_pump, dimensionerande flöde från pumpstation
    q_hushall_pump_2 = qd(i)*hus_centr*p_hus_2 +
qd(i)*lgh_centr*p_lgh_2;
    q_allm_pump = qd_forskola*forskola_centr +
qd_skola*skola_centr + qd_butik*butik_centr;

    qdim_pump_2(i) = ((q_hushall_pump_2 +
q_allm_pump)*cd_grav*ct_grav/(3600*24))*S_pump;

    % qdim_p-u, dimensionerande flöde mellan pumpstation och
    utlopp
    q_hushall_sodr_2 = qd(i)*hus_sodr*p_hus_2 +
qd(i)*lgh_sodr*p_lgh_2;
    q_allm_sodr = qd_forskola*forskola_sodr +
qd_skola*skola_sodr + qd_butik*butik_sodr;

    qdim_sodr_2(i) = (q_hushall_sodr_2 +
q_allm_sodr)*cd_grav*ct_grav/(3600*24);

    % qdim_utlopp, totalt dimensionerande flöde i utlopp
    qdim_utlopp_2(i) = qdim_pump_2(i) + qdim_sodr_2(i);
end

plot(qd,qdim_pump_1, qd,qdim_utlopp_1, qd,qdim_pump_2,
qd,qdim_utlopp_2)
legend('Scenario 1 q_{pump}','Scenario 1 q_{utlopp}','Scenario
2 q_{pump}','Scenario 2 q_{utlopp}','Location','NW')
xlabel('Specifik spillvattenavrinning (l/pd)')
ylabel('Dimensionerande flöde (l/s)')

```