



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 16024

Examensarbete 30 hp
Juni 2016

Utvärdering av multikriterieanalys som verktyg för spatial resursallokering av dagvattenåtgärder för tillskottsvatten i spillvattennät

Hanna Vallin

REFERAT

Utvärdering av multikriterieanalys som verktyg för spatial resursallokering av dagvattenåtgärder för tillskottsvatten i spillvattennät

Hanna Vallin

Utbyggnation av städer och allt större andel hårdgjorda ytor leder till problem med dagvattenhanteringen. Flödena blir snabbare samtidigt som större mängder än tidigare bildar avrinning och då är det viktigt att de befintliga systemen klarar av att hantera dem. Dagvatten från tak och hårdgjorda ytor och dräneringsvatten från källarfastigheter kan vara kopplat till spillvattennätet och leda till att vattenflödena i ledningarna vid stora regn kan bli betydligt större än de är dimensionerade för, med kapacitetsproblem som följd. En lösning som många VA-huvudmän har implementerat är att använda öppna dagvattenlösningar istället för att välja det mer kostnadskrävande alternativet att bygga ut ledningssystemet. Att koppla om stuprör, brunnar och dräneringsledningar och gräva diken för att leda om vattnet är både kostnads- och resurskrävande. Syftet var därför att undersöka om multikriterieanalys kan fungera som ett lämpligt verktyg för att allokera resurserna till de områden som ger mest nytta per satsad krona. Detta genom att ta fram en metodik för detta syfte och testa dess robusthet för att avgöra om den är lämplig att applicera eller om osäkerheterna i parametervärdena blir för stora för att några slutsatser ska kunna dras.

Metodiken som togs fram testades på Bjursås, ett litet samhälle två mil utanför Falun, eftersom omfattande utredningar gjorts i området tidigare, vilket innebar att mycket data fanns att tillgå. Undersökningar gjordes av var mängderna kunde förväntas bli stora, var det fanns stor risk för källaröversvämningar och vilka områden som bidrog mest till bräddningar. Detta utvärderades tillsammans med förväntade åtgärds-kostnader och en samlad bedömning gjordes av var nyttan per satsad krona bör bli störst.

Stora osäkerheter återfanns i bedömningen. Slutsatsen blev att metoden kan fungera som stöd vid beslutsunderlag, men att den inte är tillräckligt robust för att kunna användas uteslutande utan att efterföljande utvärderingar och kritisk granskning av resultaten måste göras. Detta kan lämpligtvis ske genom en känslighetsanalys. För att resultaten ska utgöra ett användbart verktyg för VA-huvudmannen måste också kostnaderna utvärderas noggrannare än de har gjorts i den här studien.

Nyckelord: tillskottsvatten, spillvattennät, multikriterieanalys, behov, åtgärder, dagvattenåtgärder, LOD, bräddningar, källaröversvämningar

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet
Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36, UPPSALA, ISSN 1401-5765*

ABSTRACT

Evaluation of multi criteria analysis as a tool for spatial resource allocation of stormwater measures for inflow and infiltration to the sewage water system

Hanna Vallin

Urbanization along with a greater amount of hardened surfaces affects the storm water management. When the flows get faster and larger amounts create runoff, it is crucial that the available systems are able to handle the water. Storm water from roofs and asphalt surfaces and drainage water can be connected to the sewage water pipelines and make the flows in the conduits at rainfall much greater than they are designed for, leading to capacity issues. Many municipalities have implemented open storm water solutions instead of choosing the more cost-ineffective way of expanding the conduit system. Reconnecting downspouts, wells and drainage pipelines and digging trenches to lead the water is both cost and resource demanding. Therefore the aim of this study was to investigate whether multi criteria analysis can be used as an appropriate tool in order to allocate the resources to the most beneficial areas. This was done by developing a method for this aim and testing its robustness in order to determine if it is suitable to use in this context or if the uncertainties make the method too unreliable.

The robustness in the method developed can be questioned since the uncertainties can be substantial. To be able to use this method, a lot of data is needed and the method needs to be updated relatively often in order to contain relevant information. It is recommended that a sensitivity analysis is performed along with the method, since the use of only one set of parameters can make the result relatively arbitrary. Using a Monte Carlo procedure with the uncertainties defined can reduce the time needed to measure and identify the values. The sensitivity analysis showed that the parameters that have the largest impact on the results are the number of residents living in every real estate with a basement, the catchment areas, the roughness parameters of the pipelines and the use of energy and chemicals in the system.

In the future, the urbanization is expected to increase as well as the amount of rainfall and problems related to inflow and infiltration are expected to become more common. The hope is that the method used and its results will be useful for the municipalities' future planning and to inspire to more studies on this topic.

Keywords: inflow and infiltration, sewage water pipelines, multi criteria analysis, measures, storm water measures, overflow, basement flooding

Department of Earth Sciences. Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala University. Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36, UPPSALA, ISSN 1401-5765

FÖRORD

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng och har utförts som avslutande moment på civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Det har genomförts under 20 veckor VT 2016 på Tyréns kontor i Borlänge på uppdrag av Falu Energi och Vatten. Moa Nicolaisen och Johan Kjellin på Tyréns har varit handledare, Thomas Grabs, universitetslektor vid institutionen för geovetenskaper har varit ämnesgranskare och Anna Sjöblom, universitetslektor vid institutionen för geovetenskaper, har varit examinator.

Först och främst vill jag rikta ett stort tack till mina handledare, Moa Nicolaisen och Johan Kjellin på Tyréns i Borlänge samt till Markus Lundgren på Falu Energi och Vatten för all den hjälp jag har fått, för våra intressanta diskussionsmöten och för att ni har försett mig med material till litteraturstudien.

Tack till Thomas Grabs som har varit ämnesgranskare och kommit med många värdefulla synpunkter under arbetets gång och varit till stor hjälp vid utformningen av rapporten.

Jag vill även tacka Anders Hellman som har tagit sig tid och förklarat hur bräddningar hänger ihop med pumpkapacitet och bidragit med material till kostnadsuppskattningen och Pär Zars som har hjälpt till att inspirera till den framtagna multikriterieanalysmodellen. Sedan vill jag tacka alla andra på Tyrénskontoret i Borlänge för tiden jag har varit hos er. Tack även till alla trevliga människor som jag har träffat under mina besök på Falu Energi och Vatten.

Hanna Vallin
Uppsala 2016-05-31

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Utvärdering av multikriterieanalys som verktyg för spatial resursallokering av dagvattenåtgärder för tillskottsvatten i spillvattennät

Hanna Vallin

Tillskottsvatten är relativt rent vatten som har hamnat i det ledningssystem som har till uppgift att leda bort avloppsvatten och inte bör vara där. Det kommer från inläckande grundvatten i otäta fogar, dräneringsvatten från fastigheter med källare eller regnvatten som rinner ner i brunnar som är felkopplade. Det leder till att vattnet som måste skickas till reningsverk späds ut och större mängder vatten än nödvändigt måste ledas bort och tas om hand. I samband med detta måste mer kemikalier och energi användas i systemet. Dessutom finns det risk för att trycket stiger bakåt i ledningarna och det kan bli översvämningar i källare eller bräddningar, som innebär att vattnet släpps ut orenat till en sjö eller ett vattendrag för att undvika överbelastning i ledningarna eller i reningsverket. Denna studie syftar till att ta fram en metod som kan användas för att bestämma var det är mest lämpligt att sätta in åtgärder för att komma till rätta med problemen. Åtgärderna som behandlas är olika dagvattenlösningar som kan användas för att ta hand om regn- och dräneringsvatten.

Målet var att se om metoden skulle kunna vara tillämpbar i sammanhanget eller om osäkerheterna i de antaganden och uppskattningar som måste göras är så stora att den inte anses vara tillräckligt robust. Robustheten i den framtagna metoden kan ifrågasättas eftersom osäkerheterna kan bli stora. För att kunna använda metoden krävs att en hel del utredningar och mätningar görs och dessutom måste vissa delar uppdateras relativt ofta för att den ska innehålla relevant information. Den stora fördelen med metodiken är dock att den är flexibel och kan användas i olika skeden i utredningen. Om målet är att ta fram en översiktlig bild av ett område kan relativt grova uppskattningar göras till en början för att sedan förfinas efter hand. Det visades också att det finns vissa parametrar som har mindre påverkan på resultaten än andra och därmed kan dessa värden tillåtas uppskattas grövre och inte lika mycket tid och resurser behöver läggas på dem.

Anledningen till att denna studie anses viktig är att i och med urbaniseringen och förväntad ökad nederbörd i framtiden så förväntas problem relaterade till detta bli vanligare. Förhoppningen är att resultaten ska kunna vara till nytta i kommuners framtida planering och att de ska inspirera till vidare studier inom området.

DEFINITIONER

ABVA: skrift som anger regler och bestämmelser för hur en kommuns allmänna VA-anläggning ska användas

AHP: Analytisk Hierarkisk Process, en metod för viktning av olika parametrar vid beslutsfattande med multikriterieanalys, där parametrarna som ska viktas jämförs parvis med varandra

Avrinning: vatten som faller vid nederbörd eller uppstår vid snösmältning och rinner av ytligt

Avrinningskoefficient: används vid beräkning av avrinning. Den är olika för olika ytor och tar hänsyn till bland annat ytans skrovlighet

Blockregn: regn som faller under en begränsad tid med jämn intensitet under hela förloppet

Bräddning: utsläpp av orenat avloppsvatten till recipient, vilket sker då ledningsnätets eller reningsverkets kapacitet överstigs

Dagvatten: vatten som uppkommer vid nederbörd eller snösmältning och som rinner ytligt

Detaljplan: ett verktyg för kommunen där det finns definierat hur vatten och mark får brukas

Dimensionerande flöde: flöde som uppstår vid avrinning och som kan användas vid dimensionering av olika objekt

Dräneringsvatten: vatten som leds bort i dräneringsledningar för att sänka av grundvattenytan

Duplikatsystem: ledningssystem med två eller fler ledningar, en som leder spillvatten och en som leder dagvatten

Fiskvattendirektivet: definierar vatten som är skyddsvärt på grund av att det har fiskarter som måste bevaras

Förbindelsepunkt: punkt där ledningen som går från fastigheten ansluts till resten av ledningsnätet

Infiltration: omhändertagande av vatten genom att det tillåts perkolera genom marken ner till grundvattnet

Inläckage: vatten som läcker in i ledningssystemet på grund av otäta ledningar

Kombinerat system: ledningssystem där spill-, dag- och dräneringsvatten leds bort i en och samma ledning

Livslängd: den tid som en ledning klarar av att uppfylla den uppgift som den är anlagd för att göra

LOD: lokalt omhändertagande av dagvatten, dagvattenlösningar som innebär att vattnet tas om hand på ett hållbart sätt i närheten av källan

Multikriterieanalys: olika metoder som kan användas vid beslutsfattande då de aspekter som ska vägas in i bedömningen mäts i olika enheter

PE: polyeten, ett slags plastmaterial som är vanligt förekommande i ledningar

PVC: polyvinylklorid, ett slags plastmaterial som är vanligt förekommande i ledningar

Riksintresse vattendrag: vattendrag som riksdagen har bedömt vara skyddsvärt enligt 4 kap. 6 § i Miljöbalken.

Rinntid: den tid det tar för vattnet att nå fram till mätpunkten

Separerade system: ledningssystem med en ledning för spillvattnet, men där dagvattnet leds i någon form av dikessystem

Servisledning: ledning som kopplar en fastighet till det allmänna VA-ledningsnätet

Skaldjursdirektivet: pekar ut vatten som är skyddsvärt på grund av att det har arter av skaldjur som måste bevaras

Spillvatten: avloppsvatten som förorenas i hushåll eller industrier och måste ledas till reningsverk

Spillvattennät: det ledningsnät som har till uppgift att leda spillvatten till reningsverket

SWMM: står för EPA's Storm Water Management Model. Används för simulering av vatten i ledningsnät

Tillskottsvatten: allt vatten i spillvattenledningar som inte är spillvatten

Trycklinje: den höjd vattnet skulle stiga till om vattenytan hade varit öppen till atmosfären

Varaktighet: den tid som ett regn pågår

Vattenskyddsområde: område som klassats av länsstyrelsen eller kommunen enligt 7 kap 22 och 23 § i Miljöbalken eftersom det används som vattentäkt eller förväntas komma att göra det i framtiden

VA-huvudman: den som äger och ansvarar för en VA-anläggning

VISS: VattenInformationSystem Sverige, ett verktyg som innehåller kartor över de större sjöarna och vattendragen i landet och där information om dem finns samlad

Återkomsttid: den tid som ett regn förväntas komma eller överstigas en gång

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	BAKGRUND	1
1.1	SYFTE.....	1
1.2	FRÅGESTÄLLNINGAR.....	2
1.3	TIDIGARE STUDIER INOM OMRÅDET.....	2
2	TEORI	4
2.1	FLÖDEN	4
2.1.1	Spillvatten.....	5
2.1.2	Dagvatten.....	5
2.1.3	Dräneringsvatten	5
2.1.4	Inläckage	6
2.1.5	Tillskottsvatten	6
2.1.6	Minskad risk för stora mängder tillskottsvatten	7
2.1.7	Minskad risk för källaröversvämningar	7
2.1.8	Minskad risk för bräddningar	8
2.2	AVLOPPSLEDNINGSNÄTET	8
2.3	OMHÄNDERTAGANDE AV DAG- OCH DRÄNERINGSVATTEN GENOM UTBYGGNATION AV ETT DAGVATTENSYSTEM	9
2.4	LOKALT OMHÄNDERTAGANDE AV DAG- (OCH DRÄNERINGS-) VATTEN.....	9
2.4.1	Infiltration.....	10
2.4.2	Avledning via öppna diken eller vattendrag.....	10
2.5	KLIMATFÖRÄNDRINGAR OCH PÅVERKAN PÅ DAGVATTENHANTERINGEN	11
2.6	JURIDIK	11
2.6.1	Miljöbalken	11
2.6.2	Plan-och bygglagen	11
2.6.3	Lagen om allmänna vattentjänster.....	11
2.6.4	Tillskottsvatten	12
2.6.5	ABVA.....	12
2.6.6	Bortkoppling av takytor från spillvattenledning	12
2.6.7	Bortkoppling av övriga fastighetsytor från spillvattenledning.....	13
2.6.8	Bortkoppling av dräneringsvatten från fastigheter från spillvattenledning.....	13
2.7	MULTIKRITERIEANALYS	13
2.7.1	Linjär additiv metod	14
2.7.2	Kostnads-behovsanalys	14
3	METOD OCH MATERIAL	16
3.1	SAMMANFATTNING AV METODIKEN	16
3.2	FALLSTUDIE: BJURSÅS.....	17
3.3	METODIK FÖR BESTÄMNING AV KOSTNADERNA.....	17
3.3.1	Beräkning av dagvattenflöden.....	18
3.3.2	Beräkning av dräneringsvattenflöden.....	18
3.3.3	Förutsättningar för infiltration respektive avledning via öppna vattendrag eller diken	19
3.3.4	Kostnadsuppskattning	20
3.4	BESTÄMNING AV BEHOVSVÄRDENA MED MULTIKRITERIEANALYS	20
3.4.1	Poängsättning	20
3.4.2	Sannolikhetspoäng för stora mängder tillskottsvatten.....	21
3.4.3	Konsekvenspoäng för stora mängder tillskottsvatten.....	22
3.4.4	Sannolikhetspoäng för källaröversvämningar	23

3.4.5	Konsekvenspoäng för källaröversvämningar	24
3.4.6	Sannolikhetspoäng för bräddningar.....	24
3.4.7	Konsekvenspoäng för bräddningar.....	24
3.4.8	Sammanfattning av beräkningarna.....	25
3.5	BERÄKNING AV TOTALA BEHOV MED LINJÄR ADDITIV METOD	27
3.5.1	Viktning.....	27
3.5.2	Totalt behovsvärde	28
3.6	INDELNING I DELOMRÅDEN.....	29
3.7	VAL AV DELOMRÅDEN	29
3.8	RANGORDNING AV DELOMRÅDEN MED MULTIKRITERIEANALYS.....	30
3.8.1	Kostnads-behovsanalys	30
3.8.2	Linjär additiv metod	30
3.9	KÄNSLIGHETSANALYS AV BEHOVSPARAMETRARNA	31
3.9.1	Sannolikhetspoäng för stora mängder tillskottsvatten.....	32
3.9.2	Konsekvenspoäng för stora mängder tillskottsvatten.....	32
3.9.3	Sannolikhetspoäng för källaröversvämningar	32
3.9.4	Konsekvenspoäng för källaröversvämningar	32
3.9.5	Sannolikhetspoäng för bräddningar.....	32
3.9.6	Konsekvenspoäng för bräddningar.....	33
3.9.7	Viktning.....	33
3.9.8	Total känslighetsanalys	33
4	RESULTAT.....	34
4.1	VIKTNING MED AHP.....	34
4.1.1	CR-värde och vikterna.....	34
4.2	BERÄKNING AV FLÖDEN FÖR KOSTNADSUPPSKATTNINGEN	35
4.3	BEHOV AV ÅTGÄRDER FÖR VARJE FASTIGHET OCH HÅRDGJORD YTA	35
4.4	INDELNING I DELOMRÅDEN.....	36
4.5	TVÅDIMENSIONELL GRAF ÖVER DELOMRÅDEN.....	38
4.6	JÄMFÖRELSE AV KOSTNADS-BEHOVSANALYSEN OCH DEN LINJÄRA ADDITIVA METODEN	40
4.7	KÄNSLIGHETSANALYS	40
4.7.1	Sannolikhetspoäng för stora mängder tillskottsvatten.....	40
4.7.2	Konsekvenspoäng för stora mängder tillskottsvatten.....	41
4.7.3	Sannolikhetspoäng för källaröversvämningar	42
4.7.4	Konsekvenspoäng för källaröversvämningar	42
4.7.5	Sannolikhetspoäng för bräddningar.....	42
4.7.6	Konsekvenspoäng för bräddningar.....	42
4.7.7	Sammanvägd känslighetsanalys	42
5	DISKUSSION	46
5.1	FELKÄLLOR OCH KRITISK GRANSKNING AV METODEN.....	46
5.1.1	Sannolikhetspoäng för stora mängder tillskottsvatten.....	46
5.1.2	Konsekvenspoäng för stora mängder tillskottsvatten.....	46
5.1.3	Sannolikhetspoäng för källaröversvämningar	47
5.1.4	Konsekvenspoäng för källaröversvämningar	47
5.1.5	Sannolikhetspoäng för bräddningar.....	47
5.1.6	Konsekvenspoäng för bräddningar.....	47
5.2	MULTIKRITERIEANALYSMETODERNA.....	48
5.3	UTVÄRDERING AV METODIKEN MED STÖD AV KÄNSLIGHETSANALYS.....	49

5.3.1	Extra känsliga parametrar vid beräkningen av behovsvärden för stora mängder tillskottsvatten	51
5.3.2	Extra känsliga parametrar vid beräkningen av behovsvärden för källaröversvämningar ..	51
5.3.3	Extra känsliga parametrar vid beräkningen av behovsvärden för bräddningar	51
5.4	FÖRSLAG TILL FORTSATTA STUDIER	51
6	SLUTSATSER	53
7	REFERENSER	54
8	APPENDIX	56
8.1	BILAGA A – LOD-LÖSNINGAR	56
8.2	BILAGA B – DATA FÖR KOSTNADSUPPSKATTNINGEN	58
8.3	BILAGA C – VÄRDERINGSRAPPORT BJURSÅS	59
8.4	BILAGA D – INPARAMETRAR TILL SWMM.....	60
8.5	BILAGA E – ENKÄTEN.....	61
8.6	BILAGA F – STATISTIK ÖVER SVAREN FRÅN ENKÄTUNDERSÖKNINGEN, BERÄKNING AV CR OCH VIKTER	63
8.7	BILAGA G – BEHOVSKARTOR.....	65
8.9	BILAGA H – MATLAB-KODER	68

1 BAKGRUND

I och med att allt fler städer byggs ut och stora ytor hårdgörs uppstår problem med dagvattenhanteringen. Vattnet får svårare att hitta ställen att infiltrera på och det leder till snabbare avrinning och större dagvattenflöden jämfört med områden där naturliga förhållanden råder (Svenskt Vatten, 2011). Det kan leda till problem med exempelvis översvämningar och fuktskador på byggnader. Risken finns även att problemet förvärras av framtida klimatförändringar med ökade nederbörds mängder och intensivare regn (Svenskt Vatten, 2007).

Hustak, hårdgjorda ytor och dräneringsledningar som är kopplade till spillvattennätet, ledningsnätet som har till uppgift att leda avloppsvatten, bidrar till att tillskottsvatten kommer in i de spillvattenförande ledningarna. Tillskottsvatten är relativt rent vatten som har hamnat i avloppssystemet och inte bör vara där. Tillskottsvatten i spillvattenledningarna är inget problem i sig, men det gör att det kan uppstå problem av olika slag. De stora vinsterna med att få bort tillskottsvattnet har dels att göra med en minskad mängd vatten som behöver renas och dels en reducering av kapacitetsproblem som annars kan uppstå, både i ledningsnätet och i reningsverket. Det är en utmaning att lokalisera de områden som är i störst behov av åtgärder och som är mest fördelaktiga att rikta in sig på. Situationen är komplex i och med att ledningsnätets karaktär och platsspecifika parametrar gör att problemen inte alltid uppstår där mängden dag- och dräneringsvatten är störst. Dessutom kostar det olika mycket pengar att åtgärda olika områden, vilket gör att nyttan för investeringen blir olika stor beroende på *var* åtgärderna utförs.

Genom en minskning av mängden tillskottsvatten kan energiförbrukningen, kemikalieförbrukningen, sannolikheten för bräddningar, källaröversvämningar samt hydraulisk överbelastning i reningsverk minskas. Två olika multikriterieanalysmetoder har testats för att göra en prioriteringsordning av geografiska områden där alternativa lösningar för dagvattenhanteringen gör mest nytta. Nyttan har mätts i kostnads- och behovskriterier och både mängden tillskottsvatten och kapacitetsproblemen har tagits hänsyn till för att bestämma var dagvattenåtgärder bör sättas in.

Bjursås, ett samhälle två mil utanför Falun, har fått agera fallstudie i utvärderingen eftersom det enligt Lundgren¹ är en plats där omfattande utredningar har gjorts, vilket innebär att mycket data från området finns att tillgå. Tillskottsvatten är dock inget problem som är exklusivt för Bjursås. Förhoppningen med den här studien är att resultaten ska kunna vara till nytta i kommuners framtida planering och att de ska inspirera till vidare studier inom området spatial resursallokering av dagvattenåtgärder för tillskottsvatten i spillvattennätet.

1.1 SYFTE

Syftet med studien var att ta reda på om det är lämpligt att använda multikriterieanalys för spatial resursallokering av dagvattenåtgärder för tillskottsvatten i spillvattennätet samt att ta fram relevanta indata som krävs för att det ska vara ett användbart verktyg för VA-huvudmannen. Detta genom att undersöka hur väl två multikriterieanalysmetoder lämpar sig för ändamålet. Bjursås användes som fallstudie, men syftet med metodiken var att den skulle kunna användas även på andra områden. Målet var att se om metodiken som tas fram är

¹ Markus Lundgren, Falu Energi och Vatten, möte 2016-01-27

tillräckligt robust för att vara lämplig eller om osäkerheterna blir för stora för att några slutsatser ska kunna dras.

1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR

Den övergripande frågeställningen är:

”Är det lämpligt att använda multikriterieanalys för spatial resursallokering av dagvattenåtgärder för tillskottsvatten i spillvattennätet och vilka indata krävs för att det ska vara ett användbart verktyg för VA-huvudmannen?”

För att lösa denna uppgift har den brutits ner i följande frågeställningar:

1. Hur påverkar valet av multikriterieanalysmetod resultaten – ger de två olika metoderna som valts ut samma resultat om de testas på samma samhälle?
2. Hur robust är metoden som tas fram för bestämning av behovskriterierna? Är den användbar eller blir osäkerheterna i de enskilda parametervärdena som ingår för stora för att kunna skilja olika delområden åt?
3. Finns det några parametrar som är extra känsliga vid beräkning av de olika behovskriterierna och som måste bestämmas extra noggrant?

1.3 TIDIGARE STUDIER INOM OMRÅDET

Överlag uppskattas det finnas en brist på studier av hur problemet med tillskottsvatten ska hanteras och hur resurserna för åtgärder ska allokeras. Behovet av en sådan studie bedöms vara stort. Nedan följer en sammanfattning av två rapporter som har inspirerat till frågeställningarna.

- Carriço m.fl. (2014) utförde en studie där de använde multikriterieanalys för att undersöka det mest energieffektiva alternativet vid val av driftsystem för ett vattenförsörjningssystem i Algarve, Portugal. Två olika driftsystem användes i området, beroende på om det var hög- eller lågsäsong för turismen. Målet var att jämföra hur energieffektiva de två driftsystemen är och anledningen till att multikriterieanalys användes som metod var att ekonomiska, sociala och miljömässiga faktorer skulle vägas samman. Studien utfördes med två olika multikriterieanalyser, en linjär additiv metod och en metod som kallas Electre III, för att jämföra resultaten. Resultaten blev ungefär likadana med de båda analysmetoderna. I slutsatsen redogjordes det för att det finns många olika metoder för att utföra multikriterieanalys, men att det saknas studier på vilka metoder som fungerar bra i olika sammanhang. Dessutom nämndes vikten av att noggrant definiera problemet och de parametrar som ska utvärderas för att få representativa resultat.
- Best Management Practices, BMP, är ett begrepp som blivit allt vanligare när det kommer till dagvattenhantering. Det handlar om att utreda vilka åtgärder som har bäst möjligheter att kunna möta de krav som kommer med effekterna av urban tillväxt. Martin m.fl. (2007) utförde en studie där multikriterieanalys användes för att jämföra olika tekniker för att ta hand om dagvatten vid källorna i Frankrike. I multikriterieanalysen användes många olika kriterier för jämförelsen, bland annat hydraulisk effektivitet, miljöpåverkan, drift och underhåll och kostnader. Tre olika viktningar gjordes som känslighetsanalys, en som utgick från att minimera

kostnaderna, en som utgick från att underlätta planeringen och en med miljöskydd som fokus och de alla rankade infiltrationsdiken som det bästa alternativet.

En enkätundersökning skickades ut, främst till lokala myndigheter, där de fick svara på vilka system som användes mest frekvent. De tre system som visade sig vara mest populära var torra ytliga fördröjningsmagasin följt av lagringstankar under marken respektive våta ytliga fördröjningsmagasin. Svaren från enkätundersökningen visade att de alternativ som används mest skiljde sig från det som ansågs vara bäst vid multikriterieanalysbedömningen.

2 TEORI

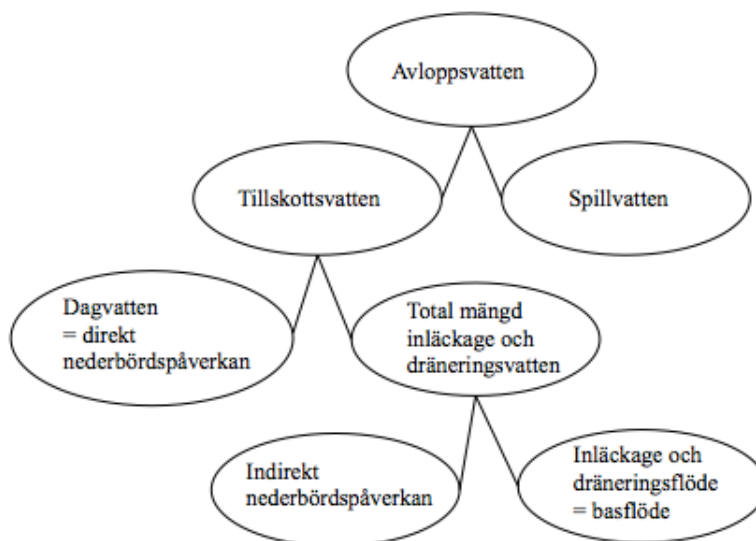
I detta kapitel ges en översikt av relevant teori. Först kommer en del allmän fakta om avloppsvatten, de olika komponenter som det består av och ledningsnätets uppbyggnad. Sedan har en sammanställning av några juridiska termer gjorts och till sist följer en kort redogörelse för hur multikriterieanalys fungerar.

2.1 FLÖDEN

Storleken på flödet till avloppsreningsverket beror på antalet fastigheter som är påkopplade till ledningsnätet och hur många personer som använder VA-systemet. Vatten som spolas ner i avloppssystemet i hushållen är dock inte det enda vatten som når reningsverket. Flödet kan variera mycket beroende på statusen på ledningarna och hur fastigheterna i området har kopplat övrigt vatten som kan uppstå, exempelvis takvatten vid regn och dräneringsvatten från källarfastigheter. Flödet in till avloppsreningsverket delas in i följande komponenter (Falu Energi och Vatten, 2014):

- Spillvattenflöde: vatten som har förbrukats i hushåll eller industrier och som måste ledas bort till avloppsreningsverk för att renas.
- Flöde från direkt nederbördspåverkan: nederbörd som bildar avrinning och tränger ner i ledningarna.
- Flöde från indirekt nederbördspåverkan: nederbörd som indirekt hamnar i ledningsnätet genom att den gör att grundvattennivåerna höjs. Detta flöde är ofta tidsfördröjt i förhållande till flödet från den direkta nederbörden.
- Dräneringsvattenflöden: flöden som når ledningsnätet via dräneringsledningar som är påkopplade dit.
- Inläckage: grundvatten som läcker in i ledningarna genom exempelvis otäta fogar.

Ett annat sätt att dela in inflödet är i spillvatten och tillskottsvatten, där tillskottsvattnet innefattar allt i de spillvattenförande ledningarna förutom spillvattnet. Figur 1 ger en översiktbild av de olika flödena.



Figur 1. Uppdelning av de olika komponenterna i avloppsvatten. Baserad på Bäckman m.fl. (1997).

2.1.1 Spillvatten

Spillvattenflödet varierar under dygnet och följer i grova drag samma mönster som den debiterade mängden rent vattenflöde (Svenskt Vatten, 2013). Från hushåll består det främst av klosettatten (svartvatten) och bad-, disk-, dusch- och tvättvatten (gråvatten). Spillvattnet som kommer från hushåll innehåller framförallt kväve, fosfor och organiskt material, men spillvatten från industrier kan innehålla många olika komponenter (Svenskt Vatten, 2013). Kommunen har skyldighet att leda bort spillvatten från hushåll eller spillvatten som bedöms ha motsvarande kvalitet, hushållsliknande spillvatten, från industrier för att upprätthålla en god miljö. Vatten som innehåller sådant som bedöms kunna vara skadligt för VA-systemet faller inte under VA-huvudmannens ansvar att ta hand om (Christensen, 2015).

2.1.2 Dagvatten

Det finns i dagsläget ingen entydig lagstiftad definition av begreppet dagvatten. Enligt Svenskt Vatten (2004) är det regn- och smältvatten som rinner ytligt, men det förekommer även definitioner som inkluderar spolvatten och uppsträngande grundvatten (Christensen, 2015). Kommunerna har ansvar för att leda bort dagvatten som uppstår vid ett 10-årsregn (Christensen, 2015), alltså ett regn som i genomsnitt uppkommer vart tionde år. Om denna skyldighet inte uppfylls kan kommunen bli ersättningsskyldig för skador som uppstår till följd av detta.

Dagvatten kan komma till reningsverket via brunnar eller via stuprör från takytor som har kopplats till ledningsnätet. Det är främst äldre fastigheter som har sina stuprör kopplade på det sättet (Uppsala Vatten, 2016). I jämförelse med spillvattnet är dagvatten relativt rent, men det kan dra med sig föroreningar från de ytor det rinner över. Föroreningsmängderna mäts vanligtvis inte direkt i dagvattnet, utan det finns sammanställningar över vilka föroreningar som förekommer beroende på vilken slags yta vattnet rinner över (Stockholms stad, 2002). I stadsmiljö är det ofta en del tungmetaller, olja och produkter från fordon, som exempelvis uppstår vid metallkorrosion. Även organiska miljögifter, näringsämnen och bakterier dras med och hamnar i dagvattnet (Stockholms stad, 2002). Om vattnet infiltreras i marken eller fördröjs på olika sätt, kan det hjälpa till att minska halterna, men om recipienten är extra känslig eller avrinningsområdet innehåller mycket föroreningar kan det krävas att dagvattnet renas i lämplig anläggning innan det släpps ut (Svenskt Vatten, 2013).

2.1.3 Dräneringsvatten

Dräneringsvatten är grundvatten och annat vatten som tränger ner till dräneringsledningar i marken vid regn eller snösmältning. Avvattningen sker för att reglera grundvattennivån och undvika översvämningar och fuktskador på byggnader (Svenskt Vatten, 2013).

Grundvattenytans nivå påverkar hur stort dräneringsvattenflödet blir. I jordar som består av tätt material ligger grundvattenytan normalt relativt högt och betydande årsvariationer kan uppstå (Svenskt Vatten, 2013). Eftersom dräneringsvattnet rinner till dräneringsledningarna dygnet runt, både vid regn och torrväder, kan mängderna bli stora sett över ett år (Svenskt Vatten, 2013). Dräneringsvatten kan ledas bort och tas om hand på samma sätt som dagvatten, men då är det vanligt att pumpning av vattnet måste göras för att lyfta det så att det sedan kan ledas vidare med självfall (Lundblad & Backö, 2014). En backventil på pumpen är viktigt för att skydda sig mot källaröversvämningar.

2.1.4 Inläckage

Förutom dag- och dräneringsvatten kan grundvatten leta sig in i ledningsnätet. Detta bidrag kan vara olika stort beroende på ledningsnätets status, vanligtvis släpper fogar som inte är helt täta in vatten i form av direkt inläckage (Lundblad och Backö, 2012). Risken är särskilt stor om grundvattenytan ligger högt. Även indirekt nederbördspåverkan leder till att vatten kan komma in i spillvattennätet. Det sker när nederbörden leder till att grundvattenytan höjs och grundvattnet på grund av det läcker in i rören.

2.1.5 Tillskottsvatten

Tillskottsvatten består av dagvatten, dräneringsvatten och inläckande grundvatten (Bäckman m.fl., 1997). Enligt Lundgren² definieras tillskottsvatten som skillnaden mellan det faktiska flödet som kommer in till reningsverket och den debiterade mängden avloppsvatten.

Förekomst av tillskottsvatten är något som är svårt att undvika. Ofta är problemet att fogarna som håller ihop ledningarna inte är så täta som de var då ledningarna anlades, vilket ger betydande inläckage som följd (Svenskt Vatten, 2013). Andra sätt som tillskottsvatten kan leta sig in i ledningsnätet är genom felkopplingar av dag- och dräneringsvatten som har anslutits till spillvattenledningarna. Äldre ledningar har ofta en större andel tillskottsvatten än nyare, eftersom nyare system i allmänhet har tätare fogar samtidigt som dräneringsvattnet normalt inte är påkopplat. Svenskt Vatten (2016) nämner att det årliga genomsnittliga flödet av tillskottsvatten i ett avloppsledningsnät som bedöms vara bra ligger på omkring 0,05 – 0,15 liter per sekund och hektar vid torrvärder. Vid regn kan detta flöde bli betydligt större.

Enligt Lundgren³ finns det fyra konkreta anledningar till att tillskottsvatten är ett problem för VA-huvudmännen:

- Tillskottsvattnet kan leda till att ledningsnätets eller pumpstationernas kapacitet inte räcker till och då finns det risk för mer frekvent förekommande bräddningar och källaröversvämningar.
- Reningsverket kan bli överbelastat, vilket gör att det kan bli problem med att nå olika gräns- och riktvärden och det kan ha stor påverkan på recipienten.
- Tillskottsvatten i ledningsnätet gör att energiförbrukningen ökar, både i ledningsnätet och i pumpstationerna, vilket leder till förhöjda kostnader.
- Större kemikalieförbrukning krävs i reningsverket.

När åtgärder för att minska mängden tillskottsvatten vidtas är det viktigt att vara medveten om att åtgärderna kan ge oönskade konsekvenser och leda till nya problem. Lundgren⁴ nämner att ett exempel är tätning av en ledning där det sker betydande inläckage. En sådan ledning har en liknande inverkan på grundvattennivån som ett dräneringsrör, det vill säga grundvattennivån avklingas i närheten av röret eftersom trycket där är lägre än övrigt i marken. När ledningen tätas i syfte att minska inläckaget, kommer grundvattennivån att stiga till samma nivå som det ligger på i övrigt i marken, vilket kan leda till att problemet enbart förflyttas så att inläckaget istället sker i exempelvis en servisledning eller så att det blir fuktskador på närliggande byggnader eller översvämningar. Figur 2 visar ett exempel på detta fenomen, där en liten sjö som inte tidigare existerade har uppstått efter att ledningarna tätats i samhället Grycksbo utanför Falun.

² Markus Lundgren, Falu Energi och Vatten, E-mail 2016-05-26

³ Markus Lundgren, Falu Energi och Vatten, E-mail 2016-01-14

⁴ Markus Lundgren, Falu Energi och Vatten, möte 2016-05-23



Figur 2. Översvämning i Grycksbo på grund av tätade ledningar. Publicerad med tillåtelse av Lundgren⁵.

I kapitel 2.1.6 – 2.1.8 följer en sammanställning av tre konkreta vinster som fördelarna med att reducera mängden tillskottsvatten kan leda till och som kan ligga till stöd för var åtgärder bör sättas in.

2.1.6 Minskad risk för stora mängder tillskottsvatten

En stor mängd tillskottsvatten gör att den hydrauliska belastningen på VA-systemet blir hög och det kan då uppstå problem med underdimensionerade pumpar och ledningar. Enligt Lundgren⁶ gör stora mängder vatten som skickas till reningsverket också att en stor mängd kemikalier behöver användas och att reningen blir mindre resurseffektiv. Om åtgärder sätts in så att mängden tillskottsvatten minskar så späds spillvattnet ut i mindre grad, vilket gör att reningen blir bättre. En minskad mängd vatten att rena leder också till en rent ekonomisk vinst och i viss mån bör även kapacitetsproblemen reduceras med minskad mängd vatten.

2.1.7 Minskad risk för källaröversvämningar

Sannolikheten för källaröversvämningar är störst vid stora regn och i system som leder spill-, dag- och dräneringsvatten i samma ledning (Eskilstuna Energi och Miljö, 2016).

Källaröversvämningar kan bero på stopp i ledningarna eller att det förekommer andra problem som är direkt kopplade till fel i rören, men i den här studien behandlas endast problem som uppstår på grund av den hydrauliska belastningen i systemet.

⁵ Markus Lundgren, Falu Energi och Vatten, 2016-05-23

⁶ Markus Lundgren, Falu Energi och Vatten, E-mail 2016-01-14

Minskad risk för källaröversvämningar är viktigt ur ett ekonomiskt perspektiv i och med att saneringskostnader uppstår, men det har också ett socialt värde som inte går att mäta ekonomiskt.

2.1.8 Minskad risk för bräddningar

Vid kraftiga nederbörds mängder kan flödena bli så stora att ledningsnätet eller reningsverket inte klarar av att ta hand om allt vatten. Bräddning innebär att en viss andel av vattnet då släpps ut direkt till recipienten utan rening för att undvika att trycket stiger bakåt i systemet och orsakar översvämningar och andra problem (Svenskt Vatten, 2013). Bräddpunkter i ledningsnätet är mycket viktiga, speciellt i ledningssystem som leder spill-, dag- och dräneringsvatten i samma ledning, eftersom flödesmängderna där varierar mycket (Svenskt Vatten, 2013).

Bräddningsvattnet för bland annat med sig smittoämnen, tungmetaller och näringsämnen, som förbrukar syre och bidrar till övergödning (Svenskt Vatten, 2013). Effekten av bräddningarna beror på recipientens status, en viktig aspekt att beakta är recipientens vattenomsättning och huruvida vattnet nyttjas som till exempel badplats eller inte. I allmänhet är större recipienter relativt bra på att hantera föroreningar. Föroreningarna kan brytas ner eller omvandlas, men hur snabbt detta går beror till stor del på omfattningen av föroreningsbelastningen.

2.2 AVLOPPSLEDNINGSNÄTET

Det allmänna avloppsledningsnätet har till uppgift att leda spill- och dagvatten för att upprätthålla bra hygieniska och miljömässiga förhållanden i det verksamhetsområde där det verkar. Ledningsnätet är ett komplext system som innefattar många olika slags ledningar, pumpar och tunnlar (Svenskt Vatten, 2004). Ledningsnätet kan bestå av ett kombinerat system, separatsystem eller duplikatsystem (Svenskt Vatten, 2013).

- *Kombinerat system* innebär att spill-, dag- och dräneringsvatten leds bort i en och samma ledning. Det är vanligt att äldre ledningssystem består till stor del av kombinerade ledningar.
- *Duplikatsystem* består av minst två ledningar, en för spillvatten och en för dagvatten. Dräneringsvattnet kan avledas antingen tillsammans med spill- eller dagvattnet eller också på annat sätt.
- *Separata system* har en ledning för spillvattnet plus någon form av dikessystem för dagvattnet. Dräneringsvattnet kan avledas antingen med spillvattenrören eller i dikessystemet.

Ledningsnät har anlagts under olika tider, förnyats och byggts ut. Det är därför inte så enkelt att ett ledningsnät alltid består av enbart ett slags system, kombinationer av olika lösningar är vanliga (Svenskt Vatten, 2013).

Att anlägga avloppsvattenledningar är en stor investering. Det är mycket arbetskrävande och kostar stora summor pengar. En stor andel av rören som finns i marken idag anlades mellan 1950 och 1980 (Malm m.fl., 2011), vilket innebär att arbete för att byta ut dem börjar bli aktuellt. Gamla ledningssystem har ofta en stor andel tillskottsvatten på grund av förslitningsskador, otäta fogar och håligheter. Det som försvårar processen är det faktum att ledningarna ligger under mark, vilket gör det svårt att bedöma statusen på dem och dessutom är det svårt att komma åt dem när de ska förnyas. Ett sätt att statusklassa ledningarna är att undersöka yttre faktorer för att bedöma vilka ledningar som med störst sannolikhet behöver

bytas ut (Malm m.fl., 2011). En sådan faktor är, förutom ledningarnas ålder, även det material som de består av. Materialet som är vanligast vid anläggning av spill- och dagvattenrör är betong. Ledningar av plast, exempelvis PVC och PE har dock blivit vanligare än de var förr (Malm m.fl., 2011).

Hur länge en ledning håller innan den måste bytas ut beror också på vilket användningsområde ledningen har. En ledning som ska leda bort spillvatten måste vara helt tät, medan en dagvattenledning har större marginaler att kunna få läcka lite. Livslängd är ett begrepp med lite olika definition, men enligt Malm m.fl. (2011) kan det tolkas som den tid som ledningen kan uppfylla sin avsedda funktion. Det innebär att ledningar som består av samma material, har anlagts samtidigt och ligger på samma plats, kan förväntas ha olika livslängd beroende på vad de ska leda bort för slags vatten.

2.3 OMHÄNDERTAGANDE AV DAG- OCH DRÄNERINGSVATTEN GENOM UTBYGGNING AV ETT DAGVATTENSYSYSTEM

Både kvaliteten och kvantiteten är problem som gör att dagvattnet måste tas om hand. Ett sätt att göra det på är att bygga ut ett dagvattenledningsnät dit dag- och dräneringsvattnet kan kopplas. Vid anläggning av dagvattensystem beräknas förväntade trycknivåer och hur ofta de kan förväntas förekomma. När trycknivån ligger i höjd med marknivån, kommer det att bli översvämningar och när den når upp till höjdnivån som omgivande byggnader ligger på finns det risk för fuktskador och översvämningar (Svenskt Vatten, 2016). För att undvika detta är det viktigt att lämpliga dimensioner väljs på ledningarna eller att olika anläggningar som fördröjer dagvattenflödena ansluts till systemet. Det är VA-huvudmannens ansvar att se till så att dimensionen på ledningarna är tillräcklig (Svenskt Vatten, 2016). I de fall då ledningsnätets kapacitet att leda bort vattnet överstigs måste det kunna avledas yttligt på lämpligt sätt.

2.4 LOKALT OMHÄNDERTAGANDE AV DAG- (OCH DRÄNERINGS-) VATTEN

Historiskt sett har avledning av dagvatten i öppna diken varit en vanlig metod för att leda bort vattnet och undvika att det ansamlas och bildar översvämningar på olämpliga platser. Tidigare är det just det som har varit i fokus vid dagvattenhanteringen, att det leds bort och försvinner så snabbt som möjligt. Det var först på 1960-talet som många av diken började ersättas av slutna ledningar (Svenskt Vatten, 2004). På 1970-talet började kunskap växa fram om att dagvattnet drar med sig föroreningar och inte bör släppas ut okontrollerat till känsliga recipienter. Under 1990-talet insågs att dagvattnet kunde ses som en resurs för grundvattenbildning och användas för bevattning i städerna (Svenskt Vatten, 2016). På senare tid har en tillbakagång till öppna lösningar blivit vanlig, under namnet Lokalt Omhändertagande av Dagvatten (LOD).

LOD innebär att åtgärder sätts in för att få dagvattenflödena i urbana miljöer att blir mer lika de flöden som uppstår på mark som inte har exploaterats. Det handlar i princip om att använda sig av olika tekniker för att fördröja flödena och att inte behöva leda bort vattnet så långt när det ska tas om hand (Svenskt Vatten, 2013). I urbana områden sker avrinningen snabbt och flödesmängderna blir stora jämfört med områden där marken inte är bebyggd (Svenskt Vatten, 2013). De hårdgjorda ytorna gör att infiltration inte kan ske på samma sätt som på naturlig mark.

Om problemet är att mängderna är stora kan det avhjälpas genom att vattnet samlas upp i någon form av magasin och fördröjs. Andra anläggningar kan ha fokus på att rena bort

föroreningar och i många fall används anläggningar som har flera syften. Förutom dagvatten kan även dräneringsvatten ledas till de flesta LOD-anläggningar, men som nämns i kapitel 2.1.3 måste oftast pumpning ske för att det ska vara möjligt (Lundblad & Backö, 2014).

Det är viktigt ha med lösningar för dagvattenhanteringen redan vid planeringen av nya områden som ska byggas eftersom valmöjligheterna minskar när byggnaderna väl har hamnat på plats (Svenskt Vatten, 2016). I allmänhet måste jordart, grundvattennivåer och höjdsättningen i ett område undersökas för att besluta om vilka dagvattenlösningar som är lämpliga. I detta kapitel beskrivs infiltration och avledning via öppna diken och vattendrag eftersom det är dessa LOD-lösningar som har använts i metodiken som har tagits fram. Fler LOD-lösningar finns beskrivna i bilaga A.

2.4.1 Infiltration

Infiltration innebär att vattnet leds ut till en yta, där det kan tränga genom marken ner till dräneringssystemet eller grundvattnet. Infiltrationsytan är ofta någon form av grönyta, men även grus eller genomsläpplig asfalt kan användas (Uppsala Vatten, u.å.). Det är viktigt att undersöka så att inte infiltration av vattnet kan leda till problem, exempelvis för nedströms liggande fastigheter. Det krävs också att en tillräckligt stor öppen yta finns tillgänglig, storleken beror på mängden vatten som ska tas om hand och hur genomsläpplig och hårt packad jorden är. För att vattnet ska hinna sjunka undan tillräckligt snabbt är det önskvärt att jordens permeabilitet inte är för låg. Om marken består av ogenomsläppligt material, ligger ofta grundvattenytan högre och fluktuationer av nivån kan misstänkas vara stora. Ett sätt att ändå kunna leda vattnet till en yta med finkornig jord är att anlägga fördröjningsmagasin i anslutning till infiltrationsanläggningen. Alltför grovkornig jord är inte heller önskvärt eftersom marken hjälper till att avlägsna föroreningar genom att fastlägga dem på vägen igenom. Det är inte lämpligt att anlägga en infiltrationsanläggning om marken sedan tidigare innehåller föroreningar. På samma sätt som marken kan fastlägga föroreningar, kan de också spolas ut med det infiltrerande dagvattnet. Även recipientens och grundvattnets status måste tas i beaktande. I områden med skyddsvärt grundvatten bör andra lösningar prioriteras (Stockholms stad, 2002).

2.4.2 Avledning via öppna diken eller vattendrag

För att ta reda på om dagvattenavledning i öppna diken är lämpligt krävs beräkningar av flöden och ett hänsynstagande till hur förhållandena ser ut nedströms. Det är viktigt att kontrollera så att inte flödena i vattendragen riskerar att bli avsevärt mycket större än tidigare då dag- och dräneringsvatten kopplas dit eftersom det då kan uppstå problem med exempelvis dämningar i kulvertar eller översvämningar nedströms. Möjligheterna att avleda vattnet till diken eller vattendrag är dessutom beroende av närheten till sådana och bebyggelsens uppbyggnad i närområdet.

Diken för avledning av dagvattnet kan utformas på olika sätt. Ett alternativ är svackdiken, som ofta är anlagda med någon form av vegetation. En fördel med dem är att de minskar de största flödestopparna och avrinningsvolymerna eftersom vattnet kan infiltrera ner i marken och eftersom diken är breda (Uppsala Vatten, u.å.). Vegetationen stoppar också upp flödet och kan fastlägga föroreningar och ta upp näringsämnen. Vägdiken är ofta anlagda som svackdiken.

Makadamfyllda diken är ett slags dike som avleder vattnet under marken. Vid anläggning av sådana grävs ett djupt dike som sedan fylls igen med makadam och i botten läggs ett dräneringsrör, som kan leda bort vattnet under markytan (Uppsala Vatten, u.å.).

2.5 KLIMATFÖRÄNDRINGAR OCH PÅVERKAN PÅ DAGVATTENHANTERINGEN

Så länge nederbörds mängden är måttlig kan de befintliga systemen normalt ta hand om dagvattenmängderna eftersom avrinningen jämnas ut över tiden. Problem uppstår dock snabbt när stora mängder nederbörd faller under kort tid. Detta är något som befaras bli vanligare i framtiden i samband med klimatförändringarna (Svenskt Vatten, 2016). Undersökningar som gjorts fram till år 2100 tyder på att klimatförändringarna kommer att leda till en ökad nederbörds mängd under höst, vinter och vår, medan somrarna förväntas bli torrare (Svenskt Vatten, 2007). Eftersom evapotranspirationen är som lägst vid lägre temperaturer och växterna under den perioden inte heller tar upp lika mycket vatten som under somrarna, kommer avrinningsmängderna i så fall att öka och toppflödena bli högre under stora delar av året (Svenskt Vatten, 2007). Det gör att det kommer att bli allt viktigare att ha en hållbar dagvattenstrategi.

2.6 JURIDIK

VA-lagstiftningen finns utspridd i många olika lagtexter (Christensen, 2015). Dessa inkluderar exempelvis miljöbalken, plan-och bygglagen och lagen om allmänna vattentjänster. Dessutom finns en del författningar och direktiv från EU-nivå att ta hänsyn till.

2.6.1 Miljöbalken

När miljöbalken började gälla 1 januari 1999 ersatte den 16 tidigare gällande miljölagar (Naturvårdsverket, 2015). Miljöbalken väger samman lagar som behandlar hållbar utveckling på olika sätt och är tillämpbar i många sammanhang. Första paragrafen i miljöbalkens första kapitel fastslår att lagstiftningen bygger på hållbar utveckling och att rätten att utnyttja naturmiljöer kommer med ett ansvar att förvalta dem på ett bra sätt. Tillämpningen av balken ska ske så att människors hälsa, miljön, natur- och kulturmiljöer och den biologiska mångfalden skyddas och bevaras (SFS 1998:808).

2.6.2 Plan-och bygglagen

Plan- och bygglagen trädde i kraft 1 januari 2010. Den samlar regler som gäller vid byggnation och planläggning av konstruktioner i mark och vatten. Denna lagsamling handlar, precis som miljöbalken och lagen om allmänna vattentjänster, om att främja en hållbar livsmiljö både för dagens generationer och framtida (SFS 2010:900).

2.6.3 Lagen om allmänna vattentjänster

Lagen om allmänna vattentjänster (LAV) kallas också för vattentjänstlagen och uppkom 1 januari 2007. Där finns samlade bestämmelser om ansvaret för vattenförsörjning och avloppshantering. I LAV finns information om vilka rättigheter och skyldigheter kommunen, VA-huvudmannen och de enskilda som använder VA-systemet har. Det fastslås att kommunen har ett ansvar för vatten och avlopp gentemot invånarna och reglerar hur det ansvaret ska gälla. Länsstyrelsen är tillsynsmyndighet och ska se till att kommunen lever upp till sina skyldigheter enligt LAV (SFS 2006:412).

2.6.4 Tillskottsvatten

Många VA-huvudmän har gjort utredningar och vidtagit åtgärder i försök att bli av med tillskottsvattnet i spillvattenledningarna. Åtgärderna har främst utförts på ledningssträckor som tillhör det allmänna ledningsnätet, men problem kan även uppstå på de delar av ledningarna som ligger innanför förbindelsepunkten och därför ägs av fastighetsägarna (Lundblad och Backö, 2014). Dessutom tillför ofta felkopplade dräneringsledningar en stor mängd vatten till spillvattennätet. För att till fullo kunna lösa problemen är det viktigt att VA-huvudmannen vet vilka åtgärder som rättsligt kan vidtas för att åtgärda även områden som ägs av fastighetsägaren (Lundblad och Backö, 2014).

Om en fastighetsägare inte går med på att uppfylla sina skyldigheter, kan VA-huvudmannen ansöka om prövning hos Mark- och Miljödomstolen. Tidigare var det Statens VA-nämnd som hade hand om sådana ärenden, men enligt Lundgren⁷ lades den ner vid årsskiftet 2016. Enligt 43 § i LAV kan huvudmannen hota med vattenavstängning för en fastighetsägare som inte följer reglerna (Lundblad och Backö, 2014). För att det ska kunna ske måste ett antal kriterier vara uppfyllda, bland annat får en vattenavstängning inte innebära olägenheter för människors hälsa (Lundblad och Backö, 2014).

2.6.5 ABVA

ABVA är en skrift som anger regler och bestämmelser för hur en kommuns allmänna VA-anläggning ska användas (Christensen, 2015). Detta är baserat på Lagen om allmänna vattentjänster, som fastslår att regeringen har rätt att formulera fler regler för VA-anläggningen. Även kommuner kan göra detta om de fått tillåtelse från regeringen (Lundblad och Backö, 2014). Det förekommer även kommentarer till ABVA och i dessa finns bland annat platsspecifika råd som riktar sig till specifika kommuner.

I 12 § Falu Energi och Vattens ABVA går att läsa att dag- och dräneringsvatten normalt sett inte får kopplas på ledningar som inte är anlagda för det. Fastighetsägarna får inte leda sitt dag- och dräneringsvatten till spillvattenledningarna om VA-huvudmannen har inrättat någon annan lösning för hur det kan tas om hand (Falu Energi och Vatten, 2009). Särskilda skäl som godkänts av Falu Energi och Vatten krävs för att undantas från regeln.

Det är VA-huvudmannen som bestämmer vilket slags vatten som får kopplas vart. Så länge detta är angivet i ABVA, har VA-huvudmannen rätt att ändra på en tidigare anslutning även om den tillåtits när den uppkommit (Lundblad och Backö, 2014). Det kan bli aktuellt med ersättning från VA-huvudmannens sida i rimlig omfattning, men det finns ingen rättspraxis på hur stor denna i så fall skulle vara (Lundblad och Backö, 2014).

2.6.6 Bortkoppling av takytor från spillvattenledning

Om det förekommer stuprör som är anslutna till spillvattennätet bör dessa kopplas bort eftersom toppflödena som uppkommer från tak kan bli mycket stora (Uppsala Vatten, 2016). Detta vatten är normalt inte särskilt förorenat och behöver inte ledas till reningsverket, utan leder bara till att spillvattnet späds ut när det hamnar i ledningarna. Takvattnet kan antingen kopplas om till förbindelsepunkt som är avsedd för dagvatten eller till någon form av öppen lösning.

VA-huvudmannen har rätt att ge en fastighetsägare föreläggande om att koppla bort dagvattnet från spillvattennätet, men i detta ingår ingen uppmaning om vart vattnet ska ledas

⁷ Markus Lundgren, Falu Energi och Vatten, E-mail 2016-05-26

istället (Lundblad och Backö, 2014). Det är upp till fastighetsägaren att själv bestämma om en LOD-anläggning ska anläggas eller om vattnet ska kopplas om till eventuellt tillgängligt dagvattennät. Däremot kan kommunens miljö- och hälsoskyddsnämnd bestämma att vattnet måste kopplas till dagvattennätet om det inte finns möjlighet att anlägga en egen LOD-anläggning (Lundblad och Backö, 2014). Detta finns reglerat i miljöbalken av hygieniska anledningar, till exempel baserat på översvämningrisk.

Ansvar för teknik och de kostnader som uppkommer vid omledning av dagvattnet ligger på fastighetsägaren (Lundblad och Backö, 2014). Om fastighetsägaren vill anlägga en LOD-anläggning måste det godkännas av VA-huvudmannen och grundprincipen är att fastighetsägaren ändå måste betala VA-avgift eftersom detta uttrycks i vattentjänstlagen. Avvikelse kan dock förekomma om fastighetsägaren har blivit avgiftsbefriad från dagvattentjänster (Lundblad och Backö, 2014).

Om förbindelsepunkt för dagvatten saknas, måste vattnet ledas till en LOD-anläggning om VA-huvudmannen gjort bedömningen att vattnet bör avledas på annat sätt än att kopplas till det spillvattenförande ledningsnätet. För att inte fastigheten ska hamna i sämre ekonomiskt tillstånd än tidigare kan dock viss ersättning behöva betalas ut till fastighetsägaren för kostnaden att anlägga LOD-lösningen (Lundblad och Backö, 2014).

2.6.7 Bortkoppling av övriga fastighetsytor från spillvattenledning

Övriga ytor innebär exempelvis asfaltsytor där vattnet leds bort med avvattningsbrunnar. Samma sak gäller här som för takytorna, huvudmannen kan inte bestämma hur dagvattnet ska tas om hand, förutom att det måste kopplas bort från spillvattennätet (Lundblad och Backö, 2014). Därför kan fastighetsägaren välja att anlägga en LOD-anläggning om det är möjligt sett till de platsspecifika förutsättningarna. Även i övrigt gäller samma regler som för takytorna avseende ekonomiskt och tekniskt ansvar för omläggningen (Lundblad och Backö, 2014).

2.6.8 Bortkoppling av dräneringsvatten från fastigheter från spillvattenledning

Dräneringsvatten som bildas från fastigheters husgrundsdränering ska ledas bort via dagvattennätet eller speciella dräneringsledningar om möjligt, inte via spillvattenledningarna (Lundblad och Backö, 2014). Ett alternativ är att anlägga någon form av LOD-lösning på tomten. Precis som för bortkoppling av dagvatten från fastigheter som nämns ovan, är det upp till fastighetsägaren att bestämma vilket av alternativen som ska användas för att leda bort vattnet. Även om det inte finns något utbyggt dagvattennät eller möjlighet att leda bort dräneringsvattnet via dräneringsledningar, kan huvudmannen besluta att dräneringsvattnet måste kopplas bort från spillvattennätet (Lundblad och Backö, 2014). I så fall måste fastighetsägaren se till att en LOD-anläggning anordnas på tomten. Även principen att fastigheten inte får hamna i ett ekonomiskt sämre läge än tidigare gäller, i så fall kan ersättning till fastighetsägaren behöva betalas ut.

2.7 MULTIKRITERIEANALYS

Multikriterieanalys är ett samlingsbegrepp för ett antal metoder som kan användas vid olika typer av beslutsfattande. Det finns många olika varianter, men de går alla ut på att utifrån syftet med analysen bryta ner problemet och definiera lämpliga parametrar som ska styra beslutsfattandet. Parametrarna graderas separat och slutligen vägs de samman och en samlad bedömning av vilket eller vilka alternativ som bör väljas görs. Det finns

multikriterieanalysmetoder som går ut på att finna ett optimalt alternativ och det finns sådana som kan användas för att ranka alternativen från mest till minst lämpligt (Naturvårdsverket, 2009). En anledning till att multikriterieanalys passar så bra vid beslutsfattande är att det gör det möjligt att jämföra olika faktorer som annars i sig inte är möjliga att jämföra kvantitativt med varandra i samma enheter (Naturvårdsverket, 2009).

Den ena viktiga delen i multikriterieanalys är poängsättningen. Ett system måste upprättas för att uppskatta hur väl varje alternativ uppfyller alla parametrar i multikriterieanalysen. Poängen vägs sedan samman med viktningen för att få ett slutligt resultat (Naturvårdsverket, 2009).

Den andra centrala delen av de flesta multikriterieanalysmetoder är viktning. Viktningen av en parameter innebär att ett värde sätts på hur stort inflytande som den parametern ska ha på slutresultatet. Viktningen sätts relativt de övriga parametrarna som ska undersökas och en vanlig metod är att den totala summan för vikterna ska bli 1 (Naturvårdsverket, 2009). I avsnitt 2.7.1 och 2.7.2 följer en beskrivning av de två multikriterieanalysmetoder som har använts.

2.7.1 Linjär additiv metod

Den linjära additiva metoden är mycket vanlig vid användning av multikriterieanalys. Den går ut på att ett system för poängsättning och viktning av de ingående parametrarna skapas och sedan beräknas ett slutbetyg för varje alternativ med ekvation 1 (Naturvårdsverket, 2009).

$$Total\ poäng = \sum_{i=1}^N W_i * P_i \quad (1)$$

Där:

i = alternativen (i = 1:N)

N = totala antalet alternativ

W_i = vikten för parameter i

P_i = poängen för parameter i

2.7.2 Kostnads-behovsanalys

För att peka ut områden som är i stort behov av åtgärder och som är ekonomiskt lönsamma att rikta in åtgärder på kan en kostnads-behovsanalys användas. Den kostnads-behovsanalys som har använts benämns ibland kostnads-nyttoanalys. Dock genomförs kostnads-nyttoanalys ofta på ett annorlunda sätt och därför har det här valts att kalla denna metod kostnads-behovsanalys. Med en kostnads-behovsanalys kan kostnads-och behovsparametrarna delas upp och jämföras separat med varandra, vilket leder till en tvådimensionell modell med kostnader på x-axeln och behov på y-axeln. Behovsvärdena är i den här studien ett mått på hur stort behovet av åtgärder är.

För att få fram en endimensionell rangordning av olika alternativ som kan jämföras direkt med den linjära additiva metoden kan exempelvis ekvation 2 användas.

$$Total\ poäng = Behovsvärde * Kostnad \quad (2)$$

En önskan är i de flesta fall att minimera kostnaderna. För att ekvation 2 ska kunna användas för att jämföra olika alternativ måste skalan för behovsvärdena därför vara omvänd – låga behovsvärden indikerar stort behov av åtgärder. Låga kostnader och låga behovsvärden ger en

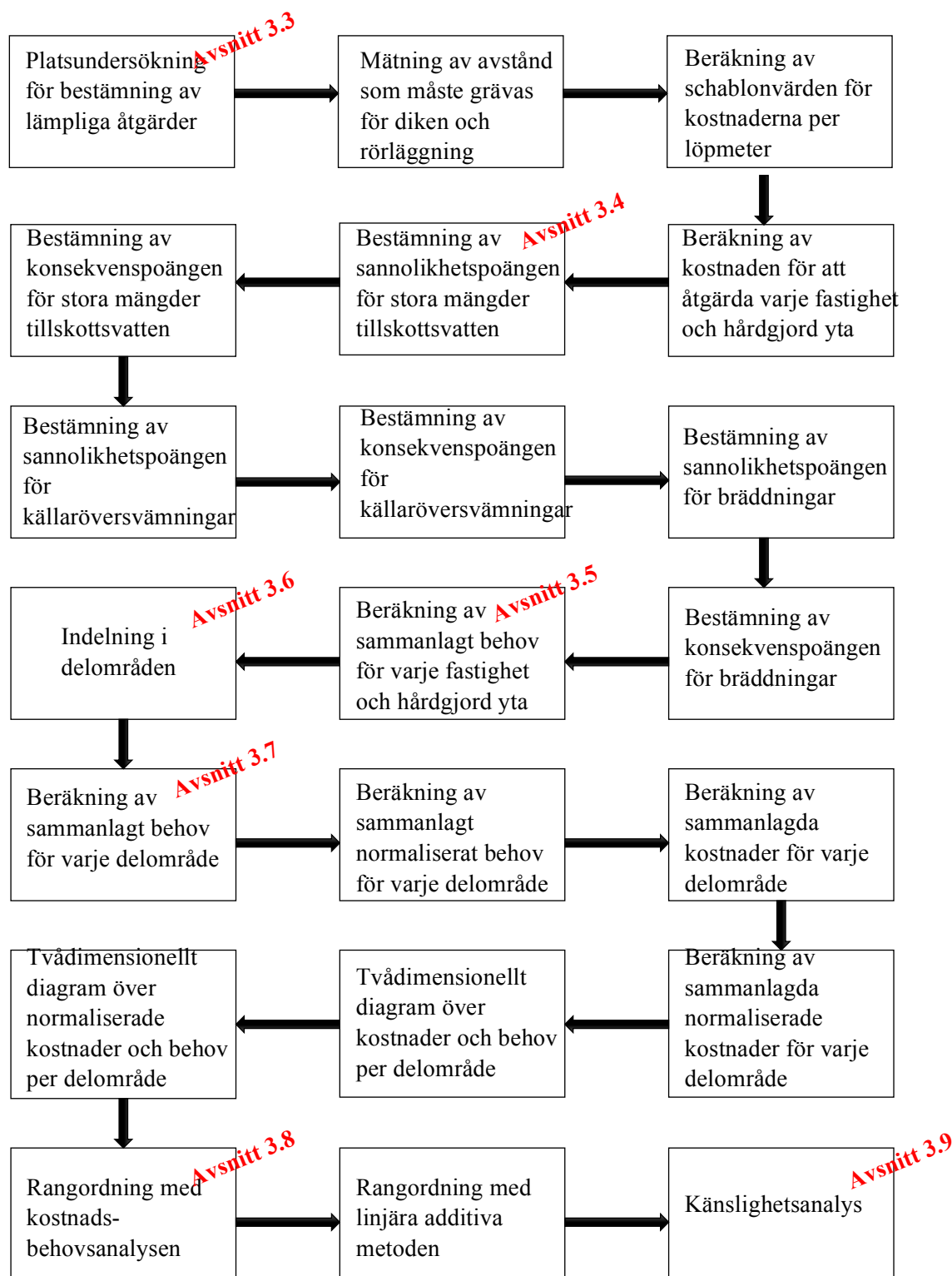
låg total poäng och är alltså något som eftersträvas eftersom det indikerar att åtgärder där gör stor nytta för pengarna.

3 METOD OCH MATERIAL

I detta kapitel beskrivs den metod som togs fram för bestämning av prioriteringen av åtgärdsområden. Först kommer en sammanfattning av den framtagna metodiken som ett kronologiskt processschema, efter det en beskrivning av Bjursås, som har använts som fallstudie och till sist följer metodiken som har tagits fram samt en känslighetsanalys av den.

3.1 SAMMANFATTNING AV METODIKEN

I figur 3 sammanfattas metodiken som har tagits fram i form av ett kronologiskt processschema.



Figur 3. Kronologiskt processschema över metodiken som tagits fram för utvärdering av resursallokering av dagvattenåtgärder för tillskottsvatten i spillvattennätet. Den rödmarkerade texten talar om i vilket avsnitt det kan läsas om de olika delarna.

3.2 FALLSTUDIE: BJURSÅS

Bjursås användes som fallstudie eftersom det är ett samhälle där omfattande utredningar av tillskottsvattnet har gjorts och mycket data finns att tillgå. Bjursås är ett samhälle med cirka 2 000 invånare som ligger i Dalarna, två mil nordväst om Falun och tillhör Falu kommun. Enligt Lundgren⁸ är ledningsnätet i Bjursås utbyggt mellan 1950 och 1960 och den vanligaste materialtypen är betong med otäta fogar. Bjursås är till stor del lokaliserat på Bjursbergets sluttning, vilket gör att höjdskillnaderna är stora över området. De flesta fastigheterna i samhället är villor och området är omgivet av skog och jordbruksmark (Tyréns, 2015). Den största delen av jorden består av morän, men även ett litet område med isälvsavlagring förekommer och på vissa ställen finns berg i dagen (Tyréns, 2015). Flera vattendrag och sjöar finns i Bjursås.

Falu Energi och Vatten, som är VA-huvudman för området, har enligt Lundgren⁹ fått ett föreläggande från Miljökontoret att de måste minska mängden tillskottsvatten till spillvattennätet i Bjursås. Bland problemen nämns stor föroreningsbelastning på recipienten Ärtsjön.

Falu Energi och Vatten har gjort utredningar i området där rekursiva filter har använts för basflödesseparering av spillvattenflöden (Falu Energi och Vatten, 2014), en teknik som i princip innebär att det är möjligt att skilja basflödet (spillvatten, dräneringsvatten och inläckage) från så kallat högrekvent flöde (direkt och indirekt nederbördspåverkan). Stor andel distinkta toppflöden återfanns, vilket talar för att grundvattenytans nivå är relativt konstant över året och inte är det som orsakar flödesvariationerna. (Falu Energi och Vatten, 2014). Vanligtvis löses problem med tillskottsvattnet genom att reducera inläckage av grundvatten till spillvattennätet (Bäckman m.fl., 1993), men detta tyder på att situationen i Bjursås skulle kunna förbättras genom bortkoppling av hårdgjorda ytor och dräneringsvattenledningar från spillvattennätet.

3.3 METODIK FÖR BESTÄMNING AV KOSTNADERNA

Allt som beskrivs i kapitel 3.3, förutom kostnadsuppskattningen i kapitel 3.3.4, utfördes av anställda på Tyréns innan denna studie. Det ger dock en viktig bakgrund till resten av studien.

Som underlag för bestämning av kostnader användes resultatet från en undersökning där förslag till dagvattenåtgärder i Bjursås tagits fram av Tyréns (2015). Undersökningen utfördes under en arbetsdag, där grundvattennivåer och möjlighet till avledning till diken och vattendrag i olika områden uppskattades i grova drag. Uppskattningen av grundvattennivåerna gjordes genom att topografi, växtlighet och närliggande vattendrag studerades tillsammans med information om jordarter och jorddjup. Schablonmässiga beräkningar av hur mycket vatten som rimligtvis skulle kunna rinna från ett område gjordes och dessa resultat utvärderades tillsammans med jordartskartor och grundvattennivåer för att bestämma vilka åtgärder som bedömdes vara lämpliga (Tyréns, 2015).

Det är viktigt att utreda förutsättningarna för avledning av vattnet till närliggande vattendrag innan det utförs som en åtgärd. En viktig faktor är att vattnet inte bör leda till att flödena i vattendraget ökar drastiskt eftersom det skulle kunna leda till bland annat underdimensionerade kulvertar längre nedströms (Tyréns, 2015). För att se till att detta inte

⁸ Markus Lundgren, Falu Energi och Vatten, E-mail 2016-05-26

⁹ Markus Lundgren, Falu Energi och Vatten, möte 2016-01-27

riskeras beräknades de flöden som kan uppstå från tak och källare i Bjursås. Dessutom undersöktes de naturliga flödena i vattendragen som bedömdes kunna fungera som recipient.

I kapitel 3.3.1 – 3.3.4 beskrivs hur de olika åtgärdsförslagen har tagits fram.

3.3.1 Beräkning av dagvattenflöden

Mängden dagvatten som kan uppkomma som pulser vid intensiva regn beräknades med rationella metoden (3). Rationella metoden är en ekvation som används för att beräkna det dimensionerande dagvattenflödet som uppstår från ett fördefinierat avrinningsområde. Denna ekvation fungerar bäst för ett avrinningsområde som inte är alltför stort, helst mindre än 20 hektar (Svenskt Vatten, 2016).

$$Q_{dag} = A * \varphi * i(t_r) \quad (3)$$

Q_{dag} = dagvattenflöde (m^3/s)

A = area (m^2)

φ = avrinningskoefficient (-)

$i(t_r)$ = dimensionerande nederbördsintensitet (m/s)

t_r = regnets varaktighet (min)

Pulserna beräknades istället för de genomsnittliga mängderna eftersom det vid undersökningen av vilka åtgärder som är lämpliga för en viss plats, beror till stor del på hur stora toppflöden som kan uppkomma. Om de maximala flödena från ett regn exempelvis överstiger de mängder som en infiltrationsanläggning kan ta hand om så uppstår problem även om de totala mängderna under året inte innebär några svårigheter för marken att ta hand om.

Vid beräkningen som låg till grund för uppskattningen om vilka recipienter eller infiltrationsytor som skulle kunna ta hand om vattnet beräknades inte flödena från varje yta för sig, utan följande antaganden gjordes vid beräkningen (Tyréns, 2015):

$A = 100 m^2$

$\varphi = 0,9$ för takytor respektive 0,8 för övriga hårdgjorda ytor

$t_r = 10 \text{ min}$

Varaktigheten sattes till 10 minuter. Det görs ofta i de fall då avrinningsområdets area inte med alltför mycket överstiger 10 hektar (Svenskt Vatten, 2016). Utifrån de beräknade flödena gjordes en uppskattning om vilka recipienter som skulle kunna ta hand om flödena.

Avrinningskoefficienten som ingår i ekvation 3 är ett mått på andelen nederbörd som bildar avrinning från en viss yta. Anledningen till att denna ingår i beräkningen är att en viss del av nederbörden infiltrerar i marken, avdunstar till luften eller tas upp av exempelvis växter och hålrum i skrovliga ytor (Svenskt Vatten, 2004).

3.3.2 Beräkning av dräneringsvattenflöden

Dräneringsvattenflödet från alla fastigheter med källare beräknades med Thurners ekvation (4) kombinerad med Thiems brunnsekvation (5). Med Thurners ekvation beräknas en influensradie, vilket är det avstånd som påverkas av en avsänkning av grundvattennivån. Den

kan sedan användas för att med Thiems ekvation beräkna det förväntade dräneringsvattenflödet som uppstår till följd av detta.

$$R_{Thurner} = 3000 * s * \sqrt{K} \quad (4)$$

$$Q_{Drän} = \pi K \frac{h_0^2 - h_w^2}{\ln((r_w + R_{Thurner})/r_w)} \quad (5)$$

s = avsänkning i centrum (m)

K = hydraulisk konduktivitet (m/s)

$R_{Thurner}$ = maximal avsänkingsradie, även kallad influensområde (m)

Q = dräneringsvattenflöde (m^3/s)

h_0 = grundvattnets ursprungsnivå (m)

h_w = grundvattennivå vid avsänkning (m)

r_w = husradie (m)

Utifrån konsultundersökningen som gjordes i Bjursås, där grundvattennivåer, topografi med mera undersöktes beräknades inte flödena från varje källardränering för sig, utan följande uppskattningar gjordes vid beräkningen med ekvation 4 och 5 (Tyréns, 2015):

s = 1 m

K = $10^{-6} - 10^{-8}$ m/s för jordarten sandig morän och $10^{-3} - 10^{-5}$ m/s för isälvs materialet (Grip och Rodhe, 2003)

h_0 = 5 m

h_w = 4 m

r_w = 5 m

Utifrån de beräknade dag- och dräneringsvattenflödena gjordes en uppskattning om vilka recipienter som skulle kunna ta hand om vattnet.

3.3.3 Förutsättningar för infiltration respektive avledning via öppna vattendrag eller diken

En undersökning av terrängen gjordes för att hitta öppna ytor som skulle kunna användas som infiltrationsytor. Lutningen på markytan och förekomst av nedströms liggande fastigheter som eventuellt skulle kunna ta skada av infiltration undersöktes. Kartering av jordartsmaterial gjordes för att se var infiltration var möjligt. För att kunna infiltrera dagvatten på ett effektivt sätt måste permeabiliteten i marklagren vara tillräckligt stor. Denna uppskattades genom att undersöka hur marken såg ut med hjälp av jordartskartor. Även grundvattenytans nivåer undersöktes. Om grundvattnet ligger för nära markytan, är infiltration inte ett lämpligt alternativ (Tyréns, 2015).

Förekomst av närliggande diken och vattendrag och huruvida de hade tillräcklig kapacitet för att kunna ta hand om dagvatten från fastigheter i närheten undersöktes. Det inspekterades om det fanns naturliga avledningsstråk eller om diken skulle behöva grävas för att leda bort vattnet till recipienten. För de fall där diken måste grävas, undersöktes avstånden till de diken eller vattendrag som kan tänkas ta hand om dagvattnet för varje fastighet och hårdgjord yta som hade dag- eller dräneringsvattnet påkopplat till spillvattennätet. Det gjordes dock vid ett

senare tillfälle med hjälp av kartbilder och inte vid platsundersökningen. För områden där dagvattennät fanns utbyggt i närheten mättes avståndet till den närmaste dagvattenledningen.

I de fall där varken infiltration eller avledning till diken eller vattendrag bedömdes vara möjligt måste dagvattennätet byggas ut. Detta är den dyraste och mest krävande metoden (Tyréns, 2015) och därför valdes den bara i de fall då övriga alternativ inte bedömdes vara lämpliga. I den här studien hanterades sådana områden genom att ange att rörledningar bör anläggas för att leda vattnet till närmast lämpliga sjö eller vattendrag.

3.3.4 Kostnadsuppskattning

Vid en åtgärd som innebär att dagvattnet leds om och nätet byggs ut på olika sätt, krävs det en hel del grävande och runt-om-arbete. Med anledning av detta beräknades kostnaderna efter vad det skulle kosta att åtgärda inte bara dagvattnet utan även spill- och dricksvattenledningarna i området eftersom det ofta görs samtidigt i ett förnyelsearbete. Statistik från tidigare förnyelsearbeten har tagits del av och som schablonvärde användes ett medelvärde av sju stycken tidigare projekt som utförts av Falu Energi och Vatten, där dag-, spill- och dricksvattenledningarna renoverats. Detta gav en kostnad på 5 864 kronor/meter vid anläggning av dagvattenledningar i samband med renovering av spill- och dricksvattenledningarna. Statistik för vad det skulle kosta att gräva diken istället för att lägga ner rör fanns inte att tillgå. Detta löstes genom att kostnaderna för rörläggning och kringfyllnadsgrus i rörgraven subtraherades från kostnaden för anläggning av dagvattenledningar. Denna kostnad uppskattades med KP Fakta (2016) till 377 kronor/meter, vilket gav en meterkostnad på 5 487 kronor i områden där inga dagvattenledningar behövde anläggas, utan det räckte med diken. I bilaga B finns mer detaljerad beskrivning av hur kostnadsuppskattningen gjordes. Eftersom dessa kostnadsberäkningar är så osäkra har de avrundats till 6 000 kronor/meter respektive 5 500 kronor/meter för att de inte ska se mer exakta ut än vad de är.

För de fastigheter där den lämpligaste åtgärden bedömdes vara infiltration, uppskattades det vara möjligt att avleda vattnet till naturliga infiltrationsytor i anslutning till fastigheten och därför gjordes kostnadsuppskattningen på samma sätt för avledning till vattendrag och infiltration.

3.4 BESTÄMNING AV BEHOVSVÄRDENA MED MULTIKRITERIEANALYS

Tillskottsvatten i spillvattenledningarna är inget problem i sig, men det leder till att det kan uppstå problem av olika slag. De stora vinsterna i att få bort tillskottsvattnet har dels att göra med en minskad mängd som behöver renas och dels en reducering av hydrauliska kapacitetsproblem som annars kan uppstå, både i ledningsnätet och i reningsverket. Kapacitetsproblemen representeras här av källaröversvämningar och bräddningar. De problem som associeras med tillskottsvatten och som används för att undersöka var behoven av åtgärder är störst är:

- Risk för stora mängder tillskottsvatten
- Risk för källaröversvämningar
- Risk för bräddningar

3.4.1 Poängsättning

I riskanalyssammanhang är det vanligt att utvärdera risken för att något ska ske genom att dela upp det i sannolikhet och konsekvens. Sannolikheten har att göra med hur troligt det är

att en viss händelse inträffar, medan konsekvensen beskriver hur stora följderna av händelsen skulle bli om den skulle inträffa. I den här studien har inga *sannolikheter* och *risker* beräknats i den mening som begreppen normalt sett används i hydrologiska sammanhang, utan uppskattats på andra sätt och definierats med ett poängsystem mellan 1 – 5. För att skilja detta från mer hydrologiskt korrekta sannolikheter har ändelsen *-poäng* lagts på termerna sannolikhet och konsekvens och termen *behov* har använts istället för risk. Detta gjordes eftersom multikriterieanalys användes vid utvärderingen och en del av en sådan metod går ut på att ta fram ett poängsättningssystem för de parametrar som ska ingå i bedömningen. För att få fram ett behovsvärde multiplicerades sannolikhetspoängen med konsekvenspoängen (ekvation 6).

$$\text{Behovsvärde} = \text{Sannolikhetspoäng} * \text{Konsekvenspoäng} \quad (6)$$

När alla sannolikhetspoäng hade multiplicerats med konsekvenspoängen skapades kartor som visar utbredningen av behoven av åtgärder baserat på behovsvärdet för stora mängder tillskottsvatten, källaröversvämningar och bräddningar för fastigheter och hårdgjorda ytor som bedömts ha dag- och dräneringsvatten påkopplat till spillvattennätet.

Behovsparametrarna utvärderades med multikriterieanalys. Poängsättningen för multikriterieanalysen visas i tabell 1 - 6. Det är svårt att få poängsättningen att rättvist spegla förhållandena mellan de olika parametrarna vid multikriterieanalys. Metoden som användes var att poängen sattes på så sätt att alla möjliga scenarier, från minimum till maximum, skulle kunna täckas in och sedan fördelades poängen linjärt däremellan.

3.4.2 Sannolikhetspoäng för stora mängder tillskottsvatten

Sannolikhetspoängen för att stora mängder tillskottsvatten ska uppstå beräknades för varje fastighet och hårdgjord yta som bedömdes ha sitt dag- eller dräneringsvatten kopplat till spillvattennätet. Den mättes i mängd dag- och dräneringsvatten som når spillvattensystemet. De takytor som är påkopplade till spillvattennätet inventerades av Falu Energi och Vatten och information över var de ligger och hur stora de är togs fram. Från varje takyta beräknades flödet:

$$Q_{tak} = A * (P - b_{tak}) \quad (7)$$

Q_{tak} = totalt årligt flöde från tak (m^3/s)

A = takarea (m^2)

P = årsnederbörd (m)

b = årlig avdunstning från takyta (m)

Vilka hårdgjorda ytor som är påkopplade till spillvattennätet inventerades inte på plats i Bjursås. En grov uppskattning gjordes utifrån kartbilder, där de större ytorna som ligger nära spillvattennätet, men längre ifrån vattendrag och redan utbyggt dagvattennät, antogs vara kopplade till spillvattennätet. Flödet från de hårdgjorda ytorna beräknades på samma sätt som takvattenflödet:

$$Q_{hårdgjorda\ ytor} = A * (P - b_{asfalt}) \quad (8)$$

$Q_{hårdgjorda\ ytor}$ = totalt årligt flöde från hårdgjord yta (m^3/s)

A = area på hårdgjord yta (m^2)

P = årsnederbörd (m)

b = årlig avdunstning från hårdgjord yta (m)

Nederbörden som användes i ekvation 7 och 8 var 700 mm/år och avdunstningen från takytorna och asfaltskytorna 50 mm/år respektive 100 mm/år. Siffrorna baserades på en studie av Malmqvist m.fl. (1994).

Dräneringsvattenflödet beräknades med ekvation 4 och 5. Flödena som uppstod från tak och hårdgjorda ytor beräknades genom att varje fastighet och hårdgjord yta utvärderades var för sig. Det bedömdes inte finnas samma underlag för beräkning av dräneringsvattenflödena så därför antogs dessa vara lika stora för alla fastigheter med källare. Samma antaganden som gjordes för beräkning av dräneringsvattenflödena vid undersökningen som beskrivs i kapitel 3.3.2 gjordes. Det är dock inte troligt att det skulle ligga källare så långt ner som 1 meter under grundvattennivån i ett område där jordmaterialet är så genomsläppligt (Tyréns, 2015). Däremot kan det inte antas att källarna i detta område ger upphov till en försumbar mängd dräneringsvatten så därför gjordes antagandet att flödena från källare i detta område är i samma storleksordning som för källarna som ligger på morän. Dräneringsvattenflödet från fastigheter utan källare ansågs vara försumbart i jämförelse med det från fastigheter som hade källare.

Tabell 1 visar vilka sannolikhetspoäng som de olika dag- och dräneringsvattenflödena motsvarar.

Tabell 1. Poängsättningssystem för sannolikheten för stora mängder tillskottsvatten

Flöde (Q) (m ³ /år)	Poängskala
Q > 1200	1 poäng
900 < Q < 1200	2 poäng
600 < Q < 900	3 poäng
300 < Q < 600	4 poäng
0 < Q < 300	5 poäng

3.4.3 Konsekvenspoäng för stora mängder tillskottsvatten

Konsekvenspoängen för om stora mängder tillskottsvatten når spillvattennätet bedömdes rimligtvis kunna representeras av en ökad energi- och kemikalieförbrukning. Falu Energi och Vatten har tagit fram en värderingsrapport över de avloppsreningsverk som de är VA-huvudman för, däribland reningsverket i Bjursås. I denna finns, tillsammans med exempelvis debiterad mängd vatten, även värden på energi- och kemikalieförbrukningen. Dessa värden har graderats med en fyrgradig skala efter något som kallas ”uthållighet”. Uthålligheten speglar mängden kemikalier och energi som används i systemet. I Bjursås leds allt vatten till samma avloppsreningsverk, vilket innebär att konsekvenspoängen blir samma överallt. Den totala uthålligheten beräknades som medelvärdet av energi- och kemikalieförbrukningen enligt tabell 2.

Tabell 2. Poängsättningssystem för konsekvensen vid stora mängder tillskottsvatten

Uthållighet	Poängskala
Mycket dålig	1,25 poäng
Mindre god	2,5 poäng
God	3,75 poäng
Mycket god	5 poäng

I Bjursås gjordes bedömningen att energiförbrukningen höll mindre god uthållighet, medan kemikalieförbrukningen var av mycket god uthållighet, se bilaga C för fullständig sammanställning.

3.4.4 Sannolikhetspoäng för källaröversvämningar

Sannolikhetspoängen för att källaröversvämningar ska uppstå beräknades för varje fastighet och hårdgjord yta som bedömdes ha sitt dag- eller dräneringsvatten kopplat till spillvattennätet. Den utvärderades med hjälp av verktyget SWMM. SWMM är en förkortning av EPA's Storm Water Management Model (US Environmental Protection Agency, 2016). Det är en dynamisk modell, som från början utvecklades för att fungera som simuleringsverktyg för kvalitet och kvantitet på dagvatten i urbana miljöer och är ett verktyg som används vid planering och undersökning av dag- och avloppsvatten. I SWMM kan kanaler, pumpar, olika reglersystem och många andra komponenter i avloppssystemet läggas in och simuleringarna kan därför göras relativt verklighetstroga.

En modell över Bjursås ledningsnät som hade byggts upp av Falu Energi och Vatten innan den här studien påbörjades användes. I modellen var de flesta parametrarna redan definierade av Falu Energi och Vatten, förutom flödena, som beräknades (bilaga D). I SWMM lades regn med olika återkomsttider in och högsta trycknivån för varje regn utlästes i programmet. Ett 2-, 10-, 20- och 50-årsregn simulerades och poängen som en viss fastighet fick berodde på vid vilket regn källaren översvämades, eller med andra ord vilka källare som hamnade under högsta trycknivån för varje regn. Källargolven antogs ligga två meter under markytan. I detta projekt gjordes en del förenklingar och antaganden när det gäller simuleringarna i SWMM eftersom det primära syftet inte var att utföra helt korrekta flödesberäkningar, utan snarare att få en relativ bild av var problemområdena fanns utifrån lutningar och dimensioner på ledningarna. För beräkningar och förenklingar av inparametrarna till SWMM, se bilaga D.

En källare som hamnade under trycknivån redan vid ett 2-årsregn fick 1 poäng. Om källaren däremot klarade sig vid de vanligaste regnen, men översvämades vid ett 50-årsregn fick huset 4 poäng (tabell 3).

Tabell 3. Poängsättningssystem för sannolikheten för källaröversvämningar

Återkomsttid	Poängskala
2 år	1 poäng
10 år	2 poäng
20 år	3 poäng
50 år	4 poäng
Källaren översvämmas inte alls/det finns ingen källare	5 poäng

3.4.5 Konsekvenspoäng för källaröversvämningar

Konsekvenspoängen för källaröversvämningar mättes i antalet människor som skulle påverkas vid en eventuell källaröversvämning, alltså antalet boende i varje fastighet. I de fall där information om antalet boende saknades antogs ett medeltal på 2,5 personer per fastighet. Informationen om antalet boende hämtades från kommuninvånarregistret. Poängskalan visas i tabell 4.

Tabell 4. Poängsättningssystem för konsekvensen vid källaröversvämningar

Antal boende	Poängskala
Fler än 10	1 poäng
8 – 10	2 poäng
5 – 7	3 poäng
2,5 – 4	4 poäng
1 – 2	5 poäng

3.4.6 Sannolikhetspoäng för bräddningar

Sannolikhetspoängen för bräddningar beräknades i varje bräddpunkt och värdet gavs till alla fastigheter och hårdgjorda ytor som bedömdes ha sitt dag- eller dräneringsvatten kopplat till spillvattennätet uppströms bräddpunkten. Detta eftersom stor risk för bräddning i en punkt måste åtgärdas genom att koppla bort uppströms påkopplade objekt.

Sannolikhetspoängen för bräddningar utvärderades med SWMM på samma sätt som sannolikhetspoängen för källaröversvämningar. Det undersöktes vilken återkomsttid som krävdes på regnet för att trycknivån skulle nå upp till bräddpunkten, vilket skulle innebära bräddning i verkligheten. Sannolikhetspoängen skalades mellan 1 och 5 (tabell 5).

Tabell 5. Poängsättningssystem för sannolikheten för bräddningar

Återkomsttid	Poängskala
2 år	1 poäng
10 år	2 poäng
20 år	3 poäng
50 år	4 poäng
Ingen bräddning sker	5 poäng

3.4.7 Konsekvenspoäng för bräddningar

Hur stora konsekvenserna blir vid bräddning beror på vilken recipient som bräddvattnet släpps ut till. I VISS finns information om de vattenförekomster i landet som vattenmyndigheterna pekat ut som mest betydelsefulla och där finns bland annat statusklassningar som utgår från deras kvalitet. För att ta reda på konsekvensen vid bräddning undersöktes vilka recipienter som bräddvattnet leds till och hur de är klassade i VISS. Det finns bland annat information om ekologisk och kemisk status, klassat i en statusskala. Det som låg till grund för bedömning av konsekvensen vid bräddningar var följande:

- Typ av recipient (vattendrag, å, dike, ...)
- Kemisk status (hämtad från VISS)
- Ekologisk status (hämtad från VISS)
- Omgivning – hur recipienten nyttjas av människor i området

- Om recipienten är klassad som vattenskyddsområde eller riksintresse vattendrag
- Om recipienten är skyddsvärd enligt fiskvatten- eller skaldjursdirektivet

Varje recipient som bräddpunkterna ledde sitt vatten till utvärderades genom att varje kategori i tabell 6 utvärderades. När recipienten hade fått ett värde från varje kategori beräknades ett totalt värde för den genom att alla klassnings-värden summerades och dividerades med antalet klasser.

Tabell 6. Poängsättning för konsekvensen vid bräddningar

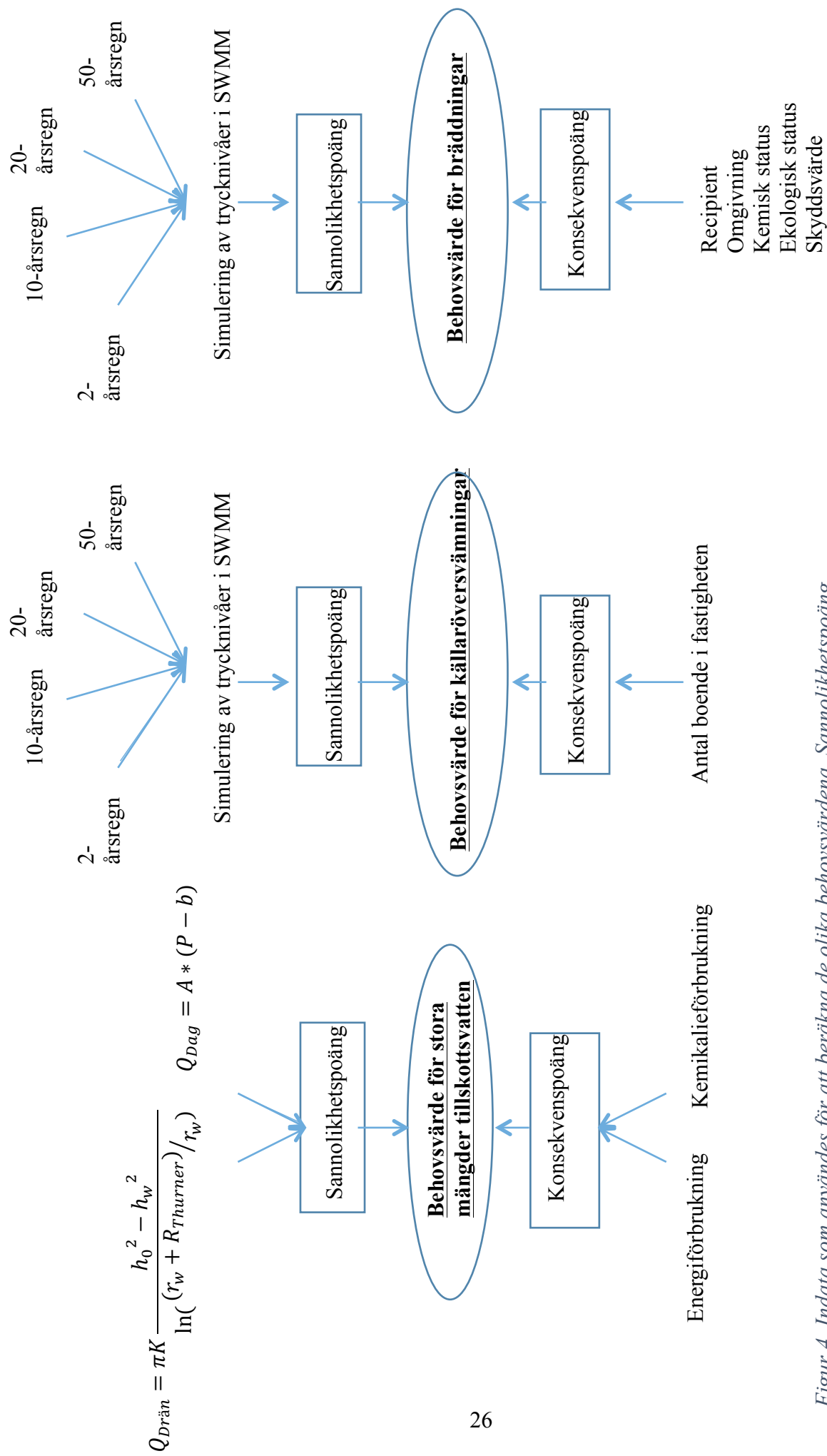
Klassning	Recipient	Ekologisk status	Kemisk status	Omgivning	Klassad som vatten-skydds-område eller riksintresse vattendrag	Klassad som skyddsvärd enligt fiskvatten- eller skaldjurs-direktivet
1	Sjö	Dålig status	-	Platser där folk vistas i vatten	Ja	Ja
2	Å	Otillfredss tällande status	Otillfredss tällande status	Platser där folk vistas vid vatten	-	-
3	Större dike/bäck	Måttlig status	-	Platser där folk vistas <25 m från vatten	-	-
4	Dike med rinnande vatten	God status	God status	Platser där folk vistas 25-50 m från vatten	-	-
5	Torrlagt dike	Hög status/Inte klassad	Inte klassad	Platser där folk inte vistas	Nej	Nej

Exempel på hur tabell 6 användes: En bräddpunkt som bräddar till en å (2 poäng) med god ekologisk status (4 poäng), otillfredsställande kemisk status (2 poäng), på en plats där människor vistas vid vatten (2 poäng), men som inte är skyddsvärd enligt någon av skyddsklasserna (5 + 5 poäng) fick värdet:

$(2 + 4 + 2 + 2 + 5 + 5) \text{ poäng} / 6 \text{ klasser} = 3,33 \text{ konsekvenspoäng}$

3.4.8 Sammanfattning av beräkningarna

I kapitel 3.4.2 – 3.4.7 beskrevs hur de olika behovsvärden beräknades. För att få en samlad bild av hur undersökningen gick till har de olika inparametrarna sammanfattats i figur 4.



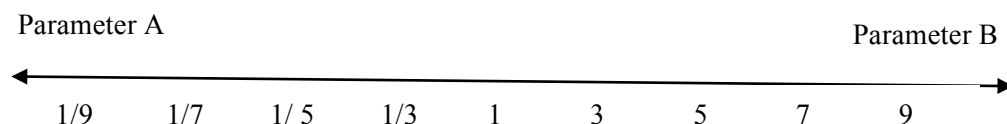
Figur 4. Indata som användes för att beräkna de olika behovsvärdena. Sannolikhetspoäng och konsekvenspoäng beräknades för varje fastighet och hårdgjord yta som bedömdes ha sitt dag- eller dräneringsvatten kopplat till spillvattennätet. Sedan multiplicerades dessa poäng för att skapa behovsvärden som reflekterar behoven av åtgärder baserat på stora mängder tillskottsvatten, källaröversvämningar och bräddningar. Se kapitel 3.4.2 – 3.4.7 för en mer detaljerad beskrivning av metodiken.

3.5 BERÄKNING AV TOTALA BEHOV MED LINJÄR ADDITIV METOD

Det totala behovsvärdet för varje fastighet och hårdgjord yta som bedömdes ha sitt dag- eller dräneringsvatten påkopplat till spillvattennätet beräknades med en linjär additiv multikriterieanalysmetod. Först togs vikter fram för de olika parametrarna och sedan värderades de ihop med en ekvation som bygger på ekvation 1.

3.5.1 Viktning

En enkätundersökning skickades ut till nio personer på Tyréns och Falu Energi och Vatten, som fick i uppdrag att ställa de olika kriterierna mot varandra och värdera hur viktiga de ansåg att de var för beslutsprocessen. En sammanställning av enkäten på den form som den skickades ut kan ses i bilaga E. Den metod som användes för viktningen av parametrarna var Analytisk Hierarkisk Process (AHP). AHP går ut på att de olika parametrarna utvärderas parvis på en skala från 1/9 till 9 (Saaty, 2013) utifrån hur mycket viktigare den ena parametern är än den andra (figur 5).



Figur 5. Skalan för AHP som används vid viktningen av de olika parametrarna. Ju längre ut på kanterna av pilarna, desto viktigare är den ena parametern än den andra. En förklaring till poängsättningen finns i tabell 7.

Parametrarna som viktades var:

- A: Risk för stora mängder tillskottsvatten
- B: Risk för källaröversvämningar
- C: Risk för bräddningar

Poängsättningssystemet som användes vid utvärderingen med AHP visas i tabell 7.

Tabell 7. Definition av poängsättningssystemet i AHP (Saaty, 2013)

Poängsättning	Innebörd
1/9	Parameter A är överlägset mycket viktigare än parameter B
1/7	Parameter A är mycket viktigare än parameter B
1/5	Parameter A är viktigare än parameter B
1/3	Parameter A är något viktigare än parameter B
1	Parameter A och B är lika viktiga
3	Parameter B är något viktigare än parameter A
5	Parameter B är viktigare än parameter A
7	Parameter B är mycket viktigare än parameter A
9	Parameter B är överlägset mycket viktigare än parameter A

Efter att alla parametrar hade viktats sammanställdes resultaten i en matris (ekvation 9), där platserna ovanför och till höger om den diagonala raden med ettor fylldes på med siffror. Eftersom flera beslutsfattare var involverade i processen baserades matrisen på de geometriska medelvärdena (Saaty, 2008). De platser som ligger under och till vänster om

diagonalen (a, b och c) fylldes med inversen av samma siffror (Saaty 2013). Värdet på a beskriver hur parameter A står sig i jämförelse med parameter B, värdet på b hur parameter A står sig i jämförelse med parameter C och värdet på c hur parameter B står sig i jämförelse med parameter C enligt poängsättningssystemet i tabell 7.

$$\begin{pmatrix} & \mathbf{A} & \mathbf{B} & \mathbf{C} \\ \mathbf{A} & 1 & a & b \\ \mathbf{B} & 1/a & 1 & c \\ \mathbf{C} & 1/b & 1/c & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Ett värde på Consistency Ratio (CR) beräknades med ekvation 10 för att undersöka hur konsekventa de svarande hade varit vid bedömningen, se bilaga F för fullständig beräkning. För att resultaten ska vara godtagbara vid användning av AHP-metoden så bör CR inte vara större än 10 %, alltså 0,1. Om parametrarna är få bör CR vara ännu mindre, Saaty (2013) rekommenderar att 0,05 används som riktvärde då tre parametrar utvärderas.

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (10)$$

CI = consistency index

RI = relative index, hämtas från tabell (Saaty, 2013)

λ_{max} = största egenvärdet

n = antal parametrar

För 3 x 3-matrisen beräknades λ_{max} med ekvation 11 och 12 (Saaty, 2013).

$$d = \left(\frac{ac}{b}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

a, b och c är konstanterna från matrisen ovan.

$$\lambda_{max} = 1 + d + d^{-1} \quad (12)$$

Vikterna beräknades med ekvation 13 – 15 (Saaty, 2013). Se bilaga F för fullständiga beräkningar.

$$w_1 = \frac{bd}{1 + bd + \frac{c}{d}} \quad (13)$$

$$w_2 = \frac{c}{d(1 + bd + \frac{c}{d})} \quad (14)$$

$$w_3 = \frac{1}{1 + bd + \frac{c}{d}} \quad (15)$$

3.5.2 Totalt behovsvärde

De olika behovsvärdena som tagits fram multiplicerades med viktningen och adderades med varandra enligt ekvation 16.

$$\begin{aligned} \text{Totalt behovsvärde för varje fastighet och hårdgjord yta} = & \\ & \text{Behovsvärde}_{\text{Stora mängder tillskottsvatten}} * \text{Vikt}_{\text{Stora mängder tillskottsvatten}} + \\ & \text{Behovsvärde}_{\text{Källaröversvämningar}} * \text{Vikt}_{\text{Källaröversvämningar}} + \text{Behovsvärde}_{\text{Bräddningar}} * \\ & \text{Vikt}_{\text{Bräddningar}} \end{aligned} \quad (16)$$

Beräkningen med ekvation 16 utfördes i ett kalkylblad i Excel och exporterades sedan över till ArcGIS. På så sätt bildades en karta över de totala behoven.

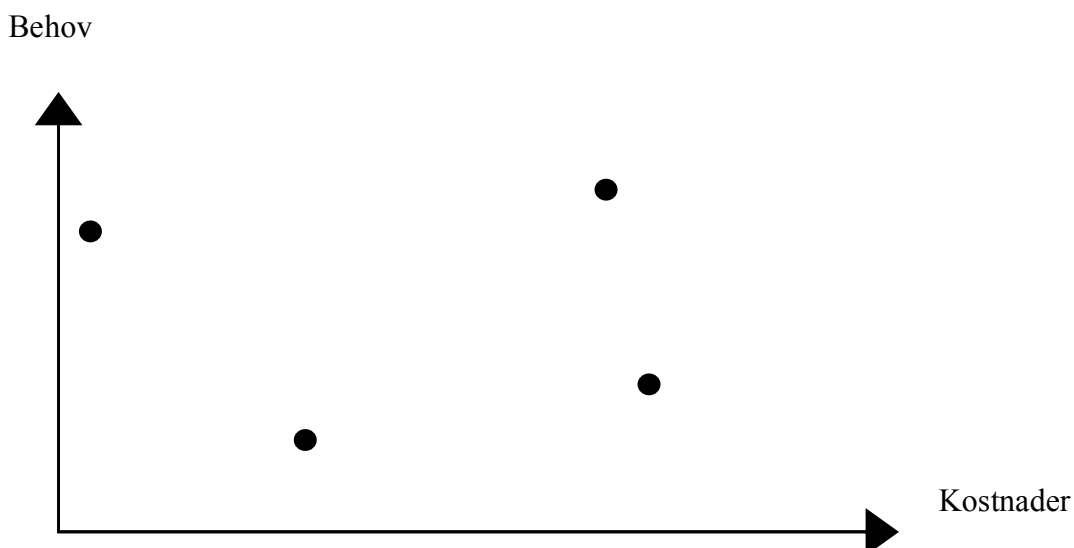
3.6 INDELNING I DELOMRÅDEN

Delområden ritades ut utifrån var det låg objekt (fastigheter och hårdgjorda ytor) med behovsvärden i liknande storleksordning samt utifrån de definierade detaljplaneområdena, utformningen på ledningsnätet och var det fanns dagvattenledningar utbyggda. Detaljplaner användes eftersom de identifierar liknande bebyggelse med ungefär samma ålder och har utritade administrativa gränser. Delområdena gjordes medvetet olika stora för att göra det möjligt för VA-huvudmannen att plocka ihop ett visst antal åtgärdsområden som ryms inom en viss angiven budget.

3.7 VAL AV DELOMRÅDEN

För att undersöka var åtgärder bör sättas in skapades en graf i två dimensioner med det sammanlagda behovsvärdet för varje delområde på y-axeln och åtgärdskostnaden på x-axeln (figur 6). Åtgärdskostnaden beräknades genom att undersöka varje fastighet och hårdgjord yta som hade sitt dag- eller dräneringsvatten kopplat till spillvattennätet för sig och sedan summera alla kostnader i ett delområde.

För att kunna jämföra de olika delområdena med varandra oavsett storlek på dem normaliserades värdena genom att behovsvärdena och kostnaderna dividerades med antalet fastigheter och hårdgjorda ytor som hade sitt dag- eller dräneringsvatten kopplat till spillvattennätet i varje delområde.



Figur 6. En exempelfigur som visar hur kostnads-behovsanalysen ser ut i två dimensioner. Punkterna representerar olika delområden. Lågt behovsvärde innebär stort behov, vilket innebär att delområdena närmast origo är mest lämpliga att rikta in sig på att åtgärda.

3.8 RANGORDNING AV DELOMRÅDEN MED MULTIKRITERIEANALYS

Efter att den tvådimensionella grafen över de olika delområdenas normaliserade behovsvärden och kostnader hade skapats, rangordnades delområdena efter var behoven var störst (där behovsvärdet var minst) och kostnaderna minst, det vill säga efter var nyttan av åtgärder bedömdes vara störst, sett både till behov och kostnader. Detta gjordes med en linjär additiv metod på samma sätt som tidigare, men även med en kostnads-behovsanalys. Behoven analyserades på samma sätt för båda metoderna, skillnaden mellan metoderna är enbart hur kostnaderna och behoven slutligen har vägts samman. Det är de normaliserade kostnads- och behovsvärdena som har använts i bedömningen.

3.8.1 Kostnads-behovsanalys

Att sätta upp en tvådimensionell modell, där kostnader och behov visas på varsin axel för alla delområden är önskvärt eftersom det då underlättar för VA-huvudmannen vid planeringen, då det är lättare att välja ut flera alternativ utifrån en budget på det sättet. Detta eftersom kostnaderna kan ses direkt tillsammans med behoven, vilket ger en tydlig översiktssbild över de olika delområdena. För att få en endimensionell rankning av de olika delområdena med kostnads-behovsanalysen användes ekvation 17, som bygger på ekvation 2.

$$\text{Prioritetsindex per delområde} = \text{Behovsvärde per fastighet} * \text{Kostnad per fastighet} \quad (17)$$

Rangordningen av mest lämpliga delområden att åtgärda gjordes sedan utifrån vilka delområden som fick lägst prioritetsindex eftersom låga behovsvärden och kostnader indikerar att nyttan per satsad krona blir stor.

3.8.2 Linjär additiv metod

Denna metod har använts redan tidigare i studien, då behovsvärdena beräknades men i det här stadiet användes den för att räkna ihop behoven och kostnaderna för att kunna jämföra resultaten med kostnads-behovsanalysen.

Den linjära additiva metoden kräver att kostnaderna och behoven jämförs utifrån samma poängskala så därför poängsattes kostnaderna på en skala mellan 1 och 25 och viktades ihop med de övriga parametrarna i analysen. Poängskalan för kostnaderna definieras i tabell 8 och den har tagits fram på samma sätt som övriga poängskalor, genom att alla möjliga scenarier, från minimum till maximum, täcktes in och sedan fördelades poängen linjärt däremellan.

Tabell 8. Poängsättning av kostnaderna till den linjära additiva metoden

Kostnad (kr) per fastighet eller hårdgjord yta	Poängskala
0 – 15 000	1 poäng
15 000 – 30 000	2 poäng
30 000 – 45 000	3 poäng
45 000 – 60 000	4 poäng
60 000 – 75 000	5 poäng
75 000 – 90 000	6 poäng
90 000 – 105 000	7 poäng
105 000 – 120 000	8 poäng
120 000 – 135 000	9 poäng
135 000 – 150 000	10 poäng
150 000 – 165 000	11 poäng
165 000 – 180 000	12 poäng
180 000 – 195 000	13 poäng
195 000 – 210 000	14 poäng
210 000 – 225 000	15 poäng
225 000 – 240 000	16 poäng
240 000 – 255 000	17 poäng
255 000 – 270 000	18 poäng
270 000 – 285 000	19 poäng
285 000 – 300 000	20 poäng
300 000 – 315 000	21 poäng
315 000 – 330 000	22 poäng
330 000 – 345 000	23 poäng
345 000 – 360 000	24 poäng
>360 000	25 poäng

Även en viktning behöver göras för hur stor vikt som ska läggas på behov respektive kostnader. Eftersom kostnads-behovsanalysen ger kostnaderna och behoven lika stort inflytande vid utvärderingen så sattes vikterna för behov och kostnader lika stora.

$$Vikt_{Behov} = Vikt_{Kostnad} = 0,5$$

Ett prioritetsindex som bygger på ekvation 1 beräknades med ekvation 18.

$$\text{Prioritetsindex per delområde} = \text{Behovsvärde per fastighet} * Vikt_{Behov} + \text{Kostnadspoäng per fastighet} * Vikt_{Kostnad} \quad (18)$$

Rangordningen av mest lämpliga delområden att åtgärda gjordes sedan utifrån vilka delområden som fick lägst prioritetsindex eftersom låga behovsvärden och kostnader indikerar att nyttan per satsad krona blir stor.

3.9 KÄNSLIGHETSANALYS AV BEHOVSPARAMETRARNA

Känslighetsanalysen utgick ifrån att rimliga antaganden av hur olika parametrar skulle kunna skilja sig från de antagna värdena gjordes. Dels gjordes en känslighetsanalys på alla ingående parametrar för att definiera vilka som behöver mätas extra noggrant vid användningen av metoden och dels gjordes en uppskattning av hur mycket den totala poängsättningen kan antas

skilja sig från de antagna värdena. Känslighetsanalysen har till stor del utförts i Matlab. Koderna för utvärderingen finns samlade i bilaga H. När det i texten nämns att en parameter kan skilja sig en klass uppåt eller nedåt innebär det att poängsättningen för parametern, som syns i tabell 1 – 6, skulle kunna skilja sig upp eller ner ett steg.

3.9.1 Sannolikhetspoäng för stora mängder tillskottsvatten

Känsligheten för stora mängder tillskottsvatten utvärderades genom att osäkerheterna i dag- och dräneringsvattenmängderna jämfördes med varandra. Dessutom jämfördes de ingående parametrarna som användes för att beräkna flödena för att se vilka parametrar som bidrar mest till resultaten genom att rimliga intervall för de olika parametrarna definierades. Sedan slumpades olika värden därifrån 1 000 gånger utifrån en triangulär fördelning med intervallen i tabell 9 och mängderna dag- och dräneringsvatten beräknades.

Tabell 9. Osäkerheter vid bestämning av sannolikhet för stora mängder tillskottsvatten

Parameter	Intervall
Area (m ²)	200 – 300
Avdunstning (mm/år)	25 – 125
Nederbörd (mm/år)	500 – 800
Avsänkning i centrum (m)	0,5 – 1,5
Hydraulisk konduktivitet (m/s)	10 ⁻⁸ – 10 ⁻⁶
Grundvattnets ursprungsnivå (m)	4,5 – 5,5
Grundvattennivå vid avsänkning (m)	3,5 – 4,5
Husradie (m)	4,5 – 5,5

3.9.2 Konsekvenspoäng för stora mängder tillskottsvatten

För att analysera känsligheten för konsekvenspoängen för stora mängder tillskottsvatten undersöktes energi- och kemikalieförbrukningen. Det ansågs rimligt att uthålligheterna, som är det värde som de mäts i, skulle kunna skilja sig en klass uppåt eller nedåt. Större osäkerhet bör inte vara rimligt.

3.9.3 Sannolikhetspoäng för källaröversvämningar

Sannolikhetspoängen för källaröversvämningar uppskattades med hjälp av SWMM. För att ta reda på vilka parametrar som var känsligast i modellen varierades utvalda parametrar på intervall som ansågs relevanta och tryckhöjdens förändring i en punkt nedströms i systemet lästes av. På grund av osäkerheterna bedömdes att resultaten skulle kunna skilja sig en klass uppåt eller nedåt.

3.9.4 Konsekvenspoäng för källaröversvämningar

Konsekvenspoängen för källaröversvämningar definierades som antalet boende i respektive fastighet. Det kan antas att denna parameter skulle kunna bli fel, folk kan flytta till eller från fastigheten och det finns risk för att informationen som finns inte är uppdaterad. Ingen beräkning gjordes för att känslighetsanalysera denna parameter eftersom inga beräkningar gjordes för att få fram den, utan den ansågs kunna variera en klass uppåt eller nedåt.

3.9.5 Sannolikhetspoäng för bräddningar

Sannolikhetspoängen för bräddningar uppskattades med hjälp av SWMM. För att ta reda på vilka parametrar som var känsligast i modellen varierades utvalda parametrar på intervall som ansågs relevanta och tryckhöjdens förändring i en punkt nedströms i systemet lästes av på

samma sätt som vid känslighetsanalysen för risk för källaröversvämningar. På grund av osäkerheterna bedömdes att resultaten skulle kunna skilja sig en klass uppåt eller nedåt.

3.9.6 Konsekvenspoäng för bräddningar

Konsekvenspoängen för bräddningar beräknades med informationen i tabell 6. Det antogs att det som är störst risk att uppskatta fel är vilken typ av recipient det handlar om och huruvida folk vistas i närheten av vattnet eller inte. Övriga klassningar finns listade i VISS för de större vattenförekomsterna. Det ansågs därför rimligt att konsekvenserna skulle kunna skilja sig en poäng uppåt eller nedåt för dessa två faktorer medan resten av klasserna i tabell 6 inte antas vara lika osäkra.

3.9.7 Viktning

Känslighetsanalysen av vikterna utgick från resultaten i enkätundersökningen. En triangulär fördelning användes där vikterna som tagits fram antogs vara 10 % osäkra. 10 % osäkerhet valdes eftersom det var det intervall som resultaten från viktningarna med enkätundersökningen skiljde sig.

3.9.8 Total känslighetsanalys

En total känslighetsanalys gjordes där både poängen och vikterna slumpades med en Monte Carlo-analys på de framtagna intervallen enligt en triangulär fördelning 1 000 gånger. Ett lådagram skapades över resultaten för att undersöka om det såg ut att vara möjligt att skilja de olika delområdena åt eller om osäkerheterna var för stora. Även rankingen av de olika delområdena när de utvärderades med den linjära additiva metoden och med kostnadsbehovsanalysen undersöktes vid variering av vikterna och poängsättningen. Detta genom att det alternativ som rankades som mest lämpligt att åtgärda togs fram de 1 000 gånger som vikterna och poängsättningen slumpades.

En känslighetsanalys gjordes även av viktningen och poängsättningen var för sig på samma sätt som ovan för att undersöka om något av dem bidrog extra mycket till osäkerheterna.

4 RESULTAT

I kapitel 4 följer en sammanställning av resultaten.

4.1 VIKTNING MED AHP

Resultat från enkätundersökningen som ligger till grund för viktningen som beskrivs i kapitel 3.5.1 visas i tabell 10. För statistik över svaren, se bilaga F.

Tabell 10. Resultat från enkätundersökningen som visar hur de svarande har poängsatt de olika parametrarna

Svarande	Risk för stora mängder tillskottsvatten är [...] jämfört med risk för bräddningar	Risk för stora mängder tillskottsvatten är [...] jämfört med risk för källaröversvämningar	Risk för källaröversvämningar är [...] jämfört med risk för bräddningar
1	viktigare (5)	mycket viktigare (7)	viktigare (5)
2	överlägset mycket mindre viktigt (1/9)	mindre viktigt (1/5)	viktigare (5)
3	mindre viktigt (1/5)	mindre viktigt (1/5)	lika viktigt (1)
4	mycket mindre viktigt (1/7)	mindre viktigt (1/5)	viktigare (5)
5	mycket mindre viktigt (1/7)	mindre viktigt (1/5)	något viktigare (3)
6	mindre viktigt (1/5)	lika viktigt (1)	något viktigare (3)
7	något viktigare (3)	viktigare (5)	något viktigare (3)
8	något viktigare (3)	något mindre viktig (1/3)	något mindre viktig (1/3)
9	mycket mindre viktigt (1/7)	mindre viktigt (1/5)	mycket viktigare (7)

Tabell 10 visar att de som svarat på enkäten har lite olika åsikter om vad som är viktigast. En del har gett liknande svar, men det finns även exempel på fall där de svarande inte är överens.

4.1.1 CR-värde och vikterna

Här redovisas enbart resultaten, för fullständig beräkning av CR och vikterna, se bilaga F.

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0,067$$

CR är inte mindre än 0,05, vilket betyder att svaren från enkätundersökningen inte är optimala att använda som grund för viktningen. De är dock under gränsvärdet 0,10.

Vikterna blev, avrundade till två decimaler:

Behovsvärde för stora mängder tillskottsvatten = $0,19 = 19 \%$

Behovsvärde för källaröversvämningar = $0,55 = 55 \%$

Behovsvärde för bräddningar = $0,26 = 26 \%$

4.2 BERÄKNING AV FLÖDEN FÖR KOSTNADSUPPSKATTNINGEN

Här redovisas flödena som har legat till grund för att ta reda på vilka recipienter eller infiltrationsytor som bör klara av att ta hand om dag- och dräneringsvattnet. Dessa beräkningar gjordes av Tyréns innan denna studie.

Ekvation 3 visar att dagvattenflödena som kan uppstå är 1,6 och 2,1 l/s från takytorna för ett regn med återkomsttiderna 5 respektive 10 år (Tyréns, 2015).

Beräkning med ekvation 5 visade att dräneringsvattenflödena skulle kunna bli (Tyréns, 2015):

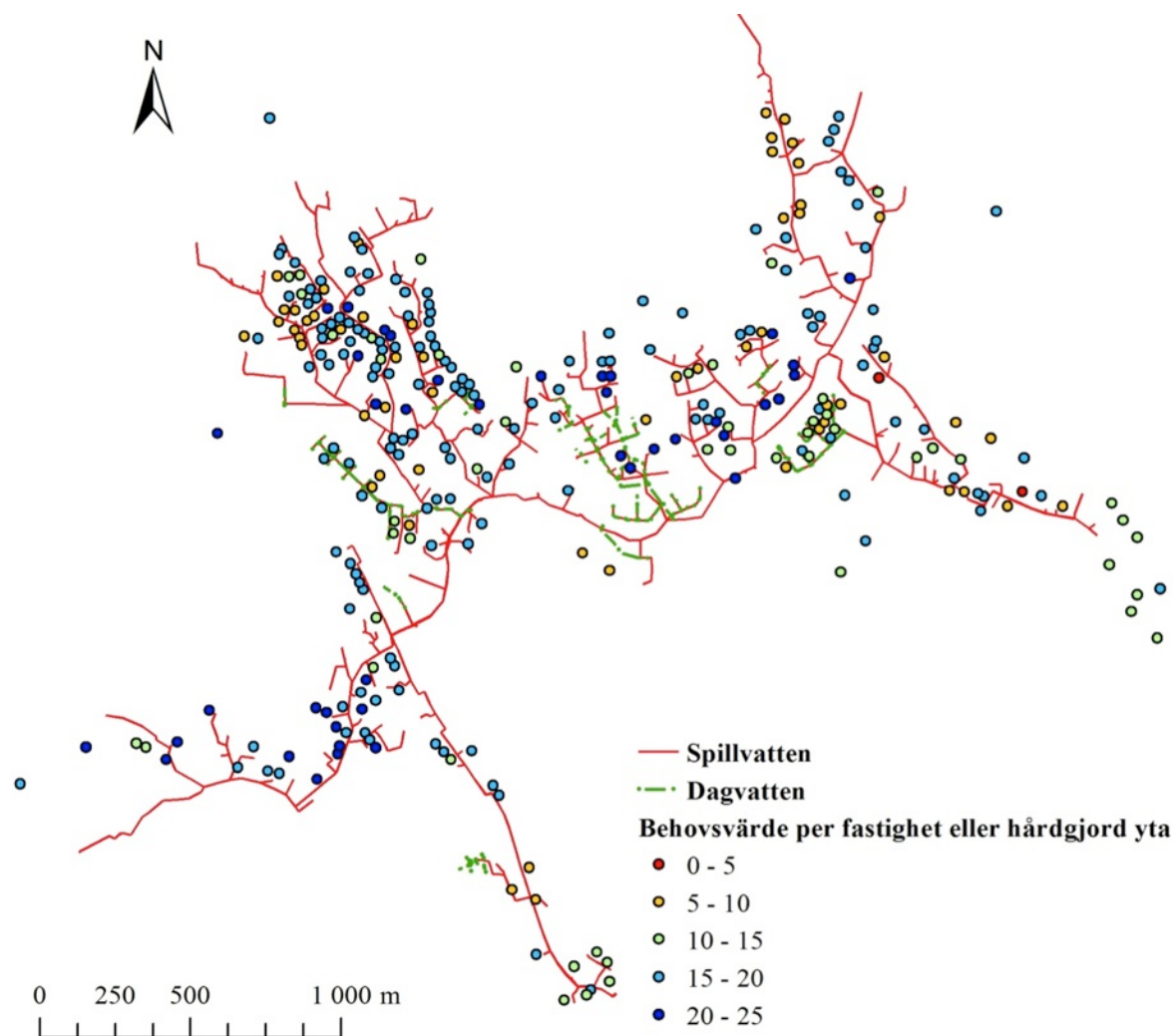
För källare i morän: $Q_{\text{dräneringsvatten}} = 0,005 - 0,06 \text{ l/s}$

Från källare i isälvsmaterial $Q_{\text{dräneringsvatten}} = 0,3 - 9,4 \text{ l/s}$

4.3 BEHOV AV ÅTGÄRDER FÖR VARJE FASTIGHET OCH HÅRDGJORD YTA

I bilaga G visas behovskartor för stora mängder tillskottsvatten, källaröversvämningar och bräddningar. Figur 7 visar en intensitetskarta över de totala behoven efter att behovsvärdena för stora mängder vatten, källaröversvämningar och bräddningar viktats ihop och summerats med multikriterieanalys enligt ekvation 16. Låga behovsvärden innebär stora behov.

Observera att det inte är några kostnader inblandade i detta kapitel, kartorna är endast en sammanställning av var behoven av åtgärder är störst.

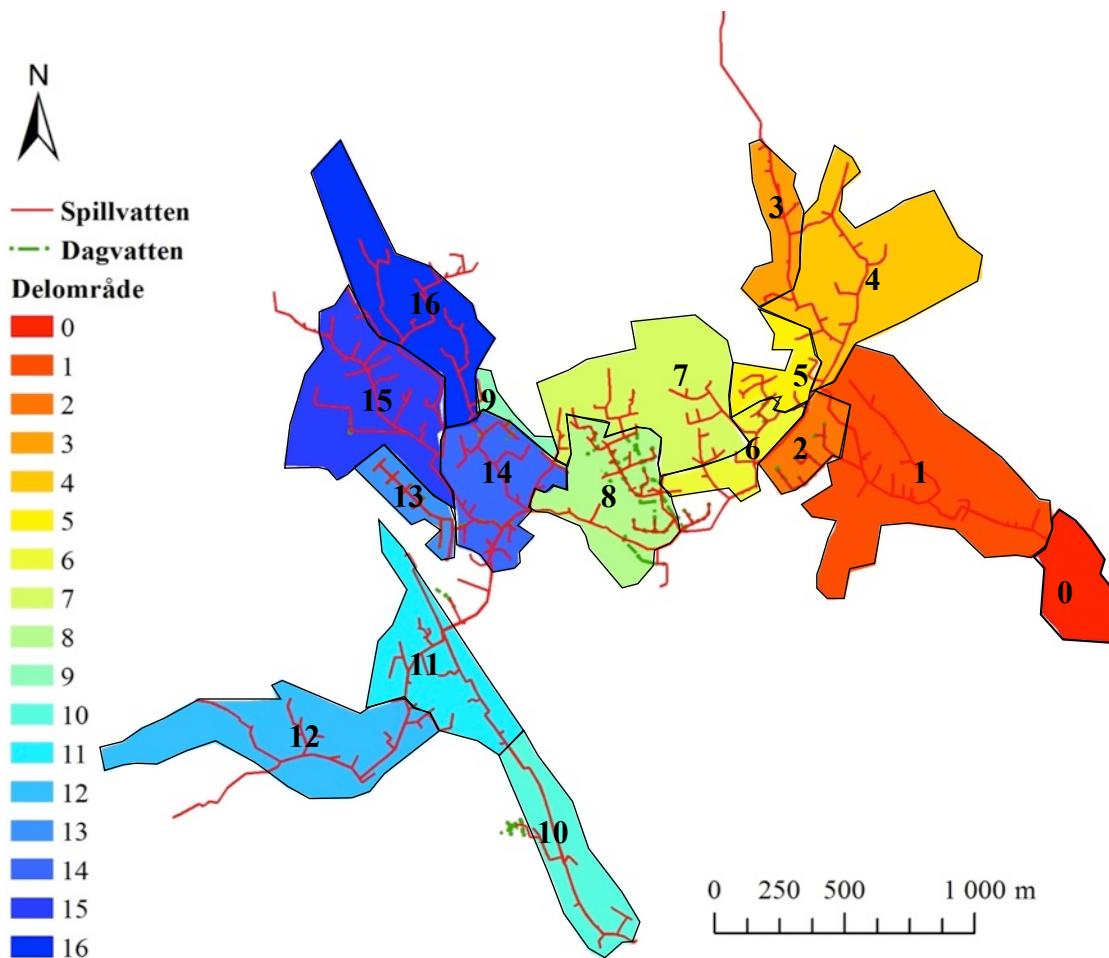


Figur 7. Totalt behovsvärde för varje fastighet och hårdgjord yta som har undersökts. Behoven är enligt kartan representerad som ett behovsvärde mellan 1 – 25, där lågt behovsvärde innebär stort behov av åtgärder. Datakälla för ledningsnätet och fastigheternas placering: Falu Energi och Vatten. Publicerad med tillåtelse av Falu Energi och Vatten.

I figur 7 kan det ses att behovsvärdena är relativt spridda över området, det finns ingen tydlig plats där behoven är störst. Dock kan vissa mönster urskönjas, exempelvis finns ett område med stort behov av åtgärder i nordöst, medan området i sydväst är i relativt litet behov av åtgärder.

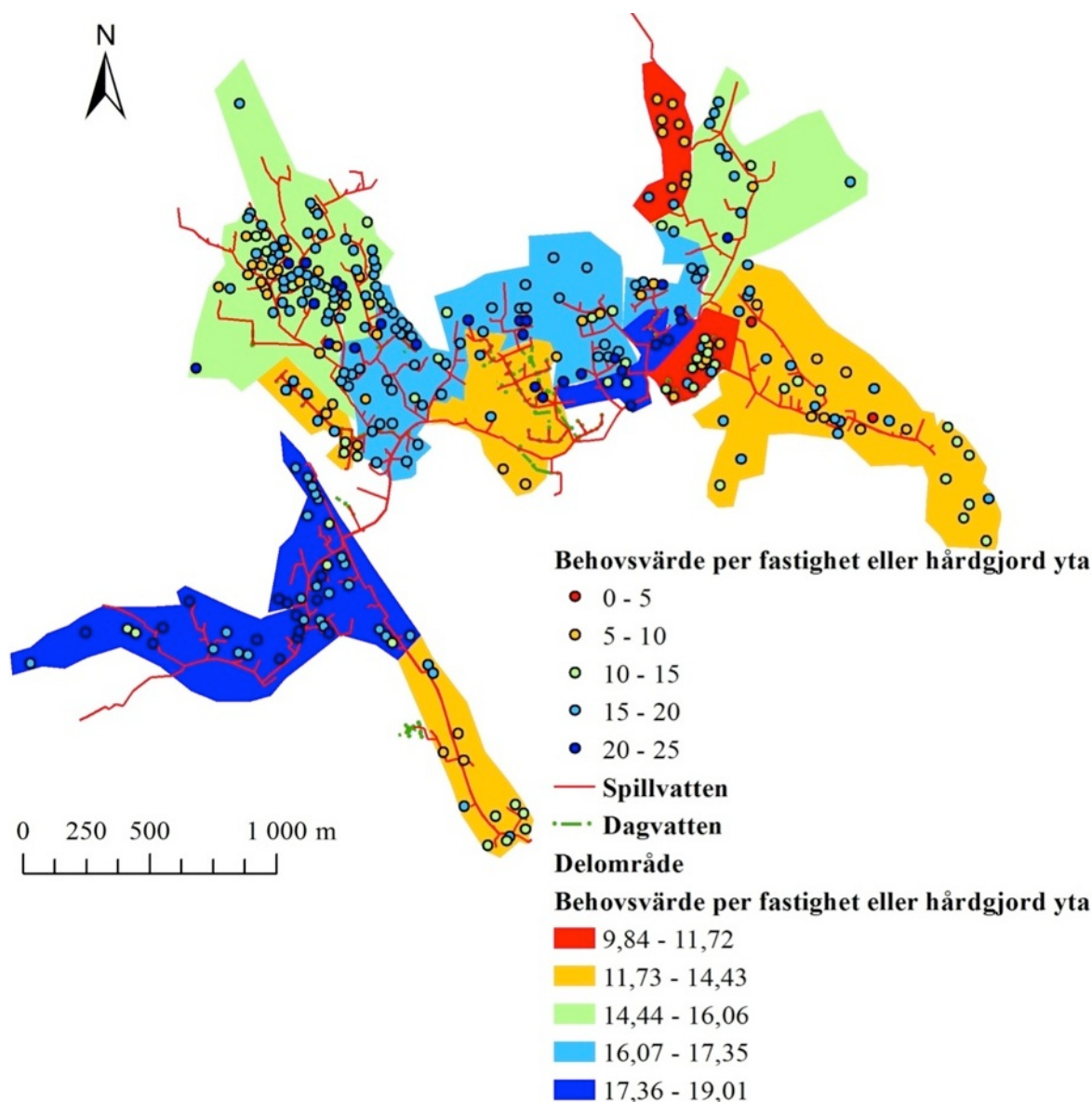
4.4 INDELNING I DELOMRÅDEN

I figur 8 visas indelningen i delområden som bygger på kartan över totala behovsvärden, figur 7, tillsammans med detaljplaner och åtgärderna som valts ut samt ledningsnätets utformning.



Figur 8. De olika färgerna visar indelningen i delområden. Observera att färgerna i figuren inte indikerar behovsvärden, utan de är enbart för att skilja de olika delområdenas gränser åt. Datakälla för ledningsnätet: Falu Energi och Vatten. Publicerad med tillåtelse av Falu Energi och Vatten.

Figur 9 visar varje delområdes normaliserade behovsvärde, alltså totala behovet i varje delområde dividerat med antalet fastigheter och hårdgjorda ytor som bedömts ha sitt dag- eller dräneringsvatten påkopplat till spillvattennätet i delområdet. Observera att färgskalan för punkterna, som representerar fastigheter och hårdgjorda ytor, och färgskalan för delområdena inte stämmer överens eftersom det då är svårt att se skillnader mellan de olika delområdena, då skillnaderna mellan delområdena är relativt små.

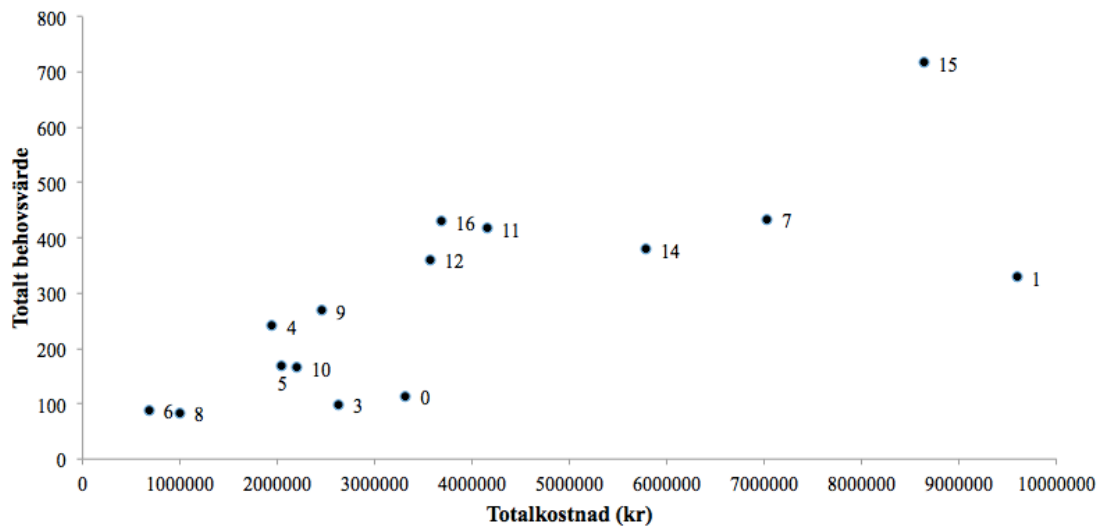


Figur 9. Normaliserat behovsvärde för varje delområde. Behoven är enligt kartan representerad som ett behovsvärde mellan 1 – 25, där lågt behovsvärde innebär stort behov av åtgärder. Datakälla för ledningsnätet och fastigheternas placering: Falu Energi och Vatten. Publicerad med tillåtelse av Falu Energi och Vatten.

Enligt figur 9 är delområde 2 och 3 i störst behov av åtgärder. Delområde 6, 11 och 12 är exempel på delområden där det inte är lämpligt att rikta in resurser.

4.5 TVÅDIMENSIONELL GRAF ÖVER DELOMRÅDENA

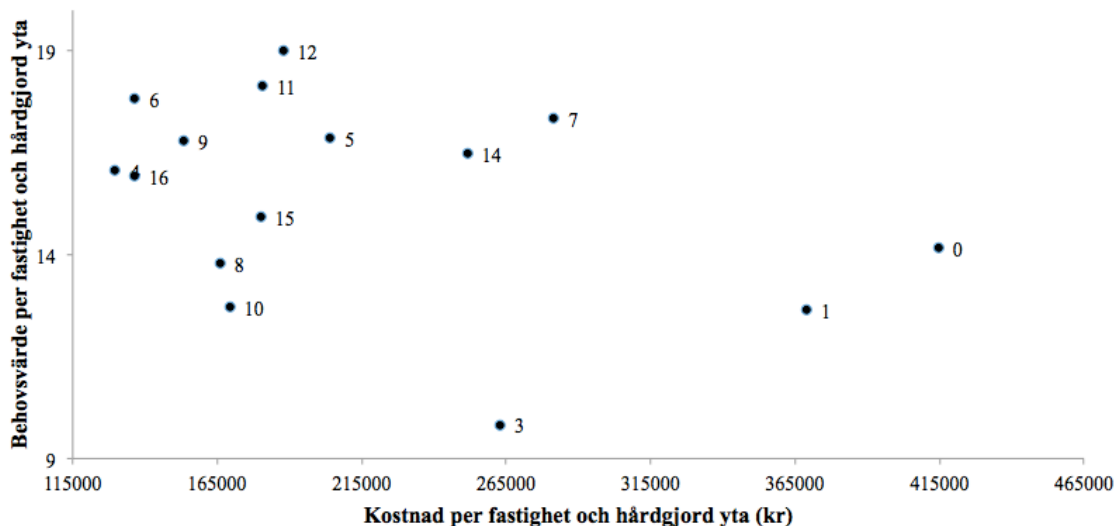
I detta kapitel involveras även kostnaderna i bedömningen. I figur 10 visas den tvådimensionella graf som har tagits fram över delområdena som definierats i Bjursås. På y-axeln står det sammanlagda behovsvärdet då behovsvärdena för alla fastigheter och hårdgjorda ytor som bedömts ha sitt dag- eller dräneringsvatten påkopplat till spillvattennätet i delområdet summerats. x-axeln visar uppskattade kostnader för varje delområde. Eftersom skalan för behovsvärdena är omvänd är det delområdena närmast origo som är mest fördelaktiga att åtgärda. Observera att delområde 2 och 13 saknas. Det beror på att dessa delområden redan har dagvattenledningsnät utbyggt och därmed inte behöver åtgärdas.



Figur 10. Totala behov och kostnader för de olika delområdena. Lågt behovsvärde innebär stort behov av åtgärder. Delområdena närmast origo är mest fördelaktiga att åtgärda.

Figur 10 indikerar ett relativt linjärt samband eftersom värdena till stor del beror av storleken på de olika delområdena. Delområde 6 och 8 verkar vara lämpliga åtgärdsområden.

Figur 11 visar samma sak som figur 10, men här har behovsvärdena och kostnaderna normaliserats genom att de dividerats med antalet fastigheter och hårdgjorda ytor som bedömts ha sitt dag- eller dräneringsvatten påkopplat till spillvattennätet i varje delområde. Detta diagram är därför oberoende av storleken på delområdena. Eftersom skalan för behovsvärdena är omvänd är det delområdena närmast origo som är mest fördelaktiga att åtgärda.



Figur 11. Behov och kostnader för varje delområde normaliserade genom att de dividerats med antalet fastigheter och hårdgjorda ytor som har sitt dag- eller dräneringsvatten påkopplat till spillvattennätet i varje delområde. Lågt behovsvärde innebär stort behov av åtgärder. Delområdena i närheten av origo är mest fördelaktiga att åtgärda.

I figur 11 går det att se att de delområden som, baserat på behov, vore lämpligast att åtgärda sett per fastighet och hårdgjord yta är delområde 1, 3 och 10. De billigaste delområdena sett till kostnad per fastighet och hårdgjord yta är dock 4, 6 och 16.

4.6 JÄMFÖRELSE AV KOSTNADS-BEHOVSANALYSEN OCH DEN LINJÄRA ADDITIVA METODEN

Rangordningen av delområden där det är mest lämpligt att sätta in dagvattenlösningar då metoden utvärderas med kostnads-behovsanalysen respektive linjära additiva metoden kan ses i tabell 11. Figur 11 har legat till grund för bedömningen eftersom det är behov och kostnader per fastighet eller hårdgjord yta som är intressant. Ekvationerna för kostnads-behovsanalysen och linjära additiva metoden som har använts är ekvation 17 respektive 18.

Tabell 11. Rangordningen av de olika delområdena utgående från kostnads-behovsanalysen respektive linjära additiva metoden. Det delområde som har rankats som nummer ett är det som är mest fördelaktigt att åtgärda medan det som är rankat som nummer 16 bör väntas med

Rank	Kostnads-behovsanalys	Linjära additiva metoden
1	Delområde 4	Delområde 10
2	Delområde 10	Delområde 4
3	Delområde 16	Delområde 8
4	Delområde 8	Delområde 16
6	Delområde 6	Delområde 15
7	Delområde 9	Delområde 9
8	Delområde 3	Delområde 6
9	Delområde 15	Delområde 3
10	Delområde 11	Delområde 5
11	Delområde 5	Delområde 11
12	Delområde 12	Delområde 12
13	Delområde 14	Delområde 14
14	Delområde 1	Delområde 7
15	Delområde 7	Delområde 1
16	Delområde 0	Delområde 0

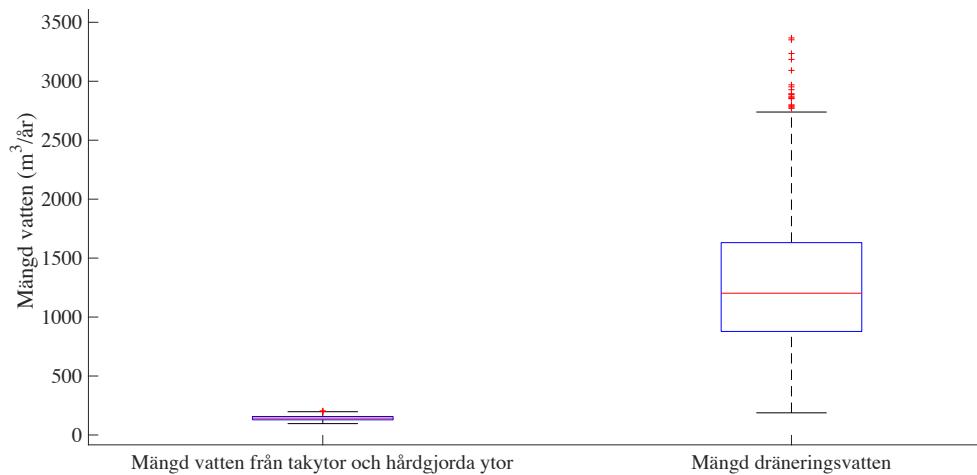
Tabell 11 indikerar att delområde 4, 8, 10 och 16 är de fyra delområden som totalt sett bör vara lämpligast att åtgärda oavsett om utvärderingen görs med kostnads-behovsanalysen eller den linjära additiva metoden.

4.7 KÄNSLIGHETSANALYS

Här redovisas resultaten från känslighetsanalysen. Den har delats upp i att först innefatta alla parametrar och vikterna var för sig, för att till sist läggas ihop i en total känslighetsanalys.

4.7.1 Sannolikhetspoäng för stora mängder tillskottsvatten

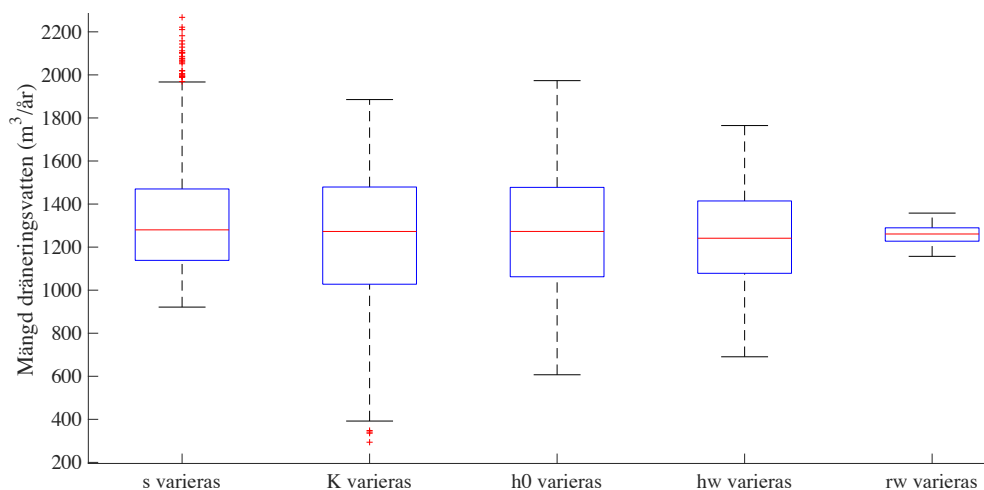
I figur 12 visas känslighetsanalysen av mängden dag- och dräneringsvatten. För intervall på parametrarna som ingår, se tabell 9.



Figur 12. Känslighetsanalys av mängden vatten från takytor och hårdgjorda ytor då parametervärdena varierades enligt tabell 9.

Det är tydligt att variationerna (och därmed osäkerheterna) i mängden vatten som kan uppstå är betydligt större vid beräkningen av mängden dräneringsvatten än mängden dagvatten (figur 12).

I figur 13 visas känslighetsanalysen av parametrarna för att bestämma mängden dräneringsvatten. Parametrarna har varierats enligt triangulära fördelningar på ett intervall som är rimligt att bedöma skulle kunna bli felmätt (tabell 9). Ingen känslighetsanalys har utförts för parametrarna som används för att bestämma mängden dagvatten eftersom den osäkerheten bedöms vara försumbar i förhållande till mängden dräneringsvatten, baserat på figur 12.



Figur 13. De olika parametrarna som används för beräkning av mängden dräneringsvatten varierats enligt triangulära fördelningar på intervallen i tabell 9.

Avståndet mellan övre och lägre kvantilen i figur 13 tyder på att det är ett rimligt antagande att anta att osäkerheten i mängden dräneringsvatten kan göra att denna parameter varierar mellan tre olika klasser, vilket ger en osäkerhet på 1,5 poäng.

4.7.2 Konsekvenspoäng för stora mängder tillskottsvatten

Konsekvenspoängen för stora mängder tillskottsvatten mäts i energi- och kemikalieförbrukning. Varje stegs feluppskattning av energi- och kemikalieförbrukningen står

för 0,625 poäng vardera, vilket innebär att de måste utvärderas noga. En rimlig uppskattning är att både energi- och kemikalieförbrukningen skulle kunna skilja sig en klass uppåt eller nedåt, vilket ger en maximal osäkerhet på 1,25 poäng för konsekvenspoängen för stora mängder tillskottsvatten.

4.7.3 Sannolikhetspoäng för källaröversvämningar

Denna analys gjordes med SWMM och de parametrar som undersöktes samt skillnaden i tryckhöjd visas i tabell 12.

Tabell 12. Parametrar som undersöktes vid känslighetsanalysen av SWMM-modellen

Parameter	Rimligt intervall	Skillnad i trycknivå (m)
Ledningarnas råhetsparameter	0,01 – 0,02	0,169
Ledningarnas förlustkoefficient	0,2 – 0,3	0,001
Avrinningsområdets area	0,025 – 0,065 ha	0,038
Lutning	0 - 1	0
Procent av de hårdgjorda ytorna som är ogenomsläppliga	30 – 100 %	0,004
Basflöde	0,3 – 1,5 l/s	0,005

De parametrar som gav störst påverkan på resultaten var ledningarnas råhetsparameter och avrinningsområdets area (tabell 12). Sammantaget uppskattades sannolikhetspoängen för källaröversvämningar ha en osäkerhet på 1 poäng.

4.7.4 Konsekvenspoäng för källaröversvämningar

Antalet boende i fastigheter med källare har stor påverkan eftersom det är den enda parameter som ingår vid undersökningen av konsekvenspoängen för källaröversvämningar. Osäkerheter kan ha att göra med att uppgifter om folk som har flyttat in och ut inte har uppdaterats. En rimlig uppskattning är att denna kategori skulle kunna skilja sig en klass uppåt och en nedåt, vilket ger en total osäkerhet på 1 poäng.

4.7.5 Sannolikhetspoäng för bräddningar

Resonemanget för känslighetsanalysen av sannolikhetspoängen för bräddningar är samma som för källaröversvämningar, se avsnitt 4.7.3.

4.7.6 Konsekvenspoäng för bräddningar

Konsekvenspoängen för bräddningar utvärderas med medelvärdet av sex stycken olika kriterier. Därför får varje kriterium inte så stor påverkan på slutresultaten om den mäts fel. Kemisk status, ekologisk status och de olika skyddsvärds-klasserna finns listade i VISS och därför är risken liten för att de skulle mätas fel. Däremot kan en klassning ändra sig, om en recipient plötsligt klassas som skyddsvärd får det 0,67 poängs påverkan på resultaten. I övrigt bedöms det som att det som är störst risk att uppskatta fel är ”typ av recipient” och ”omgivning” eftersom de är mest subjektiva. En felklassning av någon av dem motsvarar ungefär 0,17 poäng. Ett rimligt antagande är att dessa två klasser skulle kunna klassas upp eller ner ett steg, vilket ger en total osäkerhet på 0,34 enheter.

4.7.7 Sammanvägd känslighetsanalys

Här presenteras resultaten från känslighetsanalysen då vikterna och poängen analyseras samtidigt på intervallen som har sammanställts i tabell 13 och 14.

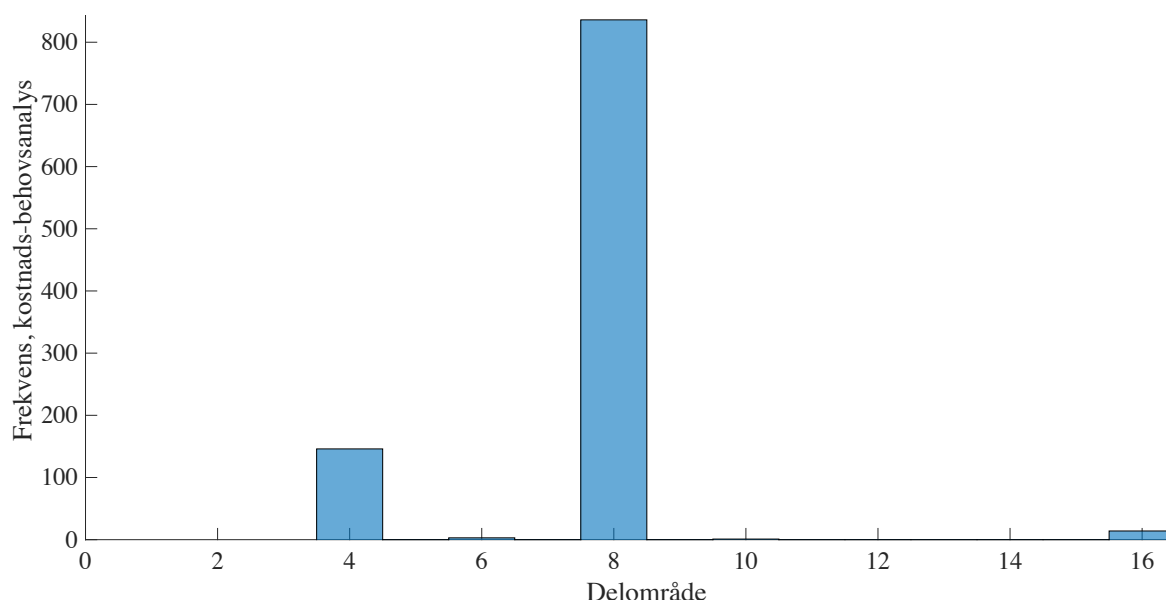
Tabell 13. Uppskattade osäkerheter för poängsättningen

Risker	Osäkerhet (poäng)
Sannolikhetspoäng för stora mängder tillskottsvatten	$\pm 1,5$
Konsekvenspoäng för stora mängder tillskottsvatten	$\pm 1,25$
Sannolikhetspoäng för källaröversvämningar	± 1
Konsekvenspoäng för källaröversvämningar	± 1
Sannolikhetspoäng för bräddningar	± 1
Konsekvenspoäng för bräddningar	$\pm 0,34$

Tabell 14. Uppskattade osäkerheter för viktningen

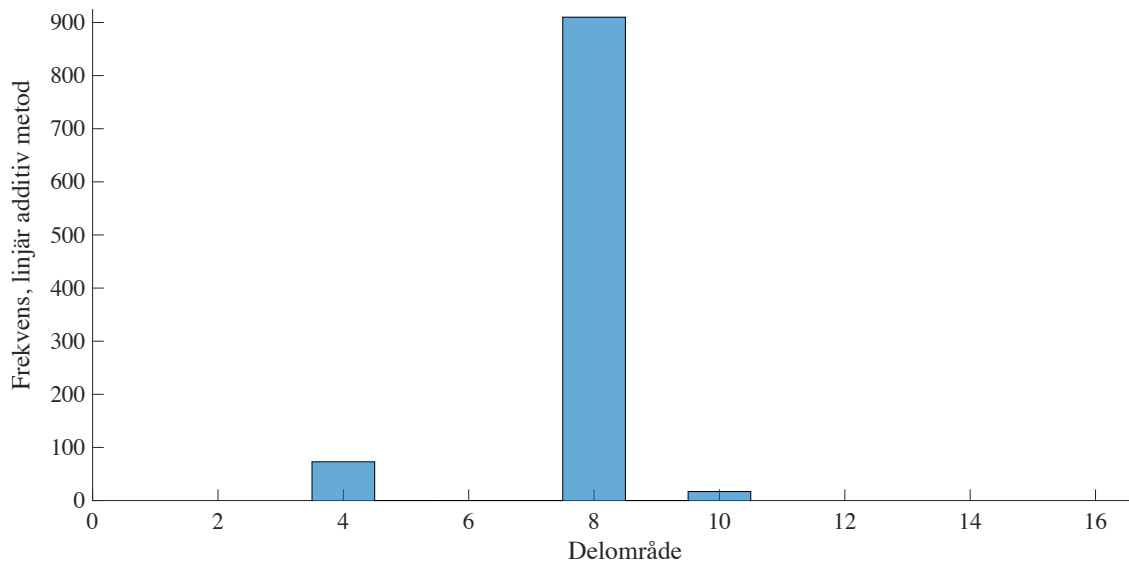
Vikt	Intervall (%)
Minskad risk för stora mängder tillskottsvatten	9 – 29
Minskad risk för källaröversvämningar	45 – 65
Minskad risk för bräddningar	16 – 36

I figur 14 och 15 visas hur det mest lämpliga alternativet med respektive metod påverkas då vikterna och poängen slumpats med Monte Carlo-analys. y-axeln visar hur många gånger respektive delområde valts ut som mest lämpligt att åtgärda av de 1 000 gånger som Monte Carlo-analysen gjordes. Kostnads-behovsanalysen i figur 14 visar att delområde 8 oftast bedöms vara det mest lämpliga alternativet att åtgärda.



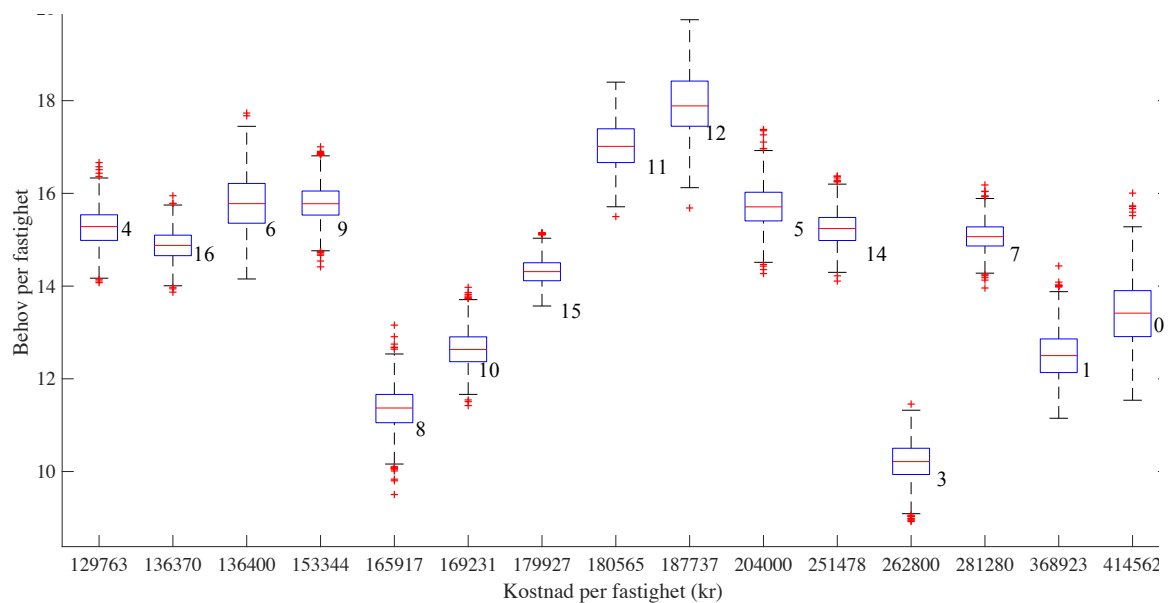
Figur 14. Mest lämpligt alternativ att åtgärda enligt känslighetsanalysutvärderingen med kostnads-behovsanalysen

Figur 15 visar att även den linjära additiva metoden pekar ut delområde 8 som mest lämpligt att åtgärda.



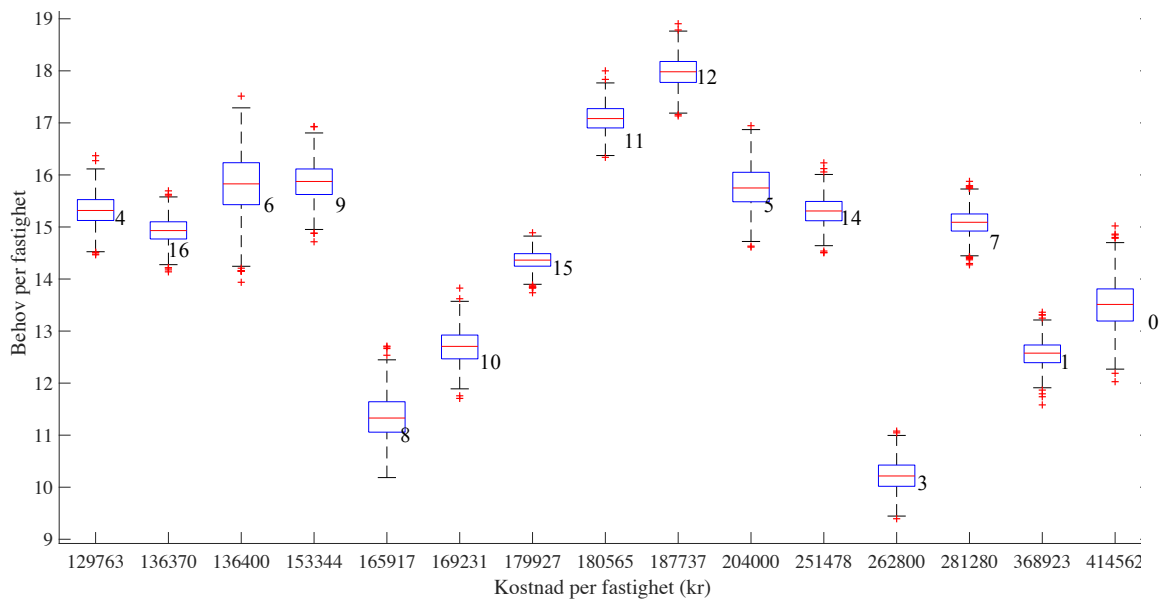
Figur 15. Mest lämpligt alternativ att åtgärda enligt känslighetsanalysutvärderingen med linjära additiva metoden

Figur 16 visar en sammanvägd bild av den totala osäkerheten för varje delområde. Enligt denna figur är det tydligt att variationerna kan bli stora.

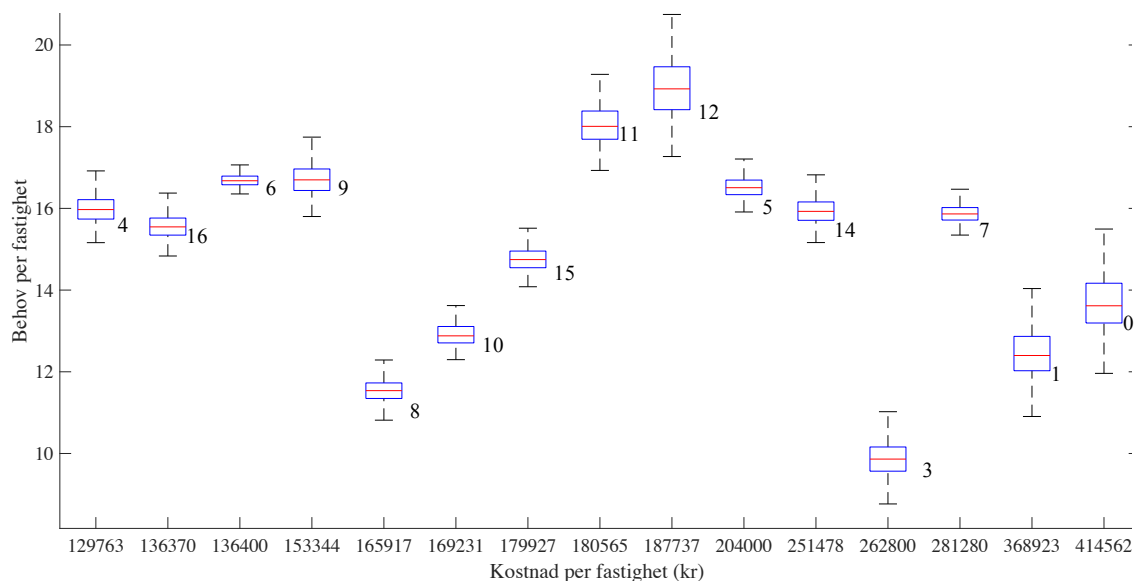


Figur 16. Osäkerheten i behov per fastighet då vikterna och poängsättningen slumpas med Monte Carlo-analys enligt en triangulär fördelning inom rimliga intervall. Lågt behovsvärde innebär stort behov av åtgärder så delområdena närmast origo är mest fördelaktiga att åtgärda. Observera att skalan för kostnadsaxeln inte är linjär

För att undersöka om vikterna eller poängsättningen orsakade störst osäkerheter skapades figur 17 och 18. I figur 17 hölls vikterna konstanta medan poängsättningen slumpades på samma sätt som tidigare och i figur 18 hölls poängsättningen konstant medan vikterna varierades.



Figur 17. Känslighetsanalys av poängsättningen då poängen slumpats med Monte Carlo-analys enligt en triangulär fördelning med värdena i tabell 13. Lågt behovsvärde innebär stort behov av åtgärder så delområdena närmast origo är mest fördelaktiga att åtgärda. Observera att skalan för kostnadsaxeln inte är linjär



Figur 18. Känslighetsanalys av viktningen då vikterna slumpats med Monte Carlo-analys enligt en triangulär fördelning med värdena i tabell 14. Lågt behovsvärde innebär stort behov av åtgärder så delområdena närmast origo är mest fördelaktiga att åtgärda. Observera att skalan för kostnadsaxeln inte är linjär

Figur 17 och 18 visar att både poängsättningen och vikterna bidrar till att resultaten blir osäkra. Poängsättningen bidrar med många extremvärden (de röda plus-tecknen i figur 17).

5 DISKUSSION

Diskussionen har delats upp i olika delar. Först diskuteras felkällor och förbättringar för den framtagna metodiken, sedan motiveras viktningsmetoden, följt av ett resonemang om resultaten från rankningsmetoderna och känslighetsanalysen. Kapitlet avslutas med en sammanställning av förslag på fortsatta studier inom området.

5.1 FELKÄLLOR OCH KRITISK GRANSKNING AV METODEN

I avsnitt 5.1 diskuteras metoderna som har använts för att ta reda på de olika sannolikhets- och konsekvenspoängen, problematiken med dem, alternativa sätt som diskuterats för att sätta ett värde på dem och var det finns förbättringspotential.

5.1.1 Sannolikhetspoäng för stora mängder tillskottsvatten

För takytorna och de hårdgjorda ytor som utvärderats beräknades sannolikhetspoängen för stora mängder tillskottsvatten med hjälp av de olika areorna. Dräneringsvattenflödena är dock betydligt mer osäkra. Dels har ingen skillnad gjorts mellan olika källarfastigheter, faktorer som hade kunnat vägas in är storleken på den enskilda källaren, grundvattennivåer vid varje källare för sig och jordartsmaterial som de ligger i. Dessutom är det inte säkert att alla källare som har utvärderats har sitt dräneringsvatten kopplat till spillvattennätet eftersom de inte har inventerats på samma sätt som takytorna. Den senare kommentaren gäller även de hårdgjorda ytorna, grova uppskattningar har gjorts för att ta reda på var det finns och hur stora de är utifrån kartbilder.

För att öka precisionen i resultaten skulle förhållandena för varje källarfastighet kunna utvärderas för sig. Dessutom bör en inventering göras där dräneringsvattenflödena och flödena från de hårdgjorda ytorna undersöks för att ta reda på om de faktiskt når spillvattennätet. Med tanke på de höga dräneringsvattenflödena som har beräknats är det inte rimligt att alla källare som har utvärderats har sina dräneringsledningar kopplade till spillvattennätet eftersom flödet av enbart dräneringsvatten då skulle bli orimligt stort i förhållande till det totala årliga flödet in till reningsverket.

Anledningen till att mängderna dag- och dräneringsvatten användes för att få en uppskattning om var sannolikheten för stora mängder tillskottsvatten kan antas vara störst är att bedömningen som görs är relativ, mängderna från fastigheter och de hårdgjorda ytorna jämförs med varandra. Av den totala sammanlagda mängden tillskottsvatten som kommer till reningsverket är sannolikheten större att det kommer från ett hus eller en hårdgjord yta som genererar en stor mängd tillskottsvatten än en som inte gör det. Därför blir mängden dag- och dräneringsvatten indirekt ett mått för att uppskatta sannolikheten för att en fastighet eller hårdgjord yta ska ge stora mängder tillskottsvatten. Eftersom inga direkta sannolikheter har beräknats i denna studie, har detta bedömts vara ett smidigt sätt att få en uppskattning av rimliga sannolikhetspoäng för de olika objekten.

5.1.2 Konsekvenspoäng för stora mängder tillskottsvatten

Konsekvenspoängen mättes i energi- och kemikalieförbrukning eftersom det bedöms vara dessa två som påverkas mest av en stor mängd tillskottsvatten. Den stora fördelen med att reducera mängden tillskottsvatten är en minskad energi- och kemikalieförbrukning.

Om inte statistik över energi- och kemikalieförbrukning hade funnits lättillgängligt så hade kostnader kunnat användas istället eftersom energi- och kemikalieförbrukningen är en indirekt följd av denna.

5.1.3 Sannolikhetspoäng för källaröversvämningar

SWMM-simuleringarna är en tidskrävande process i och med att ledningsnätet måste byggas upp i programvaran och många parametrar definieras. Ett enklare sätt att göra detta skulle kunna vara att undersöka terrängen och studera höjdskillnader för olika fastigheter och anta att fastigheterna längre ner i systemet har större risk för källaröversvämningar än de som ligger högt. En metod för att göra det lite noggrannare, men ändå inte lika noggrant som med SWMM är att anta att alla ledningar är självfallsledningar och beräkna tryckhöjder på olika punkter i systemet med Mannings formel. Ytterligare ett sätt att ta reda på sannolikheten för källaröversvämningar är att ta fram statistik på var det har hänt tidigare.

Anledningen till att uppskattningen med SWMM-modellen har använts för att ta fram ett värde på sannolikhetspoängen är att den bygger på simulering av regn med olika återkomsttider. Återkomsttid är omvänt proportionellt mot sannolikheten så liten återkomsttid innebär hög sannolikhet för att något ska ske.

Det är viktigt att påpeka att bara för att det har beräknats att en källare kan komma att översvämmas vid ett visst regn så behöver det inte bli så, så länge källaren har fungerande backventil. Dessutom har så stora förenklingar gjorts i modellen att resultaten endast bör ses som relativa uppskattningar.

5.1.4 Konsekvenspoäng för källaröversvämningar

Konsekvenspoängen för källaröversvämningar har mätts i antalet personer som bor i den översvämmade fastigheten eftersom den är ett mått på hur många människor som blir lidande av det. Antalet människor som bor i en fastighet bedöms också kunna spegla andra saker, som exempelvis hur stor källaren är och hur mycket saker som kan antas finnas där och ta skada vid en översvämning. Att inventera varje källare för sig, ta reda på om den är inredd och vad det skulle kosta att ersätta sakerna har inte varit möjligt inom ramarna för detta projekt. Ett alternativ hade kunnat vara att undersöka varje källares storlek och anta att saneringskostnaderna vid en eventuell översvämning är direkt relaterade till den.

5.1.5 Sannolikhetspoäng för bräddningar

Resonemanget för sannolikhetspoängen för att bräddningar ska uppstå är snarlikt det för sannolikhetspoängen för källaröversvämningar, avsnitt 5.1.3. Eftersom bräddningar sker främst i anslutning till pumpstationerna, skulle detta även kunna uppskattas genom att undersöka de olika pumparnas kapacitet och anta att bräddning sker då flödet är större än det flöde som ledningarna är dimensionerade för.

5.1.6 Konsekvenspoäng för bräddningar

Sättet som konsekvenspoängen för bräddningar har mätts på är att lämpliga parametrar som skulle kunna påverka hur skyddsvärd recipienten är har undersökts. Denna metod har stor utvecklingspotential. Exempelvis skulle den kunna göras som en separat multikriterieanalys, där de olika kategorierna får olika stor betydelse med hjälp av viktning. De ingående kategorierna kan också diskuteras. Det är exempelvis inte säkert att en sjö tar mer skada av bräddningar än en å, kanske tvärtom i och med att vattnet blir mer utspädd i sjön.

Resonemanget har utgått ifrån att det har antagits finnas mer skyddsvärda organismer i en sjö och att vattnet där blir mer stillastående och därmed kan orsaka större skada. Det kan även vara lämpligt att byta ut några av de definierade kategorierna eller att lägga till fler skyddsformer, till exempel vattendrag med miljö kvalitetsnormer för fisk- och musselvatten. De valda kategorierna utgör ett exempel.

Om recipienten är klassad som skyddsvärd får det relativt stort genomslag jämfört med de övriga kategorierna vid uppskattning av konsekvensen vid bräddningar. Den bedömningen har medvetet gjorts eftersom att om en recipient har pekats ut som skyddsvärd måste det respekteras och stora ansträngningar bör göras för att skydda den mot utsläpp.

5.2 MULTIKRITERIEANALYSMETODERNA

Carriço m.fl. (2014) diskuterade i sin studie att det saknas studier på vilka multikriterieanalysmetoder som är lämpliga att använda i olika sammanhang. I den här studien har det därför undersökts om det skulle kunna vara lämpligt att använda en slags kostnads-behovsanalys för att utvärdera resursallokering av dagvattenåtgärder för tillskottsvatten i spillvattennätet.

Vid jämförelse av linjära additiva metoden och kostnads-behovsanalysen visade det sig att det alternativ som rankas som bäst skiljer sig åt (tabell 11). Dock är rankingen i övrigt ganska så lika, vilket motiverar att kostnads-behovsanalysen skulle kunna användas i detta sammanhang. Att resultaten skiljer sig till viss del är rimligt eftersom en utvärdering av figur 11 visar att många av delområdena har ungefär samma värden och är svåra att skilja på. Detta visar på att det är viktigt att komma ihåg att det kan medföra en betydande subjektivitet då värden delas in i klasser. En anledning till att resultaten skiljer sig när det handlar om att hitta det bästa alternativet skulle kunna vara att indelningen i olika kostnadsklasser gör att kostnaderna för de olika delområdena underskattas eller överskattas beroende på om de ligger i över- eller underkant av sin klass. Detta resultat är viktigt att ha i åtanke även då det gäller övrig analys i denna studie. Även om det går att uppskatta hur känslig modellen är för förändringar och mätfel så går det inte att komma ifrån det faktum att resultaten innehåller en viss subjektivitet. Fördelen med att använda kostnads-behovsanalysen och multiplicera ihop kostnaderna och behoven istället för den linjära additiva metoden är att kostnaderna inte behöver poängsättas, utan kan användas direkt, vilket gör att resultaten blir mindre beroende av hur kostnaderna delas in för olika poäng. Det blir också mer genomskinligt för folk som inte är insatta att förstå hur prioriteringen av åtgärdsområden har gjorts. Det som talar för att istället använda den linjära additiva metoden är att den är en av de vanligare multikriterieanalysmetoderna (Naturvårdsverket, 2009), vilket gör den mer allmänt accepterad. Att använda den för att räkna ihop kostnader och behov skulle kunna vara en bra idé i de fall då det är fördelaktigt att vikta dessa två faktorer. Med den metoden kan kostnaderna bedömas vara viktigare än behoven eller tvärtom, men med kostnads-nyttoanalys-multiplikeringen får de alltid lika stort inflytande på resultaten.

Anledningen till att AHP-metoden användes vid viktningen framför det enklare alternativet där vikterna bestäms absolut är att det bör vara lättare att kunna göra bedömningar när parametrarna ställs relativt varandra. I den här studien är det långt ifrån självklart hur parametrarna bör viktas eftersom de är av så olika natur och processen anses bli aningen lättare att göra om problemet ställs upp på det här sättet. Eftersom antalet svarande på enkätundersökningen inte var speciellt stort, får varje svarande stor betydelse och då finns det mindre marginaler för felbedömningar. Vid användning av AHP är det en fördel om problemet inte består av så många parametrar, vilket är fallet i denna studie. Nackdelen med AHP är att resultaten inte blir så transparenta, det är tidskrävande att sätta sig in i metodiken och att kunna följa hur vikterna har beräknats.

Enkätundersökningen för bestämning av vikterna skickades ut till utvalda personer på Tyréns och Falu Energi och Vatten. Nio svar på enkäten är i underkant för att antas vara tillräckligt, men anledningen var att folk som hade kunskap och tid att sätta sig in i problemet skulle tillfrågas. Dessutom var syftet med den här studien främst att testa metodiken och inte att få fram absoluta gällande värden. En undersökning som inkluderar privatpersoner eller miljöutredare skulle kunna ge annorlunda resultat, men eftersom denna studie har utförts för att kunna vara ett stöd för VA-huvudmannen i liknande utredningar så gjordes detta urval i det här skedet. Vad gäller viktningen är det också viktigt att komma ihåg att hur de olika parametrarna har beskrivits i utskicket kan ha påverkat resultaten. Svaren blev i många fall ganska splittrade. Det är en indikator på att det är en svår fråga eftersom de svarande i någon mån ändå hade liknande bakgrunder. En möjlig felkälla är att det inte går att utesluta att någon kan ha missförstått viktningssystemet eftersom AHP är lite klurigt att sätta sig in i. Eftersom antalet svarande på enkäten var lågt kan ett svar som getts felaktigt på grund av att frågan missförstått få relativt stor påverkan på resultaten.

CR-värdet blev egentligen aningen högt, men eftersom det var flera beslutsfattare (svarande på enkäten) som var involverade i processen var det inte oväntat. Eftersom CR-värdet låg under gränsvärdet på 0,10 så bedömdes vikterna ändå vara användbara.

Användbarheten av resultaten från denna studie är troligtvis inte främst själva sammanräkningen av behov och kostnader, utan snarare metodiken som har använts för att ta fram en graf där kostnader och behov separeras, på den form som används i figur 11. En sådan graf ger ett bra verktyg till VA-huvudmännen för att skapa en diskussion om vilka områden som ska väljas ut för att åtgärdas och olika stor betydelse kan ges behoven och kostnaderna. Eftersom dessa diskussioner begränsas av den budget som finns avsatt för att åtgärda dagvattnet i området, är det bra att ha med både figur 10 och 11 i bedömningen. Då kan även de olika delområdenas storlek undersökas. Kanske är det mer lämpligt att åtgärda ett område som är lite dyrare per fastighet, men som är mindre. Eller så kan en utvärdering göras där VA-huvudmannen kan pussla ihop olika delområden utifrån budgeten och då är det inte säkert att de har råd med de tre mest lämpade områdena, utan kanske är det bättre att ta några andra.

5.3 UTVÄRDERING AV METODIKEN MED STÖD AV KÄNSLIGHETSANALYS

Det är svårt att skilja på de olika delområdenas behov av dagvattenåtgärder eftersom figur 16 visar att det finns stora osäkerheter i beräkningarna. Känslighetsanalysen som har gjorts i denna studie kan fungera som stöd för att få en översiktlig bild av vilka parametrar som måste mätas mer respektive mindre noggrant. För att få metoden mer användbar bör framförallt kostnaderna utvärderas ordentligt.

Användarvänligheten för en metod av det här slaget är god, men det kan ta en del tid att sätta upp den och ta fram värden på de olika ingående parametrar som representerar de platsspecifika förhållandena på ett representativt sätt. Det som är bra med metodiken är att den är flexibel och kan användas i olika stadier i utvärderingen. En översiktlig bedömning kan göras relativt enkelt och sedan kan parametervärden förfinas efterhand och i slutändan göras noggrannare. I känslighetsanalysen som har utförts har i många fall relativt grova intervall för vad som skulle kunna bli fel ansatts, men om metodiken ska användas i verkligheten finns det möjlighet att själv välja hur noggrann utvärderingen ska vara. En känslighetsanalys bör utföras tillsammans med metoden för att kunna dra välgrundade slutsatser. Vid användning av

enbart en uppsättning värden på värdena som matas in, på det sätt som gjorts i figur 10 och 11, finns det risk för att utvärderingen blir relativt godtycklig. Något som är lämpligt att nämna i sammanhanget är dock att multikriterieanalys normalt sett används som beslutsunderlag snarare än för att ta fram absoluta exakta värden. En övergripande bedömning där uppskattningar och antaganden görs kan vara användbar även om inte siffrorna som tas fram stämmer helt med verkligheten, men det är då viktigt att alla som ska vara med och fatta beslut utifrån resultaten är medvetna om osäkerheterna i bedömningen.

Ett intressant resultat från känslighetsanalysen är att se hur det område som rankas som mest lämpligt att åtgärda (figur 14 och 15) skiljer sig från det område som tagits fram med rankningen som gjordes utan känslighetsanalys (tabell 11). I figur 14 och 15 som visar vilket delområde som bör väljas då vikterna och poängsättningen slumpas inom rimliga intervall, bedöms delområde 8 rankas högst med båda metoderna. I tabell 11 är det däremot delområde 4 respektive 10 som har denna placering. Det visar på vikten av att utföra en känslighetsanalys. Visserligen visar figur 14 och 15 att delområde 4 och 10 väljs ut som mest lämpligt ibland, men delområde 8 är det klart dominerande. Dessa resultat tyder också på att det överlag finns stora osäkerheter i multikriterieanalysmodellen som används i denna studie. Därför rekommenderas inte att välja delområde utifrån rangordningen i tabell 11, utan att ett tvådimensionellt diagram likt det i figur 16 tas fram och används som beslutsunderlag för diskussion. Även om resultaten skiljer sig på det sätt som diskuterats i detta stycke så ligger ändå de delområden som kommit på tal relativt nära origo i figur 16, vilket innebär att det troligtvis skulle vara ett av dem som valdes ut för att åtgärdas vid en utvärdering med den tvådimensionella grafen.

Figur 17 och 18 visar att både vikterna och poängsättningen bidrar till osäkerheterna, men att osäkerheten i poängsättningen bidrar med fler extremvärden, så kallade utliggare, som representeras av röda plustecken i figur 17. Osäkerheten i viktningen är svår att minska eftersom bedömningen är så subjektiv, men resultaten i figur 17 och 18 tyder på att osäkerheterna bör kunna reduceras genom en noggrannare mätning av den indata som ingår vid beräkningen av poängen.

En avgränsning som har gjorts i studien är att ingen känslighetsanalys har utförts för kostnaderna. Anledningen till det är att de bedöms vara alltför grovt tilltagna för att det ska ligga någon vinning i det eftersom schablonvärden har antagits. Kostnaderna för att utföra åtgärderna som beskrivs i denna studie kan skilja sig med flera tusen kronor per meter beroende på de platsspecifika förhållandena, vem som utför åtgärden, vilket material som används och så vidare. Bara i de sju tidigare projekt som låg till grund för kostnadsberäkningen skiljde det 6 000 kronor per meter mellan det billigaste och det dyraste projektet (bilaga B). Dessutom har avstånden som mätts för grävningen uppskattats mycket grovt med översiktliga kartbilder så avstånden stämmer troligtvis inte så bra med verkligheten. För att få fram en modell som är tillämpbar i praktiken måste kostnaderna utredas genom projektering, varje område eller fastighet för sig. Det rekommenderas inte att förlita sig på de uppskattade kostnaderna som har gjorts i den här studien. Anledningen till att de överhuvudtaget finns med är för att presentera hur själva metodiken för att allokera sina resurser vid utredning av det här slaget kan gå till. Hur stora osäkerheterna blir vid en ordentlig undersökning i form av projektering av kostnaderna i området beror helt på hur noggrant den görs och vem det är som utför den. Osäkerheten för kostnaderna bör VA-

huvudmännen ha bäst koll på själva, medan osäkerheten vid framtagning av behovsvärdena är mindre intuitiv och därför har fokus istället legat på att utreda behovsvärdena.

5.3.1 Extra känsliga parametrar vid beräkningen av behovsvärden för stora mängder tillskottsvatten

De parametrar som enligt känslighetsanalysen bedöms ha störst påverkan på resultaten vid utvärdering av behovsvärdet för stora mängder tillskottsvatten är energi- och kemikalieförbrukningen respektive den hydrauliska konduktiviteten och grundvattennivån enligt figur 13. Sammantaget står behoven baserade på mängden tillskottsvatten för 19 % av resultaten, vilket måste vägas in i bedömningen av hur noggrant parametrarna bör mätas. Att göra stora ansträngningar för att mäta grundvattennivåerna rätt på centimeternivå är inte lönsamt sett i relation till övriga osäkerheter.

5.3.2 Extra känsliga parametrar vid beräkningen av behovsvärden för källaröversvämningar

De parametrar som enligt känslighetsanalysen bedöms ha störst påverkan på resultaten vid utvärdering av behovsvärdet för källaröversvämningar är antalet boende i källarfastigheterna, ledningarnas råhetsparameter och avrinningsområdenas areor (tabell 12).

Källaröversvämningarna har fått en hög viktning, de står för 55 % av resultaten, vilket gör att stor vinst kan fås av att sätta in ansträngningar för att precisera dessa parametrar. Att ta reda på antalet boende i källarfastigheterna är något som kan göras relativt snabbt och bedöms vara det som reducerar osäkerheterna mest vid beräkning av totala behovsvärden i metoden. Det är viktigt att väga in att denna parameter kan variera med tiden i och med att människor flyttar in och ut och därför kan det vara lämpligt att uppdatera informationen relativt ofta. En noggrannare SWMM-modell kan också vara värt att lägga ner tid på eftersom det påverkar värdena vid utvärdering av både källaröversvämningar och bräddningar.

5.3.3 Extra känsliga parametrar vid beräkningen av behovsvärden för bräddningar

De parametrar som enligt känslighetsanalysen bedöms ha störst påverkan på resultaten vid utvärdering av behovsvärdet för bräddningar är ledningarnas råhetsparameter och avrinningsområdenas areor (tabell 12). Känslighetsanalysen tyder på att de enskilda värden som tagits fram för bedömningen av konsekvenserna vid bräddningar är av mindre betydelse eftersom den utvärderingen bygger på medelvärdet av flera olika inparametrar. Bräddning har fått en viktning på 26 %, vilket innebär att det står för ungefär en fjärdedel av de totala resultaten.

5.4 FÖRSLAG TILL FORTSATTA STUDIER

Studien är långt ifrån komplett och det finns ett stort behov av att utreda och kritiskt granska resultaten. Förhoppningen är att metodiken ska inspirera till fortsatta studier på området och en utveckling av de metoder som har använts.

- Ett förslag på vad som skulle behöva utredas vidare är poängsättningen för multikriterieanalysmetoden. Poängen har satts linjärt mellan minsta och något av de största värdena som räknats fram för varje parameter. Troligtvis finns det utvecklingspotential i att kritiskt undersöka detta och ta fram en bättre, mer allmän metod för hur detta bör göras.
- En annan faktor som behöver ses över är viktningen av de olika kriterierna. Enkätundersökningen skickades ut till utvalda personer som arbetar med VA-frågor, antingen som huvudmän eller konsulter. Det skulle vara intressant att se hur resultaten

skiljer sig om frågan istället hade ställts till personer som arbetar med miljöfrågor eller som är fastighetsägare i det område som utvärderas.

- Enbart problem relaterade till dag- och dräneringsvattenmängden har utvärderats, stopp i ledningar och andra problem som kan uppstå med rören har inte tagits med i bedömningen. Bjursås som har använts som fallstudie är ett litet samhälle och därför har det också antagits att inga större problem med föroreningar i dag- och dräneringsvattnet förekommer. Metoden skulle kunna utvecklas genom att övrigt förnyelsearbete tillsammans med föroreningsbelastning vägdes in för att möjliggöra för VA-huvudmannen att få ett helhetsgrepp kring problemen med tillskottsvatten. På så sätt kan det undersökas var det är mest resurseffektivt att åtgärda, oavsett om det rör sig om dagvattenåtgärder eller övrig ledningsförnyelse.
- En annan intressant studie skulle kunna vara att testa flera olika multikriterieanalysmetoder för att lösa detta problem och se om det finns någon som verkar vara mer robust. I ett tidigt stadium diskuterades att använda Electre III också och jämföra resultaten, men det utfördes aldrig på grund av tidsramarna.
- Kostnaderna måste utredas genom projektering på plats. Något som har diskuterats, men som inte rymts innanför ramarna för denna studie är om det skulle vara möjligt att ta fram en regressionsmodell som bygger på tidigare dagvattenutredningar för att få fram ett mellanting mellan de osäkra kostnader som använts i denna studie och de kostnader som kan fås fram vid en noggrann undersökning på plats. Tanken är att olika parametrar som inverkar på kostnaderna skulle kunna studeras och statistik över åtgärds-kostnader användas för att se vilka parametrar som påverkar kostnaderna mest och utifrån detta kunde en ekvation tas fram för att beräkna kostnaderna. Det största hindret för att göra det är bristen på dokumentation och statistik från liknande utredningar. Behovet av att ta fram en modell för att kunna beräkna kostnader bedöms vara stort eftersom det är mycket tidskrävande att vara ute i fält och mäta faktiska kostnader. En modell kan inte helt ersätta behovet av en sådan utredning, men den skulle kunna vara användbar för att kunna göra uppskattningar vid en tidig tidpunkt i utredningen.

6 SLUTSATSER

Den framtagna metodiken skulle kunna vara lämplig att använda vid utvärdering av resursallokering av dagvattenåtgärder för tillskottsvatten i spillvattennätet. Baserat på känslighetsanalysen kan dock användbarheten av en modell av detta slag ifrågasättas. Många av delområdena som har utvärderats ser vid en första anblick ut att kunna skilja sig från varandra, men känslighetsanalysen indikerar att värdena kan skilja sig så pass mycket att det inte är möjligt att peka ut ett tydligt mönster. Metoden bedöms inte vara speciellt robust, vid användning av endast en uppsättning värden på vikter och parametrar finns det risk för att resultaten blir relativt godtyckliga. Det rekommenderas att komplettera metoden genom att använda en Monte Carlo-analys med osäkerheterna som har definierats för varje parametervärde.

De parametrar som har bedömts viktigast att mäta noggrant är antalet boende i varje fastighet med källare, areor på avrinningsområden, spillvattenledningarnas råhetsparameter och energi- och kemikalieförbrukningen. Av dessa är antalet boende i varje fastighet med källare det som är enklast och går snabbast att ta reda på och det bedöms även vara det som har störst påverkan på resultaten. Vid användning av denna metodik rekommenderas att uppdatering görs relativt ofta eftersom det minskar osäkerheterna i utvärderingen.

Metoden är flexibel i och med att den kan användas på olika nivåer beroende på i vilket skede i utredningen man befinner sig. En översiktlig bedömning kan göras relativt enkelt och sedan kan parametervärden förfinas efterhand och i slutändan göras noggrannare. En annan positiv aspekt när det gäller metodiken som har tagits fram i denna studie är att även om det kan ta en del tid att exempelvis sätta upp en SWMM-modell, så går det sedan snabbt att uppdatera de ingående parametrarna.

Kostnads-behovsanalysen och den linjära additiva metoden pekar ut ungefär samma delområden som mest lämpliga att åtgärda. Det mest användbara resultatet att ta med sig från denna studie är dock troligtvis metodiken för att ta fram det tvådimensionella diagram som visar behov och kostnader på varsin axel. Ett sådant kan fungera som ett bra beslutsunderlag för VA-huvudmännen vid diskussion om var resurserna ska allokeras. Resonemangen som har förts tyder på att metoden inte kan användas direkt och sedan vara helt grundläggande för var åtgärder ska sättas in, utan det är svårt att komma ifrån att utvärderingar och kritisk granskning samt osäkerhetsanalys av resultaten måste göras. Metodiken som har tagits fram kan förbättras och preciseras och en mer utförlig kostnadsbedömning är nödvändig för att få meningsfulla resultat. En förhoppning är att studien ska kunna inspirera till att fler studier tas fram på området tillskottsvatten i spillvattennätet, eftersom det är ett problem som förväntas bli vanligare i framtiden och behovet av sådana studier bedöms vara stort.

7 REFERENSER

- Bäckman, H., Hellström, B., Jaryd, A. & Jonsson, Å. (1997). *Läck och dräneringsvatten i spillvattensystem*. Stockholm: VAV AB (VA-Forsk rapport 1997-15)
- Bäckman, H., Marklund, B., Olsson, R., Peterson, B. & Wästlin, T. (1993). *Indirekt nederbördspåverkan i spillvattensystem*. Stockholm: VAV AB (VA-Forsk rapport 1993-08)
- Carriço, N.J.G., Veríssimo Gonçalves, F., Covas, D.I.C., Do Céu Almeida, M. & Alegre, H. (2014). Multi-criteria Analysis for the Selection of the Best Energy Efficient Option in Urban Water Systems. *Procedia Engineering*, volume 70, pp. 292-301.
- Christensen, Jonas (2015). *Juridiken kring vatten och avlopp*. Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten (rapport 2015:15)
- Emilsson, Tobias (2008-09-05). *Gröna tak för många behov*. Tillgänglig: <http://www.slu.se/sv/samverkan-och-innovation/kunskapsbank/2008/9/grona-tak-for-manga-behov/> [2016-04-16]
- Eskilstuna Energi och miljö (u.å.). *Information om källaröversvämningar*. Eskilstuna: Eskilstuna Energi och Miljö. [Broschyr] Tillgänglig: <http://eem.se/dokument/VA/Översvämning%20Broschyr.pdf> [2016-05-03]
- Falu Energi- och Vatten (2009). *ABVA för Falu kommun*. Falun, avdelning Vatten/VA utredning. Tillgänglig: https://www.fev.se/media/26180/abva_2009_korr.pdf [2016-02-27]
- Falu Energi och Vatten (2014). *Enkel basflödesseparering av spillvattenflöden med rekursivt filter*. Falun, avdelning Vatten/VA-utredning: Opublicerat material.
- Grip, H. & Rodhe A. (2003). *Vattnets väg från regn till bäck*, tredje reviderade upplagan. Hallgren & Fallgren Studieförlag AB, Uppsala.
- KP Fakta (2016). *Kalkylprogram för markanläggning*. Tillgänglig: <http://www.kpsystem.se>
- Lagen om allmänna vattentjänster (2006). Stockholm. (SFS 2006:412)
- Lundblad, U. & Backö, J. (2012). *Undersökningsmetoder för att hitta källorna till tillskottsvatten*. Växjö: Svenskt Vatten AB (Rapport Nr 2012-13)
- Lundblad, U. & Backö, J. (2014). *Juridisk och ekonomisk hantering av tillskottsvatten som sker till spillvattenförande ledning innanför förbindelsepunkt*. Växjö: Svenskt Vatten AB (Rapport Nr 2014-11)
- Malm, A., Horstmark, A., Larsson, G., Uusijärvi, J., Meyer, A. & Jansson, E. (2011). *Rörmaterial i svenska VA-ledningar – egenskaper och livslängd*. Göteborg: Svenskt Vatten AB (Rapportnummer 2011-14)
- Malmqvist, P., Svensson, G. & Fjellström, C. (1994). *Dagvattnets sammansättning*. Solna: Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV. (Rapportnummer 1994-11)
- Martin, C., Rupert, Y. & Legret, M. (2007). Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices. *European Journal of Operational Research*, volume 181, Issue 1, pp. 338-349
- Miljöbalken (1998). Stockholm. (SFS 1998:808)
- Naturvårdsverket (2009). *Multikriterieanalys för hållbar efterbehandling – Metodutveckling och exempel på tillämpning*. Stockholm: Naturvårdsverket. (Rapportnummer 5891) Tillgänglig:

- <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5891-3.pdf> [2016-03-17]
- Naturvårdsverket (2015). *Miljöbalken – samordnad, breddad och skärpt miljölagstiftning*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Rattsinformation/Miljobalken/> [2016-02-27]
- Plan- och bygglag (2010). Stockholm. (SFS 2010:900)
- Saaty, Thomas L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp 83-98
- Saaty Thomas L. (2013) On the Measurement of Intangibles. A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons. *Notices of the American Mathematical Society*, volume 60, Issue 2, pp. 192-208
- Stockholms stad (2002). *Dagvattenstrategi för Stockholms stad*. Tillgänglig: <http://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/mp/4/dagvattenstrategi.pdf> [2016-02-17]
- Svenskt Vatten (2004). *Dimensionering av allmänna avloppsledningar*. Stockholm: Ljungföretagen (Publikation P90, Utgåva 1)
- Svenskt Vatten (2007). *Dricksvattenförsörjning i förändrat klimat*. Östervåla, Elanders. (Meddelande M135)
- Svenskt Vatten (2011). *Hållbar dag-och dränvattenhantering – råd vid planering och utformning*, Solna: Litografia Alfaprint AB (Publikation P105, Utgåva 1)
- Svenskt Vatten (2013). *Vårt Vatten. Grundläggande lärobok i vatten- och avloppsteknik*. Lund: DanagårdLitho AB. ISSN nr 1654-5117
- Svenskt Vatten (2016). *Avledning av dag-, drän och spillvatten*. Stockholm: Svenskt Vatten AB. (Publikation P110)
- Tyréns (2015). *Alternativa dagvattenlösningar i Bjursås*. Borlänge. [Opublicerat material]
- Uppsala Vatten (2016-05-12). *Dagvatten*. Tillgänglig: <http://www.uppsalavatten.se/sv/hushall/vatten-och-avlopp/dagvatten/> [2016-05-16]
- Uppsala Vatten (u.å). *Dagvattenhantering – en exempelsamling*. Uppsala: Uppsala Vatten. Tillgänglig: http://www.uppsalavatten.se/Global/Uppsala_vatten/Dokument/Rapporter%20och%20redovisningar/dagvatten_exempelsamling.pdf [2016-05-03]
- US Environmental Protection Agency (2016-02-24). *Storm Water Management Model (SWMM)*. Tillgänglig: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> [2016-04-16]

8 APPENDIX

8.1 BILAGA A – LOD-LÖSNINGAR

Här listas några lösningar för lokalt omhändertagande av dagvatten som inte har behandlats i rapporten.

8.1.1 Gröna tak

Gröna tak är takytor täckta med vegetation, vanligtvis sedumväxter eller någon slags mossa. Principen har funnits i Sverige i omkring 20 år (Emilsson, 2008) och anledningen är främst de hydrologiska fördelar som det medför. Studier på ett försökstak i Malmö har visat att avrinningsmängden kan reduceras med 50 % och de högsta flödena minskas jämfört med vanliga tak (Emilsson, 2008). Gröna tak kan även vara estetiskt motiverade och med gödsling kan de börja blomma. Det är dock viktigt att tänka på vilket slags gödsel som används eftersom stora mängder kan följa med avrinningen (Emilsson, 2008). Det är troligt att gröna tak kan bli vanligare i framtiden med anledning av tätare bebyggelse och då kan taken hydrologiskt sett ersätta parker eller andra gröna ytor i städerna.

En ytterligare fördel är att bladen på växterna kan reflektera solljuset bättre än konventionella svarta tak, vilket bidrar till att minska temperaturen i städerna (Emilsson, 2008). Även avdunstningen från vegetationen bidrar till detta. Enligt Emilsson (2008) har det utförts experiment utomlands, där de vegetationsklädda taken har skapats utifrån olika djurs naturliga habitat och på så sätt har hotade spindelarter kunnat överleva där. Även fåglar har visats trivas i habitat på taken.

Att anlägga gröna tak är ofta relativt enkelt, men det är viktigt att byggnaden i övrigt är anpassad efter att klara av de effekter som detta kan leda till, bland annat kan ventilationen behöva ses över (Uppsala Vatten, u.å.). Skötselbehovet är större än för ett konventionellt tak, men kan ändå göras relativt lättskött.

8.1.2 Multifunktionella ytor

Multifunktionella ytor är grön- eller asfaltsytor som inte är vattenbelagda vid torrväder, men som fungerar som fördröjningsanläggningar vid stora regn (Svenskt Vatten, 2013). De är utformade som grunda dammar med utlopp som kan regleras för att släppa ut lite vatten i taget. När de inte är vattenfyllda kan de användas som vilken annan yta som helst, men vid riklig nederbörd samlar de vattnet på ett säkert ställe, där det inte ger upphov till problem.

8.1.3 Dagvattendammar

Dagvattendammar kan vara så estetiskt tilltalande i landskapet att de flesta inte tänker på att de faktiskt dessutom har en praktisk funktion. Genom att låta dagvattnet rinna av till en damm kan det renas genom sedimentation, nedbrytning och upptag i växter och hydrauliska fördelar fås genom att flödena kan jämnas ut (Uppsala Vatten, u.å.). Damarna hjälper också till att berika områdets djur- och växtliv. Nackdelarna med dem är att de kräver att en stor yta finns tillgänglig och att de kan vara krävande eftersom de måste underhållas, ofta blir algutväxt ett problem om inte omsättningen av vattnet är tillräcklig (Svenskt Vatten, 2013).

8.1.4 Våtmarker

En våtmark har i princip samma funktion för dagvattenhanteringen som en damm. Skillnaden är att den för att klassas som en våtmark huvudsakligen ska vara vegetationsbeksidd av vattenväxter (Svenskt Vatten, 2013). En reningsmässig skillnad är att den stora andelen växter i våtmarkerna leder till stora ytor för bakterier och mikroorganismer att leva på och därför

sker reningen till större del genom mikrobiella förlopp än i dagvattendammar (Uppsala Vatten, u.å.).

8.1.5 Magasinering

Magasinering är en vanlig metod för att fördröja flödena vid riklig nederbörd.

Fördröjningsmagasinen kan anläggas på olika sätt, både ovan och under mark. Det behöver inte göras så komplicerat, en vanlig damm kan fungera mycket bra. Vid brist på öppna ytor kan utfyllnad av makadam eller sprängsten under gator och parkeringsytor vara ett bättre alternativ (Svenskt Vatten, 2016). Tömning av magasinen sker antingen med självfall, vilket är att föredra, eller med pumpning. Det är inte lämpligt att anlägga fördröjningsmagasin med syfte att lagra vattnet vid nederbörd som faller under längre tid med låg intensitet eftersom det då skulle kräva en mycket stor volym (Svenskt Vatten, 2016). Det är viktigt att ha en stor säkerhetsmarginal i volym, eller på annat sätt se till att magasinet inte riskerar att översvämmas och skada omgivande bebyggelse.

Fördröjningsprocessen sker naturligt, men kan också styras genom pumpning av vattnet eller flödesregulatorer i de fall där omgivningen är extra känslig. Dimensionen på ledningarna som leder ut vattnet hjälper också till att fördröja flödestopparna (Svenskt Vatten, 2016).

8.1.6 Perkolutionsmagasin

Perkolutionsmagasin fungerar väldigt likt infiltrationsanläggningar, med skillnaden att materialet som vattnet infiltrerar igenom inte är den naturliga jordarten på platsen, utan ett material som har lagts dit för att fungera bra för detta syfte. Därför kräver det normalt sett inte lika stora öppna ytor. Vanligtvis anläggs ett perkolutionsmagasin som en grop som fylls med något grovkornigt material där hålrummen blir stora, exempelvis makadam (Uppsala Vatten, u.å.). Vattnet infiltreras i marken och tillåts tränga ut i omgivningen med hjälp av fördelningsledningar. På vägen renas föroreningar bort från vattnet genom fastläggning eller nedbrytning i marken.

Ett annat material som, förutom makadam, kan användas är speciella plastbackar med stor hålrumsvolym, så kallade dagvattenkassetter. Fördelen med dem är att de är tåliga och kan anläggas under mark som används som transportleder eller parkeringsplatser (Uppsala Vatten, u.å.).

Även om perkolutionsmagasin inte är lika beroende av de omgivande förutsättningarna som infiltration så bör det finnas möjligheter till bortledning via till exempel dagvattennätet om perkolutionsmagasinet blir fullt. Dessutom är det inte lämpligt att lägga perkolutionsmagasinet för djupt, avståndet till grundvattenytan bör vara en meter ovanför botten (Uppsala Vatten, u.å.). På grund av att vattnet sprids under marken är det viktigt att ha ett säkerhetsavstånd till hus med källare. Uppsala Vatten (u.å.) rekommenderar minst 4 meter. Igensättning kan förebyggas med intagsfilter eller slamavskiljare eller, om jorden är finkornig, en fiberduk.

8.2 BILAGA B – DATA FÖR KOSTNADSUPPSKATTNINGEN

Här redovisas den information som har legat till grund för framtagningen av de schablonvärden för kostnaderna som har använts i denna studie. D+S+V betyder att dagvatten, spillvatten och dricksvattenledningarna har förnyats. Tabell 15 visar kostnader som har använts vid utvärderingen av kostnad per meter rörläggning.

Tabell 15. Tidigare projekt som legat till grund för kostnadsuppskattningen. Medelvärde av meterkostnaderna har använts som schablonvärde (data från Falu Energi och Vatten)

Projekt	År	Längd (m)	Total kostnad (kr)	Meterkostnad (kr)
Projekt 1, D+S+V	2011	880	4000000	4545
Projekt 2, D+S+V	2014	450	1575000	3500
Projekt 3, D+S+V	2014	770	3080000	4000
Projekt 4, D+S+V	2015	200	1900000	9500
Projekt 5, D+S+V	2015	300	2550000	8500
Projekt 6, D+S+V	2015	500	3000000	6000
Projekt 7, D+S+V	2015	100	500000	5000

Information om kostnaden för anläggning av rör och kringfyllnadsgrus utvärderades med ett kalkylblad från KP Fakta (2016) och den informationen användes sedan för att beräkna hur mycket billigare det skulle kunna bli att gräva diken jämfört med att anlägga rör. Kostnaden för rören (bara själva rören, alltså ingen grävning, m.m.) uppskattades till 230 kronor/meter och för kringfyllnadsgruset i rörgrav 147 kronor/meter.

8.3 BILAGA C – VÄRDERINGSRAPPORT BJURSÅS

Här visas ett utdrag över den värderingsrapport som legat till grunden för utvärderingen av energi- och kemikalieförbrukningen i Bjursås (figur 19).

Värderingsrapport					Bjursås
Organisation: Falu Energi och Vatten					
Kommundel: Hela Falun					
År: 2014					
Beräkningsdatum: 2016-03-08 10:56:36					
	Mycket god uthållighet	God uthållighet	Mindre god uthållighet	Dålig uthållighet	
Kemikalieförbrukning PA, g/behandlad m3	<75	75-125	125-175	>175	41
Energiförbrukning PA, kWh/behandlad m3	<0.50	0.50-1.00	1.00-2.00	>2.00	1,12

Figur 19. Tabell som visar ett kemikalie- och energiförbrukning för Bjursås (från Falu Energi och Vatten). Publicerad med tillåtelse av Falu Energi och Vatten.

8.4 BILAGA D – INPARAMETRAR TILL SWMM

Vid beräkningen av inparametrarna till SWMM har en hel del förenklingar och antaganden gjorts. Bjursås består av 3 – 4 ha fiktiv area enligt Lundgren¹⁰. I varje slut-nod i ledningsnätet lades arean 0,05 ha in. Spillvattenflödet från varje fastighet förväntades vara ungefär 150 l/person och dygn (Svenskt Vatten, 2016) och det bor i genomsnitt 2,5 personer i varje fastighet. Det innebär att spillvattenflödet från varje fastighet blev:

$$\frac{2,5 \text{ personer} * 150 \text{ l/person, dygn}}{(24 * 60 * 60) \text{ s/dygn}} = 0,00434 \text{ l/s, hus.}$$

Modellen som lades in i SWMM bygger på att i varje nod blir flödet:

$$Q_{tot} = Q_{tillskottsvatten \text{ torrväder}} + Q_{spillvatten} + Q_{dagvatten \text{ vid regn}} \quad (19)$$

I denna ekvation saknas det indirekta dagvattenflödet eftersom dess storlek ansågs ha försumbar betydelse i det här fallet. Då det är toppflödena som är intressanta vid utvärdering av källaröversvämningar ansågs detta inte vara av någon stor betydelse eftersom det indirekta dagvattenflödet är förskjutet senare i tid än det direkta.

Som dagvatten simulerades 2-, 10-, 20-, 50-årsregn. Återkomsttider som finns listade i Svenskt Vattens publikation P110 (Svenskt Vatten, 2016) lades in. Där finns en tabell med regnintensiteter för olika blockregn som pågår under olika lång tid. Simuleringarna utfördes med ett 10-minutersregn.

I P110 (Svenskt Vatten, 2016) går även att läsa att ett bra system har ett inläckage av tillskottsvatten vid torrväder på 0,05-0,15 l/(s*ha). Eftersom ledningsnätet i Bjursås är några år gammalt har värdet 0,15 l/(s*ha) antagits. Detta är en grov förenkling som har gjorts eftersom det är svårt att uppskatta mängden inläckage på olika sträckor och mycket tidskrävande att beräkna detta för varje nod i hela ledningsnätet.

Eftersom Bjursås totala area delades in i 77 avrinningsområdespunkter så fick varje punkt följande area då beräkning av tillskottsflöde vid torrväder gjordes:

$$\frac{325 \text{ ha}}{77 \text{ punkter}} = 4,22 \text{ ha/punkt.}$$

I SWMM lades tillskottsvattenflödet (förutom dagvatten) och spillvattnet in ihopslaget i en så kallad ”inflow editor”:

$$Q_{tillskottsvatten \text{ torrväder}} + Q_{spillvatten} = 0,15 \text{ l/s, ha} * 4,22 \text{ ha} + 0,00434 \text{ l/s, hus} * n \quad (20)$$

n står för antalet fastigheter som leder sitt spillvatten till den punkt på ledningsnätet där beräkningen gjordes.

¹⁰ Markus Lundgren, Falu Energi och Vatten, möte 2016-05-09

8.5 BILAGA E – ENKÄTEN

Här visas enkäten på den form som den skickades ut.

Resursallokering av dagvattenåtgärder för tillskottsvatten i spillvattennät

I och med att allt fler städer byggs ut och stora ytor hårdgörs är det inte ovanligt att det uppstår problem med dagvattenhanteringen. Vattnet får svårare att hitta ställen att infiltrera på och det leder till snabbare avrinning och större dagvattenflöden jämfört med områden där naturliga förhållanden råder. Takvatten, hårdgjorda asfaltsytor och dräneringsledningar som är kopplade till spillvattennätet bidrar till en onödigt stor mängd tillskottsvatten. Detta projekt syftar till att undersöka inom vilka områden det är mest lämpligt att sätta in dagvattenåtgärder för att få bort tillskottsvatten från spillvattennätet, baserat på nytta och kostnader. Nyttorna har delats in i tre parametrar, minskad risk för stora mängder tillskottsvatten, minskad risk för källaröversvämningar och minskad risk för bräddningar. Syftet med enkätundersökningen är att värdera dessa nyttor för att kunna göra en samlad bedömning av vilka som är viktigast att ta hänsyn till när åtgärdsområden ska väljas ut.

RISK FÖR STORA MÄNGDER TILLSKOTTSVATTEN

Fördelarna med att reducera mängden tillskottsvatten är många, oavsett var i systemet det sker. Stora mängder vatten som skickas till reningsverket gör att en större mängd energi och kemikalier behöver användas och reningen blir mindre resurseffektiv. Om mängden tillskottsvatten minskas så späds spillvattnet ut i mindre grad, vilket ger en bättre rening. En minskad mängd vatten att rena leder också till en rent ekonomisk vinst.

RISK FÖR KÄLLARÖVERSVÄMNINGAR

Ett annat sätt att undersöka var det skulle vara mest lämpligt att sätta in åtgärder är att utvärdera var risken för källaröversvämningar är störst. Genom att rikta in sig på att få bort dag- och dränvatten i områden som uppskattas vara extra känsliga för källaröversvämningar minskas risken för att stora saneringskostnader uppstår. Denna faktor har även ett socialt värde som är svårt att mäta i pengar.

RISK FÖR BRÄDDNINGAR

Bräddning sker när flödena blir så stora att det sker en hydraulisk belastning på ledningsnätet eller i reningsverket som är så stor att VA-systemet inte kan ta hand om allt vatten. Det kan exempelvis ske vid stora, intensiva regn eller vid snösmältning. Detta projekt har avgränsats till att undersöka endast bräddningar orsakade av hydraulisk överbelastning och inte sådana som uppstår på grund av stopp i ledningsnätet eller rörkollaps. Hur stora konsekvenserna av bräddningarna blir beror till stor del på hur känslig recipienten är och hur den nyttjas. Bräddningar orsakar miljöproblem i form av utsläpp av smittoämnen och näringsämnen som kan skada vattenlevande organismer. En hög belastning av näringsämnen bidrar också till ökad risk för övergödning i recipienten.

Bedömningen kommer att göras med multikriterieanalys och resultaten från denna enkät kommer att bestämma viktningen av nytto-parametrarna. Viktningen görs med en metod som kallas analytisk hierarkisk process (AHP) och går ut på att parametrarna som ska vägas jämförs parvis med varandra. Poängsättningssystemet går egentligen från 1/9 till 9, men eftersom detta inte går att få in i detta formulär så är skalan 1 - 9.

Poängskala:

- 1: Parameter A är överlägset mycket viktigare än parameter B
- 2: Parameter A är mycket viktigare än parameter B
- 3: Parameter A är viktigare än parameter B
- 4: Parameter A är något viktigare än parameter B
- 5: Parameter A och B är lika viktiga
- 6: Parameter B är något viktigare än parameter A
- 7: Parameter B är viktigare än parameter A
- 8: Parameter B är mycket viktigare än parameter A
- 9: Parameter B är överlägset mycket viktigare än parameter A

Figur 20. Enkäten som skickades ut för bestämning av de olika vikterna till multikriterieanalysen

Jämförelse mellan mängd tillskottsvatten och källaröversvämningar

1 2 3 4 5 6 7 8 9

A: Minskad risk för stora mängder tillskottsvatten ○○○○○○○○○○ B: Minskad risk för källaröv

Jämförelse mellan mängd tillskottsvatten och bräddningar

1 2 3 4 5 6 7 8 9

A: Minskad risk för stora mängder tillskottsvatten ○○○○○○○○○○ B: Minskad risk för bräddni

Jämförelse mellan källaröversvämningar och bräddningar

1 2 3 4 5 6 7 8 9

A: Minskad risk för källaröversvämningar ○○○○○○○○○○ B: Minskad risk för bräddningar

Övriga synpunkter och kommentarer

Lång svarstext

Figur 21. (forts.) Enkäten som skickades ut för bestämning av de olika vikterna till multikriterieanalysen

8.6 BILAGA F – STATISTIK ÖVER SVAREN FRÅN ENKÄTUNDERSÖKNINGEN, BERÄKNING AV CR OCH VIKTER

Tabell 16 sammanfattar medelvärden, medianer och standardavvikelser över svaren från enkätundersökningen.

Tabell 16. Statistik över svaren från enkätundersökningen

Statistik	Risk för stora mängder tillskottsvatten jämfört med risk för bräddningar	Risk för stora mängder tillskottsvatten jämfört med risk för källaröversvämningar	Risk för källaröversvämningar jämfört med risk för bräddningar
Medelvärde	1,32	1,59	3,59
Geometriskt medelvärde	0,44	0,54	2,71
Median	0,2	0,2	3
Standardavvikelse	1,74	2,41	2,00

I tabell 17 visas matrisen som baseras på de geometriska medelvärdena och som användes vid beräkningen av vikterna och CR-värdet.

Tabell 17. Matrisen baserad på geometriska medelvärdena från tabell 17

	Tillskottsvatten	Källaröversvämningar	Bräddningar
Tillskottsvatten	1	0,44	0,54
Källaröversvämningar	2,29	1	2,71
Bräddningar	1,68	0,37	1

Beräkning av Confidence Ratio (CR) med ekvation 10 – 12:

$$d = \left(\frac{ac}{b}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{0,44 * 2,71}{0,54}\right)^{\frac{1}{3}} = 1,30$$

$$\lambda_{max} = 1 + d + d^{-1} = 1 + 1,30 + 1,30^{-1} = 3,07$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} / RI = \frac{3,07 - 3}{3 - 1} / 0,52 = 0,067$$

CI = Consistency index

RI = Relative index = 0,52 (Saaty, 2013)

λ_{max} = största egenvärdet

n = antal parametrar = 3

Beräkning av vikterna (w1, w2 och w3) med ekvation 13 – 15:

$$w_1 = \frac{bd}{1 + bd + \frac{c}{d}} = \frac{0,44 * 1,30}{1 + 0,44 * 1,30 + \frac{2,71}{1,30}} = 0,19$$

$$w_2 = \frac{c}{d \left(1 + bd + \frac{c}{d}\right)} = \frac{2,71}{1,30 \left(1 + 0,44 * 1,30 + \frac{2,71}{1,30}\right)} = 0,55$$

$$w_3 = \frac{1}{1 + bd + \frac{c}{d}} = \frac{1}{1 + 0,44 * 1,30 + \frac{2,71}{1,30}} = 0,26$$

w1 = viktning för stora mängder tillskottsvatten

w2 = viktning för källaröversvämningar

w3 = viktning för bräddningar

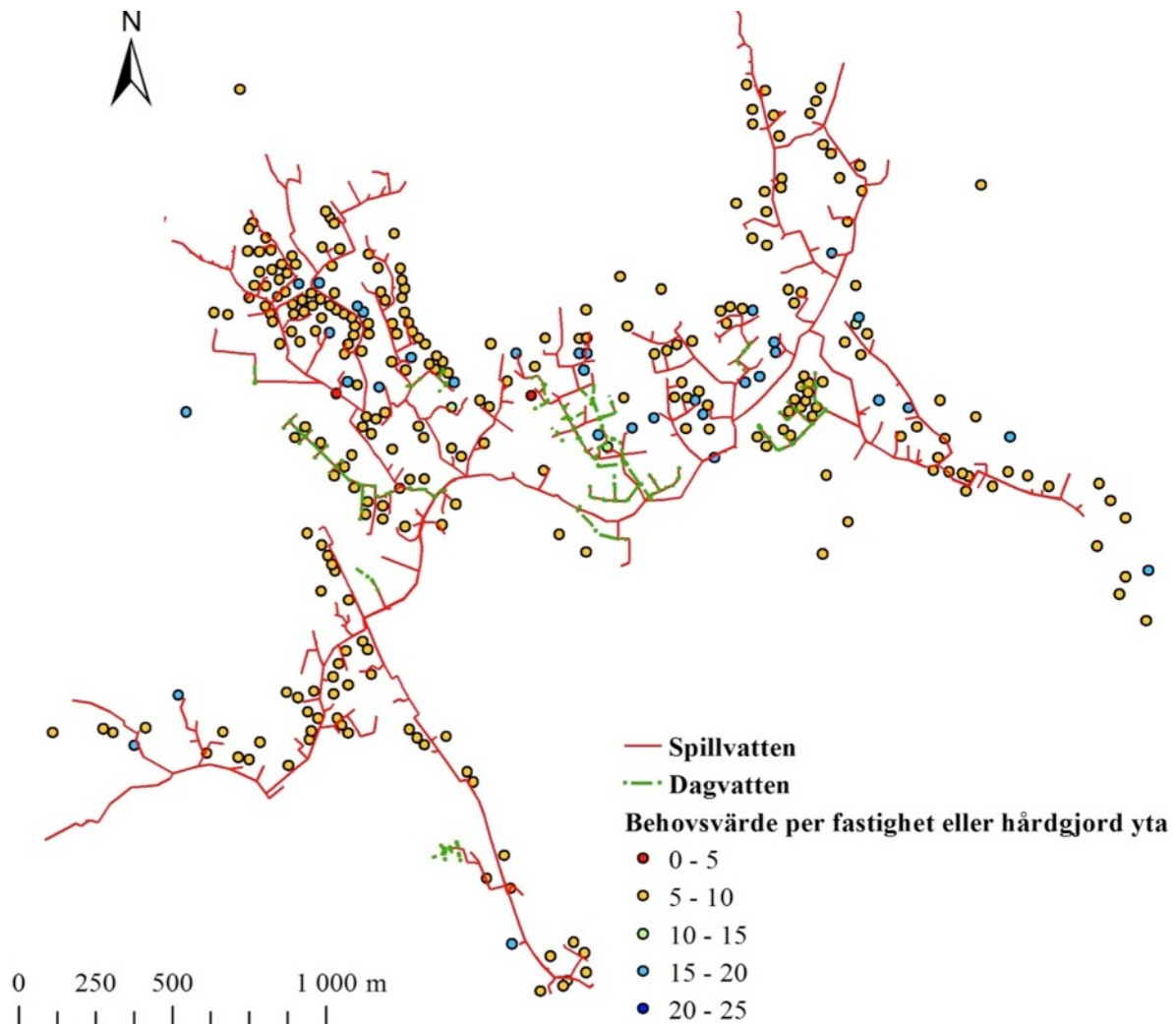
w₁ blev egentligen 0,18, men eftersom summan av vikterna ska bli 1 och det var den vikt som var närmast att avrundas uppåt så fick det bli så.

8.7 BILAGA G – BEHOVSKARTOR

Här redovisas behovskartorna som tagits fram för stora mängder tillskottsvatten, källaröversvämningar och bräddningar.

8.7.1 Behov av åtgärder baserat på behovsvärdet för stora mängder tillskottsvatten

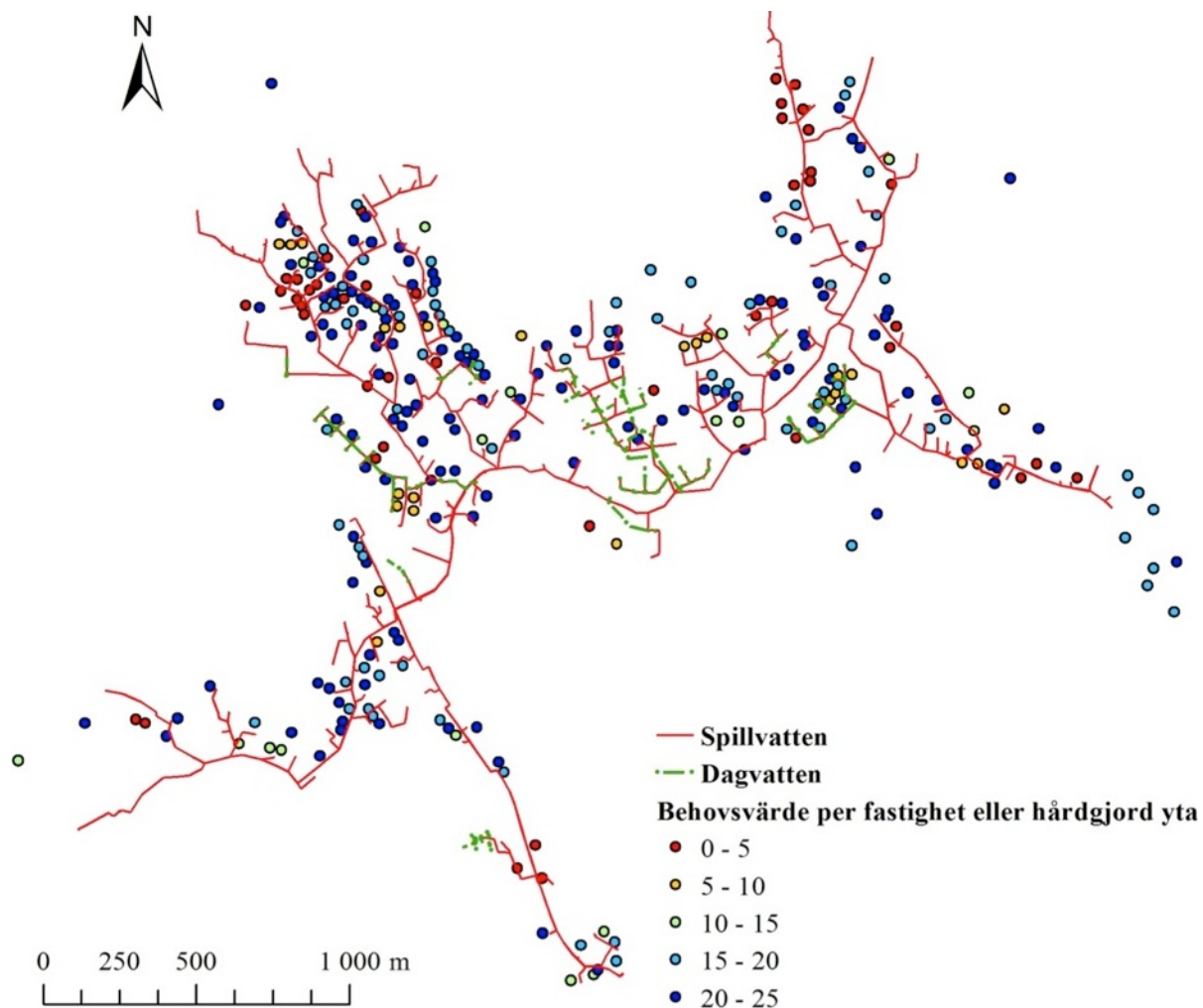
När sannolikhetspoängen för stora mängder tillskottsvatten multiplicerades med konsekvenspoängen skapades en behovskarta (figur 22). Varje fastighet och hårdgjord yta har utvärderats enligt tabell 1 och 2.



Figur 22. Behov av åtgärder baserat på var det kan tänkas uppkomma problem med stora mängder tillskottsvatten för de fastigheter och hårdgjorda ytor som utvärderats. Behoven är enligt kartan representerad som ett behovsvärde mellan 1 – 25, där lågt behovsvärde innebär stort behov av åtgärder. Datakälla för ledningsnätet och fastigheternas placering: Falu Energi och Vatten. Publicerad med tillåtelse av Falu Energi och Vatten.

8.7.2 Behov av åtgärder baserat på behovsvärdet för källaröversvämningar

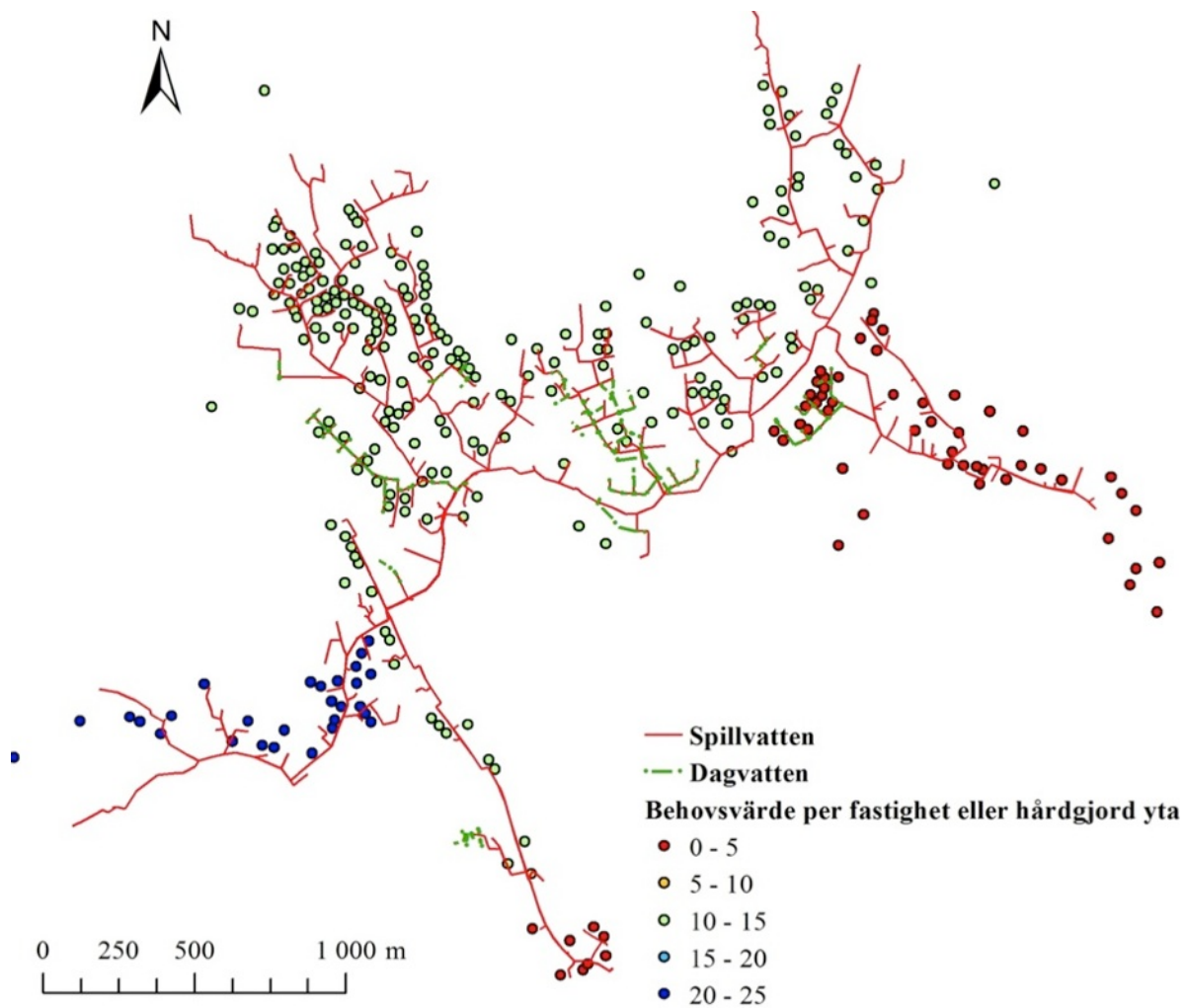
När sannolikhetspoängen för källaröversvämningar multiplicerades med konsekvenspoängen skapades behovskartan i figur 23. Varje fastighet och hårdgjord yta har utvärderats enligt tabell 3 och 4.



Figur 23. Behov av åtgärder baserat på var det kan tänkas uppstå problem med källaröversvämningar för de fastigheter och hårdgjorda ytor som utvärderats. Behoven är enligt kartan representerad som ett behovsvärde mellan 1 – 25, där lågt behovsvärde innebär stort behov av åtgärder. Datakälla för ledningsnätet och fastigheternas placering: Falu Energi och Vatten. Publicerad med tillåtelse av Falu Energi och Vatten.

8.7.3 Behov av åtgärder baserat på behovsvärdet för bräddningar

När sannolikhetspoängen för bräddningar multiplicerades med konsekvenspoängen skapades behovskartan i figur 24. Varje fastighet och hårdgjord yta har utvärderats enligt tabell 5 och 6.



Figur 24. Behov av åtgärder baserat på var det kan tänkas uppkomma problem med bräddningar för de fastigheter och hårdgjorda ytor som utvärderats. Behoven är enligt kartan representerad som ett behovsvärde mellan 1 – 25, där lågt behovsvärde innebär stort behov av åtgärder. Datakälla för ledningsnätet och fastigheternas placering: Falu Energi och Vatten. Publicerad med tillåtelse av Falu Energi och Vatten.

8.9 BILAGA H – MATLAB-KODER

Här listas de koder från Matlab som har använts för känslighetsanalysen.

8.9.1 Kod som användes för att ta fram figur 12

Kod för utvärdering av känslighetsanalysen av mängd vatten från takytor och hårdgjorda ytor respektive mängden dräneringsvatten som använts för figur 12.

```
%Kod för känslighetsanalys av mängden dag- och dräneringsvatten
s1=makedist('Triangular','a',0.5,'b',1,'c',1.5);
K1=makedist('Triangular','a',10^(-8),'b',5.0500e-07,'c',10^(-6));
h01=makedist('Triangular','a',4.5,'b',5,'c',5.5);
hw1=makedist('Triangular','a',3.5,'b',4,'c',4.5);
rw1=makedist('Triangular','a',4.5,'b',5,'c',5.5);

s=random(s1,1000,1);
K=random(K1,1000,1);
h0=random(h01,1000,1);
hw=random(hw1,1000,1);
rw=random(rw1,1000,1);

for i=1:1000
    TRH(i)=3000*s(i)*sqrt(K(i));
    Q_dran(i)=pi*K(i)*((h0(i)^2-hw(i)^2)/(log((rw(i)+TRH(i))/rw(i))));
end

Dranflode=Q_dran.*365*24*60*60;
histogram(Dranflode)

A1=makedist('Triangular','a',200,'b',250,'c',300);
P1=makedist('Triangular','a',0.5,'b',0.65,'c',0.8);
b1=makedist('Triangular','a',0.025,'b',0.075,'c',0.125);

A=random(A1,1000,1);
P=random(P1,1000,1);
b=random(b1,1000,1);

for i=1:1000
    Q_dag(i)=A(i)*(P(i)-b(i));
end

figure()
histogram(Q_dag)
figure()
vektor=[Q_dag;Dranflode];
v=transpose(vektor);
boxplot(v)
ylabel('Mängd vatten (m^3/År)');
```

8.9.2 Kod som användes för att ta fram figur 13

Kod för känslighetsanalysen av parametrarna som ingår vid beräkning av mängden dräneringsvatten som använts för figur 13.

```
%Kod för känslighetsanalys av parametrarna vid beräkning av mängden
dräneringsvatten
%$ ändras, allt annat konstant

s1=makedist('Triangular','a',0.5,'b',1,'c',1.5);
```

```

s=random(s1,1000,1);
K=5*10^(-7);
h0=5;
hw=4;
rw=5;

for i=1:1000
    TRH_s(i)=3000*s(i)*sqrt(K);
    Q_dran_s(i)=pi*K*((h0^2-hw^2)/(log((rw+TRH_s(i))/rw)));
end

%Fl^de per Âr
Dranflode_s=Q_dran_s.*365*24*60*60;

%K %ndras, allt annat konstant
s=1;
K1=makedist('Triangular','a',10^(-8),'b',5.0500e-07,'c',10^(-6));
K=random(K1,1000,1);
h0=5;
hw=4;
rw=5;

for j=1:1000
    TRH_K(j)=3000*s*sqrt(K(j));
    Q_dran_K(j)=pi*K(j)*((h0^2-hw^2)/(log((rw+TRH_K(j))/rw)));
end

%Fl^de per Âr
Dranflode_K=Q_dran_K.*365*24*60*60;

%h0 %ndras, allt annat konstant
s=1;
K=5*10^(-7);
h01=makedist('Triangular','a',4.5,'b',5,'c',5.5);
h0=random(h01,1000,1);
hw=4;
rw=5;

for k=1:1000
    TRH_h0=3000*s*sqrt(K);
    Q_dran_h0(k)=pi*K*((h0(k)^2-hw^2)/(log((rw+TRH_h0)/rw)));
end

%Fl^de per Âr
Dranflode_h0=Q_dran_h0.*365*24*60*60;

%hw %ndras, allt annat konstant
s=1;
K=5*10^(-7);
h0=5;
hw1=makedist('Triangular','a',3.5,'b',4,'c',4.5);
hw=random(hw1,1000,1);
rw=5;

for l=1:1000
    TRH_hw=3000*s*sqrt(K);
    Q_dran_hw(l)=pi*K*((h0^2-hw(l)^2)/(log((rw+TRH_hw)/rw)));
end

%Fl^de per Âr

```

```

Dranflode_hw=Q_dran_hw.*365*24*60*60;

%rw %ndras, allt annat konstant
s=1;
K=5*10^(-7);
h0=5;
hw=4;
rw1=makedist('Triangular','a',4.5,'b',5,'c',5.5);
rw=random(rw1,1000,1);

for m=1:1000
TRH_rw(m)=3000*s*sqrt(K);
Q_dran_rw(m)=pi*K*((h0^2-hw^2)/(log((rw(m)+TRH_rw(m))/rw(m))));
end

%Fl^de per År
Dranflode_rw=Q_dran_rw.*365*24*60*60;

%Matrisuppbyggnad
Matris=[Dranflode_s;Dranflode_K;Dranflode_h0;Dranflode_hw;Dranflode_rw];
Flodesmatris=transpose(Matris);

boxplot(Flodesmatris)
ylabel('Mångd dräneringsvatten (m^3/År)')

```

8.9.3 Kod som användes för att ta fram figur 14 – 16

Kod för den totala känslighetsanalysen, där både vikterna och poängen för varje delområde analyseras, som syns i figur 14 – 16.

```

data=xlsread('Data.xlsx'); %Läser in data från ett excelblad
Mp=data(:,1); %Vektor med risken för stora mängder tillskottsvatten
Mk=data(:,2); %Vektor med risken för källarversvämningar
Kp=data(:,3);
Kk=data(:,4);
Bp=data(:,5); %Vektor med risken för bröddningar
Bk=data(:,6);

mv1=0.19012327; %Medelvärdet av vikterna för risk för stora mängder
tillskottsvatten, beräknade från enkätsvaren
mv2=0.54786482; %Medelvärdet av vikterna för risk för
källarversvämningar, beräknade från enkätsvaren
mv3=0.26201191; %Medelvärdet av vikterna för risk för bröddningar,
beräknade från enkätsvaren

maxmv1=mv1+0.1;
minmv1=mv1-0.1;
peakmv1=0.20508754; %Medianen för vikt 1
maxmv2=mv2+0.1;
minmv2=mv2-0.1;
peakmv2=0.52338913; %Medianen för vikt 2
maxmv3=1-(minmv1+minmv2);
minmv3=1-(maxmv1+maxmv2);
peakmv3=0.27152332; %Medianen för vikt 3

w11=makedist('Triangular','a',minmv1,'b',peakmv1,'c',maxmv1); %Vikterna
slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utgår från
resultaten från enkätundersökningen
w22=makedist('Triangular','a',minmv2,'b',peakmv2,'c',maxmv2);

```

```

w1=random(w11,1000,1);
w2=random(w22,1000,1);

for i=1:1000
w3(i)=1-(w1(i)+w2(i));
    if w3(i)<0 %Ingen vikt får vara negativ så om w3<0
s%tts den till noll och den vikt som blir över fördelas lika på w1 och w2
får att få summan att bli 1
        w1(i)=w1(i)+0.5*w3(i);
        w2(i)=w2(i)+0.5*w3(i);
        w3(i)=0;
    end
end
w3=transpose(w3);
for i=1:298
maxMp(i)=Mp(i)+1.5;
if maxMp(i)>5
    maxMp(i)=5;
end
minMp(i)=Mp(i)-1.5;
if minMp(i)<1
    minMp(i)=1;
end
maxMk(i)=Mk(i)+1.25;
if maxMk(i)>5
    maxMk(i)=5;
end

minMk(i)=Mk(i)-1.25;
if minMk(i)<1
    minMk(i)=1;
end
maxKp(i)=Kp(i)+1;
if maxKp(i)>5
    maxKp(i)=5;
end

minKp(i)=Kp(i)-1;
if minKp(i)<1
    minKp(i)=1;
end
maxKk(i)=Kk(i)+1;
if maxKk(i)>5
    Kk1(i)=5;
end

minKk(i)=Kk(i)-1;
if minKk(i)<1
    minKk(i)=1;
end
maxBp(i)=Bp(i)+1;
if maxBp(i)>5
    maxBp(i)=5;
end
minBp(i)=Bp(i)-1;
if minBp(i)<1
    minBp(i)=1;
end
maxBk(i)=Bk(i)+0.34;
if maxBk(i)>5
    maxBk(i)=5;
end

```

```

    end
    minBk(i)=Bk(i)-0.34;
    if minBk(i)<1
        minBk(i)=1;
    end
end

peakMp=median(Mp);
peakMk=median(Mk);
peakKp=median(Kp);
peakKk=median(Kk);
peakBp=median(Bp);
peakBk=median(Bk);

for i=1:298
Mp11(i)=makedist('Triangular','a',minMp(i),'b',Mp(i),'c',maxMp(i));
%Vikterna slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utg r från
resultaten från enkätundersökningen
Mk11(i)=makedist('Triangular','a',minMk(i),'b',Mk(i),'c',maxMk(i));
%Vikterna slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utg r från
resultaten från enkätundersökningen
Kp11(i)=makedist('Triangular','a',minKp(i),'b',Kp(i),'c',maxKp(i));
%Vikterna slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utg r från
resultaten från enkätundersökningen
Kk11(i)=makedist('Triangular','a',minKk(i),'b',Kk(i),'c',maxKk(i));
%Vikterna slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utg r från
resultaten från enkätundersökningen
Bp11(i)=makedist('Triangular','a',minBp(i),'b',Bp(i),'c',maxBp(i));
%Vikterna slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utg r från
resultaten från enkätundersökningen
Bk11(i)=makedist('Triangular','a',minBk(i),'b',Bk(i),'c',maxBk(i));
%Vikterna slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utg r från
resultaten från enkätundersökningen

Mp12(:,i)=random(Mp11(i),1000,1);
Mk12(:,i)=random(Mk11(i),1000,1);
Kp12(:,i)=random(Kp11(i),1000,1);
Kk12(:,i)=random(Kk11(i),1000,1);
Bp12(:,i)=random(Bp11(i),1000,1);
Bk12(:,i)=random(Bk11(i),1000,1);
end

Mp1=transpose(Mp12);
Mk1=transpose(Mk12);
Kp1=transpose(Kp12);
Kk1=transpose(Kk12);
Bp1=transpose(Bp12);
Bk1=transpose(Bk12);

for i=1:298
    for n=1:1000

RISK(i,n)=(Mp1(i,n).*Mk1(i,n).*w1(n))+(Kp1(i,n).*Kk1(i,n).*w2(n))+(Bp1(i,n)
.*Bk1(i,n).*w3(n)); %Skapar en matris med alla slumpade behovsvärden som
kolumner och husen som rader
    end
end

%Nedan beräknas behovsv rderna f r de olika delområdena utgående från de
%slumpade vikterna
D0=RISK(1,:)+RISK(2,:)+RISK(3,:)+RISK(4,:)+RISK(5,:)+RISK(6,:)+RISK(7,:)+RI
SK(8,:);

```

```

D0pf=D0./8;

D1=RISK(9,:)+RISK(10,:)+RISK(11,:)+RISK(12,:)+RISK(13,:)+RISK(14,:)+RISK(15,
:)+RISK(16,:)+RISK(17,:)+RISK(18,:)+RISK(19,:)+RISK(20,:)+RISK(21,:)+RISK(
22,:)+RISK(23,:)+RISK(24,:)+RISK(25,:)+RISK(26,:)+RISK(27,:)+RISK(28,:)+RIS
K(29,:)+RISK(30,:)+RISK(31,:)+RISK(32,:)+RISK(33,:)+RISK(34,:);
D1pf=D1./26;

D3=RISK(50,:)+RISK(51,:)+RISK(52,:)+RISK(53,:)+RISK(54,:)+RISK(55,:)+RISK(5
6,:)+RISK(57,:)+RISK(58,:)+RISK(59,:);
D3pf=D3./10;

D4=RISK(60,:)+RISK(61,:)+RISK(62,:)+RISK(63,:)+RISK(64,:)+RISK(65,:)+RISK(6
6,:)+RISK(67,:)+RISK(68,:)+RISK(69,:)+RISK(70,:)+RISK(71,:)+RISK(72,:)+RISK
(73,:)+RISK(74,:);
D4pf=D4./15;

D5=RISK(75,:)+RISK(76,:)+RISK(77,:)+RISK(78,:)+RISK(79,:)+RISK(80,:)+RISK(8
1,:)+RISK(82,:)+RISK(83,:)+RISK(84,:);
D5pf=D5./10;

D6=RISK(85,:)+RISK(86,:)+RISK(87,:)+RISK(88,:)+RISK(89,:);
D6pf=D6./5;

D7=RISK(90,:)+RISK(91,:)+RISK(92,:)+RISK(93,:)+RISK(94,:)+RISK(95,:)+RISK(9
6,:)+RISK(97,:)+RISK(98,:)+RISK(99,:)+RISK(100,:)+RISK(101,:)+RISK(102,:)+R
ISK(103,:)+RISK(104,:)+RISK(105,:)+RISK(106,:)+RISK(107,:)+RISK(108,:)+RISK
(109,:)+RISK(110,:)+RISK(111,:)+RISK(112,:)+RISK(113,:)+RISK(114,:);
D7pf=D7./25;

D8=RISK(115,:)+RISK(116,:)+RISK(117,:)+RISK(118,:)+RISK(119,:)+RISK(120,:);
D8pf=D8/6;

D9=RISK(121,:)+RISK(122,:)+RISK(123,:)+RISK(124,:)+RISK(125,:)+RISK(126,:)+
RISK(127,:)+RISK(128,:)+RISK(129,:)+RISK(130,:)+RISK(131,:)+RISK(132,:)+RIS
K(133,:)+RISK(134,:)+RISK(135,:)+RISK(136,:);
D9pf=D9./16;

D10=RISK(137,:)+RISK(138,:)+RISK(139,:)+RISK(140,:)+RISK(141,:)+RISK(142,:)
+RISK(143,:)+RISK(144,:)+RISK(145,:)+RISK(146,:)+RISK(147,:)+RISK(148,:)+RI
SK(149,:);
D10pf=D10./13;

D11=RISK(150,:)+RISK(151,:)+RISK(152,:)+RISK(153,:)+RISK(154,:)+RISK(155,:)
+RISK(156,:)+RISK(157,:)+RISK(158,:)+RISK(159,:)+RISK(160,:)+RISK(161,:)+RI
SK(162,:)+RISK(163,:)+RISK(164,:)+RISK(165,:)+RISK(166,:)+RISK(167,:)+RISK(
168,:)+RISK(169,:)+RISK(170,:)+RISK(171,:)+RISK(172,:);
D11pf=D11./23;

D12=RISK(173,:)+RISK(174,:)+RISK(175,:)+RISK(176,:)+RISK(177,:)+RISK(178,:)
+RISK(179,:)+RISK(180,:)+RISK(181,:)+RISK(182,:)+RISK(183,:)+RISK(184,:)+RI
SK(185,:)+RISK(186,:)+RISK(187,:)+RISK(188,:)+RISK(189,:)+RISK(190,:)+RISK(
191,:);
D12pf=D12./19;

D14=RISK(201,:)+RISK(202,:)+RISK(203,:)+RISK(204,:)+RISK(205,:)+RISK(206,:)
+RISK(207,:)+RISK(208,:)+RISK(209,:)+RISK(210,:)+RISK(211,:)+RISK(212,:)+RI
SK(213,:)+RISK(214,:)+RISK(215,:)+RISK(216,:)+RISK(217,:)+RISK(218,:)+RISK(
219,:)+RISK(220,:)+RISK(221,:)+RISK(222,:)+RISK(223,:);
D14pf=D14./23;

```

```

D15=RISK(224,:)+RISK(225,:)+RISK(226,:)+RISK(227,:)+RISK(228,:)+RISK(229,:)+
RISK(230,:)+RISK(231,:)+RISK(232,:)+RISK(233,:)+RISK(234,:)+RISK(235,:)+RISK(236,:)+
RISK(237,:)+RISK(238,:)+RISK(239,:)+RISK(240,:)+RISK(241,:)+RISK(242,:)+RISK(243,:)+
RISK(244,:)+RISK(245,:)+RISK(246,:)+RISK(247,:)+RISK(248,:)+RISK(249,:)+RISK(250,:)+
RISK(251,:)+RISK(252,:)+RISK(253,:)+RISK(254,:)+RISK(255,:)+RISK(256,:)+RISK(257,:)+
RISK(258,:)+RISK(259,:)+RISK(260,:)+RISK(261,:)+RISK(262,:)+RISK(263,:)+RISK(264,:)+
RISK(265,:)+RISK(266,:)+RISK(267,:)+RISK(268,:)+RISK(269,:)+RISK(270,:)+RISK(271,:);
D15pf=D15./48;

```

```

D16=RISK(272,:)+RISK(273,:)+RISK(274,:)+RISK(275,:)+RISK(276,:)+RISK(277,:)+
RISK(278,:)+RISK(279,:)+RISK(280,:)+RISK(281,:)+RISK(282,:)+RISK(283,:)+RISK(284,:)+
RISK(285,:)+RISK(286,:)+RISK(287,:)+RISK(288,:)+RISK(289,:)+RISK(290,:)+RISK(291,:)+
RISK(292,:)+RISK(293,:)+RISK(294,:)+RISK(295,:)+RISK(296,:)+RISK(297,:)+RISK(298,:);
D16pf=D16./27;

```

%Funktionen nedan skapar en matris med de största och minsta värdena som de olika delområdena antar enligt fördelningen ovan.

```

data2=xlsread('Kostnader'); %Läser in data från ett excelblad

```

```

kostnad=[data2(1,7);data2(2,7);data2(4,7);data2(5,7);data2(6,7);data2(7,7);
data2(8,7);data2(9,7);data2(10,7);data2(11,7);data2(12,7);data2(13,7);data2(15,7);
data2(16,7);data2(17,7)];
nummer=[0;1;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;14;15;16];

```

```

Matrisen=[D0pf;D1pf;D3pf;D4pf;D5pf;D6pf;D7pf;D8pf;D9pf;D10pf;D11pf;D12pf;D14pf;
D15pf;D16pf];

```

```

Tmat=transpose(Matrisen);

```

```

figure()
boxplot(Tmat, nummer) %Plottar behovsvärden/fastighet för varje
delområde i en boxplot
xlabel('Delområde');
ylabel('Behov per fastighet');

```

```

figure()
boxplot(Tmat,kostnad) %Plottar behovsvärden/fastighet för varje
delområde i en boxplot
xlabel('Kostnad per fastighet (kr)');
ylabel('Behov per fastighet');

```

%Kostnads-behovsanalysen

```

KB0=D0pf*data2(1,7);
KB1=D1pf*data2(2,7);
KB3=D3pf*data2(4,7);
KB4=D4pf*data2(5,7);
KB5=D5pf*data2(6,7);
KB6=D6pf*data2(7,7);
KB7=D7pf*data2(8,7);
KB8=D8pf*data2(9,7);
KB9=D9pf*data2(10,7);
KB10=D10pf*data2(11,7);
KB11=D11pf*data2(12,7);
KB12=D12pf*data2(13,7);
KB14=D14pf*data2(15,7);
KB15=D15pf*data2(16,7);
KB16=D16pf*data2(17,7);

```

```

KB=[KB0;KB1;KB3;KB4;KB5;KB6;KB7;KB8;KB9;KB10;KB11;KB12;KB14;KB15;KB16];

```

```

a=[];

for i=1:1000
if min(KB(:,i))==KB0(i)
    a(i)=0;
elseif min(KB(:,i))==KB1(i)
    a(i)=1;
elseif min(KB(:,i))==KB3(i)
    a(i)=3;
elseif min(KB(:,i))==KB4(i)
    a(i)=4;
elseif min(KB(:,i))==KB5(i)
    a(i)=5;
elseif min(KB(:,i))==KB6(i)
    a(i)=6;
elseif min(KB(:,i))==KB7(i)
    a(i)=7;
elseif min(KB(:,i))==KB8(i)
    a(i)=8;
elseif min(KB(:,i))==KB9(i)
    a(i)=9;
elseif min(KB(:,i))==KB10(i)
    a(i)=10;
elseif min(KB(:,i))==KB11(i)
    a(i)=11;
elseif min(KB(:,i))==KB12(i)
    a(i)=12;
elseif min(KB(:,i))==KB14(i)
    a(i)=14;
elseif min(KB(:,i))==KB15(i)
    a(i)=15;
elseif min(KB(:,i))==KB16(i)
    a(i)=16;
end
end
figure()
histogram(a)
xlabel('Delområde')
ylabel('Frekvens, kostnads-behovsanalys')

% Linjär additiv metod
vk=0.5;
vb=0.5;

KB0=D0pf*vb+data2(1,8)*vk;
KB1=D1pf*vb+data2(2,8)*vk;
KB3=D3pf*vb+data2(4,8)*vk;
KB4=D4pf*vb+data2(5,8)*vk;
KB5=D5pf*vb+data2(6,8)*vk;
KB6=D6pf*vb+data2(7,8)*vk;
KB7=D7pf*vb+data2(8,8)*vk;
KB8=D8pf*vb+data2(9,8)*vk;
KB9=D9pf*vb+data2(10,8)*vk;
KB10=D10pf*vb+data2(11,8)*vk;
KB11=D11pf*vb+data2(12,8)*vk;
KB12=D12pf*vb+data2(13,8)*vk;
KB14=D14pf*vb+data2(15,8)*vk;
KB15=D15pf*vb+data2(16,8)*vk;
KB16=D16pf*vb+data2(17,8)*vk;

KB=[KB0;KB1;KB3;KB4;KB5;KB6;KB7;KB8;KB9;KB10;KB11;KB12;KB14;KB15;KB16];
a=[];

```

```

for i=1:1000
if min(KB(:,i))==KB0(i)
    a(i)=0;
elseif min(KB(:,i))==KB1(i)
    a(i)=1;
elseif min(KB(:,i))==KB3(i)
    a(i)=3;
elseif min(KB(:,i))==KB4(i)
    a(i)=4;
elseif min(KB(:,i))==KB5(i)
    a(i)=5;
elseif min(KB(:,i))==KB6(i)
    a(i)=6;
elseif min(KB(:,i))==KB7(i)
    a(i)=7;
elseif min(KB(:,i))==KB8(i)
    a(i)=8;
elseif min(KB(:,i))==KB9(i)
    a(i)=9;
elseif min(KB(:,i))==KB10(i)
    a(i)=10;
elseif min(KB(:,i))==KB11(i)
    a(i)=11;
elseif min(KB(:,i))==KB12(i)
    a(i)=12;
elseif min(KB(:,i))==KB14(i)
    a(i)=14;
elseif min(KB(:,i))==KB15(i)
    a(i)=15;
elseif min(KB(:,i))==KB16(i)
    a(i)=16;
end
end

figure()
histogram(a)
xlabel('Delområde')
ylabel('Frekvens, linjär additiv metod')

```

8.9.4 Kod som användes för att ta fram figur 17

Kod för känslighetsanalysen av poängsättningen som har använts för figur 17.

```

data=xlsread('Data.xlsx'); %Läser in data från ett excelblad
Mp=data(:,1); %Vektor med risken för stora mängder tillskottsvatten
Mk=data(:,2); %Vektor med risken för källarversvämningar
Kp=data(:,3);
Kk=data(:,4);
Bp=data(:,5); %Vektor med risken för bröddningar
Bk=data(:,6);

w1=0.19012327; %Medelvärdet av vikterna för risk för stora mängder
tillskottsvatten, beräknade från enkätsvaren
w2=0.54786482; %Medelvärdet av vikterna för risk för
källarversvämningar, beräknade från enkätsvaren
w3=0.26201191; %Medelvärdet av vikterna för risk för bröddningar,
beräknade från enkätsvaren

for i=1:298
maxMp(i)=Mp(i)+1.5;

```

```

if maxMp(i)>5
    maxMp(i)=5;
end
minMp(i)=Mp(i)-1.5;
if minMp(i)<1
    minMp(i)=1;
end
maxMk(i)=Mk(i)+1.25;
if maxMk(i)>5
    maxMk(i)=5;
end

minMk(i)=Mk(i)-1.25;
if minMk(i)<1
    minMk(i)=1;
end
maxKp(i)=Kp(i)+1;
if maxKp(i)>5
    maxKp(i)=5;
end

minKp(i)=Kp(i)-1;
if minKp(i)<1
    minKp(i)=1;
end
maxKk(i)=Kk(i)+1;
if maxKk(i)>5
    Kk1(i)=5;
end

minKk(i)=Kk(i)-1;
if minKk(i)<1
    minKk(i)=1;
end
maxBp(i)=Bp(i)+1;
if maxBp(i)>5
    maxBp(i)=5;
end

minBp(i)=Bp(i)-1;
if minBp(i)<1
    minBp(i)=1;
end
maxBk(i)=Bk(i)+0.34;
if maxBk(i)>5
    maxBk(i)=5;
end
minBk(i)=Bk(i)-0.34;
if minBk(i)<1
    minBk(i)=1;
end
end

peakMp=median(Mp);
peakMk=median(Mk);
peakKp=median(Kp);
peakKk=median(Kk);
peakBp=median(Bp);
peakBk=median(Bk);

for i=1:298
Mp11(i)=makedist('Triangular','a',minMp(i),'b',Mp(i),'c',maxMp(i));
%Vikterna slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utgår från

```

```

resultaten från enkeltundersökningen
Mk11(i)=makedist('Triangular','a',minMk(i),'b',Mk(i),'c',maxMk(i));
%Viktarna slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utgår från
resultaten från enkeltundersökningen
Kp11(i)=makedist('Triangular','a',minKp(i),'b',Kp(i),'c',maxKp(i));
%Viktarna slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utgår från
resultaten från enkeltundersökningen
Kk11(i)=makedist('Triangular','a',minKk(i),'b',Kk(i),'c',maxKk(i));
%Viktarna slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utgår från
resultaten från enkeltundersökningen
Bp11(i)=makedist('Triangular','a',minBp(i),'b',Bp(i),'c',maxBp(i));
%Viktarna slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utgår från
resultaten från enkeltundersökningen
Bk11(i)=makedist('Triangular','a',minBk(i),'b',Bk(i),'c',maxBk(i));
%Viktarna slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utgår från
resultaten från enkeltundersökningen

Mp12(:,i)=random(Mp11(i),1000,1);
Mk12(:,i)=random(Mk11(i),1000,1);
Kp12(:,i)=random(Kp11(i),1000,1);
Kk12(:,i)=random(Kk11(i),1000,1);
Bp12(:,i)=random(Bp11(i),1000,1);
Bk12(:,i)=random(Bk11(i),1000,1);
end

Mp1=transpose(Mp12);
Mk1=transpose(Mk12);
Kp1=transpose(Kp12);
Kk1=transpose(Kk12);
Bp1=transpose(Bp12);
Bk1=transpose(Bk12);

for i=1:298
    for n=1:1000

RISK(i,n)=(Mp1(i,n).*Mk1(i,n).*w1)+(Kp1(i,n).*Kk1(i,n).*w2)+(Bp1(i,n).*Bk1(
i,n).*w3); %Skapar en matris med alla slumpade behovsvärden som kolumner
och husen som rader
end
end

%Nedan beräknas behovsvärdena för de olika delområdena utgående från de
%slumpade vikterna
D0=RISK(1,:)+RISK(2,:)+RISK(3,:)+RISK(4,:)+RISK(5,:)+RISK(6,:)+RISK(7,:)+RIS
K(8,:);
D0pf=D0./8;

D1=RISK(9,:)+RISK(10,:)+RISK(11,:)+RISK(12,:)+RISK(13,:)+RISK(14,:)+RISK(15
,:)+RISK(16,:)+RISK(17,:)+RISK(18,:)+RISK(19,:)+RISK(20,:)+RISK(21,:)+RISK(
22,:)+RISK(23,:)+RISK(24,:)+RISK(25,:)+RISK(26,:)+RISK(27,:)+RISK(28,:)+RIS
K(29,:)+RISK(30,:)+RISK(31,:)+RISK(32,:)+RISK(33,:)+RISK(34,:);
D1pf=D1./26;

D3=RISK(50,:)+RISK(51,:)+RISK(52,:)+RISK(53,:)+RISK(54,:)+RISK(55,:)+RISK(5
6,:)+RISK(57,:)+RISK(58,:)+RISK(59,:);
D3pf=D3./10;

D4=RISK(60,:)+RISK(61,:)+RISK(62,:)+RISK(63,:)+RISK(64,:)+RISK(65,:)+RISK(6
6,:)+RISK(67,:)+RISK(68,:)+RISK(69,:)+RISK(70,:)+RISK(71,:)+RISK(72,:)+RISK
(73,:)+RISK(74,:);
D4pf=D4./15;

```

D5=RISK(75,:)+RISK(76,:)+RISK(77,:)+RISK(78,:)+RISK(79,:)+RISK(80,:)+RISK(81,:)+RISK(82,:)+RISK(83,:)+RISK(84,:);
D5pf=D5./10;

D6=RISK(85,:)+RISK(86,:)+RISK(87,:)+RISK(88,:)+RISK(89,:);
D6pf=D6./5;

D7=RISK(90,:)+RISK(91,:)+RISK(92,:)+RISK(93,:)+RISK(94,:)+RISK(95,:)+RISK(96,:)+RISK(97,:)+RISK(98,:)+RISK(99,:)+RISK(100,:)+RISK(101,:)+RISK(102,:)+RISK(103,:)+RISK(104,:)+RISK(105,:)+RISK(106,:)+RISK(107,:)+RISK(108,:)+RISK(109,:)+RISK(110,:)+RISK(111,:)+RISK(112,:)+RISK(113,:)+RISK(114,:);
D7pf=D7./25;

D8=RISK(115,:)+RISK(116,:)+RISK(117,:)+RISK(118,:)+RISK(119,:)+RISK(120,:);
D8pf=D8/6;

D9=RISK(121,:)+RISK(122,:)+RISK(123,:)+RISK(124,:)+RISK(125,:)+RISK(126,:)+RISK(127,:)+RISK(128,:)+RISK(129,:)+RISK(130,:)+RISK(131,:)+RISK(132,:)+RISK(133,:)+RISK(134,:)+RISK(135,:)+RISK(136,:);
D9pf=D9./16;

D10=RISK(137,:)+RISK(138,:)+RISK(139,:)+RISK(140,:)+RISK(141,:)+RISK(142,:)+RISK(143,:)+RISK(144,:)+RISK(145,:)+RISK(146,:)+RISK(147,:)+RISK(148,:)+RISK(149,:);
D10pf=D10./13;

D11=RISK(150,:)+RISK(151,:)+RISK(152,:)+RISK(153,:)+RISK(154,:)+RISK(155,:)+RISK(156,:)+RISK(157,:)+RISK(158,:)+RISK(159,:)+RISK(160,:)+RISK(161,:)+RISK(162,:)+RISK(163,:)+RISK(164,:)+RISK(165,:)+RISK(166,:)+RISK(167,:)+RISK(168,:)+RISK(169,:)+RISK(170,:)+RISK(171,:)+RISK(172,:);
D11pf=D11./23;

D12=RISK(173,:)+RISK(174,:)+RISK(175,:)+RISK(176,:)+RISK(177,:)+RISK(178,:)+RISK(179,:)+RISK(180,:)+RISK(181,:)+RISK(182,:)+RISK(183,:)+RISK(184,:)+RISK(185,:)+RISK(186,:)+RISK(187,:)+RISK(188,:)+RISK(189,:)+RISK(190,:)+RISK(191,:);
D12pf=D12./19;

D14=RISK(201,:)+RISK(202,:)+RISK(203,:)+RISK(204,:)+RISK(205,:)+RISK(206,:)+RISK(207,:)+RISK(208,:)+RISK(209,:)+RISK(210,:)+RISK(211,:)+RISK(212,:)+RISK(213,:)+RISK(214,:)+RISK(215,:)+RISK(216,:)+RISK(217,:)+RISK(218,:)+RISK(219,:)+RISK(220,:)+RISK(221,:)+RISK(222,:)+RISK(223,:);
D14pf=D14./23;

D15=RISK(224,:)+RISK(225,:)+RISK(226,:)+RISK(227,:)+RISK(228,:)+RISK(229,:)+RISK(230,:)+RISK(231,:)+RISK(232,:)+RISK(233,:)+RISK(234,:)+RISK(235,:)+RISK(236,:)+RISK(237,:)+RISK(238,:)+RISK(239,:)+RISK(240,:)+RISK(241,:)+RISK(242,:)+RISK(243,:)+RISK(244,:)+RISK(245,:)+RISK(246,:)+RISK(247,:)+RISK(248,:)+RISK(249,:)+RISK(250,:)+RISK(251,:)+RISK(252,:)+RISK(253,:)+RISK(254,:)+RISK(255,:)+RISK(256,:)+RISK(257,:)+RISK(258,:)+RISK(259,:)+RISK(260,:)+RISK(261,:)+RISK(262,:)+RISK(263,:)+RISK(264,:)+RISK(265,:)+RISK(266,:)+RISK(267,:)+RISK(268,:)+RISK(269,:)+RISK(270,:)+RISK(271,:);
D15pf=D15./48;

D16=RISK(272,:)+RISK(273,:)+RISK(274,:)+RISK(275,:)+RISK(276,:)+RISK(277,:)+RISK(278,:)+RISK(279,:)+RISK(280,:)+RISK(281,:)+RISK(282,:)+RISK(283,:)+RISK(284,:)+RISK(285,:)+RISK(286,:)+RISK(287,:)+RISK(288,:)+RISK(289,:)+RISK(290,:)+RISK(291,:)+RISK(292,:)+RISK(293,:)+RISK(294,:)+RISK(295,:)+RISK(296,:)+RISK(297,:)+RISK(298,:);
D16pf=D16./27;

%Funktionen nedan skapar en matris med de största och minsta värdena som de olika delområdena antar enligt fördelningen ovan.

```
data2=xlsread('Kostnader');    %Läser in data från ett excelblad

kostnad=[data2(1,7);data2(2,7);data2(4,7);data2(5,7);data2(6,7);data2(7,7);
data2(8,7);data2(9,7);data2(10,7);data2(11,7);data2(12,7);data2(13,7);data2
(15,7);data2(16,7);data2(17,7)];
nummer=[0;1;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;14;15;16];

Matrisen=[D0pf;D1pf;D3pf;D4pf;D5pf;D6pf;D7pf;D8pf;D9pf;D10pf;D11pf;D12pf;D1
4pf;D15pf;D16pf];
Tmat=transpose(Matrisen);
figure()
boxplot(Tmat, nummer)          %Plottar behovsvärden/fastighet för varje
delområde i en boxplot
xlabel('Delområde');
ylabel('Behov per fastighet');
figure()
boxplot(Tmat,kostnad)          %Plottar behovsvärden/fastighet för varje
delområde i en boxplot
xlabel('Kostnad per fastighet (kr)');
ylabel('Behov per fastighet');

%Kostnads-behovsanalysen
KB0=D0pf*data2(1,7);
KB1=D1pf*data2(2,7);
KB3=D3pf*data2(4,7);
KB4=D4pf*data2(5,7);
KB5=D5pf*data2(6,7);
KB6=D6pf*data2(7,7);
KB7=D7pf*data2(8,7);
KB8=D8pf*data2(9,7);
KB9=D9pf*data2(10,7);
KB10=D10pf*data2(11,7);
KB11=D11pf*data2(12,7);
KB12=D12pf*data2(13,7);
KB14=D14pf*data2(15,7);
KB15=D15pf*data2(16,7);
KB16=D16pf*data2(17,7);

KB=[KB0;KB1;KB3;KB4;KB5;KB6;KB7;KB8;KB9;KB10;KB11;KB12;KB14;KB15;KB16];
a=[];

for i=1:1000
if min(KB(:,i))==KB0(i)
    a(i)=0;
elseif min(KB(:,i))==KB1(i)
    a(i)=1;
    elseif min(KB(:,i))==KB3(i)
    a(i)=3;
    elseif min(KB(:,i))==KB4(i)
    a(i)=4;
    elseif min(KB(:,i))==KB5(i)
    a(i)=5;
    elseif min(KB(:,i))==KB6(i)
    a(i)=6;
    elseif min(KB(:,i))==KB7(i)
    a(i)=7;
```

```

elseif min(KB(:,i))==KB8(i)
a(i)=8;
elseif min(KB(:,i))==KB9(i)
a(i)=9;
elseif min(KB(:,i))==KB10(i)
a(i)=10;
elseif min(KB(:,i))==KB11(i)
a(i)=11;
elseif min(KB(:,i))==KB12(i)
a(i)=12;
elseif min(KB(:,i))==KB14(i)
a(i)=14;
elseif min(KB(:,i))==KB15(i)
a(i)=15;
elseif min(KB(:,i))==KB16(i)
a(i)=16;
end
end
figure()
histogram(a)
xlabel('Delområde')
ylabel('Frekvens, kostnads-behovsanalys')

% Linjär additiv metod
vk=0.5;
vb=0.5;

KB0=D0pf*vb+data2(1,8)*vk;
KB1=D1pf*vb+data2(2,8)*vk;
KB3=D3pf*vb+data2(4,8)*vk;
KB4=D4pf*vb+data2(5,8)*vk;
KB5=D5pf*vb+data2(6,8)*vk;
KB6=D6pf*vb+data2(7,8)*vk;
KB7=D7pf*vb+data2(8,8)*vk;
KB8=D8pf*vb+data2(9,8)*vk;
KB9=D9pf*vb+data2(10,8)*vk;
KB10=D10pf*vb+data2(11,8)*vk;
KB11=D11pf*vb+data2(12,8)*vk;
KB12=D12pf*vb+data2(13,8)*vk;
KB14=D14pf*vb+data2(15,8)*vk;
KB15=D15pf*vb+data2(16,8)*vk;
KB16=D16pf*vb+data2(17,8)*vk;

KB=[KB0;KB1;KB3;KB4;KB5;KB6;KB7;KB8;KB9;KB10;KB11;KB12;KB14;KB15;KB16];
a=[];

for i=1:1000
if min(KB(:,i))==KB0(i)
a(i)=0;
elseif min(KB(:,i))==KB1(i)
a(i)=1;
elseif min(KB(:,i))==KB3(i)
a(i)=3;
elseif min(KB(:,i))==KB4(i)
a(i)=4;
elseif min(KB(:,i))==KB5(i)
a(i)=5;
elseif min(KB(:,i))==KB6(i)
a(i)=6;
elseif min(KB(:,i))==KB7(i)
a(i)=7;
elseif min(KB(:,i))==KB8(i)

```

```

a(i)=8;
elseif min(KB(:,i))==KB9(i)
a(i)=9;
elseif min(KB(:,i))==KB10(i)
a(i)=10;
elseif min(KB(:,i))==KB11(i)
a(i)=11;
elseif min(KB(:,i))==KB12(i)
a(i)=12;
elseif min(KB(:,i))==KB14(i)
a(i)=14;
elseif min(KB(:,i))==KB15(i)
a(i)=15;
elseif min(KB(:,i))==KB16(i)
a(i)=16;
end
end

figure()
histogram(a)
xlabel('Delområde')
ylabel('Frekvens, linjär additiv metod')

```

8.9.5 Kod som användes för att ta fram figur 18

Kod för känslighetsanalysen av viktningen som har använts för figur 18.

```

data=xlsread('Data.xlsx'); %Läser in data från ett excelblad
Mp=data(:,1); %Vektor med risken för stora mängder tillskottsvatten
Mk=data(:,2); %Vektor med risken för källarversvämningar
Kp=data(:,3);
Kk=data(:,4);
Bp=data(:,5); %Vektor med risken för bröddningar
Bk=data(:,6);

mv1=0.19012327; %Medelvärdet av vikterna för risk för stora mängder
tillskottsvatten, beräknade från enkätsvaren
mv2=0.54786482; %Medelvärdet av vikterna för risk för
källarversvämningar, beräknade från enkätsvaren
mv3=0.26201191; %Medelvärdet av vikterna för risk för bröddningar,
beräknade från enkätsvaren

maxmv1=mv1+0.1;
minmv1=mv1-0.1;
peakmv1=0.20508754; %Medianen för vikt 1
maxmv2=mv2+0.1;
minmv2=mv2-0.1;
peakmv2=0.52338913; %Medianen för vikt 2
maxmv3=1-(minmv1+minmv2);
minmv3=1-(maxmv1+maxmv2);
peakmv3=0.27152332; %Medianen för vikt 3

w11=makedist('Triangular','a',minmv1,'b',peakmv1,'c',maxmv1); %Vikterna
slumpas 1000 gånger enligt en likformig fördelning som utgår från
resultaten från enkätundersökningen
w22=makedist('Triangular','a',minmv2,'b',peakmv2,'c',maxmv2);

w1=random(w11,1000,1);
w2=random(w22,1000,1);

```

```

for i=1:1000
w3(i)=1-(w1(i)+w2(i));
    if w3(i)<0 %Ingen vikt får vara negativ så om w3<0
s%tts den till noll och den vikt som blir över fördelas lika på w1 och w2
får att få summan att bli 1
        w1(i)=w1(i)+0.5*w3(i);
        w2(i)=w2(i)+0.5*w3(i);
        w3(i)=0;
    end
end
w3=transpose(w3);

for i=1:298
    for n=1:1000

RISK(i,n)=(Mp(i).*Mk(i).*w1(n))+(Kp(i).*Kk(i).*w2(n))+(Bp(i).*Bk(i).*w3(n))
; %Skapar en matris med alla slumpade behovsvärden som kolumner och husen
som rader
end
end

%Nedan beräknas behovsvärdena för de olika delområdena utgående från de
%slumpade vikterna
D0=RISK(1,:)+RISK(2,:)+RISK(3,:)+RISK(4,:)+RISK(5,:)+RISK(6,:)+RISK(7,:)+RISK(8,:);
D0pf=D0./8;

D1=RISK(9,:)+RISK(10,:)+RISK(11,:)+RISK(12,:)+RISK(13,:)+RISK(14,:)+RISK(15,
:)+RISK(16,:)+RISK(17,:)+RISK(18,:)+RISK(19,:)+RISK(20,:)+RISK(21,:)+RISK(
22,:)+RISK(23,:)+RISK(24,:)+RISK(25,:)+RISK(26,:)+RISK(27,:)+RISK(28,:)+RISK
(29,:)+RISK(30,:)+RISK(31,:)+RISK(32,:)+RISK(33,:)+RISK(34,:);
D1pf=D1./26;

D3=RISK(50,:)+RISK(51,:)+RISK(52,:)+RISK(53,:)+RISK(54,:)+RISK(55,:)+RISK(5
6,:)+RISK(57,:)+RISK(58,:)+RISK(59,:);
D3pf=D3./10;

D4=RISK(60,:)+RISK(61,:)+RISK(62,:)+RISK(63,:)+RISK(64,:)+RISK(65,:)+RISK(6
6,:)+RISK(67,:)+RISK(68,:)+RISK(69,:)+RISK(70,:)+RISK(71,:)+RISK(72,:)+RISK
(73,:)+RISK(74,:);
D4pf=D4./15;

D5=RISK(75,:)+RISK(76,:)+RISK(77,:)+RISK(78,:)+RISK(79,:)+RISK(80,:)+RISK(8
1,:)+RISK(82,:)+RISK(83,:)+RISK(84,:);
D5pf=D5./10;

D6=RISK(85,:)+RISK(86,:)+RISK(87,:)+RISK(88,:)+RISK(89,:);
D6pf=D6./5;

D7=RISK(90,:)+RISK(91,:)+RISK(92,:)+RISK(93,:)+RISK(94,:)+RISK(95,:)+RISK(9
6,:)+RISK(97,:)+RISK(98,:)+RISK(99,:)+RISK(100,:)+RISK(101,:)+RISK(102,:)+R
ISK(103,:)+RISK(104,:)+RISK(105,:)+RISK(106,:)+RISK(107,:)+RISK(108,:)+RISK
(109,:)+RISK(110,:)+RISK(111,:)+RISK(112,:)+RISK(113,:)+RISK(114,:);
D7pf=D7./25;

D8=RISK(115,:)+RISK(116,:)+RISK(117,:)+RISK(118,:)+RISK(119,:)+RISK(120,:);
D8pf=D8/6;

D9=RISK(121,:)+RISK(122,:)+RISK(123,:)+RISK(124,:)+RISK(125,:)+RISK(126,:)+
RISK(127,:)+RISK(128,:)+RISK(129,:)+RISK(130,:)+RISK(131,:)+RISK(132,:)+RIS

```

```

K(133,:)+RISK(134,:)+RISK(135,:)+RISK(136,:);
D9pf=D9./16;

D10=RISK(137,:)+RISK(138,:)+RISK(139,:)+RISK(140,:)+RISK(141,:)+RISK(142,:)+
RISK(143,:)+RISK(144,:)+RISK(145,:)+RISK(146,:)+RISK(147,:)+RISK(148,:)+RISK(149,:);
D10pf=D10./13;

D11=RISK(150,:)+RISK(151,:)+RISK(152,:)+RISK(153,:)+RISK(154,:)+RISK(155,:)+
RISK(156,:)+RISK(157,:)+RISK(158,:)+RISK(159,:)+RISK(160,:)+RISK(161,:)+RISK(162,:)+
RISK(163,:)+RISK(164,:)+RISK(165,:)+RISK(166,:)+RISK(167,:)+RISK(168,:)+RISK(169,:)+
RISK(170,:)+RISK(171,:)+RISK(172,:);
D11pf=D11./23;

D12=RISK(173,:)+RISK(174,:)+RISK(175,:)+RISK(176,:)+RISK(177,:)+RISK(178,:)+
RISK(179,:)+RISK(180,:)+RISK(181,:)+RISK(182,:)+RISK(183,:)+RISK(184,:)+RISK(185,:)+
RISK(186,:)+RISK(187,:)+RISK(188,:)+RISK(189,:)+RISK(190,:)+RISK(191,:);
D12pf=D12./19;

D14=RISK(201,:)+RISK(202,:)+RISK(203,:)+RISK(204,:)+RISK(205,:)+RISK(206,:)+
RISK(207,:)+RISK(208,:)+RISK(209,:)+RISK(210,:)+RISK(211,:)+RISK(212,:)+RISK(213,:)+
RISK(214,:)+RISK(215,:)+RISK(216,:)+RISK(217,:)+RISK(218,:)+RISK(219,:)+RISK(220,:)+
RISK(221,:)+RISK(222,:)+RISK(223,:);
D14pf=D14./23;

D15=RISK(224,:)+RISK(225,:)+RISK(226,:)+RISK(227,:)+RISK(228,:)+RISK(229,:)+
RISK(230,:)+RISK(231,:)+RISK(232,:)+RISK(233,:)+RISK(234,:)+RISK(235,:)+RISK(236,:)+
RISK(237,:)+RISK(238,:)+RISK(239,:)+RISK(240,:)+RISK(241,:)+RISK(242,:)+RISK(243,:)+
RISK(244,:)+RISK(245,:)+RISK(246,:)+RISK(247,:)+RISK(248,:)+RISK(249,:)+RISK(250,:)+
RISK(251,:)+RISK(252,:)+RISK(253,:)+RISK(254,:)+RISK(255,:)+RISK(256,:)+RISK(257,:)+
RISK(258,:)+RISK(259,:)+RISK(260,:)+RISK(261,:)+RISK(262,:)+RISK(263,:)+RISK(264,:)+
RISK(265,:)+RISK(266,:)+RISK(267,:)+RISK(268,:)+RISK(269,:)+RISK(270,:)+RISK(271,:);
D15pf=D15./48;

D16=RISK(272,:)+RISK(273,:)+RISK(274,:)+RISK(275,:)+RISK(276,:)+RISK(277,:)+
RISK(278,:)+RISK(279,:)+RISK(280,:)+RISK(281,:)+RISK(282,:)+RISK(283,:)+RISK(284,:)+
RISK(285,:)+RISK(286,:)+RISK(287,:)+RISK(288,:)+RISK(289,:)+RISK(290,:)+RISK(291,:)+
RISK(292,:)+RISK(293,:)+RISK(294,:)+RISK(295,:)+RISK(296,:)+RISK(297,:)+RISK(298,:);
D16pf=D16./27;

%Funktionen nedan skapar en matris med de största och minsta värdena som de
%olika delområdena antar enligt fördelningen ovan.

data2=xlsread('Kostnader'); %Läser in data från ett excelblad

kostnad=[data2(1,7);data2(2,7);data2(4,7);data2(5,7);data2(6,7);data2(7,7);
data2(8,7);data2(9,7);data2(10,7);data2(11,7);data2(12,7);data2(13,7);data2(15,7);
data2(16,7);data2(17,7)];
nummer=[0;1;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;14;15;16];

Matrisen=[D0pf;D1pf;D3pf;D4pf;D5pf;D6pf;D7pf;D8pf;D9pf;D10pf;D11pf;D12pf;D14pf;
D15pf;D16pf];
Tmat=transpose(Matrisen);
figure()
boxplot(Tmat, nummer) %Plottar behovsvärden/fastighet för varje
delområde i en boxplot
xlabel('Delområde');

```

```

ylabel('Behov per fastighet');
figure()
boxplot(Tmat,kostnad)           %Plottar behovsvärden/fastighet för varje
delområde i en boxplot
xlabel('Kostnad per fastighet (kr)');
ylabel('Behov per fastighet');

%Kostnads-behovsanalysen
KB0=D0pf*data2(1,7);
KB1=D1pf*data2(2,7);
KB3=D3pf*data2(4,7);
KB4=D4pf*data2(5,7);
KB5=D5pf*data2(6,7);
KB6=D6pf*data2(7,7);
KB7=D7pf*data2(8,7);
KB8=D8pf*data2(9,7);
KB9=D9pf*data2(10,7);
KB10=D10pf*data2(11,7);
KB11=D11pf*data2(12,7);
KB12=D12pf*data2(13,7);
KB14=D14pf*data2(15,7);
KB15=D15pf*data2(16,7);
KB16=D16pf*data2(17,7);

KB=[KB0;KB1;KB3;KB4;KB5;KB6;KB7;KB8;KB9;KB10;KB11;KB12;KB14;KB15;KB16];
a=[];

for i=1:1000
if min(KB(:,i))==KB0(i)
    a(i)=0;
elseif min(KB(:,i))==KB1(i)
    a(i)=1;
    elseif min(KB(:,i))==KB3(i)
        a(i)=3;
    elseif min(KB(:,i))==KB4(i)
        a(i)=4;
    elseif min(KB(:,i))==KB5(i)
        a(i)=5;
    elseif min(KB(:,i))==KB6(i)
        a(i)=6;
    elseif min(KB(:,i))==KB7(i)
        a(i)=7;
    elseif min(KB(:,i))==KB8(i)
        a(i)=8;
    elseif min(KB(:,i))==KB9(i)
        a(i)=9;
    elseif min(KB(:,i))==KB10(i)
        a(i)=10;
    elseif min(KB(:,i))==KB11(i)
        a(i)=11;
    elseif min(KB(:,i))==KB12(i)
        a(i)=12;
    elseif min(KB(:,i))==KB14(i)
        a(i)=14;
    elseif min(KB(:,i))==KB15(i)
        a(i)=15;
    elseif min(KB(:,i))==KB16(i)
        a(i)=16;
end
end
figure()
histogram(a)

```

```

xlabel('Delområde')
ylabel('Frekvens, kostnads-behovsanalys')

% Linjär additiv metod
vk=0.5;
vb=0.5;

KB0=D0pf*vb+data2(1,8)*vk;
KB1=D1pf*vb+data2(2,8)*vk;
KB3=D3pf*vb+data2(4,8)*vk;
KB4=D4pf*vb+data2(5,8)*vk;
KB5=D5pf*vb+data2(6,8)*vk;
KB6=D6pf*vb+data2(7,8)*vk;
KB7=D7pf*vb+data2(8,8)*vk;
KB8=D8pf*vb+data2(9,8)*vk;
KB9=D9pf*vb+data2(10,8)*vk;
KB10=D10pf*vb+data2(11,8)*vk;
KB11=D11pf*vb+data2(12,8)*vk;
KB12=D12pf*vb+data2(13,8)*vk;
KB14=D14pf*vb+data2(15,8)*vk;
KB15=D15pf*vb+data2(16,8)*vk;
KB16=D16pf*vb+data2(17,8)*vk;

KB=[KB0;KB1;KB3;KB4;KB5;KB6;KB7;KB8;KB9;KB10;KB11;KB12;KB14;KB15;KB16];
a=[];

for i=1:1000
if min(KB(:,i))==KB0(i)
    a(i)=0;
elseif min(KB(:,i))==KB1(i)
    a(i)=1;
elseif min(KB(:,i))==KB3(i)
    a(i)=3;
elseif min(KB(:,i))==KB4(i)
    a(i)=4;
elseif min(KB(:,i))==KB5(i)
    a(i)=5;
elseif min(KB(:,i))==KB6(i)
    a(i)=6;
elseif min(KB(:,i))==KB7(i)
    a(i)=7;
elseif min(KB(:,i))==KB8(i)
    a(i)=8;
elseif min(KB(:,i))==KB9(i)
    a(i)=9;
elseif min(KB(:,i))==KB10(i)
    a(i)=10;
elseif min(KB(:,i))==KB11(i)
    a(i)=11;
elseif min(KB(:,i))==KB12(i)
    a(i)=12;
elseif min(KB(:,i))==KB14(i)
    a(i)=14;
elseif min(KB(:,i))==KB15(i)
    a(i)=15;
elseif min(KB(:,i))==KB16(i)
    a(i)=16;
end
end

figure()
histogram(a)

```

```
xlabel('Delområde')  
ylabel('Frekvens, linjær additiv metod')
```