

# Öppet dagvattensystem för Norra Borstahusen

Modellering med MIKE SHE med fokus på  
svackdikens effekter på översvämningsrisker  
i ett framtida bostadsområde

---

Embla J. Mýrdal  
Erica Sternsén





# Öppna dagvattensystem för Norra Borstahusen

Modellering med MIKE SHE med fokus på  
svackdikens effekter på översvämningsrisker  
i ett framtida bostadsområde

Embla J. Mýrdal  
Erica Sternsén



## 1. Förord

Examensarbetet gjordes i samarbetet med avdelningen Teknisk Vattenresurslära på Lunds Tekniska Högskola och DHI Sverige AB i Lund på uppdrag av Landskrona stad.

Vi vill tacka DHI i Lund, särskilt vår handledare Erik Mårtensson. Vi vill också tacka Lars-Göran Bengtsson och Magnus Holmqvist på DHI i Växjö. Utan er hjälp hade examensarbetet inte varit möjligt.

Vår handledare på Tekniska Vattenresurslära, Johanna Sörensen har gett oss många värdefulla kommentarer och råd och förtjänar ett stort tack.

Vi vill även tacka våra familjer samt Erik och Daniel för deras stöd.

Lund 2013

Embla J. Mýrdal  
Erica Sternsén

## 2. Sammanfattning

I Landskrona ska det nya bostadsområdet Norra Borstahusen byggas. Genom området rinner Säbybäcken, dit bostadsområden kommer ha sin huvudsakliga avrinning. Syftet med examensarbetet, med önskan från Landskrona stad, har varit att undersöka möjligheterna att införa ett öppet dagvattensystem, särskilt en lösning med svackdiken.

För området har en hydrologisk modell skapats sedan tidigare i programmet MIKE SHE. Modellen skapades av DHI Sverige AB för att undersöka effekter av framtida havsnivåhöjningar och grundvattennivåer. Modellen användes i examensarbetet för att undersöka möjligheterna att använda svackdiken för att avleda regnvatten från vägar och fastigheter i bostadsområdet.

Lösningar med svackdiken har skapats i modellen för att avleda vatten från ett 10- respektive ett 100-årsregn. Arbetet fokuserade främst på placeringen av svackdiken men även en översiktlig dimensionering gjordes. Lösningen för att hantera ett 10-årsregn studerades i detalj. Genom att undersöka denna lösning har sårbara områden identifierats och råd kring höjdsättning gjorts. Från modellresultaten kan man se att det är möjligt att ha en öppen dagvattenlösning i form av svackdiken i Norra Borstahusen. Men det rekommenderas att andra utformningar av öppna dagvattenlösningar används i kombination med svackdiken för att skapa en helhetslösning och ett mer hållbart öppet dagvattensystem.

Idag är en del av Säbybäcken kulverterad och som ett sista steg i arbetet öppnades den kulverterade delen av bäcken och gjordes om till en meandrande bäckfåra i modellen. Effekter från 10- och 100-årsregn undersöktes för den nya sträckningen.

**Nyckelord:** Svackdiken, MIKE SHE, öppen dagvattenhantering, hydrologisk modellering, Norra Borstahusen

### 3. Abstract

In the city of Landskrona the new residential area Norra Borstahusen will be constructed. The watercourse Säbybäcken runs through the area and is the main recipient of the area. The purpose of the master thesis, by request from Landskrona city, was to investigate the possibilities of sustainable urban drainage, especially drainage using swales.

A hydrological model of the area has previously been created by DHI Sweden AB in the software MIKE SHE. This was used to examine effects due to future sea level rise and change in groundwater levels. The model is used during the thesis to investigate the possibility of using swales as a drainage solution to avert rainwater from roads and properties. The swales were inserted into the model and the placement was investigated to avert extreme rainfall. Solutions with swales are made to divert water from a 10- and a 100-year rainfall. The main focus was to investigate the placement and give a rough estimate of the dimensions of the swale system. The solution of the 10-year rainfall was studied in detail. From this study vulnerable areas could be identified and suggestion of topography changes could be given. The conclusion made from the modeling results is that it is possible to have urban drainage using swales in the area.

However, it is recommended that a combination of other types of sustainable drainage solutions are used in addition in order to create a more sustainable and complete system.

Parts of the watercourse consist of a culvert section. As a final step in the project, the effects of a 10- and a 100-year rainfall on the watercourse was investigated as the culvert section was changed into a meandering watercourse.

**Keywords:** Swale, MIKE SHE, sustainable urban drainage, hydrological modeling, Norra Borstahusen

## Innehåll

|   |     |
|---|-----|
| 1. <i>Förord</i> .....  | v   |
| 2. <i>Sammanfattning</i> .....  | vi  |
| 3. <i>Abstract</i> .....  | vii |
| 4. <i>Inledning</i> .....   | 1   |
| <b>Bakgrund</b> .....   | 1   |
| <b>Mål</b> .....  | 1   |
| <b>Avgränsningar</b> .....  | 2   |
| 5. <i>Dagvattenhantering</i> .....  | 4   |
| <b>Traditionell dagvattenhantering</b> .....                                    | 4   |
| <b>Öppen dagvattenhantering</b> .....   | 7   |
| Olika kategorier av öppen dagvattenhantering .....                              | 7   |
| Mervärden vid öppen dagvattenhantering .....                                    | 10  |
| Potentiella nackdelar med öppna dagvattensystem .....                           | 12  |
| <b>Svackdiken</b> .....   | 13  |
| Olika typer av svackdiken .....   | 13  |
| Teknisk utformning och utseende.....  | 14  |
| Svackdikets flödesreducerande och fördröjande effekt .....                      | 16  |
| Föroreningsreduktion i svackdiken.....  | 17  |
| Underhåll .....   | 19  |
| Svackdiken till att förvara snö .....   | 19  |
| Varför undersöka svackdiken som dagvattenhantering för Norra Borstahusen? ..... | 20  |
| 6. <i>Hydrologiska modeller</i> .....   | 21  |
| MIKE SHE (Système Hydrologique Européen).....                                   | 23  |
| 7. <i>MIKE SHE för Norra Borstahusen</i> .....                                  | 24  |
| <b>Modellområde och topografi</b> .....   | 25  |
| <b>Meteorologisk data</b> .....   | 26  |
| <b>Omättad zon</b> .....  | 29  |
| <b>Mättad zon och dränering</b> .....   | 30  |
| <b>Säbybäcken</b> .....   | 30  |
| 8. <i>Arbetsgång och metod</i> .....  | 32  |
| <b>Höjdsättning</b> .....   | 33  |
| Effekter av ny höjdsättning .....   | 34  |
| <b>Svackdiken i modellen</b> .....  | 36  |
| Dränerings- och grundvattenförhållanden .....                                   | 38  |



|  |           |
|--|-----------|
| Skillnader mellan modell-, teoretiska och verkliga svackdiken .....          | 40        |
| Alternativa metoder .....  | 42        |
| <b>Max- och minlösning för dagvattenhantering .....</b>                      | <b>42</b> |
| Maxlösning .....   | 42        |
| Minlösning .....   | 43        |
| <b>Utformning av Säbybäcken.....</b>   | <b>43</b> |
| <b>9. Resultat av modellsimuleringar.....</b>                                | <b>45</b> |
| Områdesindelning.....  | 45        |
| Beräknade ytvattendjup utan dagvattenhantering.....                          | 46        |
| <b>Resultat av svackdiken inkluderade i modellen .....</b>                   | <b>49</b> |
| Placering av svackdiken .....  | 49        |
| Jämförelse av max- och minlösning .....                                      | 56        |
| <b>Detaljerad genomgång och diskussion av resultat från minlösning .....</b> | <b>57</b> |
| Område 1 .....   | 58        |
| Område 2 .....   | 60        |
| Område 3 .....   | 61        |
| Område 4 .....   | 63        |
| Område 5 .....   | 64        |
| <b>Sammanfattning av utsatta fastigheter och höjdsättning.....</b>           | <b>65</b> |
| <b>Dimensionering av svackdikena .....</b>                                   | <b>67</b> |
| <b>Resultat av öppning av Säbybäckens kulverterade sträckning .....</b>      | <b>69</b> |
| <b>10. Diskussion och slutsats .....</b>                                     | <b>75</b> |
| Svackdiken som dagvattenlösning.....   | 75        |
| Modellen .....   | 76        |
| Förslag till fortsatta studier .....   | 78        |
| <b>11. Litteraturlista.....</b>  | <b>79</b> |
| <b>12. Appendix A .....</b>  | <b>83</b> |
| <b>13. Appendix B .....</b>  | <b>92</b> |

## 4. Inledning

### Bakgrund

Landskrona ligger i västra Skåne vid Öresunds kust och kommunen har ca. 40 000 invånare. Det finns ett stort intresse för strandnära tomter i regionen och Landskrona Stad har därför beslutat att exploatera området Norra Borstahusen norr om stadskärnan. Det nya bostadsområdet kommer att byggas ut med ca 1000 nya bostäder och det finns ett intresse för öppen dagvattenhantering i de nya kvarteren (Landskrona Stad, 2013).

Norra Borstahusen kommer att angränsa till hav, åkermark och befintlig bebyggelse, se figur 1. Säbybäcken rinner genom området och dit har också området sin huvudsakliga avrinning. I dagsläget är bäckfåran delvis kulverterad. Denna sträckning planeras att öppnas upp och få meandrande utseende. Idag utgörs Norra Borstahusen av en golfbana, ett grönområde och åkermark i de östra delarna. Golfbanan och en närliggande fritidsanläggning kommer att flyttas norr om de nya bostadskvarteren.

I tidigare studier har översvämningsrisker och grundvattennivåer för området till följd av förväntade klimatförändringar (stigande havsnivåer och extrema regn) utretts precis som förändrade avrinningsförhållanden vid den planerade nyexploateringen (DHI, 2012). Dessa studier har främst syftat till att belysa de generella möjligheterna till öppen dagvattenhantering i området, samt peka på behov av dränerande åtgärder och översvämningsrisker från Säbybäcken och havet. Det finns därför ett behov av en fördjupad analys i syfte att bedöma effekterna av specifika lösningar som exempelvis svackdiken, dammar och förändringar i bäcken.

### Mål

De huvudsakliga målen med studien har varit att:

- ◆ Utredda effekten av svackdiken som öppen dagvattenlösning med befintlig hydrologisk modell för området
- ◆ Optimera placering av svackdiken för att undvika översvämning av bostäder och vägar i samband med extremregn
- ◆ Undersöka effekten av ändrad utformning av Säbybäcken på översvämningssituationen i området

## **Avgränsningar**

- ◆ Examensarbetet har enbart sett till placering och ungefärlig dimensionering av svackdiken. Hydrodynamiken i varje svackdike har inte studeras.
- ◆ Resultaten kommer inte att jämföras med ett konventionellt dagvattensystem för området. Detta har gjorts i tidigare studie av DHI (DHI, 2012).
- ◆ Frågor som rör kostnader för uppförande och underhåll av ett öppet dagvattensystem kommer inte att undersökas.
- ◆ Föroreningsreduktion och föroreningstransport i svackdiken kommer inte att behandlas i modelleringen men beskrivs övergripande i litteraturstudien.



Figur 1. Översiktsplan av Norra Borstahuset's framtida bostadsområde. Befintliga bostäder är markerade med vit bakgrund. Området angränsar till befintliga bostäder, hav och åkermark. Undersökningsområdet för examensarbetet är markerat innanför svart linje.

## 5. Dagvattenhantering

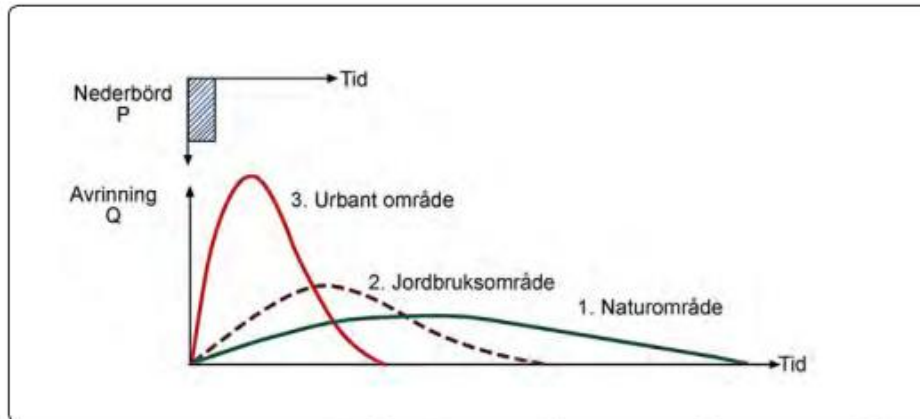
Vid utbyggnad av tätorter täcks tidigare växtbeksidda och genomsläppliga ytor med impermeabla material så som asfalt och betong. Detta gör att den naturliga hydrologiska cykeln störs; infiltration, avdunstning och upptag av vatten i växter minskar medan ytavrinning ökar. Ytvatten som uppstår på hårdgjorda ytor i bebyggd miljö benämns dagvatten. Dagvatten kan beskrivas som tillfälliga flöden av nederbördsvatten från regn eller snösmältning som inte infiltreras i marken utan avrinner på markytan (Vägverket, 2008).

### Traditionell dagvattenhantering

Historiskt sett har man hanterat dagvatten i tätorter så att det snabbt leds ner i rörledningar under mark med hjälp av brunnar, där det leds vidare till en recipient. En recipient är någon form av mottagande vatten så som hav, sjö, å eller damm. Före 1960 användes ofta så kallade kombinerade system i Sverige. Då fördes dagvatten ut från bebyggelsen i avloppssystemet och blandades alltså med spillvatten. I vissa centrala och äldre delar av städer kan delar av dessa system finnas kvar då de är kostsamma att byta ut (Svenskt Vatten, 2011).

Allt eftersom städer expanderade under 1900-talets senare hälft ökade volymerna av dagvatten från hårdgjorda ytor vilket ledde till att nya separerade system konstruerades. I ett separat, även kallat duplikat system, leds dagvatten utan att blandas med spillvatten genom självfall och pumpstationer genom ledningsnät under mark till en recipient. Det är denna teknik som idag främst används till att avleda dagvatten i tätorter. Separata system är främst konstruerade för att snabbt bli av med vatten från bebyggda områden och är ofta dimensionerade för regn med en återkomsttid på 5-10 år (Stahre, 2011; Vägverket, 2008).

Allt eftersom stadsbebyggelse byggs ut ökar belastningen av dagvatten. En schematisk bild av hur avrinning i stadsområden, jordbruksområden och naturområden skiljer sig visas i figur 2.



**Figur 2. Illustration av de olika avrinningsförloppen vid nederbörd från urbana områden, jordbruksmark och naturmark (NSVA, 2012; Svenskt Vatten, 2011).**

Som syns i figur 2, hindrar hårdgjorda ytor vatten från att infiltrera ner i marken vilket ger ett ökat flöde under en kort tid. Denna ökning innebär både att flödet blir större och att vattnets hastighet ökar (Stahre, 2011). En ytterligare faktor för ökande dagvattenflöden i framtiden är att nederbördsmonstret i Sverige förväntas förändras. Enligt SMHI:s beräkningar kan nederbörden öka med omkring 15 % i Skåne, och nederbörden fördelas mindre jämnt över året. Detta förväntas leda till intensivare regntillfällen under vintermånaderna och torrare perioder på sommaren (SMHI, 2010). De intensivare regnfallen som förväntas i framtiden kan kräva att dagvattensystem i större utsträckning byggs för att utjämna intensiva toppar i ytavrinning för att minska risker för översvämningar.

Ett ytterligare problem med traditionell dagvattenhantering är att vatten ofta förs direkt till recipienten utan någon form av föregående rening. Detta leder till att obehandlat vatten som innehåller föroreningar från stadens ytor hamnar i naturen. För att ge en överskådlig bild av vilka olika sorters föroreningar som uppkommer från urbana områden finns dessa presenterade i tabell 1.

Tabell 1. Kategorier av föroreningar från urbana områden samt exempel på ämne och uppkomst (A.E. Barbosa, 2012).

| Kategori                    | Exempel på föroreningar                                    | Exempel på föroreningskällor                              |
|-----------------------------|--|---|
| <b>Partiklar</b>            | Suspenderade partiklar                                     | Slitage av vägbanor, partiklar från byggnadsplatser       |
| <b>Metaller</b>             | Koppar-, zink-, kadmium-, bly-, nickel- och kromföreningar | Slitage från bilar, vägräcken och stolpar. Industriavfall |
| <b>Organiska föreningar</b> | BOD och COD  | Döda växtdelar, djurspillning                             |
| <b>Mikroorganismer</b>      | Koliforma bakterier och E. Coli bakterier                  | Djurspillning   |
| <b>Närsalter</b>            | Kväve och fosfor   | Gödningsmedel   |

Tabell 1 visar endast en grov fördelning av olika föroreningarna samt deras uppkomst. Det finns många fler ämnen som sprids från bebyggda områden och innehållet i ytavrinning beror på lokala förhållanden så som trafikbelastning, närliggande industrier och vilka material som används i fastigheter. Dessutom påverkas spridningen av föroreningar av nederbördsintensitet och andra klimatfaktorer som påverkar storleken på avrinningen (A.E. Barbosa, 2012). För att minska spridningen av dessa ämnen krävs tekniker för att ansamla dem, men även för nedbrytning så att vattenansamlingar i närhet av bebyggda områden inte långsamt förgiftas och förstörs.

## **Öppen dagvattenhantering**

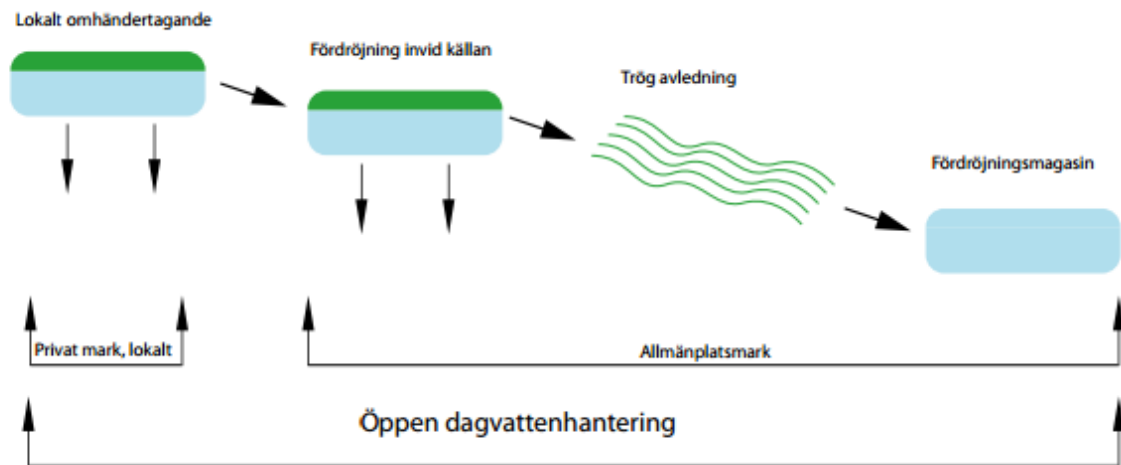
Öppen dagvattenhantering även kallad öppen utjämning, syftar till att leda dagvatten genom öppna system så som kanaler, dammar, diken och bäckar i stadsmiljön så att vattenflödena utjämnas och fördröjs. På detta vis efterliknas naturens eget sätt att omhänderta vatten (Bonn, 2000).

Till skillnad mot traditionell dagvattenhantering syns flera av dessa system då de ligger på ytan och inte nedgrävda i marken. Detta innebär att de måste inkorporeras väl i stadsbilden för att skapa ett bra helhetsuttryck (Svenskt Vatten, 2011). För att uppnå en hållbar öppen dagvattenhantering krävs det att många olika aktörers åsikter uppmärksammas under både planerings- och byggskedet. Det öppna dagvattensystemet är komplext och behöver utformas och omhändertas av olika aktörer för att vara hållbart (Bäckström, 2002). När ett öppet dagvattensystem ska konstrueras ska hänsyn tas till att undersöka områdets utformning och egenskaper. I detta ingår bland annat att undersöka områdets lutning och flödesförhållanden, föroreningshalter, vegetation och andra ekologiska faktorer samt klimatdata, regndata, markförhållanden och jordarter (Lönngren, 2001). Att planera öppna dagvattensystem i kombination med en väl planerad höjdsättning kan också vara ett sätt att förbereda för de intensivare regnfall som förväntas av klimatförändringar (VASYD, 2012). Helhetssynen behöver fortsätta när systemet är i bruk med tanke på underhåll och uppföljning (Svenskt Vatten, 2011).

## **Olika kategorier av öppen dagvattenhantering**

Det finns i grova drag fyra kategorier öppen dagvattenhantering, se figur 3. Ofta överlappar kategorierna varandra och tekniska utformningar kan finnas i flera kategorier beroende på den exakta utformningen (Svenskt Vatten, 2011).





**Figur 3. Illustration av kategorier av öppen dagvattenhantering samt deras placering i avrinningsområdet (Länsstyrelsen i Skåne, 2009; Svenskt Vatten, 2011).**

För att uppnå en god fördröjning och minskning av dagvattenflödena krävs ofta flera av varianterna i kombination på olika platser i avrinningsområdet (Lidström, 2012). De flesta öppna dagvattenlösningar kräver utrymme på de allmänna stadsytor. Lokalt omhändertagande, ofta förkortat LOD sker på den privata tomten. De tre övriga kategorierna är fördröjning vid källan, trög avledning och fördröjningsmagasin (Svenskt Vatten, 2011). I figur 3 illustreras även den ordning kategorierna brukar placeras med avseende på var i avrinningsområdet de finns. De olika kategorierna och tänkbara tekniska utformningar av dessa redovisas kortfattat nedan.

### ***Lokalt omhändertagande (LOD)***

Det lokala omhändertagandet av dagvatten kan ske på privat mark och räknas som tidigt omhändertagande då det sker tidigt i avrinningsområdet. Detta innebär att ytavrinning inte ska runnit långa sträckor på marken innan det omhändertas. Tomtägaren hanterar själv det vatten som faller och tillrinner på tomtmarken och ansvaret för underhåll av dagvattenlösningar är tomtägarens skyldighet (Svenskt Vatten, 2011). Många kommuner uppmuntrar och uppmanar exempelvis till att låta vatten från stuprännor och tak infiltrera på den egna gräsmattan istället för att leda det i det kommunala nätet. Detta kan premieras med sänkta taxor (VASYD, 2012). Andra exempel på LOD är gröna tak och permeabla stenläggningar på uppfarter. Ett ytterligare exempel är regnvattenuppsamling (eng. *rain water harvesting*) för privat bruk, där regnvattnet kan användas till bevattning eller spolning i toaletter. I fallet med LOD så är

minskningen i mängd dagvatten från varje enskild tomt oftast inte betydande för belastningen på dagvattennätet men den sammanlagda effekten från flera fastigheter kan vara betydande för kapaciteten i ledningsnätet (Länsstyrelsen i Skåne, 2009).

### ***Fördröjning invid källan***

Fördröjning nära källan innebär att dagvattnet omhändertas i de övre delarna av avrinningsområdet. På så vis tas en del av vattnet direkt omhand genom infiltrering eller ansamling och ytavrinningen minskar lokalt. Det vatten som inte infiltreras eller ansamlas vid källan fortsätter vidare genom konventionella ledningar eller andra öppna system nedströms. De tekniska utformningar som innefattas är infiltrationsytor som stora gräsmattor eller permeabla beläggningar av sten eller andra material. Exempel på dessa är översilningsytor och parkeringsytor med marksten, istället för asfalt, där vatten kan infiltrera mellan stenarna. Ett problem med dessa konstruktioner är dock att de permeabla materialen kan sättas igen med sediment eller tät gräsväxt. Sker det kommer infiltrationen minska alternativt avta helt och på så vis mister strukturen sin funktion. Dammar och våtmarker är andra exempel på fördröjning nära källan. (Svenskt Vatten, 2011)

### ***Trög avledning***

Trög avledning av dagvatten utgår ifrån att långsamt avleda och fördröja vatten i sänkor. En variant av trög avledning är svackdiken. Svackdiken konstrueras för att avleda och i viss mån infiltrera ytvatten från hårdgjorda ytor som vägar och trottoarer. Detta leder till fördröjning av vattnet och bidrar till bildande av grundvatten. Svackdiken förutsätter att stråk och områden i anslutning till exempelvis vägar lämnas tillgängliga. Andra typer av trög avledning är dammar och bäckar. Detta är varianter där avvattningssystemen tillåts vara bredare och ta större områden i anspråk. (Svenskt Vatten, 2011)

### ***Fördröjningsmagasin***

En samlad fördröjning går ut på att fördröja, ofta större mängder, vatten nedströms i avrinningsområdet. Fördröjningsmagasin kan då agera som buffertmagasin vid stora regnmängder. De tar ofta större plats än andra öppna lösningar. Några utformningar av fördröjningsmagasin är dammar, våtmarker, sjöar och underjordiska kassetter. Utformningen kan ha en permanent vattenspegel eller ligga torrlagd då det inte regnat. De torrlagda ytorna

som tillåts översvämmas vid kraftiga regn är exempelvis idrottsplatser, lekplatser och torg designade för detta.

Hänsyn ska tas till att hantera sediment som kan följa med avrinningen. Till detta konstrueras ofta en särskild sedimenteringssträcka. För ytor med permanent vattenspegel måste särskild hänsyn tas till växtval för att förhindra uppkomst av alger. Alger kan minska den biologiska mångfalden och ger ofta området ett ovårdat och otrevligt utseende (Svenskt Vatten, 2011).

Fördröjningsmagasin kan placeras under jord vid platsbrist. Då anläggs magasineringsskassetter eller betongsektioner under exempelvis parkeringsplatser och vägar. Särskild hänsyn tas till att grundvattennivån ligger väl under kassetten så att denna inte fylls med grundvatten. Magasinen måste även konstrueras så att de kan bära den överliggande tyngden av jord. (Svenskt Vatten, 2011)

### **Mervärden vid öppen dagvattenhantering**

Attityden kring dagvatten har förändrats i Sverige sedan 1990-talet. På flera håll försöker man istället för att se vattnet som ett problem, som snabbt måste ledas ut från bebyggda områden, se vattnet som en resurs som kan skapa mervärden för stadsmiljön. Planeringen kring dagvattenhanteringen ska som tidigare nämns inkluderas i stadsplaneringen och försök till att efterlikna naturens sätt att infiltrera, fördröja och avdunsta vattnet konstrueras (Lönngren, 2001). En väl planerad öppen dagvattenhantering där flera olika instansers kunskaper tagits tillgodo kan bidra till vackrare stadsmiljö med högt estetiskt värde samt främja den biologiska mångfalden inom staden. (Lönngren, 2001; Svenskt Vatten, 2011). Några av de mervärden som kan uppkomma av en väl planerad öppen dagvattenhantering presenteras nedan.

#### ***Tekniska mervärden***

Ett huvudsyfte med en öppen dagvattenhantering är att skapa goda säkerhetsmarginaler för häftiga skyfall och efterföljande översvämningar. Utformningen består ofta av en grön yta eller vattensamling. Utformningarna tillåter avledning av vatten från känsliga områden så som fastighetsområden och vägbanor. Genom kombinationer av tekniska utformningar från de olika kategorierna för öppna dagvattensystem kan dagvattenhanteringen anpassas efter området. En öppen dagvattenhantering kan även kombineras med konventionella ledningssystem. (Stahre, 2008)

### ***Mervärden för miljön***

De gröna zoner som kan skapas i eller i anslutning till den öppna dagvattenhanteringen bidrar till att skapa ekologiska korridorer för växt- och djurliv i staden. Detta kan främja den biologiska mångfalden och inte tvinga ut vissa arter från stadsområdena på grund av den barriär vägar och fastigheter annars utgör för djur- och växtliv (Vägverket, 2003). Att vattnet tillåts stanna i stadsmiljön kan även bidra till renare luft, lokalt sänka temperaturen och ge ett bättre klimat i staden. Ytterligare faktorer är att gröna ytor har lägre värmebindande kapacitet än byggnadsmaterial, vilket minskar lokal upphettning i staden under varma sommarperioder. Vegetation bidrar även till att binda koldioxid och bilda syre och kan också fånga upp luftburna partiklar (Boverket, 2010). Växter har stor betydelse inom öppna dagvattenlösningar, dels för estetiska värden, men också för att de binder vissa föroreningar, bidrar till ökad yta för avdunstning från löv-/barrytan och det sker transpiration av vatten från växten. Växternas rötter binder jorden runt kanter och sluttningar runt öppna utformningar vilket minskar risken för erosion (Bonn, 2000; Boverket, 2010; Lönngren, 2001).

### ***Ekonomiska mervärden***

Ekonomiska besparingar av att använda öppna dagvattenlösningar kan ske på flera vis. Exempelvis kan anläggningskostnader vara billigare för vissa typer av öppna system än för konventionella ledningar. Uppförande av fördröjningsmagasin i ett avrinningsområde kan ha stor effekt på efterföljande avledningsbehov längre ner i dagvattensystemet. Genom att anlägga fördröjningsmagasin och flödesreducerande strukturer kan man spara in på den kostnad det hade inneburit att öka kapaciteten nedströms vid exempelvis byggnation av nya bostadsområden (Stahre, 2008).

En uppdelning av kostnader för omhändertagande av vattenhanteringen kan göras mellan olika förvaltningar inom kommunen/avrinningsområdet. Detta kan bidra till en tydligare fördelning av kostnader och även förtydliga vilket ansvar respektive instans har för kostnad vid uppförande och underhåll (Svenskt Vatten, 2011).

### ***Rekreations-, estetiska och utbildningsmervärden***

I ett väl designat öppet dagvattensystem kan vackra miljöer och stråk anläggas för invånare och besökare att njuta av. Detta görs genom att göra de gröna områden som utgör eller finns i anslutning till dagvattensystemet tillgängligt för besökare genom exempelvis parker och promenadstråk. På vissa platser utgör dagvattenhanteringsområden lekplatser och bollplaner då de står torrlagda. De naturnära områdena inne i staden kan även fungera som uteklassrum för barn och ungdomar. Detta ger en möjlighet att på nära håll lära dem om vattenrelaterade frågor och miljö. (Stahre, 2008; Svenskt Vatten, 2011)

### ***Föroreningsreduktion***

Ett av de mervärden som kan uppkomma förutom kvantitativ vattenhantering är rening av dagvattnet. Reningen sker genom sedimentation, infiltrering, adsorption i jordsediment, upptag i växter och biologisk nerbrytning av föroreningar. Detta kan bidra till en bättre kvalitet på vattnet och minska belastningen av föroreningar på miljön (Bonn, 2000). Intresset för öppen dagvattenhantering har, som tidigare nämnts, ökat i Sverige sedan 1990-talet. Fokus låg till en början huvudsakligen på de fördröjande egenskaperna hos öppna dagvattensystemen, men intresset för de föroreningshanterande egenskaperna ökar. En viktig sak att påpeka tidigt är att många föroreningar, exempelvis metaller, inte bryts ner utan enbart ansamlas i de öppna systemen. Ansamlingen gör att man noggrannare kan kontrollera var föroreningar befinner sig, och på så vis minska deras belastning på recipienter. Därför är det viktigt att komma ihåg att själva reduktionen av läckage av föroreningar från första början är den metod som bäst kommer att bespara miljön i slutändan (Stahre, 2008).

Den främsta reduktionen av olika föroreningar i öppna dagvattensystem sker via adsorption, sedimentation och infiltration. Sedimentation sker när flödet blir så pass långsamt att en vertikal rörelse uppstår av gravitationskraften vilken får partiklar och föroreningar att sedimentera. De ämnen som sedimenterar är bland annat metaller och tyngre föreningar som slitage av bildäck och asfalt. Detta beror på att dessa ofta har relativt hög densitet i förhållande till vattnet. Även gräs och annan växtlighet kan bidra till sedimentationen då partiklar fastnar i växterna (Djerv, 2010). Adsorption sker genom att föroreningar binds till jordmånen i porutrymmen när de infiltrerar ner i marken. När partiklarna väl bundits till jorden mellan porutrymmen kan mikroorganismer i jorden också bidra till att bryta ner vissa ämnen. Den mikrobiologiska nedbrytningen sker exempelvis för vissa oljor och andra större molekyler som spjälkas till mindre föreningar. Det sker även upptag av föroreningar i växter, då främst närsalter som fosfor och kväve. För att uppnå en god reduktion av närsalter kan val av växter ha betydelse (Svenskt Vatten, 2011).

### **Potentiella nackdelar med öppna dagvattensystem**

Vid uppförande och användning av öppna dagvattensystem kan en rad problem uppstå. Några utav de vanligaste problemen är förorening av grundvatten, sedimenteringsproblem och att vattnet inte rinner tillräckligt fort bort från fastigheter och vägar vilket kan leda till bl.a. fuktskador. Andra problem är att öppna system kan vara att fastlägga behovet av skötsel och det kan finnas ökad risk för olyckor i samband med öppna dagvattenlösningar. (Kävlinge Kommun, 2003)

Öppna dagvattensystem kräver också större anspråk av mark i stadsmiljön än ledningsnät under jord. Svårigheten med att uppföra ett hållbart öppet dagvattensystem består ofta i att

kunna tillgodose alla de olika faktorer som är av betydelse. Att uppföra ett system som på lång sikt både är anpassat för den lokala hydrologin, topografin, föroreningsmängden och övriga förutsättningar i området kräver en stor mängd kunskap och planering. Det öppna dagvattensystemet kräver även kontinuerligt underhåll för att inte minska sin funktion.

## **Svackdiken**

Ett svackdike är till skillnad från ett vanligt dike flackare med svagt sluttande slänter och relativt större dikesbotten. Diket är konstruerat för att leda bort och infiltrera det vatten som når diket och de flacka slänterna minskar risken för erosion av dikets kanter (Bäckström, 2002; Clar, 2004; Djerv, 2010). Svackdiket har också ofta en mer föroreningsreducerande funktion än ett vanligt dike (Vägverket, 2003). Svackdiket placeras vanligen i en gräsmatta i anslutning till en hårdgjord yta, exempelvis väg, och har svag lutning i flödesriktningen. Svackdiket kan om det placeras invid en väg även fungera som en säkerhetszon i trafiken för avåkning (Vägverket, 2003). Svackdiken placeras vanligen i bebyggda områden med gles befolkningstäthet och tar då oftast emot dagvatten från ett område på ca 2-4 ha (Bäckström, 2002; Djerv, 2010).

## **Olika typer av svackdiken**

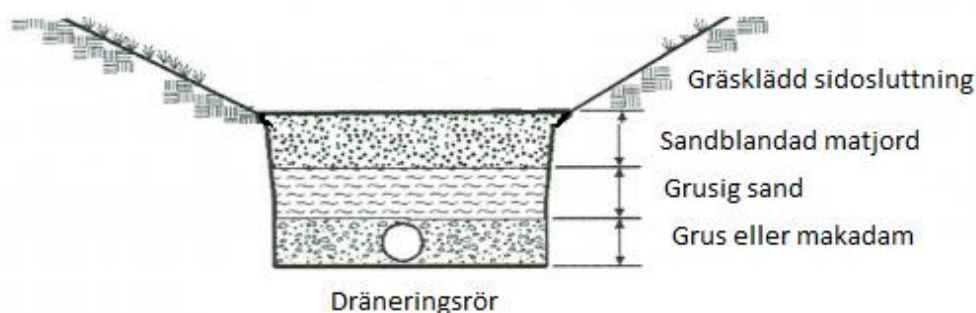
Det finns tre olika typer av svackdiken: naturliga, torra och våta svackdiken. Ett naturligt svackdike är en naturlig urgröpfung i topografin och är ofta gräsklätt. Ibland kan naturliga svackdiken konstrueras genom att förbättra en naturlig fåra (Djerv, 2010).

Torra och våta svackdiken är anlagda diken. Skillnaden mellan ett torrt och ett vått svackdike är att om diket har stående vatten i dikesbotten i mer än två dygn räknas det som ett vått svackdike. I en urban miljö är oftast ett torrt svackdike att föredra då det i miljöer med stående vatten kan bildas illaluktande gaser av förruttnande växtdelar samt uppstå problem med mygg. Ett vått svackdike har kontakt med grundvattennivån och det är därför det uppstår stående vatten i diket (Djerv, 2010). Ett torrt svackdike har inte kontakt med grundvattnet och är konstruerat och dimensionerat för att undvika ytvattenbildning i dikets botten. De torra svackdikena konstrueras med ett genomsläppligt material i botten, exempelvis grus, sand eller makadam, för att på så vis öka infiltrationen. Detta genomsläppliga lager ska med fördel vara placerat ovanför grundvattennivån för att även kunna utnyttja porutrymmet som vattenmagasin. Ett svackdike kan också konstrueras med ett genomsläppligt rör i botten som leder ut vatten från det grövre

grus eller makadamlagret lagret (Iowa Cedar Watershed, 2013; Svenskt Vatten, 2011). I examensarbetet kommer fokus främst att ligga på att dimensionera torra svackdiken.

### Teknisk utformning och utseende

Profilen på ett svackdike är ofta trapetsformat men kan även vara paraboliska och V-formade (Bäckström, 2002; Djerv, 2010). I figur 4 visas en illustration av en trapetsformad profil samt de olika jordlager svackdiket består av. Figuren är inte skalenlig.

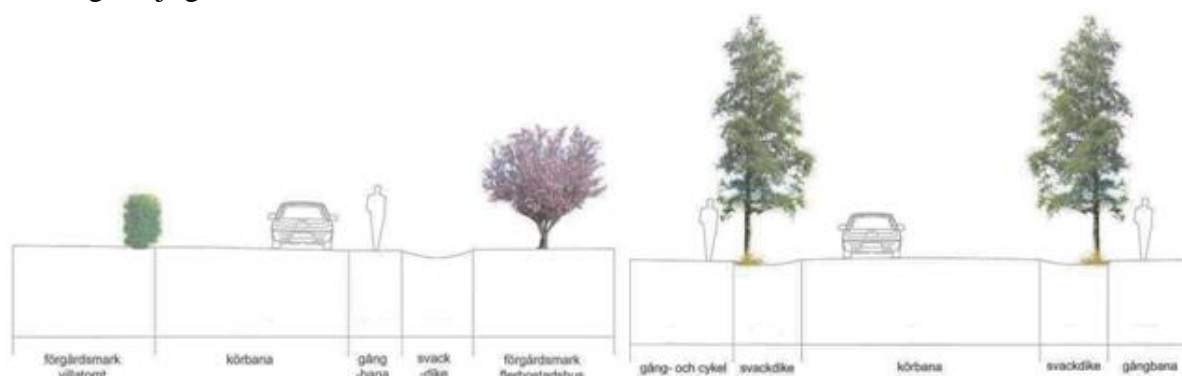


**Figur 4.** Tvärsnitt av trapetsformat svackdike med dräneringsrör. Figuren är skapad utifrån figur från Iowa-Cedar Watershed Interagency Coordination Team men anpassad efter information från Svenskt Vatten (Iowa Cedar Watershed, 2013; Svenskt Vatten, 2011).

Enligt Svenskt Vatten (2011) bör jordfördelningen i ett svackdike vara enligt följande:

- ♦ Överst läggs ett ca 15 cm tjockt sandblandat matjordslager. Jordmånen i topplagret bör vara en blandning på sand, mull och lera för att ge en god växtgrund för gräs. Den iblandade sanden är till för att öka infiltrationen genom topplagret. Kornfördelningen i lagret bör vara 0,1-0,9 mm med max 2 viktprocent inblandat organiskt material. Det iblandade sandiga materialet bör inte överstiga 16 viktprocent. Det är viktigt att anlägga matjordslagret på sluttningarna ca. 5 cm lägre än den intilliggande väg- eller trottoarytan. Detta eftersom gräsytan kan höja sig och förhindra vatten att nå diket.
- ♦ Mellanlagret utgörs av ett grusskikt av grusig sand. Även detta lager bör vara omkring 15 cm tjockt. Kornfördelningen på lagret bör ha  $d_{10} \approx 0,5$  mm och  $d_{60} \approx 4$  mm.
- ♦ Ett makadamlager med ca. 1 meters tjocklek och 0,8 meters bredd anläggs i botten. Placeras ett dräneringsrör i bottenfåran bör detta omges av ett 4-16 mm lager makadam.
- ♦ Lagrena kan separeras från omgivande jord med en geotextil för att förhindra blandning av jorden.

Svackdiken kan vara rakt eller meandrande beroende på det område det placeras i och det utseende som önskas. Svackdiken ska helst konstrueras så att det är så pass långt att vattnet hinner infiltrera innan det når dikets lägsta ände, detta för att reducera flödet så mycket som möjligt. Diken dimensioneras ofta för regn med en åtkomsttid på 10 år (Svenskt Vatten, 2011; Vägverket, 2003). Placeringen ska gärna ske i anslutning till en hårdgjord yta så som väg eller trottoar men kan även placeras mellan fastigheter. Svackdiken kan placeras på ena sidan av en vägbana eller delas så att de placeras invid vägbanans bägge sidor. I figur 5 visas två placeringsmöjligheter för svackdiken.



**Figur 5 . Svackdiken i förhållande till väg, fastighetstomt och gångbana. I den vänstra bilden är svackdiken placerat mellan gångbana och tomtmark. I bilden till höger finns två mindre svackdiken placerade mellan väg och gångbana på var sida om vägen (Samhällsbyggnadskontoret i Södertälje Stad, 2009).**

Figur 5 visar två alternativ för svackdiken i anslutning till väg och trottoar. Viktiga saker att tänka på är att vägbanan ska luta svagt mot diket och trottoarkanter inte hindrar vattnet från vägbanan att nå diket (Svenskt Vatten, 2011).

Längden på ett svackdike ska med fördel vara 60 meter eller längre med en bottenbredd på 0,5-3 meter. Längdslutningen ska göras till 0,5-2 % och släntlutningen ha förhållandet 1:15–1:5, detta för att minska rasrisken på kanterna (Svenskt Vatten, 2011). Enligt Larm (2000) kan släntlutningen sättas till mellan 1:3–1:6 så länge flödes hastigheten är mellan 0,2-0,5 m/s. Vid för låg längdslutning kan stillastående vatten förekomma och vid för hög sluttning ökar risken för erosion i bottenfåran samt att infiltrationen minskar (Djerv, 2010; Clar, 2004; Iowa Cedar Watershed, 2013; Svenskt Vatten, 2011). Det ska undvikas att ha mer än 30 cm vatten stående i diket för att förhindra erosionsproblem (Vägverket, 2008). Enligt Larm (2000) ska flödes hastigheten vara omkring 0,2-0,5 m/s. Vid flödes hastigheter större än 0,5 m/s ökar risken för erosion och därför ska flöden större än detta undvikas. Flödesreducerande strukturer som stenvallar kan läggas i diket om problem med höga



flödes hastigheter uppstår och högre flödes hastigheter kan tillåtas vid enstaka tillfällen av kraftiga regn (Larm, 2000).

### **Svackdikets flödesreducerande och fördröjande effekt**

Ett svackdike faller in under kategorin för trög avledning eftersom det främst används för att avleda vatten i de övre delarna av avrinningsområdet (Svenskt Vatten, 2011). Då fördröjande och flödesreducerande effekter är av huvudintresse ska svackdiket dimensioneras för större regn. Är syftet istället främst att diket ska ha renande effekter ska det istället dimensioneras för mindre regn (Larm, 2000).

Flacka slänter motverkar erosion och ger större ytkontakt vilket ökar infiltrationen. Infiltrationen är också beroende av de underliggande grundvattennivåerna, jordmånens porositet, vegetationen och sedimentering (Bäckström, 2002). Enligt Bäckström (2002) rekommenderas att grundvattennivåerna ligger minst 0,6 m under dikets botten och en minsta permeabilitet av jordmånen på 13 mm/h och för att uppnå god infiltration. Permeabiliteten motsvaras av den för grov sand.

Själva utformningen av svackdike kan verka flödesfördröjande och flödesreducerande till viss mån. Enligt Djerv (2010) är det främst dräneringslagrets vattenförande egenskaper samt dräneringsrörets storlek som påverkar svackdikets avledningsförmåga. Enligt Djervs modellstudie ska dräneringsröret gärna överdimensioneras för att klara kapaciteten av stora regnmängder, höjda grundvattennivåer och snösmältning. Denna överdimensionering kan vara praktiskt med tanke på förväntade framtida intensivare regnmängder, och på så vis kan man undvika framtida ombyggnader. Dräneringsröret kan också behöva isoleras för att undvika stopp vid tjäle under kalla vintermånader. Ska diket ta emot stora mängder vatten eller ligger nära översvämningsskänliga områden kan anläggningar så som dammar eller fördröjningsytor behöva anläggas i anslutning till diket för att leda ut överskottsvatten. Alternativt kan röret vara kopplat till ledningsnät (Djerv, 2010). Svackdiken kan också konstrueras utan dräneringsrör. Då ett svackdike ska konstrueras krävs bakomliggande information om exempelvis områdets geologi och regndata (Bäckström, 2002).

En begränsning med att använda svackdiken är att dessa oftast konstrueras för små till medelstora avrinningsområden med en avrinningsyta på maximalt 4 ha. Just därför anläggs svackdiken ofta i kombination med andra system (Djerv, 2010). En väldigt viktig fråga innan man börjar designa ett svackdike är vad syftet med diket är och hur området det ska designas till ser ut. Exempelvis kan man ha i åtanke om diket ska fungera mer flödesfördröjande eller om diket mer ska ha funktionen att minska föroreningar. Ett svackdikets konstruktion är ytterst plats- och situationsspecifikt och bör konstrueras för olika scenarion beroende på vad

man vill uppnå med svackdike. I ett illa designat dike kan erosion och andra problem uppstå. Designen är även viktig för framtida underhåll. Svackdiken på olika platser kan behöva olika underhåll (Svenskt Vatten, 2011).

### **Föroreningsreduktion i svackdiken**

Ett väl designat svackdike kan ha en god föroreningsreducerande effekt av ytavrinning från bland annat trafik (Vägverket, 2003). Föroreningsreduktionen är platsspecifik och beror främst på vegetationen, flödesförhållandena, infiltrationskapaciteten, koncentrationen av föroreningar och uppehållstiden. Reduktionen ökar också betydande med svackdikets storlek och en parabolisk eller trapetsformat profil rekommenderas (Bäckström, 2002; Iowa Cedar Watershed, 2013; Vägverket, 2003). I tabell 2 visas en sammanställning gjord av Vägverket (2003) som presenter resultat från några av de studier som är gjorda om svackdikens föroreningsreducerande effekter.

Tabell 2. Reduktion av olika föroreningar i svackdiken från olika studier (Vägverket, 2003).

| Referens                              | Ellis & Revitt (1991)                     | Yousef et al. (1987)                            | Barret et al. (1998)               | Bäckström (2002) | Larm (2001) | Yu et al. (1994) |
|---------------------------------------|---|---|------------------------------------|------------------|-------------|------------------|
| <b>Metaller</b>                       | 35-73%                                    |   |                                    |                  |             |                  |
| Cd                                    |   | nyanl: 43 %                                     |                                    |                  |             |                  |
| Cu                                    |   | äldre: 17 %<br>nyanl: 8 %                       |                                    | -27 %<br>34 %    | 90%         |                  |
| Ni                                    |   | nyanl: 51 %                                     |                                    |                  | 85 %        |                  |
| Pb                                    |   | äldre: 0 %<br>nyanl: 57 %                       | 41 %                               | ≅0 %             | 90 %        |                  |
| Zn                                    |   | äldre: 86 %<br>nyanl: 62 %                      | 91 %                               | 60 %             | 90 %        | 13 % (medel)     |
| Fe                                    |   | äldre: 69 %<br>nyanl: ökning                    | 79 %                               |                  |             |                  |
| <b>Närsalter</b>                      | 30-42%                                    |   |                                    |                  |             |                  |
| P-föreningar                          |   | nyanl: 3-9 %,<br>äldre: ca 25 %                 | 44 %                               |                  | 85 %        | 33 % (medel)     |
| N-föreningar                          |   | nyanl: ökning<br>äldre: 11-28 %<br>(org-N ökar) | 33-50 %                            |                  | 50 %        |                  |
| <b>Partiklar, kolväten, bakterier</b> | 67-93%                                    |   |                                    |                  |             |                  |
| SS                                    |   |   | 87 %                               | 75 %             | 90 %        | 49 % (medel)     |
| COD                                   |   |   | 61 %                               |                  |             | 3 % (medel)      |
| <b>Kommentar</b>                      | Väl anlagda och skötta gräsbeklädda diken | Dikeslängd äldre dike: 53 m<br>nytt dike: 170 m | Veg.beklädda, V-formade mittremsor |                  |             |                  |

Som går att utläsa i tabell 2 kan den reducerande effekten ändras med dikets ålder. Den faktiska reduktionen är platspecifik då reduktionen beror både på svackdikets egenskaper och inkommande koncentrationer av föroreningar (Bäckström, 2002; Djerv, 2010). Detta kan förklara de stora skillnaderna i tabellen ovan. Reduktionen av föroreningar kan också vara negativ vid vissa förutsättningar vilket exempelvis kan bero på de inkommande koncentrationerna av föroreningar. Därför är det viktigt att veta att föroreningar som en gång reducerats i svackdiket kanske inte har reducerats permanent utan kan åter urlakas och följa med efterkommande vattenflöden (Bäckström, 2002). En viktig sak att tänka på är om vattenlösliga föroreningar så som rengöringsmedel och olika bekämpningsmedel finns i området. Med en god infiltration kan dessa nämligen sprida sig till grundvattnet eller andra närliggande vattenansamlingar.

## **Underhåll**

Ett svackdike kräver underhåll för att behålla sina ytdränerande, fördröjande och föroreningsreducerade funktioner. Sediment kan behöva tas bort för att inte minska infiltrationen, förhindra urlakning av näringsämnen och avlägsna föroreningar. Detta innebär att diken med jämna mellanrum ska rensas alternativt spolade och att även utloppet från eventuella dräneringsrör kontrolleras. Underhållet har även betydelse för det djur- och växtliv som förekommer i och omkring diken (Vägverket, 2003).

Gräset på ytan fyller fler funktioner än att vara estetiskt tilltalande. Gräsrots rötter binder jorden och minskar risken för erosion och kan även binda vissa föroreningar och minska flödes hastigheten i dikesfåran. Gräset bör klippas regelbundet för att minska uppkomsten av tovor som kan bidra till bildande av fåror i dikets botten. Fårar kan bilda passager för vattnet att rinna fortare genom diket och minskar då infiltrationen. Gräset ska även klippas för att minska läckage av näringsämnen. När gräset dör och bryts ner frigörs annars de närsalter som tagits upp av gräset när det växte. Diket behöver även kantbeskäras eller sänkas ungefär vart tionde år då gräsytan kommer att höjas med tiden. Höjs gräsytan över kanten på den intilliggande hårdgjorda ytan kommer vattnet slutligen förhindras från att nå diket. (Svenskt Vatten, 2011)

## **Svackdiken till att förvara snö**

Det finns ett extra, praktiskt, användningsområde för svackdiken och detta är att det kan förvara plogad snö under vinterhalvåret. Om svackdiket används till att förvara snö kan svackdiket komma till användning även under snösmältning för att reducera smältvattenvolymer och filtrera de partiklar som finns i snön (Bäckström, 2002; Vägverket, 2003). Dessvärre minskar växtlighetens upptagningsförmåga av föroreningar avsevärt under årets kallare månader och under smältperioderna vilket minskar dikets möjlighet att reducera föroreningar. De häftiga flöden som kan uppstå under smältning kan också leda till erosionsproblem, då växternas inverkan på att binda jorden är förminskad (Vägverket, 2003). Om svackdiket ska användas som snömagasin får särskild åtanke tas till halkbekämpning av vägar. Vägsalt som följer med snön kan infiltrera ner i jorden med smältvatten och sprida sig till grundvattnet. Även halkskydd med grus kan leda till problem om kornen har fel storlek. Finkornigt material kan sätta igen jordporer i diket så därför rekommenderas större korn av krossat makadam (Svenskt Vatten, 2011).

## **Varför undersöka svackdiken som dagvattenhantering för Norra Borstahusen?**

Det interkommunala bolaget NSVA (Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp) ansvarar för VA-verksamheten i Landskrona kommun. Enligt NSVA:s dagvattenpolicy för Landskrona (2012) ska ny- och ombyggnation som berör dagvattenhantering hanteras enligt följande principer:

- 1. Dagvattensystem utformas för att undvika skadliga effekter vid kraftiga regn.*
- 2. Dagvatten ska hanteras som en resurs.*
- 3. Dagvattensystem ska utformas efter platsens förutsättningar, föroreningsgrad och recipientens känslighet.*
- 4. Föroreningar ska begränsas till källan.*
- 5. Dagvattensystem ska utformas så att föroreningar kan avskiljas och brytas ner.*
- 6. Den naturliga vattenbalansen ska bibehållas i största möjliga mån.*
- 7. Belastning på ledningsnät och recipienter ska reduceras och regleras.*
- 8. Ledningar ska dimensioneras för framtida klimatförändringars effekter.*

För att motivera varför svackdiken skulle kunna lämpa sig som dagvattenhantering för området presenteras kortfattat hur svackdiken som dagvattenhantering skulle kunna uppnå policyns principer. Det är utifrån dessa krav som dagvattenhanteringen för området kommer att eftersträvas och i examensarbetet ligger fokus på punkt 1, 6, 7 och 8. Detta eftersom modellösningarna i första hand ska avvatta tomter och vägar i bostadsområdet. Genom att införa ett öppet system baserat på svackdiken kan flera av de övriga punkterna uppfyllas då svackdiken kan konstrueras för att reducera föroreningar och anpassas efter områdets förutsättningar. Som nämnts i beskrivningen av svackdiken kan de ha föroreningsreducerande effekter. Svackdiken är en relativt liten utformning av öppna dagvattenlösningar och kan därför anpassas så att de får ett trevligt utseende och utformning i området. Fastigheterna i flera av kvarteren är placerade tätt och därför kan svackdiken användas som öppen dagvattenlösning då deras utformning kräver mindre utrymme än flesta andra öppna utformningar.

I öppna dagvattensystem är det viktigt att kombinera utformningar från de olika kategorierna för att få en väl fungerande dagvattenhantering. I examensarbetet undersöks huvudsakligen svackdiken och höjdsättning av bostäder. Vid införandet av ett öppet dagvattensystem i Norra Borstahusen bör även andra utformningar kombineras med svackdiken för att ge en helhetslösning för området. Genom att kombinera lösningar från de olika kategorierna kan det skapas ett dagvattensystem som uppfyller NSVA:s policy.

## 6. Hydrologiska modeller

Hydrologiska modeller ger en förenklad och konceptuell bild av hydrologin i verkligheten. Genom dessa modeller kan man förutspå förändringar i ett område i framtiden eller få förståelse om processerna i området. Hydrologiska modeller kan vara allt från grova förenklingar som beräknas för hand, till komplicerade och beräkningsintensiva datormodeller. En modell är alltid en förenkling av verkligheten.

Utgångspunkten för alla hydrologiska modeller är att vatten inte kan försvinna (Griph & Rhode, 2000). I den hydrologiska modellen är avrinningsområdet den mest använda enheten där avrinningsområdet fungerar som ett enskilt hydrologiskt system (Robinson & Ward, 2011). Regnet som faller i avrinningsområdet måste lagras tillfälligt i till exempel grundvatten eller snö, evaporerar eller flöda ut ur området vilket beskrivs av vattenbalanskvationen, visad nedan.

$$\text{Nederbörd} = \text{Avdunstning} + \text{Avrinning} + \text{Förändring i lagring}$$

Förändringen i lagring kan ibland bortses om man tittar på ett avrinningsområde över en längre en period. (Griph & Rhode, 2000) Hydrologiska modeller behövs eftersom mätresultat eller information är begränsade i ett område. Detta kan vara för att det fysiskt sett är svårt att ta mätningar och få resultat (vattenflödet är stort eller området ligger där det är svårt att ta sig) eller mätresultaten för en ett möjligt framtida scenario, vilket är omöjligt att ha information om. (Beven, 2001)

I framtiden förutspås klimatförändringar med ändrad temperatur och nederbörd. Dessa förändringar skapar även förändringar i de hydrologiska processerna. En hydrologisk modell kan förutsäga vad effekterna blir då klimatet ändras. En hydrologisk modell kan därför vara ett effektivt verktyg då vattenresurshanteringen planeras för ett urbant område.

Uppgiften som ska lösas för Landskrona Stad handlar om hur man ska utforma ett öppet dagvattensystem i ett nybyggnadsområde för framtiden. För denna uppgift är en hydrologisk modell ett bra verktyg för att utforma det nya dagvattensystemet i det området. För att kunna modellera svackdiken och beskriva effekterna av dem krävs att modellen inkluderar flöde på markytan, i den omättade och mättade zonen samt interaktionen däremellan. Vidare behöver modellen ha en upplösning som är tillräckligt fin för att kunna visa strukturer som byggnader och vägar samt svackdiken på ett representativt sätt. Även indata ska kunna varieras i tid och rum. Dessa krav exkluderar snabbt alla typer av enklare hydrologiska modeller. I dagsläget är MIKE SHE den enda kommersiella programvaran som inkluderar alla de markbaserade hydrologiska processerna.

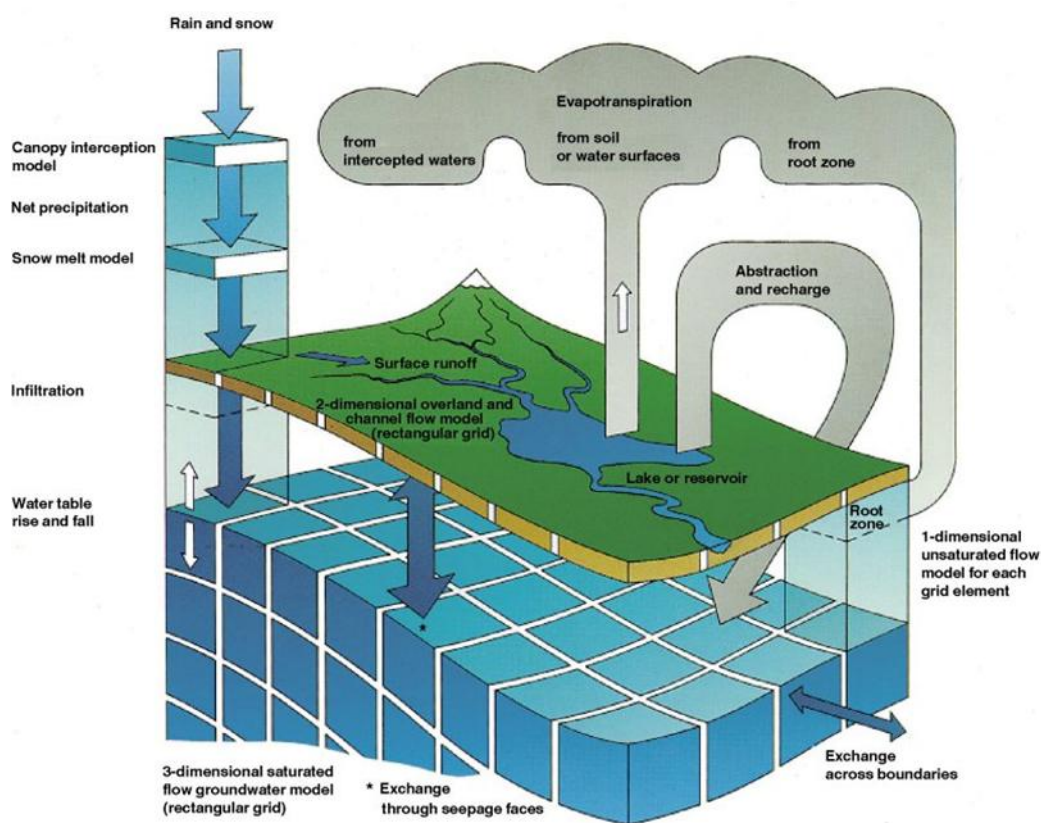
Det finns mycket information om hydrologiska modeller att fördjupa sig i. En del av detta är vilka olika typer av hydrologiska modeller det finns och hur man skapar en hydrologisk modell. Då detta inte nödvändigt för att förstå resultaten har denna information lags i appendix och kan läsas av den som vill ha mer information och kunskap om hydrologiska modeller.

Det är viktigt att från början klargöra att modeller inte är verkligheten utan är en beskrivning av den. En modellers uppgift är att skapa en representation av verkligheten. Detta görs genom förenklingar genom att bland annat välja ut de viktigaste hydrologiska processerna i området och förenkla dessa processer till ekvationer (Blösch & Grayson, 2000). Naturens processer är mer komplicerade, detaljerade och slumpartade än vad vi kan beskriva i de ekvationer som modellerna bygger på (Beven, 2001).

## MIKE SHE (Système Hydrologique Européen)

Den programvara som används för att modellera Norra Borstahusen är MIKE SHE. I MIKE SHE kan man simulera de hydrologiskt landbaserade processerna så som infiltration, nederbörd, avdunstning och vattenflöden på markytan och i den mättade samt den omättade zonen med hjälp av numeriska metoder. De numeriska metoderna i programmet baseras på fysikaliska lagar och indata kan varieras i både tid och rum. I figur 6 visas en schematisk skiss över de olika ingående processerna i MIKE SHE.

För en detaljerad beskrivning av processerna som inkluderas i MIKE SHE hänvisas till appendix A och MIKE SHE:s användarmanual. (DHI, 2012)



Figur 6. Schematisk figur av MIKE SHE och ingående hydrologiska processer.



## 7. MIKE SHE för Norra Borstahusen

Examensarbetet bygger på en tidigare etablerad hydrologisk modell över undersökningsområdet. Modellen är skapad av DHI Sverige AB i programmet MIKE SHE tillsammans med en inkluderad modell av Säbybäcken i programmet MIKE URBAN. Modellen skapades ursprungligen för ett projekt som behandlade översvämningsrisker, effekter av stigande havsnivåer samt områdets grundvattennivåer. Modellen kalibrerades mot grundvattennivåmätningar från åtta brunnar i området samt mot uppmätta nivåer i Säbybäcken (Roldin, 2012). Modellen är fysiskt baserad och utgår från uppmätta parametrar i fält därför är den väl anpassad för en studie av dagvattenhantering. Alla betydande parametrar, som nederbörd, grundvattennivåer, jordartsdata osv., finns inkluderade i modellen. Modellen kan därför illustrera områdets hydrologiska förutsättningar. Nedan beskrivs ingående parametrar, indata och modellens uppbyggnad.

## Modellområde och topografi

Modellens utbredning är ca 1,1 km<sup>2</sup> och topografin är uppbyggd med hjälp av data från nationella höjddata av Lantmäteriet samt höjddata om framtida vägnivåer från Landskrona Stad (Roldin, 2012).

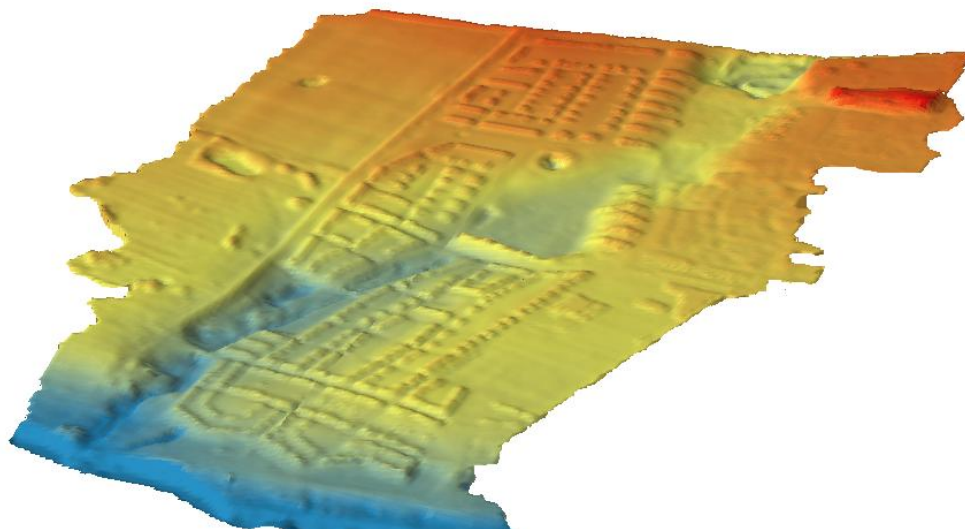


**Figur 7. Norra Borstahusens utbredning och framtida kvartersområden. Säbybäckens sträckning illustreras med blå linje och den kulverterade sträckan i orange.**

Havsnivåer är beräknade med hjälp av tidsvarierande uppmätta havsvattennivåer från Barsebäck samt Viken. Avrinningen till Säbybäcken, från främst åkermark uppströms, är beräknad med nederbördsdata för området i programmet MIKE NAM (Roldin 2012). Idrottsplatsen, skolområdet samt existerande bebyggelse i områdets södra delar dräneras till ett befintligt dagvattennät söder om området. Dessa områdens dränering är inte inkluderade i modellen och kommer därför inte studeras.

I examensarbetet har topografin i modellen justerats med ny höjddata som inkluderar väghöjder för mindre vägar inom kvarteren i området. Detta beskrivs i kapitel "Höjdsättning".

En illustration av områdets topografi visas i figur 8 för att ge en bild av områdets lutning mot Säbybäcken och havet.



**Figur 8. Illustration av undersökningsområdet Norra Borstahuset topografi och lutning. Området lutar mot havet och även mot Säbybäcken. Figuren är skapad i ArcScene med en vertikal överdrift faktor 5 för att tydligare illustrera lutningen.**

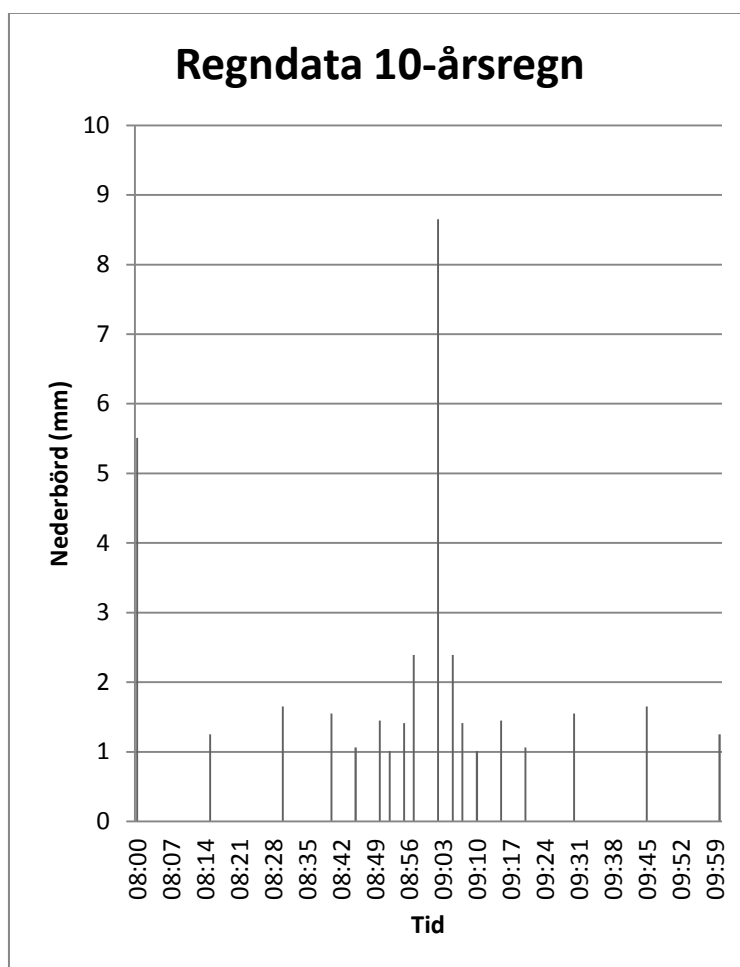
Lutningen är från öster till väster mot havet och även mot Säbybäcken. I figur 8 är den vertikala lutningen överdriven för att ge en tydligare bild av områdets lutning. Byggnader är endast illustrerade som upphöjningar i topografin.

### **Meteorologisk data**

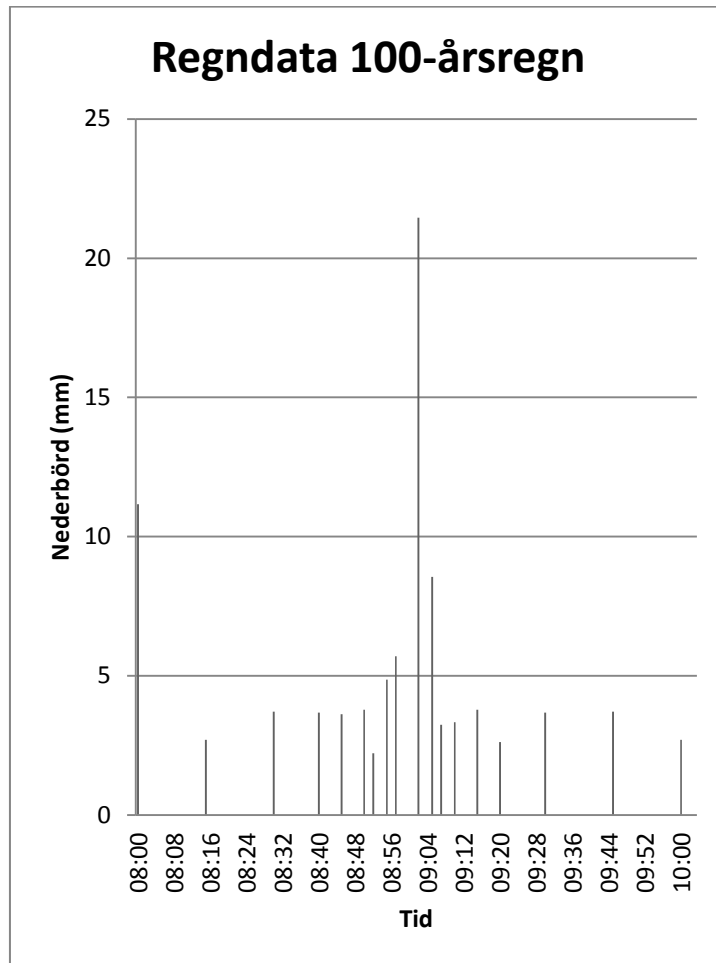
Nederbördsdata med dygnsupplösning är hämtat från SMHI:s mätstation i Landskrona och temperaturdata från en mätstation i Helsingborg. Månadsvärden för den potentiella avdunstningen har hämtats från SMHI. I modellen så beräknas evapotranspirationen med Kristensen och Jensenmetoden. Detta är en metod som baseras empiriska ekvationer skapade av fältdata. För mer information om metoden och andra metoder för att beräkna evapotranspiration se appendix.

Två extrema regn med olika återkomsttid har simulerats; ett dimensionerande 10- och ett 100-årsregn. Båda har en varaktighet på 12 timmar. Nederbörden vid 10-årsregnet är totalt 63 mm varav 22 mm under en 30-minuters peak. För 100-årsregnet är motsvarande nederbörd 144 mm och 60 mm under peaken. Nederbördspeaken för de två extremregnen visas i figur 9 och

10. Tidsskalan i de två figurerna är fiktiv men visar på regnintensiteten under två regntillfällen. Till regnintensiteten har en klimatfaktor på 1,2 lagts för att illustrera den framtida ökning av den extrema nederbörden som förväntas till år 2100 (SMHI, 2011).



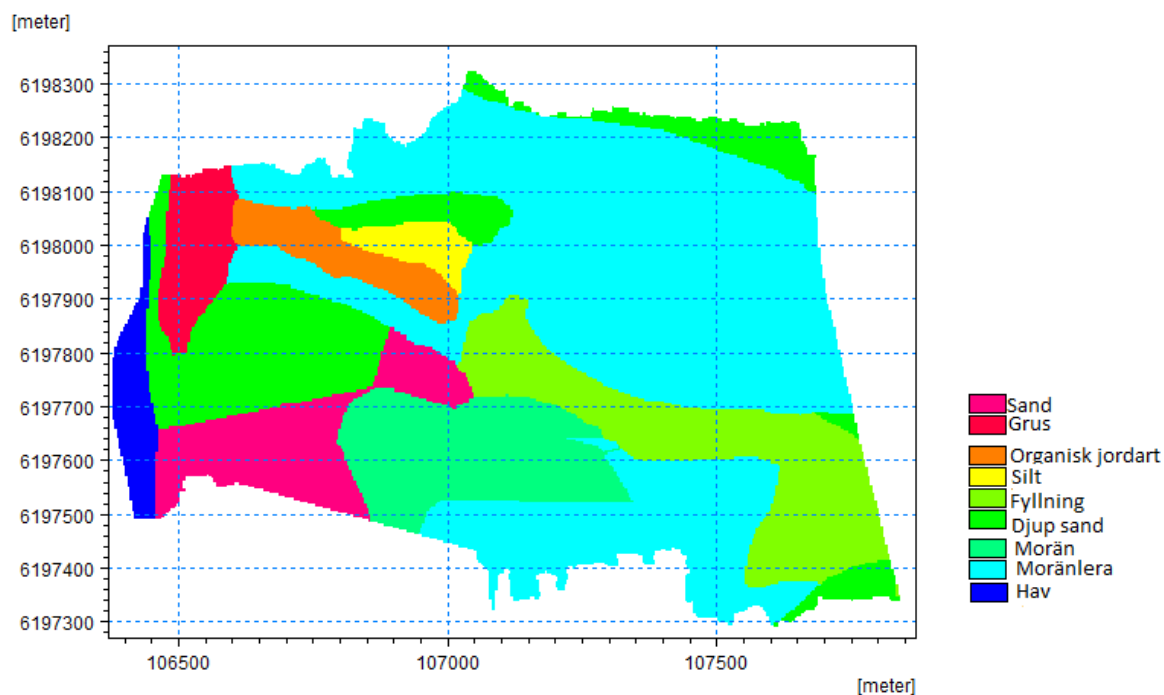
Figur 9. Nederbörddata för 10-årsregn, Grafen visar nederbördspeaken. Regnet har en varaktighet på 12 timmar och är totalt 63 mm, den 30 minuter långa peaken är 22 mm. Tidsskalan är fiktiv.



**Figur 10. Nederbörddata för 100-årsregn. Grafen visar nederbördspeaken. Regnet har en varaktighet på 12 timmar och är totalt 144 mm, den 30 minuter långa peaken är 60 mm. Tidskalan är fiktiv.**

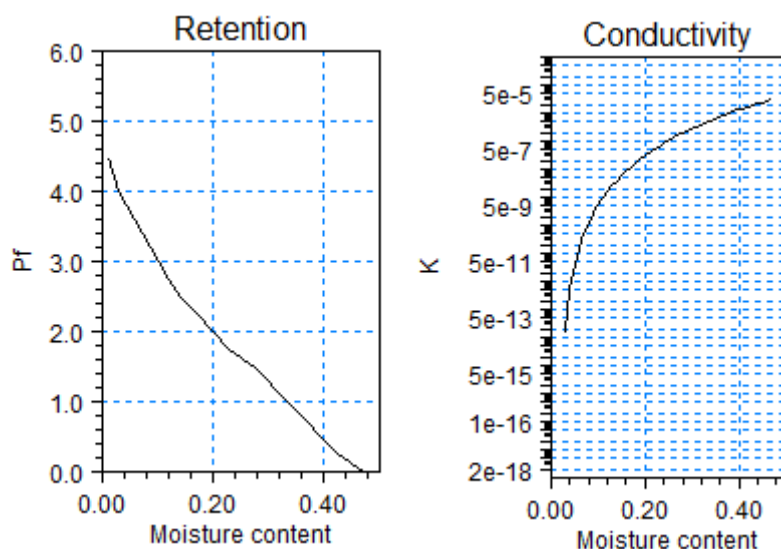
## Omättad zon

Geologiska data för modellen baseras på jordartskartor givna av kommunen samt en tidigare geologisk undersökning genomförd av Ramböll (Ramböll, 2012; Roldin 2012).



**Figur 11. Undersökningsområdets jordartsfördelning och angränsning till havet.**

I figur 11 kan man se att områdets jordarter består främst av moränlera, sand och grus samt fyllning och organiska jordarter i och omkring bäckfåran. Jordlagerföljden varierar beroende jordart och baseras på geologiska undersökningar i området (Ramböll, 2012). Transporten av vatten genom jordarten beskrivs med pF- och konduktivitetskurvor. Ett exempel för morän visas i figur 12.



**Figur 12. pF och konduktivitetskurva för morän. pF-kurvan beskriver hur jorden dräneras vid olika bindningstryck och konduktiviteten visar med vilken hastighet (m/s) vatten rör sig i jorden.**

pF-kurvan beskriver hur jordens porer dräneras vid olika bindningstryck (pF) och konduktiviteskurvan beskriver jordens förmåga att leda vatten beroende på porstorlek och vatteninnehåll (K). Vattenflödet i den omättade zonen beräknas med hjälp av Richards ekvation som bygger på kontinuitetsekvationen och Darcys lag. För att läsa mer om Richards ekvation och andra metoder att beräkna flödet i den omättade zonen se appendix.

### **Mättad zon och dränering**

Den mättade zonen är indelad i geologiska lager för mull/torv, grus/sand/finsand och morän. Dränering finns inlagt i områden med vägar och fastigheter. Vägdräneringen ligger på 0,4 m djup och dränering av byggnader på 1,2 meters djup. Finita differensmetoden används för att beräkna vattenflödet i den omättade zonen. Med den finita differensmetoden löses Darcys ekvation numeriskt med en implicit differensmetod. För mer information om denna metod och andra metoder att beräkna flöde i den mättade zonen se appendix.

### **Säbybäcken**

Säbybäcken är modellerad i MIKE URBAN och är skapad från data om uppmätta nivåer i bäckfåran. MIKE URBAN är ett GIS-baserat program som exempelvis kan beskriva flöde i rör och öppna kanaler. Bäcken är gjord sektionssvis och är modellerad dels som en öppen kanal, men även som ett slutet rör i de östra delarna av området där bäcken idag är

kulverterad. MIKE URBAN modellen av Säbybäcken kopplades till den hydrologiska modellen av området i MIKE SHE. Denna koppling av modellerna simulerar kontinuerligt det utbyte av vatten som sker mellan Säbybäcken, grundvattnet och ytvattnet. (Roldin, 2012)



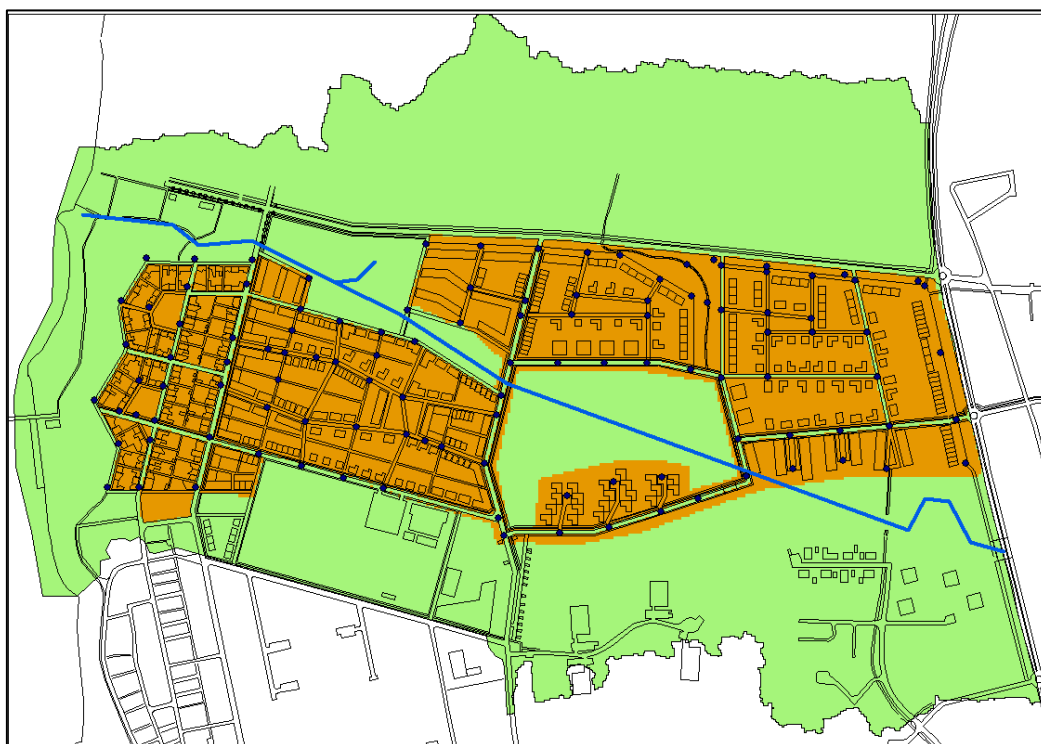
## 8. Arbetsgång och metod

Målet med examensarbetet var att undersöka översvämningssituationer samt placering av svackdiken för hantering av dagvatten i området. Nedan beskrivs arbetsgången:

1. Modellen uppdaterades med ny topografi för området. Jämfört med tidigare användes en ny metod för höjdsättning och höjdmodellen kompletterades med höjddata för fler, mindre vägbanor.
2. Beräkningar med framtida höjdsättning för 10- och 100-årsregn gjordes i syfte att identifiera problemområden där svackdiken är nödvändiga för att förbättra översvämningssituationen.
3. Baserat på resultaten lades svackdiken in i modellen. Två lösningar med svackdiken togs fram: en maxlösning baserat på 100-årsregnet och en minlösning baserat på 10-årsregnet.
4. Beräkningar gjordes sedan för 10- och 100-årsregnet för de två olika lösningsförslagen
5. I det sista steget ändrades utformningen av Säbybäckens kulverterade del och nedströms sektioner breddades. Nya beräkningar med nämnda förändringar gjordes sedan för 10- och 100-årsregnet.

## Höjdsättning

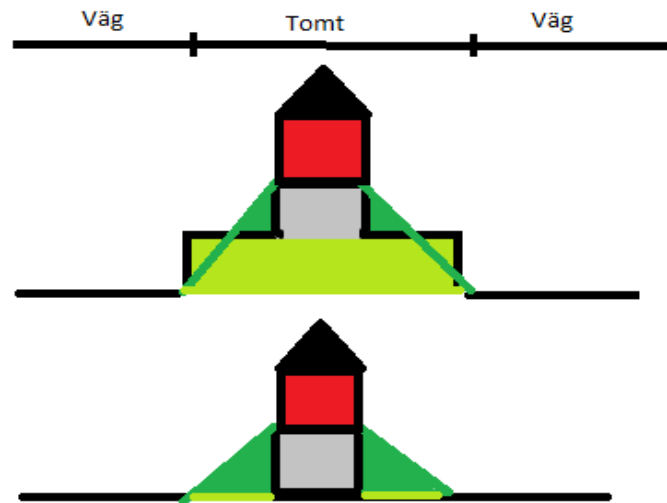
Höjdsättningen i området är baserad på höjdpunkter från Landskrona Stad samt Nya nationella höjdmodellen (NNH). I figur 13 visas uppdelningen av topografin i undersökningsområdet. Det gröna området har sin höjdsättning baserad på höjddata med 2 meters upplösning från NNH och de orangea områdena interpolerades utifrån höjdpunkter av vägar givna av kommunen som visas som punkter i figur 13.



**Figur 13. Illustration av modellen för Norra Borstahuset. Figuren visar placering av fastigheter och vägar. Säbybäckens nuvarande utbredning visas som blå linje genom området. Grönt område har sin höjdsättning baserad på NNH och orange område har interpolerats mellan höjdpunkter visade i figuren.**

Skälet till att en ny höjdsättning gjordes för bostadskvarteren var för att det tillkommit ytterligare information om områdets vägbanor och en ny metod för höjdsättning skulle användas än i den tidigare undersökningen. I den tidigare studien fanns bara information om större vägbanor men det har tillkommit information om mindre vägar och cykelbanor som kunde inkluderas i topografin.

Förändringen som gjordes för höjdsättning av tomtmark visas i figur 14.

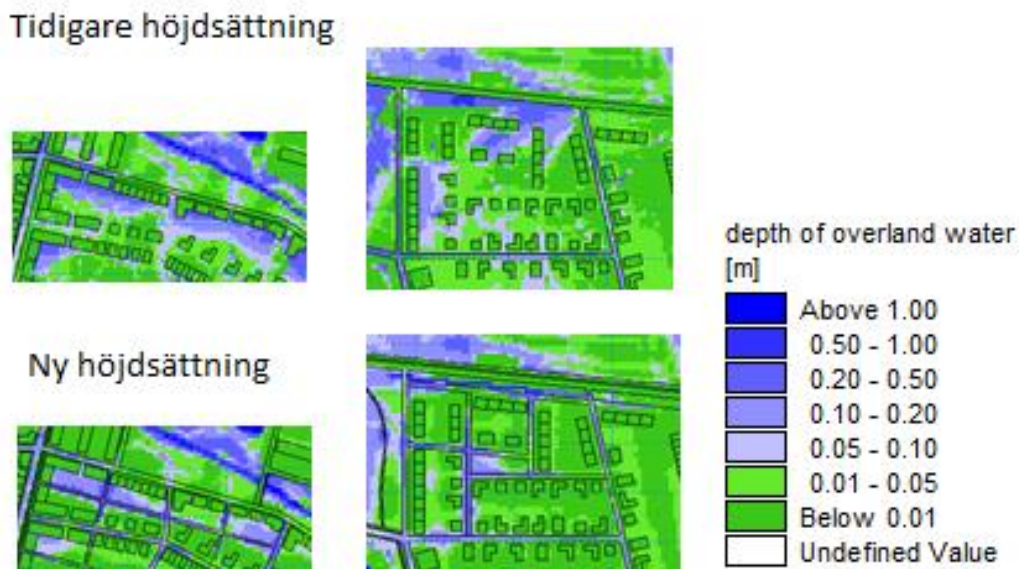


**Figur 14.** Illustration av interpolering av tomtmark mellan byggnad och väg. Grå fyrkant visar husgrunden under byggnaden. Övre figur visar tidigare interpoleringsmetod och nedre visar ny interpolering. I den tidigare undersökningen var husgrunden höjd 0,3 m över vägbanan. I den nya höjdsättningen är tomtmarken inte upphöjd.

Skillnaden mellan metoderna för höjdsättning av byggnader illustreras i figur 14. I det tidigare projektet höjdes tomtmarken 0,3 m över vägbanan och sedan höjdes husgrunden ytterligare 0,5 m över tomtmarken. I den nya höjdsättningen har enbart husgrunden höjts med 0,5 m jämfört med vägbanan.

### **Effekter av ny höjdsättning**

I figur 15 visas skillnaden i beräknat översvämningsdjup mellan den tidigare och den nya höjdsättningen vid ett 100-årsregn. I det föregående projektet av DHI (2012) gjort för området var inte småvägar inkluderade i modellen och höjdsättningen av tomtmarken gjordes annorlunda.



Figur 15. Jämförelse av vattennivåer för gamla och nya höjdsättningen i samband med 100-årsregn. I övre figur visas området med den tidigare höjdsättningen och nedre bilder visar området med ny höjdsättning. I bilderna till vänster kan man se att småvägar har öppnat upp passager mellan byggnader så vatten kan rinna till bäcken. I bilderna till höger syns det att vatten hamnar på vägbanor istället för på tomtmark med den nya höjdsättningen.

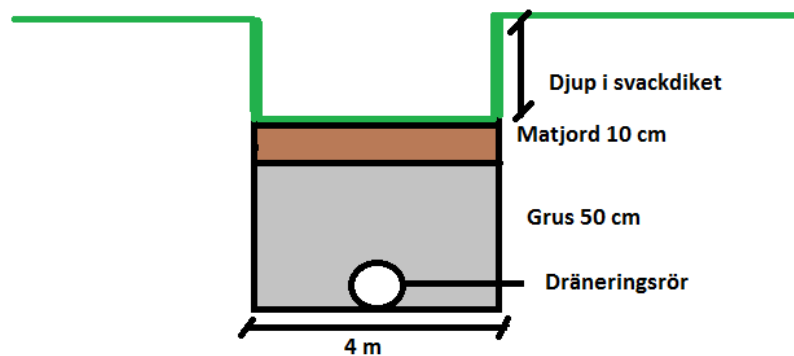
I bilderna till vänster i figur 15 visas exempel området söder som Säbybäcken. Det ligger vatten mot flertalet byggnader med både den tidigare och den nya höjdsättningen, detta eftersom vatten fastnar mot byggnader och inte kan ta sig vidare till Säbybäcken. Skillnaden är att småvägar öppnar upp mot Säbybäcken med den nya höjdsättningen vilket gör det lättare för vatten att passera och avledas ner till bäcken.

Vatten ligger också på tomtmark vilket syns i de högra bilderna. Dessa problem förekommer på flera platser med den tidigare höjdsättningen.

Vägar utgör lågpunkter och när småvägar inkluderas hamnar vatten på vägar istället för på tomtmark.

## Svackdiken i modellen

Svackdiken i modellen har skapats utifrån information från litteraturstudien. Svackdikenas utformning i modellen illustreras i figur 16.



**Figur 16. Illustration av svackdike i genomskärning i modellen. Information om jordarter i dikesbotten är taget från litteratur, se figur 4.**

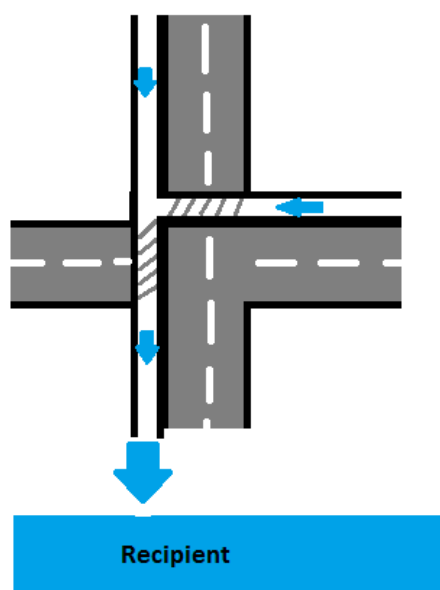
Svackdiken i modellen består av en 30-50 cm djup och 4 meter bred sänka. Botten består av 10 cm matjord följt av ett 50 cm tjockt gruslager och ett dräneringsrör. Själva dräneringsröret har inte lagts in i modellen utan det är representerat med en dräneringsfunktion vilken blir aktiverad då grundvattennivån når upp till nivån för röret. Dräneringen sker med en hastighet av  $10^{-5}$  m/s. Den geologiska beskrivningen (jordlagerföljden) i ursprunglig modell har ändrats längs svackdikenas sträckning. Detta för att beskriva den förbättrade infiltrationsförmågan och dränerande funktionen.

Som nämnts i litteraturstudien bör lutningen i flödesriktningen ligga mellan 0,5-2 procent (Svenskt Vatten, 2011). Vid lägre lutning riskerar vatten att ligga kvar i dikesbotten och vid högre lutning riskerar höga flödes hastigheter att gröpa ur (erodera) och med tiden förstöra botten. För att kompensera för en låg lutning har svackdikets lägre ände sänkts alternativt har den högre änden gjorts grundare. I undersökningsområdet är en låg lutning ofta förekommande och därför har detta justerats på flera platser. I Skåne är det vanligt förekommande med låg lutning vilket ofta måste kompenseras (Svedén, 2013). Vid för hög lutning har svackdiket justerats i den mån det går utifrån omliggande topografi. Alla

svackdiken i modellen ligger inom det rekommenderade intervallet för lutning från Svenskt Vatten (2011).

Svackdikena har placerats så att de följer vägbanorna i modellområdet. Enligt Svenskt Vatten (2011) ska svackdiken med fördel placeras invid hårdgjorda ytor så som vägar och trottoarer. Svackdiken inkluderas i modellen som ett sammanlänkat system och avleder vatten mot Säbybäcken eller havet, se figur 17.

När ett svackdike korsar en väg i modellen skapas en sänka i vägbanan för att illustrera den verkliga transporten genom t.ex. en vägtrumma. I figur 17 illustreras hur två svackdiken sammankopplas för att avleda vatten till recipienten. Avleds inte vatten blir det stående i diket till dess att det har infiltrerats och dränerats bort. Svackdiken i verkligheten kan sammankopplas med dräneringsrör eller kulvertering under vägar för att avleda vatten mot recipienten. Vattnets väg ska inte hindras av exempelvis vägbanor och trottoarkanter.



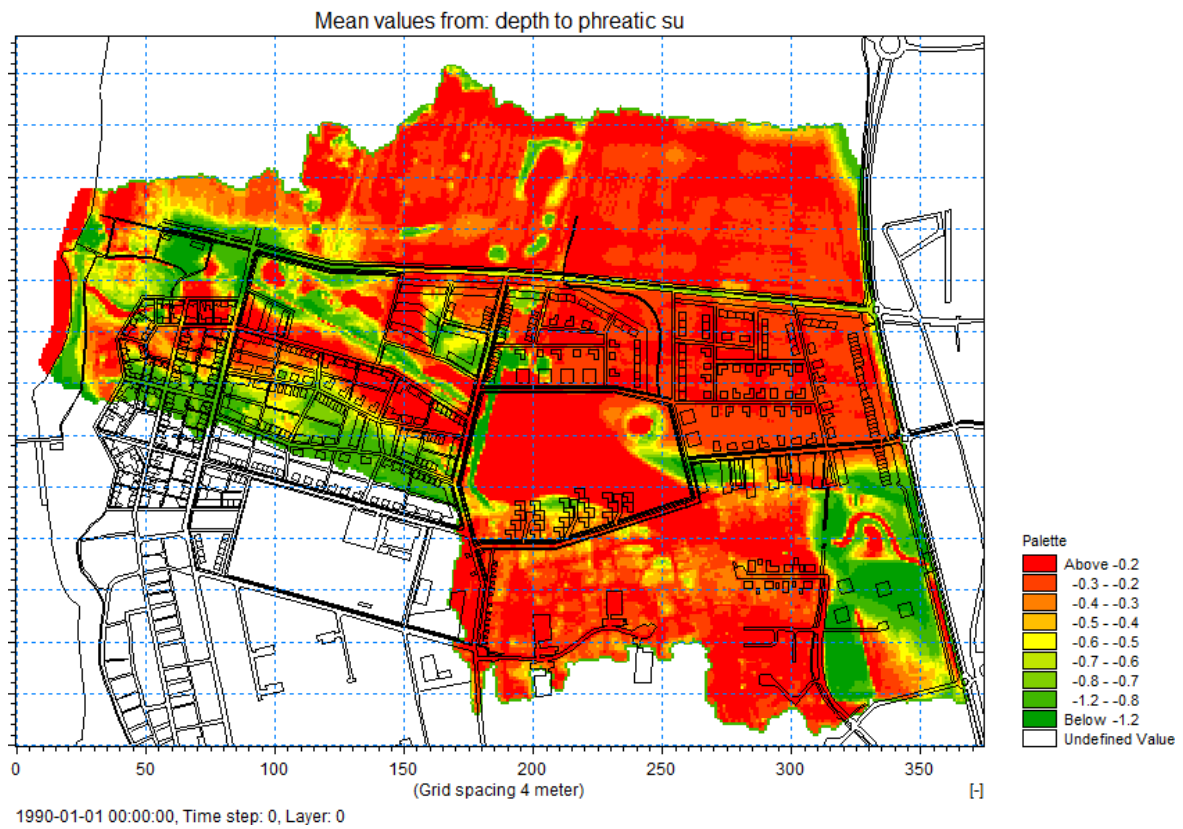
**Figur 17. Illustration av sammanlänkning av svackdiken vid vägkorsningar. Där ett svackdike korsar vägbanan tas vägbanan bort i modellen, visat med gråstreckade områden. I verkligheten behöver dräneringsrören kopplas samman alternativt diket kulverteras så att vatten avleds mot Säbybäcken eller havet.**

Svackdiken/dränerande stråk har även placerats på tomtmark. Dessa utgörs av en sänka i terrängen för att hindra vatten att ligga mot byggnader. Sänkorna är gjorda 30-120 cm djupa och är uppbyggda på samma vis som övriga svackdiken. Dessa diken får i modellen inte samma funktion att avleda vatten i dikesfåran som de intill vägar. Istället infiltreras vattnet

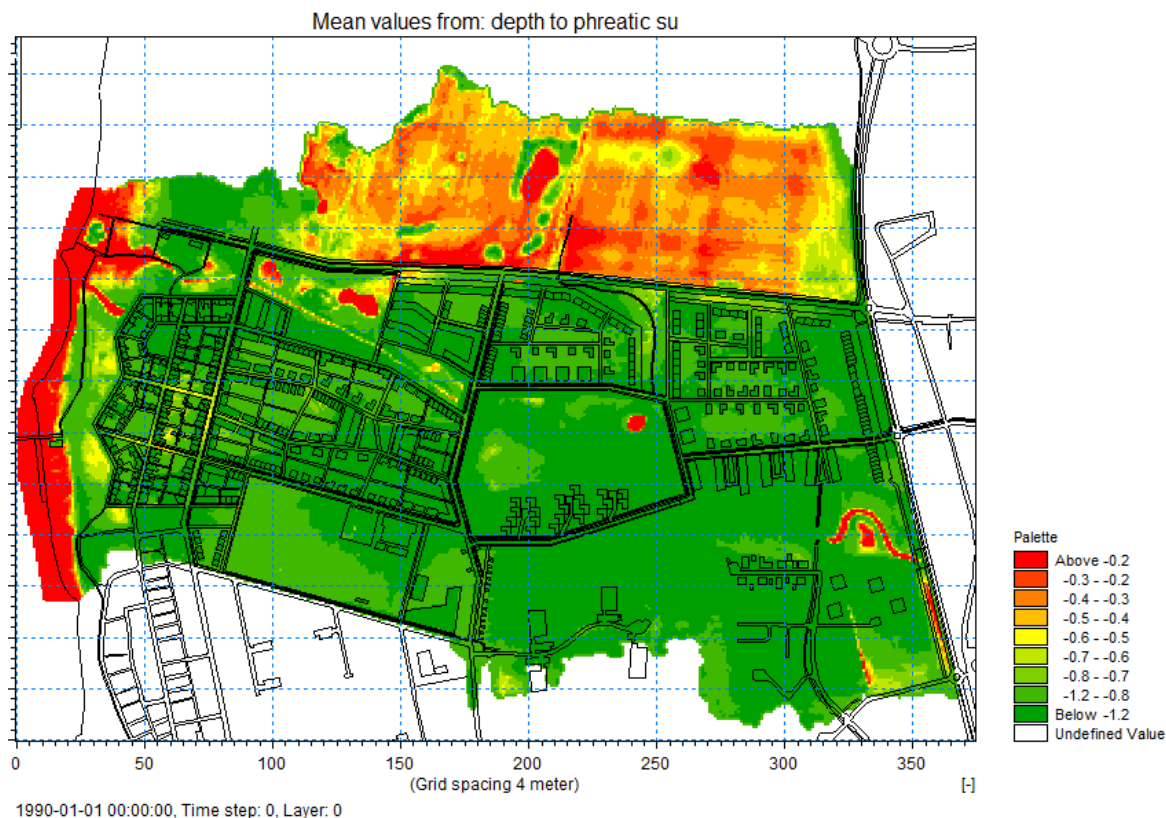
och dräneras bort. Generellt var det svårt att skapa ytavledande funktion för svackdiken på tomtmark eftersom fastigheter är placerade tätt och utrymmet är begränsat.

### Dränerings- och grundvattenförhållanden

För att planera svackdiken undersöktes grundvattennivåer i området. Två figurer visar medelvärdet under ett år för grundvatten före och efter exploatering, se figur 18 och 19.



Figur 18. Grundvattennivåer innan exploatering. Figuren visar medelvärdet av nivåer för ett år. Grundvattennivåerna är nära markytan i stora delar av området, röd färg.



**Figur 19. Grundvattnets medelnivå sett för ett år med inlagd dränering för hus och vägar. Säbybäckens kapacitet är också ökad. Grundvattennivåerna ligger på flera platser där bostadskvarter ska byggas 0,7-1,2 meter under marknivå, grön färg.**

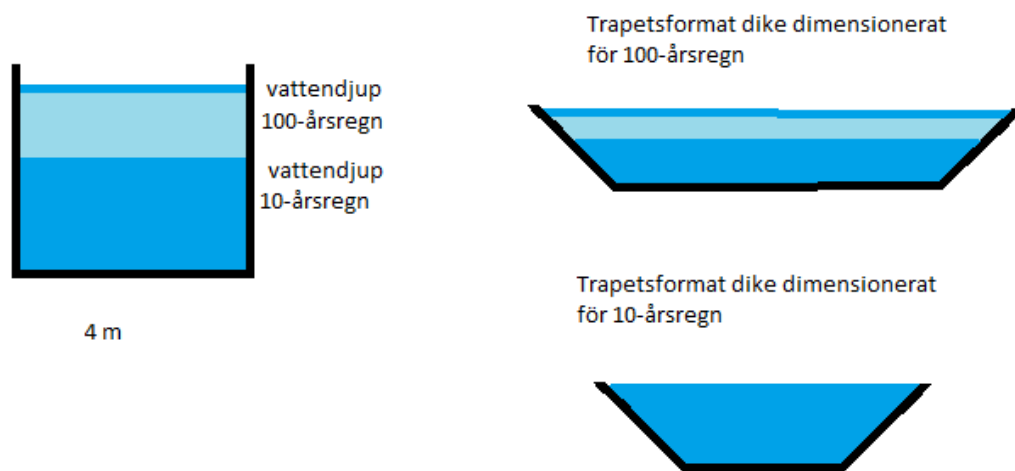
Grundvattennivåer har undersökts utifrån litteraturstudiens rekommendationer. Grundvattennivån ska enligt Bäckström (2002) ligga minst 0,6 meter under dräneringsröret för en maximal dränerande funktion. Eftersom grundvattennivåer varierar naturligt under året är det svårt följa rekommendationer för ett fixt värde. Från figur 18 och 19 kan man se att det är skillnad på grundvattennivåernas årsmedelvärden före och efter exploatering. Efter exploatering har husgrundsdränage och vägdränage tillkommit samt att Säbybäckens kapacitet har förändrats. Att bara titta på situationen innan exploatering hade gett en felaktig slutsats att det inte är lämpligt att anlägga svackdiken då grundvattenytan ska ligga under dräneringsröret. I figur 19 syns det att grundvattennivåerna med ett årsmedelvärde ligger lägre på grund av hus- och vägdränering och kommer då i medeltal att ligga under svackdikenas dräneringsrör. Vid blöta förhållanden under exempelvis vintermånader kommer grundvattennivåerna vara högre vilket kan minska den dränerande funktionen.



### **Skillnader mellan modell-, teoretiska och verkliga svackdiken**

Svackdiket i modellen är en rektangulär sänka i topografin. Beskrivningen av svackdiken i modellen är därför en förenkling av verkligheten då svackdiken brukar ha en trapetsformad profil. Skillnader och förenklingar av att modellera diket som rektangulärt kommer främst ha två betydelser för modellens resultat. En skillnad är den hur dimensionerna av svackdikena ska översättas från ett rektangulärt dike till ett trapetsformat och en annan är skillnaden i flödesförhållande som finns mellan olika profiler.

Skillnaden i dimensioneringen förklaras utifrån figur 20.



**Figur 20. Exempel på skillnad i volym mellan modelldike och trapetsformat dike. I modellen är diket rektangulärt med ett djup på 30-50 cm vilket motsvarar olika storlek på trapetsformade diken beroende på om det ska dimensioneras för 10- eller 100-årsregn.**

I modellen är diket beskrivet som en fyra meter bred rektangulär sänka med 30-50 cm djup. För att översätta volymen i det rektangulära diket till ett trapetsformat svackdike med samma volym blir detta två olika trapetsformade diken för de två olika regnen. Detta eftersom volymen som krävs för ett 10-årsregn och volymen för ett 100-årsregn är olika. I figur 20 visas hur modelldiket fylls olika beroende på vilket regn som simuleras. Detta innebär att ett trapetsformat svackdike med samma djup som modellens dike måste göras olika brett för att kunna hålla samma volym vatten som i modelldiket för de olika regnmängderna. Detta betyder att om diket dimensioneras för ett 10-årsregn kommer detta översvämmas vid ett 100-årsregn.

Genom att öka upplösningen av topografin i modellen hade mindre diken kunnat utformas. Det gjordes en modell med två meters upplösning men vid försök att arbeta med denna ökade

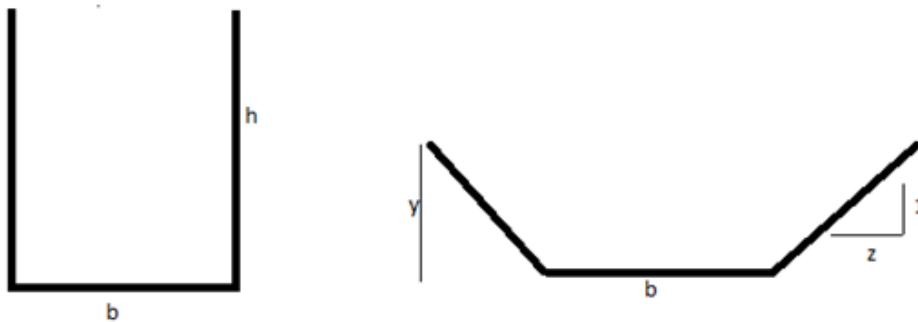
beräkningstiden för simuleringen. Det ansågs för tidskrävande att arbeta med en högre upplösning då beräkningstiden blev två-tre dygn lång för varje simulering.

En annan förenkling på grund av modelldikets tvärsnitt är flödesförhållandet. Detta kommer att beskrivas med hjälp av Mannings ekvation för flöde i öppna kanaler:

$$Q = V \cdot A = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{S}$$

där  $Q$  är flödet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $A$  är arean på tvärsnittet [ $\text{m}^2$ ],  $V$  är flödes hastigheten [ $\text{m}/\text{s}$ ],  $n$  är skrovlighetskonstant [ $\text{s}/\text{m}^{1/3}$ ],  $R$  är den hydrauliska radien [ $\text{m}$ ] och  $S$  är lutningen [ $\text{m}/\text{m}$ ].

Den skillnad som uppstår mellan olika tvärsnitt är den för arean ( $A$ ) och den hydrauliska radien ( $R$ ). Hydraulisk radie är arean dividerat med den våta perimetern ( $P$ ). Våt perimeter beskriver kontaktytan mellan vatten och den del av omkretsen som blir våtlagd. Detta beskrivs i figur 21. De övriga parametrarna i Mannings ekvation förändras inte med ett ändrat tvärsnitt.



**Rektangulärt tvärsnitt:  $A = h \cdot b$**

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(h \cdot b)}{(2h + b)}$$

**Trapetsformat tvärsnitt:  $A = (b + z \cdot y)y$**

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b + z \cdot y)y}{b + 2y \cdot \sqrt{1 + z^2}}$$

**Figur 21. Beskrivning av area och hydraulisk radie för ett rektangulärt tvärsnitt och ett trapetsformat tvärsnitt.**

Som går att se i figur 21 skiljer sig uttrycken för arean och den hydrauliska radien för olika tvärsnitt. Eftersom den trapetsformade ytan har mindre våt perimeter än ett rektangulärt dike med motsvarande tvärsnittsarea blir flödet i ett trapetsformat dike större än för ett rektangulärt. På grund av den minskade kontaktytan uppstår mindre friktion mellan vattnet och sidorna i trapetsformat dike jämfört med ett rektangulärt vilket ger ett större flöde (Larsson, 2013)

### **Alternativa metoder**

Det finns alternativa sätt att beskriva svackdiken. Den valda metoden att beskriva svackdikets ytvattenavledande och dränerande funktion direkt i MIKE SHE är ett förenklat alternativ som är lämpligt om fokus ligger på att utvärdera effekterna på omgivande ytvatten, markavrinning och grundvatten, vilket är fallet i examensarbetet. Om utformningen och de kapacitetsmässiga förhållandena hade varit av större vikt, hade varit möjligt att illustrera svackdikena i programmet MIKE URBAN. I MIKE URBAN kan detaljerade tvärsektioner och eventuella vägtrummor och ledningssträckor läggas in och de hydrodynamiska förhållandena kan studeras mer detaljerat. För att visa utbyte mellan hydrologiska faktorer så som dränering, avdunstning, grundvattennivåer hade MIKE URBAN modellerna av svackdikena kopplats samman med MIKE SHE modellen av området. Detta förfaringsätt är dock mer tidskrävande, varför denna metod inte valdes i examensarbetet.

### **Max- och minlösning för dagvattenhantering**

Placering av svackdiken i modellen gjordes utifrån två olika utgångslägen. Detta resulterade i två olika lösningar; en maxlösning och en minlösning. Maxlösningen är skapad för att avleda ett 100-årsregn medan minlösningen är anpassad för ett 10-årsregn. Resultat från simuleringar av regntillfällena utan dagvattenlösningar användes som utgångspunkt för max- och minlösningen. Anledningen till att både ett 10- och ett 100-årsregn behandlas är för att upptäcka var i det nya bostadsområdet översvämningar kan ske vid extremregn med olika intensitet. De två lösningarna beskrivs nedan kortfattat.

#### **Maxlösning**

Maxlösningen är dimensionerad för att kunna avleda ytvatten vid ett 100-årsregn. Denna lösning skapades på så vis att svackdiken lades in i området för att kunna avleda vatten från vägbanor och fastigheter i största möjliga mån vid ett 100-årsregn. Dikena gjordes så djupa i modellen att de fylldes med vatten utan att vatten i största möjliga mån låg på vägbanor vid regntillfället. Svackdikenas djup vid vägbanor gjordes till mellan 30-50 cm i modellen

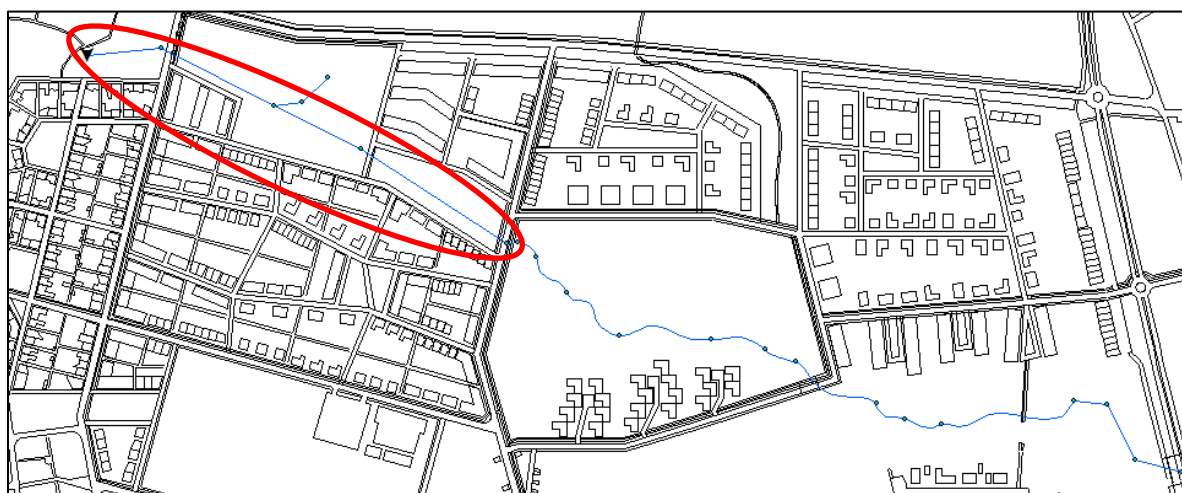
beroende på hur stor kapacitet som krävdes samt justeringar efter topografin i området. På några enstaka platser krävdes upp emot 70 cm djup för att kompensera för en låg lutning. Dränerande stråk på fastigheter gjordes på samma sätt som de vid vägarna och dimensionerades så att vatten inte står mot fastigheter. Sänkornas djup blev mellan 30-120 cm. Ett 120 cm djupt dike är orimligt men visar på den kapacitet som krävs för att förhindra vatten från att nå byggnader.

### Minlösning

Då dagvattensystem främst brukar dimensioneras för regn med en återkomsttid på 10 år skapades en modell med svackdiken för 10-årsregn. Minlösningen utgick ifrån maxlösningens placering av svackdiken samt resultat av 10-årsregn utan dagvattenhantering. Svackdikena dimensionerades på så vis att botten på dikena höjdes och svackdikena togs bort eller justerades utifrån maxlösningen. Även önskemål om placering från kommunen togs i åtanke. Trots att svackdiket inte fylldes gjordes diket aldrig grundare än 30 cm. Detta eftersom 30 cm ansågs vara ett minsta rimliga djup och grundare diken blir otydliga modellen (Gustafsson, 2013). Svackdiken på tomtmark gjordes 30-40 cm djupa.

### Utformning av Säbybäcken

Landskrona Stad vill öppna upp den kulverterade sträckan av Säbybäcken i området. Den nya utformningen på bäcken ska meandra och visas i figur 22.



**Figur 22.** Säbybäckens nya meandrande sträckning av den idag kulverterade delen visas i blått. Markerat område nedströms dubblerades.

För att ändra den nya sträckningen gjordes den kulverterade sträckan om i MIKE URBAN till en öppen kanal. MIKE URBAN är en endimensionell modell som beskriver flödet i rör eller öppna kanaler och kan kopplas till den tvådimensionella MIKE SHE modellen. Utformningen skapades efter höjdnivåer för den nya sträckan givna av kommunen. Säbyäckens breddning dubblerades också nedströms den omgjorda sträckan inringat i bild. Möjliga översvämningar av bäckfåran undersöktes sedan för de två regntillfällena.

## 9. Resultat av modellsimuleringar

I följande avsnitt presenteras resultaten från modellsimuleringarna. Resultat kommer att presenteras med tydliga exempel markerade i figurer. Samma problematik återkommer ofta på andra platser. Resultaten i figurer kompletteras med sammanfattande tabeller. Tabellerna visar resultat för översvämmade vägar och vatten mot byggnader i modellen. Tabellerna gör det tydligare att jämföra resultat med och utan svackdiken och olika lösningar för de två simulerade extremregnen.

Alla figurer av resultat visas vid samma tidpunkt; två timmar efter regnens maxintensitet. Denna tidpunkt har valts eftersom vattnet har hunnit lägga sig i lågpunkter i terrängen då. När resultaten studerades och svackdiken inkluderades i modellen togs däremot hänsyn till hela översvämningsförloppet.

För att tydligt kunna presentera resultaten har en områdesindelning av Norra Borstahusen gjorts. Uppdelningen av områden är till för att tydligt kunna presentera resultat från olika platser i undersökningsområdet. Resultaten från modellen presenteras i följande ordning:

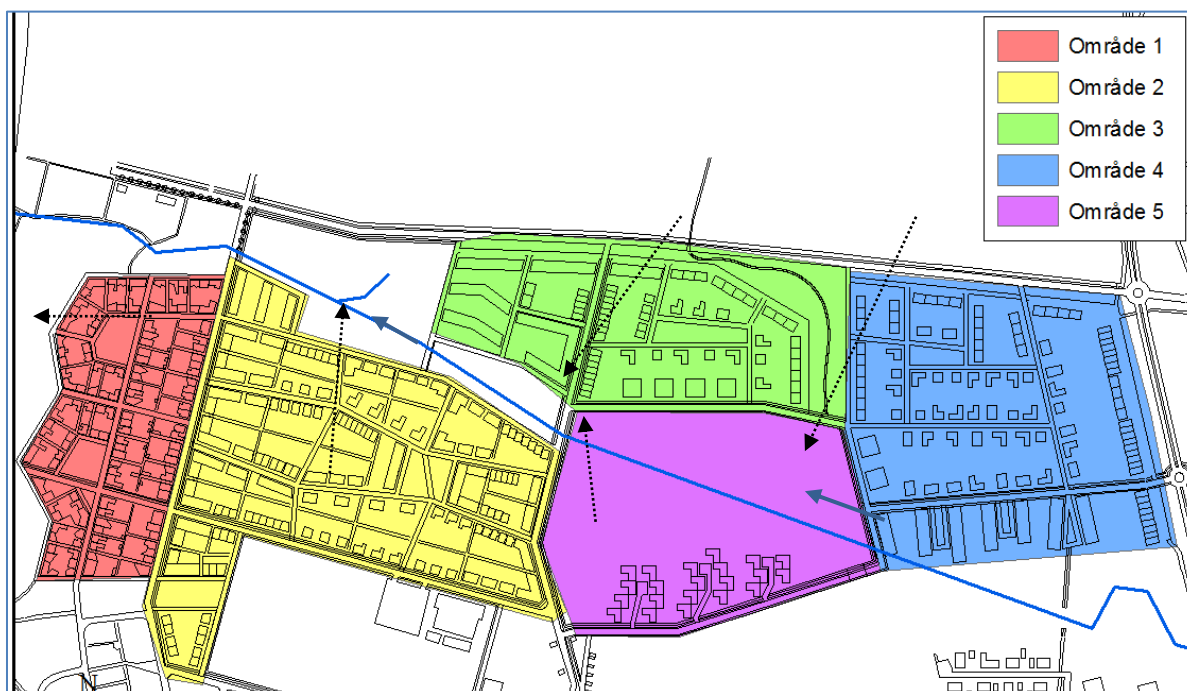
- ◆ Beräknade ytvattendjup för 100- och 10-årsregn utan dagvattenhantering
- ◆ Beräknade ytvattendjup med maxlösning
- ◆ Beräknade ytvattendjup med minlösning
- ◆ Jämförelse av resultat med max- respektive minlösning.
- ◆ Detaljerad genomgång av minlösning uppdelat områdesvis
- ◆ Sammanfattning av rekommenderad höjdsättning och särskilt utsatta fastigheter
- ◆ Översikt över dimensionering av svackdiken
- ◆ Resultat av omgjord bäckfåra i Säbybäckens östra delar

### Områdesindelning

Indelningen är sådan att den generella lutningen i varje område är densamma, vilket ger en bild av hur ytvattnet rör sig i varje område.

I figur 23 visas områdesindelningen och den generella lutningen för varje område visas med pilar. Område 1 lutar huvudsakligen mot havet och de övriga områdena lutar främst mot Säbybäcken. Lokala variationer finns inom alla områden.

I figur 23 syns det att områdena skiljer sig med avseende på fastigheter. Område 1 och 2 är mer tätbebyggda än de andra områdena. Område 3 och 4 har större ytor mellan fastigheter och område 5 utgörs till stor del av ett grönområde.

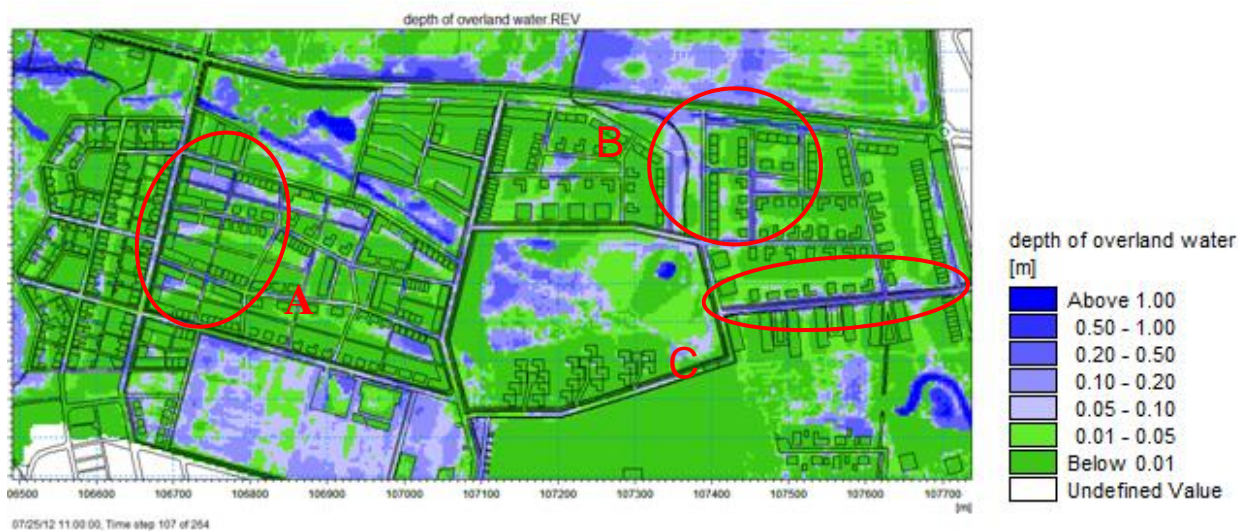


**Figur 23. Norra Borstahuset uppdelat i fem mindre områden. Den generella lutningen för varje område visas med svarta pilar.**

### **Beräknade ytvattendjup utan dagvattenhantering**

10- och 100-årsregnet simulerades för området med framtida höjdsättning utan dagvattenlösningar. Det är utifrån dessa resultat placering och utformning av svackdiken gjorts i modellen. Från resultaten syns var åtgärder behövs och de presenteras med figurer.

Det beräknade översvämningdjupet i samband med ett 100-årsregn utan dagvattenhantering, visas i figur 24.



**Figur 24. Beräknat vattendjup två timmar efter ett 100-årsregn. Som syns i figuren är flera vägar täckta med vatten och det står även vatten mot flera byggnader. Vattendjup över 5 cm visas i blått. Markeringar i figuren förklaras nedan.**

I figur 24 ligger vatten i stor utsträckning på vägar och mot fastigheter. Några tydliga exempel är inringade i figuren. Innanför markering A syns det att vatten blir stående vid byggnader. Detta förekommer på flera platser främst i område 1 och 2. Det ligger även vatten på flera vägar i området vilket syns i markeringarna B och C. Vattendjupet på vägbanor varierar mellan ca 0-40 cm djup och mest vatten ligger på större vägbanor, ett exempel är markerat i inringning C i figur 24.



I figur 25 redovisas motsvarande för beräknade översvämningsdjup i samband med resultat för ett 10-årsregn.



**Figur 25. Beräknat vattendjup två timmar efter 10-årsregn. Det ligger vatten på flera vägbanor i området och det förekommer även vatten mot fastigheter främst i område 1 och 2. Vatten med över 5 cm djup visas i blått. Markeringar förklaras i nedan.**

Jämförs resultat av 10- och 100-årsregnen utan dagvattenhantering syns det tydligt att vatten lägger sig på ungefär samma platser i området. Vattnet har två timmar efter regnens maxintensitet lagt sig i lågpunkter i terrängen vilket syns i båda figurerna, jämför markeringarna A, B och C i figur 25 och 26. Vid 10-årsregnet är det färre fastigheter som påverkas jämfört vid ett 100-årsregn. Det vatten som ligger på vägbanor är mer utbrett och är även djupare vid 100-årsregnet. Detta är att förvänta sig då ett 100-årsregn är både större och intensivare än ett 10-årsregn.

## **Resultat av svackdiken inkluderade i modellen**

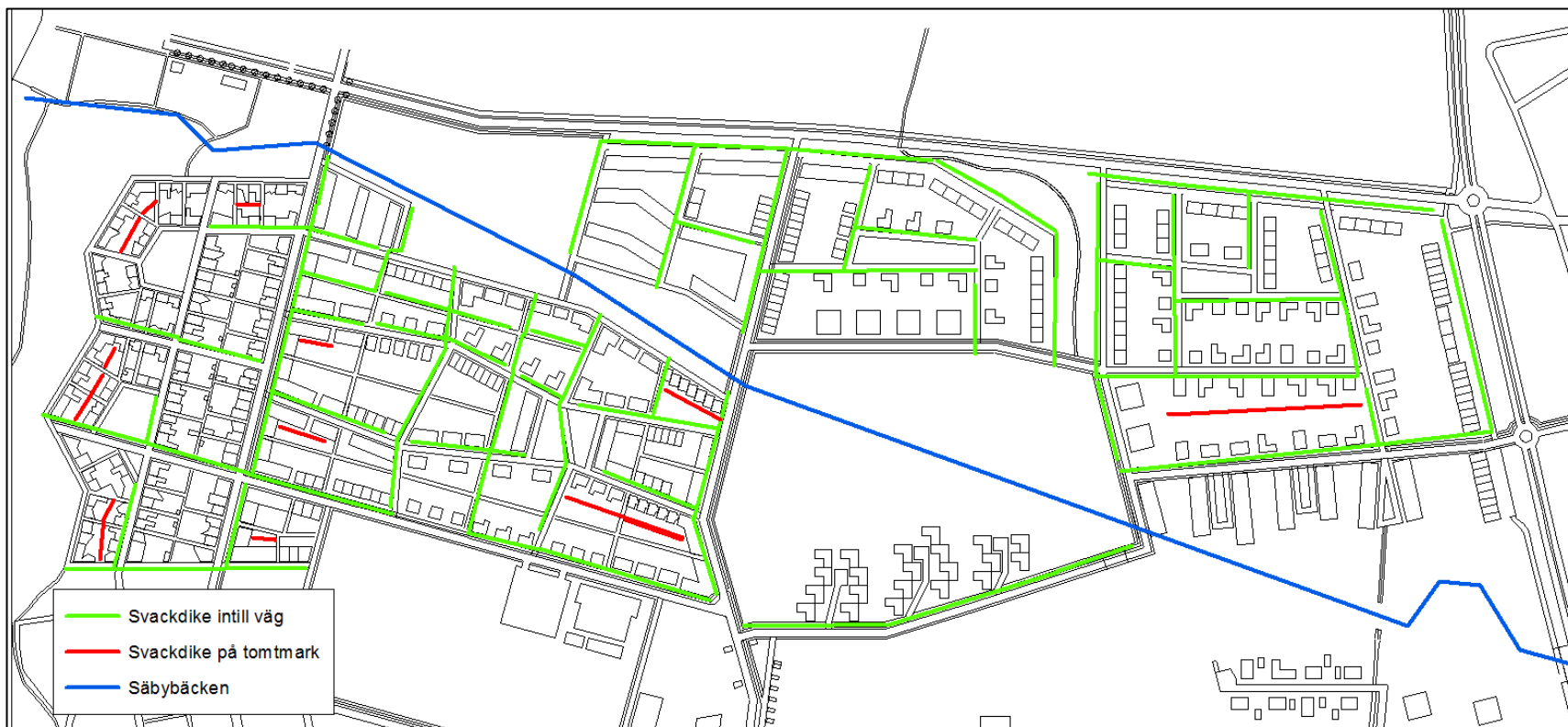
Resultat av max- och minlösningen presenteras nedan. Resultat från båda lösningarna kommer att visas med resultat både från simuleringar av 10- och 100-årsregn. Sammanfattande tabeller med resultat från max- och minlösningen samt området utan dagvattenhantering presenteras slutligen.

### **Placering av svackdiken**

Maxlösningen dimensionerades för att i största möjliga mån avleda vatten från vägbanor och fastigheter i området i samband med ett 100-årsregn. Svackdikenas utbredning och placering visas i figur 26. För att skapa en maxlösning krävdes svackdiken vid flertalet vägar för att avleda vatten från vägbanor och fastigheter. Svackdiken intill vägbanor i maxlösningen har ett djup på 30-70 cm i modellen och svackdiken placerade i tomtmark har ett djup på 30-120 cm. Ett 120 cm djupt dike på tomtmark är inte realistiskt, men visar den kapacitet som krävs för att undvika vatten mot fastigheter vid ett 100-årsregn.

Minlösningen dimensionerades för att avleda vatten från vägbanor och fastigheter i området i samband med ett 10-årsregn. Minlösningen utgick ifrån placeringen av svackdiken i maxlösningen, för att sedan försöka minska antalet samt göra svackdikenas dimensioner mindre. Svackdikenas utbredning och placering i minlösningen visas i figur 27. Svackdikenas djup är generellt 30 cm.

I figur 26 och 27 visas svackdiken i grön färg samt svackdiken på tomtmark i röd färg. En översiktsskild mellan skillnader i placering och utformning mellan max- och minlösningen finns i appendix C.



Figur 26. Maxlösning för dagvattenhantering i undersökningsområdet. Svackdiken intill vägar visas i grönt och svackdiken på tomtmark i rött.



Figur 27. Minlösning av svackdiken i undersökningsområdet. Gröna linjer visar svackdiken vid vägbanor och röda visar svackdiken på tomtmark.

## Resultat av maxlösning

I figur 28 visas det beräknade vattendjupet 2 timmar efter simulerat 100-årsregn med maxlösning inkluderad.



**Figur 28. Maxlösningen två timmar efter 100-årsregnets maxintensitet. Vatten ligger i svackdiken intill vägar och vatten på tomtmark ligger i sänkor i tomter. Markeringar i figuren beskrivs nedan.**

I det markerade området A i figur 28 kan man se att svackdiken mot fastigheter fångar upp vatten nära byggnader. I de två inringade områdena A och B i figuren behövdes mellan 60-120 cm djupa sänkor i tomtmark för att fånga upp allt vatten mot fastigheter. Dessa sänkor är orimligt djupa, men visar på den kapacitet som krävs för att undvika vatten mot byggnader. Det rekommenderas en mer ytavledande funktion tillsammans med en höjdsättning som lutar från dessa byggnader för att minska risker för vatten stående mot husen.

I de markerade områdena C och D visas områden där svackdiken har fungerat väl till att avleda vatten från tomter och vägar. Vattnet ligger nu i diken bredvid vägbanan istället för på vägbanor och tomter. Detta kan jämföras med figur 24 (100-årsregn utan dagvattenhantering) där flertalet vägbanor är översvämmade.

I figur 29 visas det beräknade vattendjupet 2 timmar efter simulerat 10-årsregn med maxlösning inkluderad.





**Figur 29. Maxlösningen två timmar efter 10-årsregnets maxintensitet. Maxlösningen är dimensionerad för ett 100-årsregn och avleder därför ett 10-årsregn väl. Markeringar i figuren beskrivs nedan.**

I figur 29 syns det att maxlösningen avleder ett 10-årsregn väl. I figuren syns i princip inget vatten på vägar. Markering A ligger vatten i svackor på tomtmark och inte mot byggnader. I markering B och C syns inte vatten på vägar, svackdiken avleder vattnet väl. Maxlösningen är dimensionerad för ett 100-årsregn med avsevärt mycket mer nederbörd än ett 10-årsregn och därför avleds vatten från det mindre regnet väl.

## Resultat av minlösning

I figur 30 visas det beräknade vattendjupet 2 timmar efter simulerat 10-årsregn med minlösning inkluderad.



**Figur 30. Minlösningen två timmar efter 10-årsregnets maxintensitet. Som syns i figuren avleds vatten väl från vägar och byggnader. Markeringar i figuren beskrivs nedan.**

I figur 30 syns det att minlösningen avleder vatten från vägar och minskar antalet byggnader påverkade av vatten intill huskroppen vid ett 10-årsregn. Jämförs figur 30 med figur 25 (10-års regn utan dagvattenhantering) syns det stor skillnad mellan översvämmade fastigheter och vägar. Jämförs områdena markerade med cirklar mellan figurerna syns det att vatten inte ligger på vägar utan istället i diken i bredvid vägar.

I figur 31 visas det beräknade vattendjupet 2 timmar efter simulerat 100-årsregn med minlösning inkluderad.



**Figur 31. Minlösningen två timmar efter 100-årsregnets maxintensitet. Minlösningen är dimensionerad för ett 10-årsregn därför förekommer översvämningar på vägar och vid byggnader vid ett 100-årsregn. Markeringar i figuren beskrivs nedan.**

I figur 31 syns det att minlösningen avleder vatten från vägar och minskar antalet hus påverkade av vatten intill huskroppen även vid ett 100-årsregn. Minlösningen är dimensionerad för ett 10-årsregn och därför påverkas området mer av ett 100-årsregn. I markeringarna A och B i figur 31 syns det att vatten ligger på vägar och mot byggnader då kapaciteten för minlösningen inte är tillräcklig vid ett 100-årsregn.



## Jämförelse av max- och minlösning

Två tabeller visar en sammanställning av resultaten från de två regntillfällena. I tabell 3 redovisas resultat för simuleringar med 10-årsregnet. Som går att se i resultaten avleder max- och minlösningen vatten från vägbanor. Detsamma gäller med antalet byggnader. I resultaten av simuleringar med 10-årsregn är det samma byggnader som påverkades av vatten i både max- och minlösningen. Kring dessa fastigheter är det snarare en planerad höjdsättning än svackdiken som bör användas för att avleda vatten.

Tabell 3. Sammanställning av resultat för 10-årsregn. Resultaten visar områden med >5 cm vattendjup mot byggnader eller procentandel vägar tre timmar efter regnets maxintensitet.

|   | 10-årsregn utan hantering |    |    | Minlösning med 10-årsregn |    |    | Maxlösning med 10-årsregn |    |    |
|---|---------------------------|----|----|---------------------------|----|----|---------------------------|----|----|
|   | 1                         | 2  | 3  | 1                         | 2  | 3  | 1                         | 2  | 3  |
| <b>Timmar efter regnets maxintensitet</b> |                           |    |    |                           |    |    |                           |    |    |
| <b>Byggnader</b>                          | 56                        | 49 | 49 | 14                        | 13 | 13 | 14                        | 11 | 11 |
| <b>Väg (%)</b>                            | 43                        | 32 | 27 | 3                         | 1  | 1  | 2                         | 1  | 1  |

I tabell 4 visas en sammanställning av resultat för 100-årsregnet. I resultaten kan man se att tre timmar efter regnets maxintensitet är ungefär lika stor andel av vägbanan påverkad både för max- och minlösningen. Det tar längre tid för minlösningen att avleda vatten från vägar än maxlösningen eftersom kapaciteten är mindre, därför förekommer mer vatten på vägar under de första timmarna än i maxlösningen. I simuleringar med 100-årsregnet sker samma sak som för 10-årsregnet: samma byggnader påverkas och vid dessa rekommenderas en planerad höjdsättning. En sammanställning av utsatta fastigheter och områden där särskild åtanke bör läggas till höjdsättning presenteras i kapitel "Sammanställning av utsatta fastigheter och höjdsättning".

**Tabell 4. Sammanställning av resultat för 100-årsregn. Resultaten visar områden med >5 cm vattendjup mot byggnader eller procentandel vägar tre timmar efter regnets maxintensitet.**

|   | 100-årsregn utan hantering |     |    | Minlösning med 100-årsregn |    |    | Maxlösning med 100-årsregn |    |    |
|---|----------------------------|-----|----|----------------------------|----|----|----------------------------|----|----|
|   | 1                          | 2   | 3  | 1                          | 2  | 3  | 1                          | 2  | 3  |
| <b>Timmar efter regnets maxintensitet</b> |                            |     |    |                            |    |    |                            |    |    |
| <b>Byggnader</b>                          | 140                        | 101 | 86 | 69                         | 46 | 37 | 62                         | 38 | 23 |
| <b>Väg (%)</b>                            | 66                         | 55  | 49 | 20                         | 7  | 4  | 9                          | 4  | 3  |

### **Detaljerad genomgång och diskussion av resultat från minlösning**

Minlösningen presenteras områdesvis för att visa på lokala svackdikesutformningar och placeringar samt förslag till höjdsättning av tomtmark. En väl planerad höjdsättning kan minska riskerna för översvämning av fastigheter. Några förslag på andra tekniska utformningar kommer att presenteras tillsammans med minlösningen, men ligger utanför examensarbetets fokus. Det finns många fler möjligheter till fler kombinationer.

Enbart minlösningen presenteras i detalj beror på att det är den lösning som är mest intressant för kommunen. I de detaljerade resultaten kommer även förslag för att minska konsekvenserna av ett 100-årsregn presenteras. Alla resultat visas två timmar efter regnets maxintensitet. I appendix B finns alla svackdiken i minlösningen markerade med ett ID-nummer och information och information om varje dikes utformning listas i tabeller.

## Område 1

Område 1 ligger längst västerut i undersökningsområdet och angränsar till havet och område 2. Den generella lutningen är mot havet och vatten avleds därför främst mot kusten. Bostäder kommer att byggas tätt i området. I figur 32 visas område 1 med resultat från 10-årsregn och 100-årsregn med minlösningen.



Figur 32. Resultat område 1, området avgränsas med svart markering. Vänster bild visar minlösning med 10-årsregn och höger med 100-årsregn. Svackdiken visas som skuggade områden och röda markeringar beskrivs i nedan.

Som går att se i den vänstra bilden hanterar minlösningen väl effekten av ett 10-årsregn. Tittar man istället på effekterna av 100-årsregnet syns det att det ligger vatten mot byggnader. Markeringen markerad med A i övre vänstra hörnet visar på bostäder där en 30 cm sänka på tomten inte är tillräckligt för att skydda byggnader mot översvämningar vid ett 100-årsregn (resultat från maxlösning visar att sänkan behöver vara 120 cm djup).

Det är främst fastigheter närmast kusten som påverkas av vatten mot byggnader. Anledning till detta är den lokala lutningen som illustreras i figur 33.



**Figur 33. Illustration av problem med vatten mot fastigheter vid stor lokal lutning. Upphöjningen av byggnader på tomter är då inte tillräcklig för att kompensera för en stor lokal lutning.**

För att bättre hantera extremregn måste vatten kunna passera mellan fastigheter, på exempelvis cykelbanor eller sänkor invid cykelbanor, för att på så vis avledas mot havet.

Cykelbanan som löper genom hela områdets östra del, markerad innanför inringning B i figur 34, rekommenderas att utgöra en lågpunkt. Invid cykelbanan kan då en sänka skapas för att avleda vatten. Fastigheter till vänster om cykelbanan kan komma att påverkas då tomtmarken runt byggnader har upp emot 5 cm vatten liggande mot sig (ljus grön färg).



**Figur 34. Vänster bild visar ett exempel på infiltrationsstråk mellan två fastigheter. Höger bild visar ett infiltrationsstråk i en gräsmatta. Det går även att se att byggnader lutar mot infiltrationsstråket (Svenskt Vatten, 2011).**

Exempel på hur avledning från fastigheter visas i figur 34. Figuren visar ett svackdike/infiltrationsstråk mellan två byggnader och ett infiltrationsstråk i en gräsmatta. Som syns i bilden lutar tomtmarken från byggnaderna ner mot infiltrationsstråket. Infiltrationsstråken i figur 34 skiljer sig från svackdiken på tomter i modellen då de har en mer ytavledande funktion. Svackdiken på tomter i modellen ansamlar vatten för att via infiltration dränera vattnet. Svackdiken på tomtmark som skapades i modellen

rekommenderas att ha en avledande funktion för att inte ansamla vatten på tomtmark och storleken skulle då kunna göras mindre. Modellens upplösning gjorde det svårt att skapa den avledande funktionen mellan fastigheter eftersom de ligger tätt.

## Område 2

Område 2 ligger söder om Säbybäcken och angränsar till område 1 och 5. Den generella lutningen är i nordöstlig riktning mot Säbybäcken och flera fastigheter kommer att ligga tätt eller utgöras av kedje- och radhuslängor. I figur 35 visas minlösningen för området med ett 10-årsregn till vänster och ett 100-årsregn till höger.



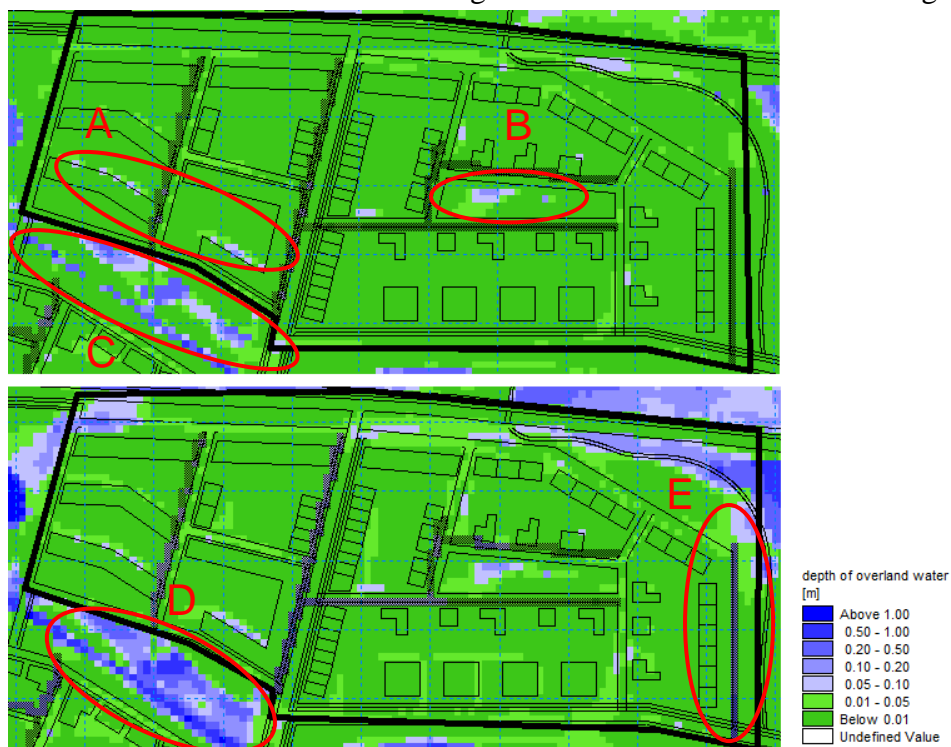
**Figur 35. Resultat område 2, området avgränsas med svart markering. Vänster bild visar minlösning med 10-årsregn och höger med 100-årsregn. Svackdiken visas som skuggade områden och röda markeringar beskrivs i nedan.**

Som ses i den vänstra bilden i figur 35 hanterar minlösningen ett 10-årsregn väl. I det inringade området A fanns inte höjddata given för vägar därför var dessa fastigheter inte möjliga att studera i detalj. Utifrån resultaten rekommenderas att en nedsänkning mellan fastigheterna övervägs för att avleda vatten mot grönområdet ovanför.

I den högra bilden i figur 35 visas resultat av ett 100-årsregn. Vägbanor och området i allmänhet har en god avledning med hjälp av svackdiken. I områdena markerade, inringning B och C, uppstår däremot problem. Vatten blir stående mot byggnader och upp emot 30 cm vatten står mot byggnaderna innanför den högra markeringen. Därför rekommenderas att särskild hänsyn tas till höjdsättningen runt dessa fastigheter. Ytor omkring intilliggande cykelbanor kan användas till att avleda vatten.

### Område 3

Område 3 ligger norr om Säbybäcken och angränsar till område 4 och 5. Den generella lutningen är söderut mot bäcken och grönområdet i område 5. I figur 36 visar övre bild området med resultat av ett 10-årsregn och den nedre med ett 100-årsregn.



**Figur 36. Resultat område 3, området avgränsas med svart markering. Övre bild visar minlösning med 10-årsregn och den nedre med 100-årsregn. Svackdiken visas som skuggade områden och röda markeringar beskrivs i nedan.**

Resultatet av 10-årsregnet visar att vatten på vägbanor avleds väl. Några byggnader har upp emot 10 cm vatten stående mot sig, exempelvis inringade fastigheter i markering A. Vid dessa fastigheter bedöms det att en väl planerad höjdsättning avleda vattnet från byggnaderna. Detta gäller även andra byggnader med ljusgröna fält kring sig. Parken inringad i markering B i övre bild är omgiven av svackdiken i minlösningen. En idé är att istället utnyttja ytan som ett område som går att översvämma vid extremregn, exempelvis genom att anlägga översilningsytor eller en damm. I så fall måste parken höjdsättas och designas för detta.

I den nedre bilden i figur 36 syns resultat av ett 100-årsregn. Svackdikena avlededer vatten väl från vägbanor men samma problem med vatten runt fastigheter finns som i 10-årsfallet. I området inringat i markering D syns det att Säbybäcken översvämmas och vatten ansamlas

nära vägarna i de sydvästra delarna av området. Samma fenomen sker vid 10-årsregn (markering C), men syns tydligare vid 100-årsregnet. Säbybäcken kan därför behöva breddas och topografin kring bäcken utjämnas. Detta finns beskrivet i kapitel 5.7 med resultat för ändring av Säbybäcken.

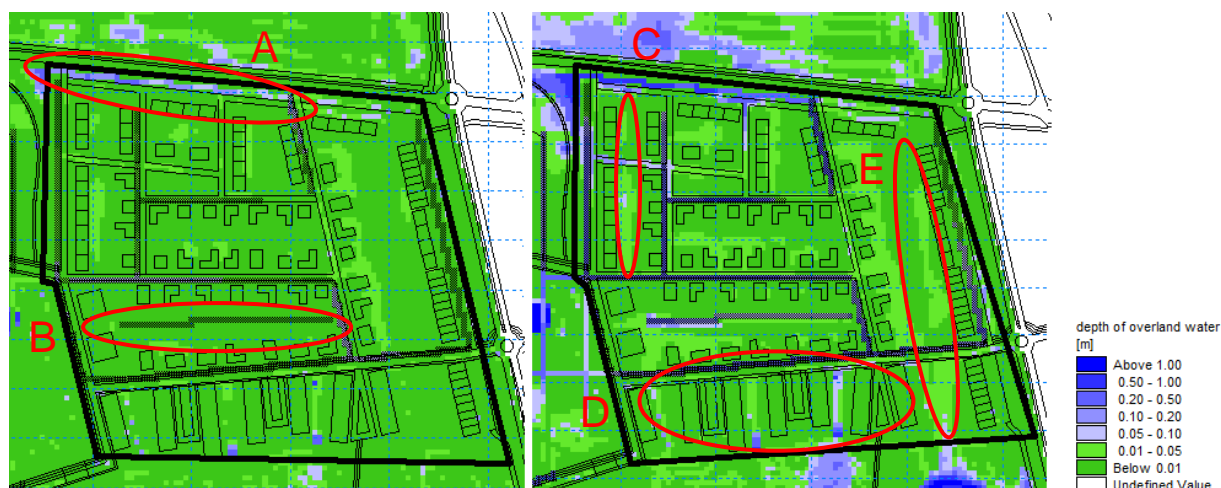
I området inringat i markering E syns ett svackdike som avleder vatten från område 3 söder mot grönområdet i område 5. Det föreslås att svackdikets högra kant mot grönområdet anläggs lägre än den vänstra för att vatten vid extremregn leds mot parken istället för vägen.

Norr om område 3 och 4 kommer en golfbana anläggas. För att inte förlora effekten av att Erikstorpsvägen norr om områdena fungerar som en skyddsvall vid kraftiga regn föreslås det att golfbanans höjdsättning och avledning i anslutning till Erikstorpsvägen planeras noga. Annars kan ökad risk för översvämningar vid extremregn i undersökningsområdets norra delar riskeras.



## Område 4

Område 4 ligger i den nordöstra delen av undersökningsområdet och angränsar till område 3 och 5. Den generella lutningen är från nordöstra hörnet ner mot område 5 i sydväst. I figur 37 syns resultat av område 4 med 10-årsregn till vänster och 100-årsregn till höger



**Figur 37. Resultat område 4, området avgränsas med svart markering. Vänster bild visar minlösning med 10-årsregn och höger med 100-årsregn. Svackdiken visas som skuggade områden och sedan tidigare finns ett dike norr i området längst med Erikstorpsvägen. Markeringar i figuren beskrivs nedan.**

I figur 37 till vänster syns det att det till största del inte ligger vatten på vägbanor. I område A i vänster bild finns ett befintligt dike. Detta dike skapades i modellen utifrån tre givna höjdpunkter från kommunen. Det är oklart hur dräneringen i det befintliga diket fungerar (Karlsson Green, 2013). I modellen har diket istället fått avleda vatten mot det övre parkområdet i område 3. Begränsningen av avledning ger problem med uppdämning och vatten på vägbanor vid angränsande diken i fallet med 100-årsregn.

I det inringade området B i bilden till vänster har ett svackdike lagts mellan fastigheter. Detta svackdike är till för att fånga upp vatten och minska belastningen på diket i anslutning till den större vägen nedanför.

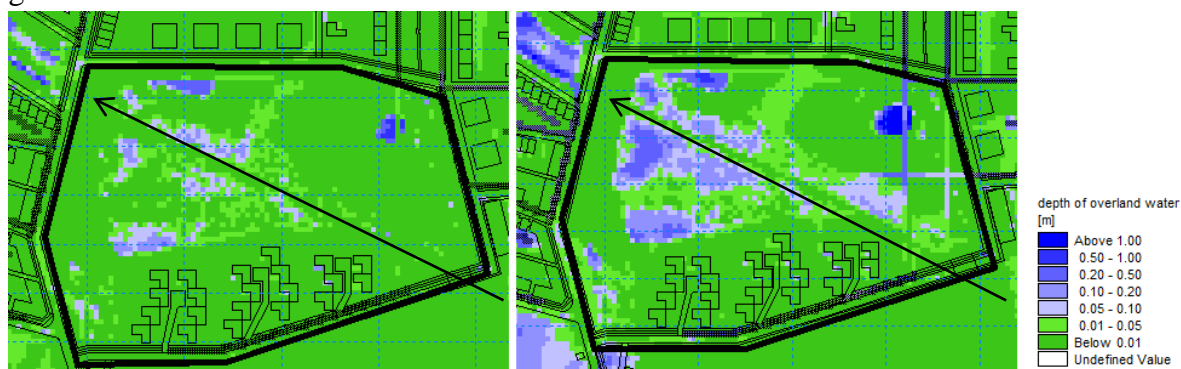
I figur 37 till höger visas resultat för minlösningen med ett 100-årsregn. De tre inringade områdena (C, D och E) visar platser där lågpunkter mellan fastigheter kan anläggas för att avleda vatten från fastigheter med hjälp av områdets lutning. Den nedersta inringningen (D) visar hur lågpunkter i höjdsättningen mellan fastigheter kan användas som ytterligare sätt att avleda vatten från den större vägbanan ovanför och därmed minska belastningen på svackdike i anslutning till vägen. Detta svackdike och vägbanan i anslutning är bland det mest belastade platser i hela undersökningsområdet vid både 10- och 100-årsregn.



Nedsänkningar mellan fastigheterna har därför skapats för att avleda vatten mot bäcken nedanför området och minska belastningen på svackdiket. Område E visar ett område som kan anläggas lågt för att minska vatten stående mot byggnader. Alternativt kan infiltrationsstråk läggas mellan husen. Som går att se i figuren ligger det vatten med upp emot 5 cm djup mot flertalet byggnader i området vid ett 100-årsregn.

## Område 5

Område 5 ligger i mitten av undersökningsområdet och angränsar till område 2, 3 och 4. Området består främst av en grönyta och Säbybäcken rinner genom området. Den generella lutningen är mot Säbybäcken. Säbybäcken rinner i nordöstlig riktning och är kulverterad genom området.



**Figur 38. Resultat område 5, området avgränsas med svart markering. Vänster bild visar minlösning med 10-årsregn och höger med 100-årsregn. Svackdiken visas som skuggade områden och Säbybäckens sträckning visas med en pil .**

I figur 38 syns resultat av område 5 med 10-årsregn till vänster och 100-årsregn till höger. I båda bilderna syns det att det vatten inte ligger på vägbanor. Svackdiken finns placerade längst delar av vägen runt området för att avleda vatten. Från område 3 och 4 avleds vatten från svackdiken in i område 5 till Säbybäcken. I området kommer endast ett 20-tal fastigheter byggas och därför föreslås en väl planerad höjdsättning runt dessa för att undvika vatten mot byggnaderna.

Område 5 utgörs till största delen av ett grönområde. Det finns goda möjligheter att utnyttja denna yta till att skapa andra tekniska utformningar av öppna dagvattenlösningar. Ett exempel som kommunen tittar på är att anlägga en damm. Dammen skulle kunna utformas som ett fördröjningsmagasin och på så vis utjämna flödet nerströms i Säbybäcken och på så vis förbättra situationen i område 3.

### **Sammanfattning av utsatta fastigheter och höjdsättning**

För att ge en översiktlig bild av resultaten av utsatta fastigheter i modellen visas en sammanställning i figur 39. I figur 39 visas med rött de byggnader som återkommande under beräkningarna visat sig vara utsatta för översvänningsproblem. Kring dessa byggnader rekommenderas att hänsyn tas till tomtmarkens lutning för att undvika vatten stående mot byggnaderna vid intensiva regn i kombination med minlösningen. Tomtmarken runt byggnaden ska luta på så vis att vatten rinner från byggnaden till ett mindre känsligt område eller avleds via sänkor till recipienten. För att undersöka de angivna fastigheterna ytterligare eller se på mer lokala förhållanden för något problemområde kan också mindre modeller skapas för att undersöka dessa i detalj.

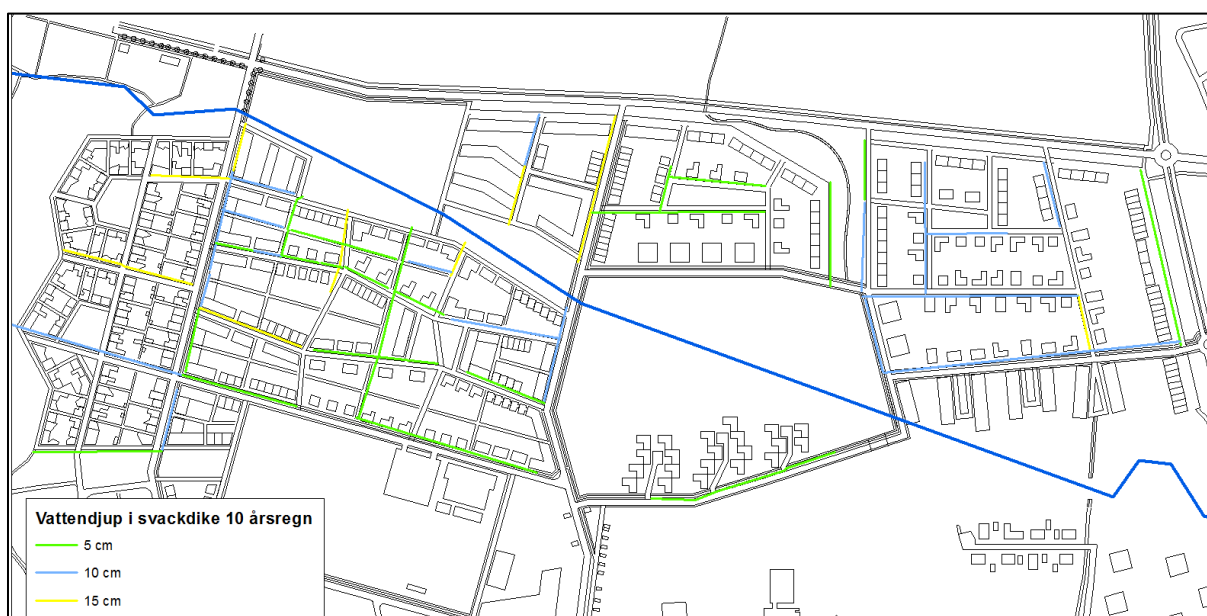


**Figur 39. Sammanställning av resultat från detaljstudie av minlösning. Byggnader ifyllda med rött visar de byggnader som har visat sig vara särskilt översvämningsutsatta vid modelleringen. Orange pilar visar på områden där hänsyn bör tas till höjdsättning för att undvika vatten stående på närliggande vägar eller mot byggnader i kombination med minlösningen. Pilarna visar den riktning vattnet kan ta sig till recipienten.**

Områden markerade med pilar visar på platser där hänsyn bör tas till höjdsättning eller anläggning av sänkor/svackdiken/infiltrationsstråk för att minska effekter av vatten mot byggnader eller på vägbanor. Pilarna visar den riktning avrinningen bör ske för att nå recipienten. Marken kan luta på så vis att det når ett svackdike som för det vidare till recipienten eller så anläggs lågpunkter eller infiltrationsstråk så vattnet kan rinna undan. På vissa platser kan dräneringsrör, eller annan form av dränering eller kulvertering, behövas för att vattnet ska kunna korsa exempelvis en vägbana. Genom att planera höjdsättningen och låta marken luta mot recipienten kan detta underlätta vatten att rinna bort från byggnader alternativt minska belastningen på närliggande svackdiken. Det rekommenderas även att utnyttja områden kring småvägar och cykelbanor i dessa områden för att avleda vatten.

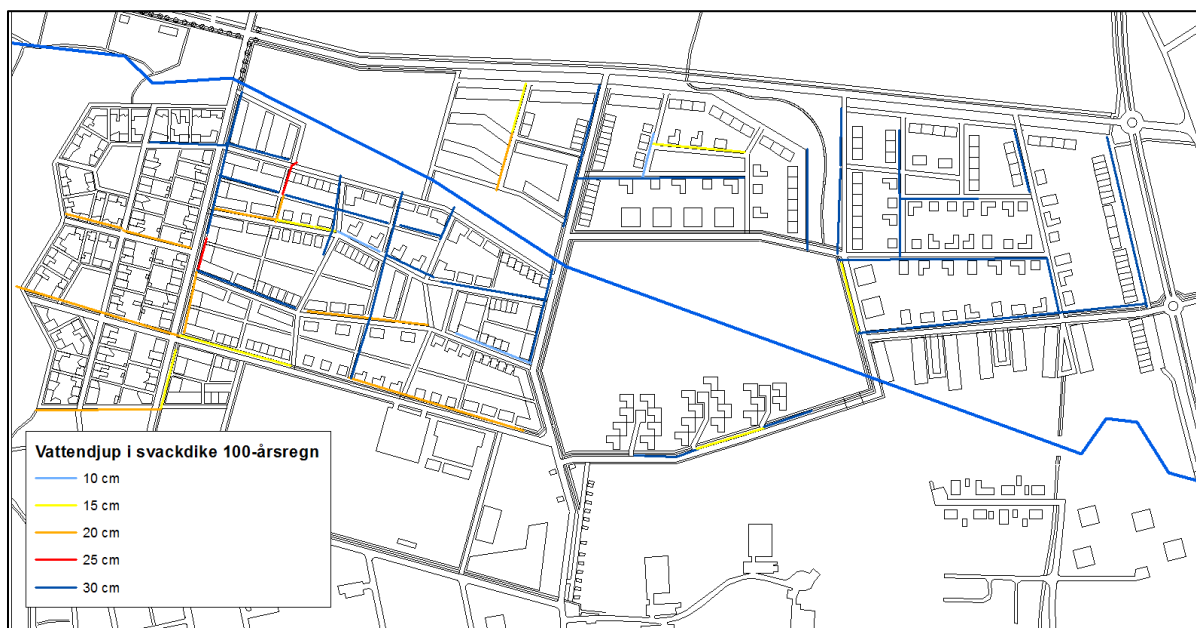
### Dimensionering av svackdikena

För att göra en dimensionering av trapetsformade svackdiken för området har maximala vattendjupet i varje modelldike i minlösningen uppmäts vid regntillfällena. Ett maxdjup har tagits fram för 10-årsregnet och ett för 100-årsregnet, se figur 40 och 41.



**Figur 40. Maximalt vattendjup i svackdiken i minlösningen i samband med 10-årsregn. Vattendjupet i modelldikena ligger maximalt på 5-15 cm.**

I figur 40 syns det att vattendjupet i svackdikena i modellen är maximalt 5-15 cm i samband med 10-årsregnet. De flesta svackdiken har ett maximalt vattendjup på 5 cm och svackdiken närmre recipienten 10-15 cm. De svackdiken som ligger närmre recipienten tar emot vatten från andra svackdiken längre upp i systemet.



**Figur 41. Maximalt vattendjup i svackdikena i minlösningen i samband med 100-årsregnet. Vattendjupet i modelldikena ligger maximalt på 10-30 cm.**

Figur 41 visar att svackdikena i modellen har maximalt 10-30 cm vattendjup i samband med ett 100-årsregnet. De flesta diken har ett vattendjup på 15-30 cm i samband med 100-årsregnet. Figur 41 visar var störst dimensioner behövs för att avleda ett 100-årsregnet.

I figur 40 och 41 syns det att vattendjupet i diken är större för 100-årsregnet än för 10-årsregnet. Det är även viktigt att påpeka att ett svackdike nedströms i systemet som visar på mindre vattendjup än de sammanlänkade uppströms kan dimensioneras på så vis att det inte blir bräddning eller uppdamning; ett svackdike nedströms ska kunna avleda det vatten som kommer från ett dike uppströms.

Eftersom vattendjupet varierar i modelldiket för de olika regnen kommer svackdiket behöva dimensioneras för olika volym beroende på vilken vattenmängd de ska kunna hantera vilket nämnts i kapitel "Skillnader mellan modell-, teoretiska och verkliga svackdiken". Tabell 5 visar översiktligt vilken storlek som kan komma att behövas för ett 30 cm djupt svackdike vid olika maximala vattendjup utifrån figur 40 och figur 41. Detta ger en grov uppskattning över

hur stort utrymme svackdikedet behöver beroende på den kapacitet det ska dimensioneras för. Det är också viktigt att tänka på att flera diken måste göras djupare för att kompensera för en låg lutning och för att sammankopplingen till närliggande dikens dränering ska fungera.

**Tabell 5. Tabell för den botten- och toppbredd som krävs för ett 30 cm djupt trapetsformat svackdike för att motsvara vattendjupet i modellen. Botten- och toppbredd visas för trapetsformade diken med släntslutning (1/z) med både z=3 och z=5.**

| Vattendjup i modelldike (m) | Bottenbredd trapetsformat dike med z=5 (m) | Toppbredd trapetsformat dike z=5 (m) |
|-----------------------------|--|--------------------------------------|
| 0,1                         | 0 (V-format dike)                          | 3                                    |
| 0,15                        | 0,5  | 3,5                                  |
| 0,2                         | 1,2  | 4,2                                  |
| 0,25                        | 1,8  | 4,8                                  |
| 0,3                         | 2,5  | 5,5                                  |
| Vattendjup i modelldike (m) | Bottenbredd trapetsformat dike med z=3 (m) | Toppbredd trapetsformat dike z=3 (m) |
| 0,1                         | 0,4  | 2,2                                  |
| 0,15                        | 1,1  | 2,9                                  |
| 0,2                         | 1,8  | 3,6                                  |
| 0,25                        | 2,4  | 4,2                                  |
| 0,3                         | 3,1  | 4,9                                  |

I tabell 5 visas motsvarande topp- och bottenbredd på trapetsformade diken med släntslutningarna z=3 och z=5 för att få samma tvärsnittsarea som för ett rektangulärt dike. Släntslutningarna (1/z) är valda till z=5 och z=3 eftersom detta är de högsta släntlutningarna rekommenderade enligt Svenskt Vatten (2011) och Larm (2000), och kommer därför ge den minsta toppbredden på svackdikedet. Dimensioneras svackdiken för ett 10-årsregn kommer resultaten för 100-årsregn inte överensstämja med resultatbilderna. Detta eftersom modelldikedet är större än motsvarande trapetsformat dike, förklarat i kapitel ”Skillnader mellan modell-, teoretiska och verkliga svackdiken”. Resultaten visar därför främst placering och ungefärlig utformning i förhållande till vägbanor och tomtmark.

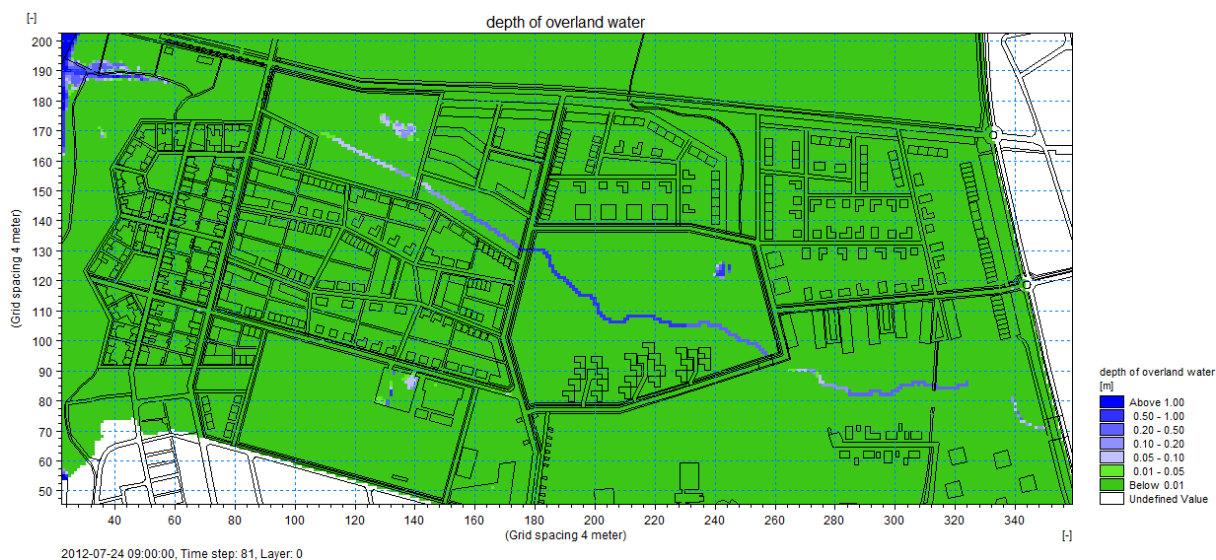
### **Resultat av öppning av Säbybäckens kulverterade sträckning**

I ett sista skede av examensarbetet ändrades Säbybäckens utformning i MIKE URBAN. Säbybäcken är inlagd som en endimensionell modell i MIKE URBAN som sammankopplas

med MIKE SHE modellen för Norra Borstahusen. Att koppla samman programmen tillåter en kontinuerlig simulering av det utbyte av vatten som sker mellan Säbybäcken, grundvattnet och ytvattnet. Den kulverterade sträckan gjordes om med hjälp av höjddata från kommunen till en meandrande sträcka och bredden på bäcken nedströms kulverteringen dubblerades.

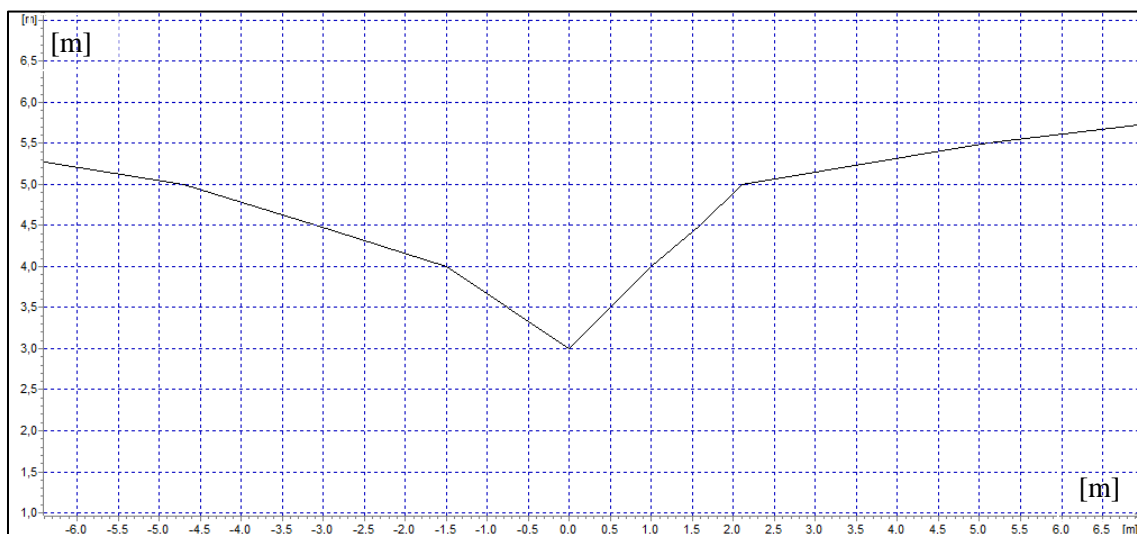
Den nya utformningen simulerades för tre scenarion med minlösning inkluderad; bäckens utbredning i samband med 10-årsregn och 100-årsregn samt förhållandet innan simulerat extremregn.

I figur 42 visas Säbybäckens nya meandrande del innan extremregn.



**Figur 42. Säbybäckens meandrande utformning vid sommarförhållanden. Vattenspegeln varierar utmed bäckfåran och syns tydligast i delar av den meandrande sektionen.**

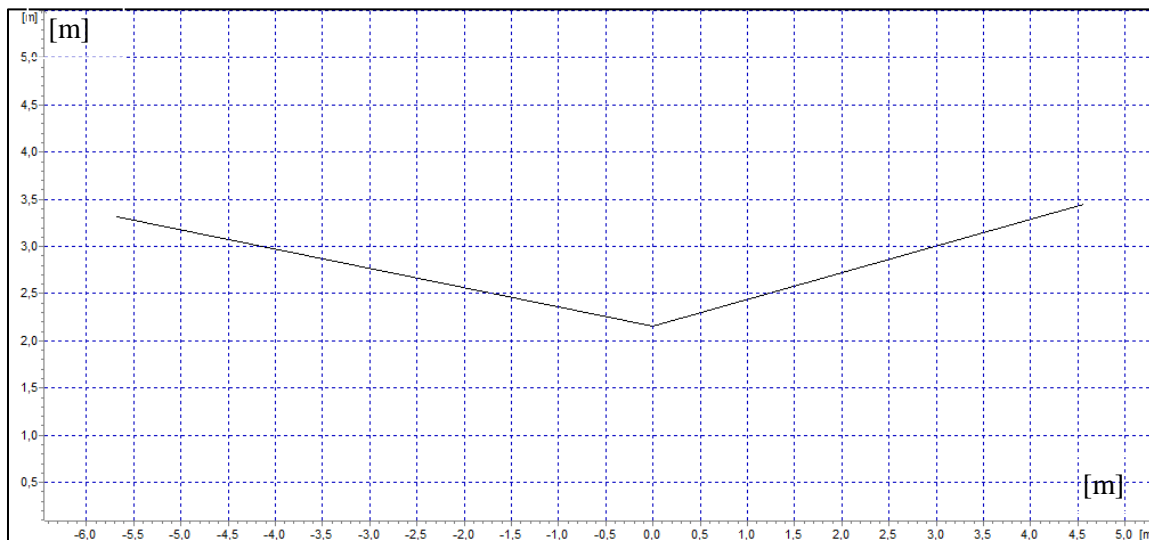
Som går att se i figur 42 varierar vattenspegeln i Säbybäcken. Delar av den meandrande sträckan har en tydligare vattenspegel än andra delar av bäcken. Anledningen till detta är bredden och bottenprofilen på bäckfåran. Detta kan beskrivas med hjälp av figur 43 och 44 nedan som visar två olika tvärsnittssektioner av bäcken.



**Figur 43. Exempel på tvärsnittssektion av Säbybäckens meandrande del framtaget med höjdmodell från kommunen. I mitten finns en 3,5 m bred V-formad nedsänkning med relativt liten tvärsnittsarea som tillåter vattenspiegel i bottenfåran.**

Tvärektionen visad i figur 43 är framtagen med höjddata för den framtida bäckfåran givna av kommunen. Nedsänkningen i mitten av fåran tillåter en vattenspiegel vid mindre flöden då tvärsnittsarean är relativt liten.





**Figur 44. Exempel på tvärsnittssektion av Säbybäcken nedströms bäckens meandrande del. Denna sektion är en befintlig del av bäcken men bredden dubblerades för att öka bäckens kapacitet. Tvärsnittet är en jämnt utformad 10 meter bred flack sänka vilket skapar en relativt större bäckfåra.**

Figur 44 visar tvärsnittet för Säbybäcken efter den meandrande delen. Tvärsnittet har en bredare mittsektion vilket ger ett mindre vattendjup i denna del av bäcken.

Figur 45 och 46 visar Säbybäcken i samband med ett 10-årsregn respektive ett 100-årsregn.



**Figur 45. Säbybäckens meandrande utformning i samband med 10-årsregn. Figuren visar bäcken två timmar efter regnets maxintensitet med inkluderad minlösning. Markeringen visar en lokal sänka där vatten i samlas vid extremregn.**



**Figur 46. Säbybäckens meandrande utformning i samband med 100-årsregn. Figuren visar bäcken två timmar efter regnets maxintensitet med inkluderad minlösning. Markeringen visar en lokal sänka där vatten i samlas vid extremregn.**

I figurerna syns bäckens ändrade utformning i samband med 10- och 100-årsregn. I fallet med 10-årsregn breddas inte bäcken men den gör så vid 100-årsregnet. Mellan område 2 och 3, markerat med inringning A i båda bilder, syns det att det ligger vatten mot den södra vägen i område 3. En lokal sänka söder om vägen tillåter inte vatten att rinna ner i bäcken och blir istället stående. Det rekommenderas att jämna till området norr om bäcken så avrinningen sker utan hinder till Säbybäcken och risk för stående vatten mot vägbanan minskas.

## 10. Diskussion och slutsats

Diskussionen är uppdelad i två delar och kommer först att behandla resultat från modelleringen samt övergripande aspekter till att skapa en hållbar öppen dagvattenhantering med svackdiken i Norra Borstahusen. Modelleringen samt de fördelar och nackdelar som finns med att arbeta med modeller diskuteras sedan.

### Svackdiken som dagvattenlösning

Resultaten av modelleringen visar att svackdiken kan användas till att avleda vatten vid kraftiga regn i Norra Borstahusen. I minlösningen är endast tre procent av vägytan täckt av mer än 5 cm vatten en timme efter 10-årsregnets maxintensitet. Ett 100-årsregn avleds också av minlösningen, men det är först tre timmar efter regnets maxintensitet som vägytan endast är täckt till fyra procent. En timme efter maxintensiteten är en femtedel av alla vägar täckta av vatten.

I de flesta fall då vatten står mot byggnader bedöms det att detta kan åtgärdas med en väl planerad höjdsättning och lutning från byggnaden i kombination med minlösningen. I de fall där byggnader står vinkelrätt mot flödesriktningen och hindrar vatten från att nå recipienten behövs ytavledande funktioner för att vattnet ska ta sig runt fastigheten, exempelvis med svackdike/dränerande stråk på tomtmarken. I figur 39 har en sammanställning gjorts som visar på de områden där en väl planerad höjdsättning kan hjälpa till att få bort vatten på vägar och mot byggnader tillsammans med minlösningen. Resultaten visar att hänsyn bör tas till höjdsättningen och lutningen i hela området, men särskilt i de angivna områdena och på så vis kan antalet översvämningsutsatta byggnader minska.

Ett öppet dagvattensystem kräver utrymme på markytan vilket ett konventionellt system inte gör. Norra Borstahusen kommer att byggas tätt, vilket begränsar utformningen av öppna dagvattenlösningar. Svackdiken är en utformning av öppen dagvattenhantering som kräver relativt liten plats i jämförelse med andra utformningar och designen kan varieras för att passa in i begränsade områden. Samtidigt bidrar den gräsklädda botten till öppna grönområden i stadsmiljön. Lutningen som enligt litteraturen behövs för att avleda vatten i diket överensstämmer överlag med områdets lutning trots den flacka topografin. Där lutningen är otillräcklig kan dikesbotten justeras för att kompensera för en låg lutning.

Svackdikens konstruktion måste samspela med väg- och husbyggen i kvarteren så att avrinningen i diket kan passera hinder så som garageuppfarter, trottoarkanter och vägbanor. Det är därför en fördel att bostadsområdena inte är byggda ännu eftersom konstruktionen av

svackdikena kan göras i samband med vägbyggen. Det finns möjligheter att ändra dimensionerna på ett svackdike i efterhand. Visar sig diket vara över- eller underdimensionerat kan utformningen ändras och diket göras större eller mindre. Ett öppet system infiltrerar vatten, vilket ett konventionellt dagvattensystem inte gör. Detta skapar en flödesutjämnande effekt och förlänger avrinningsförloppet. Infiltrationen kan också bidra till en föroreningsreducering i recipienten då föroreningar ansamlas eller bryts ner i jorden i svackdiket.

I studien har endast svackdiken undersökts i området. Svackdiken tillhör kategorin för trög avledning vid öppen dagvattenhantering så att bara använda svackdiken blir en ensidig lösning. Kombinationer med andra tekniska utformningar från de andra kategorierna; lokalt omhändertagande, fördröjning vid källan och fördröjningsmagasin, är därför att rekommendera. Att anlägga andra varianter av öppna dagvattenlösningar tillsammans med svackdiken kan bidra till att skapa ett mer hållbart öppet dagvattensystem. Vid hantering av extrema regn krävs en ytavledande funktion vilket svackdiken har. Målet med examensarbetet har varit att undersöka om svackdiken kan avleda ett 10- och ett 100-årsregn. Om andra frågeställningar hade varit målet med studien, exempelvis föroreningsreduktion, hade andra former av öppen hantering kunnat passa bättre.

Som rekommendation föreslås att minlösningen används i området. Detta förutsatt att förslagen angående höjdsättning och andra öppna dagvattenlösningar också används i kombination med svackdiken. I kvarter som visat sig vara hårt belastade vid regn och där skada av egendom kan uppstå kan dikena dimensioneras större, detta genom att exempelvis använda dimensioner från maxlösningen. Vid vägar där svackdiken inte anläggs måste någon form av ytavledande funktion användas för att avvattna vägen. Exempel på detta kan vara mindre sänkor eller kanaler som kopplas samman med svackdikeslösningen utmed vägar för att avleda vatten även från dessa vägar.

## **Modellen**

Modellen kan tydligt visa vilka platser i undersökningsområdet som påverkas mest vid extremregn och särskilt utsatta områden kan identifieras. Resultaten visar hur vattnet fördelar sig över området och man kan se effekter av ändringar i modellen. Detta gör att man smidigt kan arbeta med utformningar av systemet och göra stegvisa förändringar för att se på effekter av exempelvis ändringar i placering av svackdiken.

Modellens främsta begränsning är att hela bostadsområdets topografi är baserat på höjdpunkter givna för vägkorsningar, se figur 11. Detta innebär att alla vägbanor, tomter och byggnader är interpolerade utifrån dessa punkter. Interpoleringen missar därför lokala variationer i topografin, främst på fastigheter. Vägar interpolerades jämnt mellan givna höjdpunkter medan tomtmark och bostäder interpolerades mellan vägar över större ytor. Val av interpoleringsmetod kan därför ha betydelse för topografin.

För att ge tydligare resultat av placering och svackdikenas dimensioner skapades en topografimodell med två meters upplösning för projektet. Beräkningstiden vid modelleringen blev dessvärre avsevärt mycket längre, upp emot tre dygn, och därför ansågs det vara för tidsintensivt att arbeta med. Att arbeta med en mer detaljerad upplösning kan dessutom bli motsägelsefullt i den mån att områdets topografi inte blir mer utförligt beskrivet av en högre upplösning när man bara utgår från enskilda punkter i interpoleringen. Modellens huvudsakliga syfte är att se till placering och ungefärlig dimensionering av dagvattenlösningar vilket inte kräver en högre upplösning. Det valdes därför att arbeta med en fyra meters upplösning av terrängen.

Ett alternativ till arbeta i MIKE SHE modellen hade varit att utforma svackdikena i programmet MIKE URBAN. Varje enskilt svackdike hade kunnat illustreras med trapetsformat tvärsnitt och flödesförhållanden och hydrodynamik hade kunnat undersökas mer ingående. För att även kunna beskriva de hydrologiska processerna hade det krävts en koppling mellan MIKE SHE och MIKE URBAN. Examensarbetets syfte var främst att se till placering och ungefärlig dimensionering av öppna dagvattenlösningar för området. Därför anses det att den valda metoden är en bättre metod med hänsyn till praktiskt utförande och beskrivning.

MIKE SHE är ett hydrologiskt modelleringsprogram som kan beskriva interaktionerna mellan alla viktiga hydrologiska processer. I Norra Borstahuseten ligger grundvattennivåerna nära markytan och därför är det fördelaktigt att använda ett program som kan beräkna interaktionerna mellan grund- och ytvatten.

## Förslag till fortsatta studier

Förslag på fortsatta studier utifrån examensarbetet av dagvattenhanteringen i Norra Borstahusen listas nedan:

- ◆ Ett förslag till fortsatt studie är att undersöka särskilt utsatta fastigheter i modellen mer lokalt. Genom kombinationer av en väl planerad höjdsättning och lokala dagvattenlösningar kan man undersöka hur dessa områden kan göras mindre sårbara vid extrema nederbördssituationer.
- ◆ Vidare undersökningar av effekter av ändringar av Säbybäcken med meandrande sträcka. Modellen skapad med Säbybäckens nya sträckning kan användas till att undersöka flödesförhållanden, vattendjup i bäckfåran och effekter av breddning nedströms den framtida meandrande sträckan. Det går också att använda modellen av Säbybäcken för att undersöka vilka effekterna hade blivit på bäcken om ett konventionellt dagvattensystem används istället för ett öppet.
- ◆ Dimensionering och detaljprojektering kan utifrån resultaten göras för området. Vattendjupet i varje modelldike vid de olika regnsituationerna kan användas och utifrån detta kan detaljerade tvärsnittsektioner och utformningar tas fram. En möjlighet är att använda MIKE URBAN för att bestämma tvärsnittsektioner och dimensioner.

## 11. Litteraturförteckning

A.E. Barbosa, J. F. L. D., 2012. Key issues for sustainable urban stormwater management. *Elsevier*.

Abott, M. & Refsgaard, J.-C., 1996. *Distributerd Hydrological Modelling*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Bäckström, M., 2002. *Grassed Swales for Urban Storm Water Drainage*. Luleå: Luleå Tekniska Universitet.

Beven, J. K., 2001. *Rainfall-Runoff Modelling*. Chichester: John Wiley & Sons LTD.

Blösch, G. & Grayson, R., 2000. Spatial modelling of Catchment Dynamics. i: G. Blösch & R. Grayson, red. *Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and modelling*. Cambridge: Cambridge University Press, p. Kapitel 3.

Bonn, C., 2000. *Ekologisk dagvattenhantering i våra nordiska grannländer*. [Online]  
Available at: [http://www1.vaasa.fi/vitalvaasa/fin/dagvatten\\_forord.htm](http://www1.vaasa.fi/vitalvaasa/fin/dagvatten_forord.htm)  
[Använd 6 februari 2013].

Boverket, 2010. *Mångfunktionella ytor - Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur*, Karlskrona: Boverket.

DHI, 2011. *MIKE by DHI*. [Online]  
Available at: <http://mikebydhi.com/Products/Cities/MIKEURBAN.aspx>  
[Använd 21 februari 2013].

DHI, 2012. *MIKE by DHI*. [Online]  
Available at: <http://mikebydhi.com/Products/WaterResources/MIKESHE.aspx>  
[Använd 21 februari 2013].

DHI, 2012. *User Manual*.

Djerv, H., 2010. *Torra Svackdiken - Känslighetsanalys genom hydrologisk modellering av påverkansfaktorer för avrinning och vattenbalans*, Lund: Lunds Universitet.

Graham, D. & Butts, M., 2005. Flexible Integrated Watershed Modelling with MIKE SHE. i: V. Singh & D. Frevert, red. *Watershed Modelling*. u.o.:CRC Press Inc, pp. 245-272.



Griph, H. & Rhode, A., 2000. *Vattnets väg från regn till bäck*. 3:e upplagan red. Uppsala: Hallgren & Fallgren.

Gustafsson, LG 2013. *Konsult DHI Sverige AB* [Intervju] (25 mars 2013).

Iowa Cedar Watershed, 2013. *Dry and Wet Swales*. [Online]  
Available at: <http://iowacedarbasin.org/runoff/showMan.php?c1=2I-3>  
[Använd 4 maj 2013].

Jajarmizadeh, M., Harun, S. & Salapour, M., 2012. A review on theoretical Consideration and types of models in hydrology. *Journal of Enviromental Science and Technology*, 12 Juni, pp. 249-261.

Kävlinge Kommun, 2003. *Riktlinjer för dagvattenhantering i Kävlinge kommun*, Kävlinge: Kävlinge Kommun.

Klint, M., 2001. *Vägmaterialets bidrag till dagvattenföroreningarna i Stockholm stad*, Stockholm: Stockholms Universitet.

Landskrona Stad, 2013. [www.landskrona.se](http://www.landskrona.se). [Online]  
Available at: <http://www.landskrona.se/Om-Landskrona.aspx>  
[Använd 17 maj 2013].

Länsstyrelsen i Skåne, 2009. *Plan PM Dagvatten*, Malmö: Länsstyrelsen i Skåne Län - Enheten för samhällsplanering.

Larm, T., 2000. *Utformning och dimensionering av dagvattenreningsanläggningar*, Stockholm : VAV AB och KTH.

Larsson, M., 2013. *Professor Teknisk Vattenresurslära* [Intervju] (17 maj 2013).

Lönngrén, G., 2001. *Vatten I Dagen - exempel på ekologisk dagvattenhantering*. Alnarp: Stad & Land.

M. Clar, B. B. T. O., 2004. *Stormwater Best Management Practice Design Guide Volume 2 Vegetative Biofilters, kapitel 6*. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory.

M. Karlsson Green, 2013. *VA-ingenjör NSVA* [Intervju] (23 april 2013).

Nationalencyklopedien, *NE.se* [Online]  
Available at: <http://www.ne.se/diskretisering>  
[Använd 1 mars 2013].

NSVA, 2012. *Dagvattenpolicy Landskrona*, Landskrona: Landskrona Stad.

Ramböll, 2012. *Norra Borstahusen grund- och dagvattenutredning*, Malmö: Ramböll.

Reefsgaard, J.-C., 1996. Terminology, modelling protocol and classification of hydrological modelling codes . i: *Distributed Hydrological modelling*, pp. 18-19.

Reefsgaard, J., 2000. Towards a Formal Approach to Calibration and Validation. i: R. Grayson & G. Blöschl, red. *Spatial Patterns in Catchment Hydrology*. Cambridge: Cambridge University Press, p. Kapitel 13.

Robinson, M. & Ward, R., 2011. *Principles of Hydrology*. Chippenham: McGraw Hill Publishing Company.

Samhällsbyggnadskontoret i Södertälje Stad, 2009. *Gestaltning av Björkmossen i Södertälje Stad*, Södertälje: Södertälje Stad.

SMHI, 2010. *Klimatdata - Klimatanalys Skåne Län*. [Online]  
Available at:  
<http://www.smhi.se/klimatdata/klimatscenarier/klimatanalyser/lansanalysen/?emsc=a2b2&distrikt=12&target=data&indx=n&tid=ar>  
[Använd 26 februari 2013].

SMHI, 2011. *Klimatanalys för Skåne Län*, Norrköping: SMHI.

Stahre, P., 2008. *Dagvattenstrategi för Malmö*, Malmö : Malmö Stad .

Svedén, C., 2013. *Utredningsingenjör* [Intervju] (mars 2013).

Svenskt Vatten, 2011. *Hållbar dag- och dränvattenhantering, Råd vid planering och utformning*. Malmö: Svenskt Vatten,.

Vägverket, 2003. *Vägdikenas funktion och utformning - En beskrivning av multifunktionella diken*, Borlänge: Trafikverket, teknikavdelning.

Vägverket, 2008. *310 Hydraulisk dimensionering*, Vägverket.

VASYD, 2012. *vasyd.se* [Online]

Available at:

<http://www.vasyd.se/VattenAvlopp/dagvatten/Pages/Dagvattenstrategimalmo.aspx>

[Använd 15 februari 2013].

VASYD, 2012. *vasyd.se* [Online]

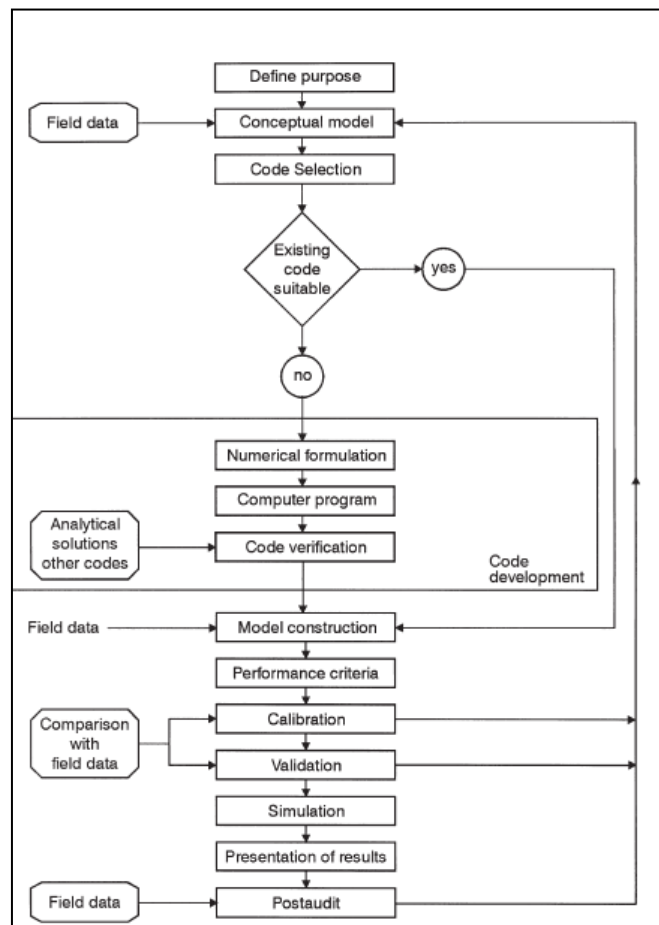
Available at: <http://www.vasyd.se/VattenAvlopp/dagvatten/Pages/default.aspx>

[Använd 26 februari 2013].

## **12. Appendix A**

### **Arbetsgång i arbetet med att skapa en modell**

I arbetet med att skapa en modell är det viktigt att ha en strukturerad arbetsgång. Anledningen till att det är bra att ha en bestämd arbetsgång är att redan finns flera osäkerheter i arbetet med modellen. Resultatet av modellen beror mycket på hur insatt modelleraren är i de hydrologiska processerna och hur mycket erfarenhet det finns av att modellera. Arbetsgången ska vara flexibel, adaptiv, öppen för nya idéer och även då den blir formaliserad är optimistisk. Den arbetsgången som föreslås nedan av Refsgaard (2000) har sitt ursprung i arbetet av Anderson och Woessner (1992). För en schematisk skiss av arbetsgången se figur 1 nedan där indata visas till vänster i figuren och arbetsgången läses uppifrån och ner. I examensarbetet var en modell redan skapad och därför började arbetet vid steget simulering där en modifiering skedde.



**Figur 1 . En schematisk skiss skapad av (Refsgaard, 2000) över hur arbetsgången i hur en hydrologisk modell skapas. Till vänster i figuren ses den indata som går in i modellen och arbetsgången läses uppifrån och ner. Arbetsmoment visas som fyrkanter i mitten.**

Det första steget i att skapa en modell är enligt Refsgaard att formulera syftet med modellen. Är syftet att undersöka vad som händer med ytavrinningen då markanvändningen ändras eller ska man undersöka hur utflödet ändras vid klimatförändringar? Då syftet är formulerat kan man börja fundera över vilken typ av mjukvara och kod som är lämplig att använda.

Det andra steget är att skapa en konceptuell modell. En konceptuell modell är en beskrivning av verkligheten från användarens perspektiv med hänsyn till de viktigaste hydrologiska processerna i området (Refsgaard, 2000). Den konceptuella modellen är en tolkning av området utifrån den information som finns .

I det tredje steget ska man välja vilken kod som är lämplig att använda. I praktiken är en kod ofta vald bland existerande program. Om det inte finns en lämplig kod så får denna skapas, arbetsgången då en måste skapas visas i fyrkanten i figur 1.

Efter att mjukvaran är vald ska modellen skapas. Med hjälp av data som har samlats in från arkiv- och fältstudier skapas modellen. Då modellen skapas ska man ta hänsyn till den spatiala- och temporala diskretiseringen (inom matematiken en teknik för att överföra ett matematiskt problem till ett beräkningsbart problem med ändligt många variabler (Nationalencyklopedien)), bestämma gränsvärden och ingående parametrar samt göra ett första urval av de parametrar som har hittats i arkiv- och fältstudierna.

Det femte steget är att definiera hur väl man vill att modellens resultat ska överensstämma med fältdata efter kalibreringen och valideringen. Om man sätter höga krav på detta måste man antingen sänka sina krav på resultat eller skaffa mer och kanske annan typ av data än den som redan införskaffats.

Nästa steg är att kalibrera modellen. Målet med kalibrering är att kalibrera efter verkligheten inte efter kalibrerings data. Om man inte tar hänsyn till att det finns felkällor och osäkerheter i data finns det en risk för överpassa kalibreringen. Därför är det viktigt att bekräfta data med större eller mindre fel. De uppmätta resultaten kan till exempel vara grundvattennivåer och flödesmätningar. För att få modellen till att reagera på samma sätt ändrar man olika parametrar i modellen. Modellen kan vara en dålig beskrivning av verkligheten då måste den ändras.

Validering är nästa steg. Vid valideringen använder man de parameterinställningar som man hade under kalibreringen, för att sedan köra modellen under en period som inte användes under kalibreringen. Matchar de simulerade värdena de verkliga fältvärdena så säger man att modellen är validerad. Om de simulerade värdena inte matchar de verkliga värdena får man gå tillbaka till den konceptuella modellen och utvärdera stegen från den konceptuella modellen till kalibreringen och se om det är något antagande eller val som ska ändras.

Då modellen är validerad så kan man göra sin simulering för frågeställningen. Om syftet med modellen är att se hur ett område reagerar på ett intensivt regnfall redigerar man den i modellen redan inlagda regnet till det designregnfallet man vill undersöka. Efter detta ska modellresultaten presenteras.

Det sista steget är att möjligtvis göra en efterhandsgranskning vilket är att man flera år efter att modellen skapades undersöker hur modellen har reagerat på nya fältdata.

### **Modellklassificering**

I hydrologiska modeller finns det flera olika beräkningsmetoder som kan klassificeras på olika sätt (Jajarmizadeh, o.a., 2012). I följande stycke kommer olika beräkningsmetoder beskrivas som används i programmet MIKE SHE eller andra motsvarande metoder. MIKE SHE är en deterministisk fysiskt baserad och distribuerad modell.

## **Deterministisk och stokastisk**

Klassiskt sett finns det två huvudgrupper av modeller: deterministiska och stokastiska (Abott, o.a., 1996). Vilken modell man använder beror på hur man vill hantera osäkerheter i modellen. I de deterministiska modellerna finns bara ett resultat till bestämda parametrar och ingångsvärden. I stokastiska modeller däremot finns det ett inslag av slump och osäkerhet. Man har en komponent i modellen som är slumpartad, det är därför som man kan få flera olika resultat med samma ingående parametrar och värden. Att man tillåter denna osäkerhet och slump att inverka beror på att det finns en osäkerhet i information, de ingående parametervärdena, gränsvärden eller modellparametrar och vill därför ha ett mått av osäkerhet resultatet. (Beven, 2001). MIKE SHE är en deterministisk modell.

## **Aggregerad och distribuerad**

För att beskriva den spatiala upplösningen i en modell finns det två typer: aggregerad (eng. lumped) och distribuerad. En aggregerad modell behandlar området som en enhet med parametervärden som är medelvärdet för hela området. Distribuerade modeller däremot hanteras lokala olikheter i parametervärden eftersom avrinningsområdet inte behandlas som en enhet. (Beven, 2001) MIKE SHE är en distribuerad modell.

## **Empirisk, konceptuell och fysiskt baserad modell**

En empirisk modell eller en black-box modell tar inte hänsyn till de fysiska processerna som förknippas med ett avrinningsområde utan istället undersöks de in- och utgående värdena som mäts vid samma tid. Eftersom man inte tar hänsyn till de fysiska processerna i avrinningsområdet kan man jämföra det med en svart låda där man inte ser vad som händer i avrinningsområdet utan bara de in- och utgående värdena. (Reefsgaard, 1996)

En konceptuell modell är baserad på de fysiska processerna som pågår i ett avrinningsområde. Man använder fysiska strukturer och ekvationer som används tillsammans med semiempiriska. De fysiska mätningar är dock ofta inte tillräckliga för att användas direkt som parametervärden utan även använd in- och utgående mätvärden för att kalibrera modellen. Då modellen kalibreras används uppmätta värden för att jämföra med de värden som modellen skapar. Om dessa är olika får man ändra modellen så att de beräknade värdena blir samma som de uppmätta värdena. Om modellen är en aggregerad så brukar man kalla denna typ av modeller för grey-box model (Reefsgaard, 1996).

Den fysiskt baserade modellen kallas även white-box model eftersom man i denna modelltyp ser vad det är som pågår i avrinningsområdet vilket är viktigt då man ska planera ett urbant område. En fysisk modell baseras på det området som ska modelleras där fysiska parametrar kan läggas in direkt. I teorin behöver man inte kalibrera denna typ av modell. Modellen

beskriver det naturliga systemet med hjälp av ekvationer för massa, energi och moment. Fysiskt baserade modeller måste vara distribuerade (Reefsgaard, 1996). De negativa aspekterna med att använda fysiskt baserade modeller är att de kräver mycket data och eftersom beräkningarna är krävande så krävs mer av datorn (Graham, o.a., 2005).

### **Beräkningsmetoder i MIKE SHE**

I följande stycke kommer de olika beräkningsmetoderna beskrivas för hur MIKE SHE beräknar de hydrologiska processerna nederbörd, evapotranspiration, ytavrinning samt flöde i den omättade och mättade zonen. Anledningen till att dessa processer beskrivs är att det är dessa som används i modellen för examensarbetet.

### **Nederbörd och evapotranspiration**

Nederbörden är en av de ingående parametrarna i modellen ingen beräkningsmetod behövs för att simulera nederbörden.

I MIKE SHE beräknas den faktiska evapotranspirationen. Faktiska evapotranspirationen är summan av evaporationen och transpirationen från växter när tillgången på vatten är begränsad. Evaporation uppstår på alla öppna vattenytor genom att solstrålning värmer vattnet och får vattnet att förvandlas till vattenånga. Hur mycket vatten som evaporerar styrs främst av temperaturen. Detta sker inte bara från de typiska öppna vattenytor som sjöar och bäckar utan även från vatten på växter och jord. Transpiration är den transport av fukt genom växten. Mängden styrs av temperaturen men även av växters fysiologi såsom djupet på rötter och hur lövet är uppbyggt. (Graham, 2005)

För att räkna ut evapotranspirationen använder man meteorologisk data och vegetativ data för att beräkna den totala evapotranspirationen. Den totala evapotranspirationen definieras som summan av evaporation och växttranspirationen. Den totala evapotranspirationen är viktig för att beräkna den faktiska evapotranspirationen. Den totala evapotranspirationen beror på: upptagande av regn av lövverket, avrinning från lövverket till marken, evaporation från lövverket och från marken samt upptagandet av vatten av växter och deras transpiration. Växternas baseras på jordfuktigheten i den omättade zonen (DHI, 2012).

För att beräkna evapotranspirationen finns det två olika metoder i MIKE SHE, Kristensen och Jensenmetoden samt tvålagervattenbalansmetoden.

### **Kristensen och Jensenmetoden**

Den primära modellen som används för att beräkna evapotranspirationen är Kristensen och Jensenmetoden. Denna modell baseras på empiriska ekvationer som bygger på fältundersökningar som utfördes av Kristensen och Jensen. Som ingående data behövs en



tidsserie för referensevapotranspiration, lövareaindex (eng. leaf area index (LAI)), rotdjupet och även empiriska parametrar som kontrollerar distributionen av evapotranspiration i området (Graham, 2005). Denna modell används när den detaljerade Richardsekvationen eller gravitationsflöde används för den omättade zonen (DHI, 2012). Detta är den metod som använd i modellen för examensarbetet.

### **Tvålagersvattenbalansmetoden för evapotranspiration (eng. Two-layer water balance evapotranspiration)**

Utöver Kristensen och Jensenmetoden finns en tvålagervattenbalansmetod (eng. two-layer water balance ). Denna metod delar in den omättade zonen i en rotzon, där evaporation kan uppstå, och en zon lokaliserad under rotzonen, där evapotranspiration inte kan uppstå. Som i Kristensen Jensenmetoden beräknas evapotranspirationen av vattnet som upptas av löven (LAI), fria vattenytor och transpirationen från växer i rotzonen baserat på vattenmängden i rotzonen. Anledningen till att använda denna metod är för att uppskatta den faktiska evapotranspirationen och mängden vatten som kommer till den mättade zonen. Därför lämpar sig denna metod bäst för områden där grundvattennivån är nära marken. (Graham, 2005)

### **Ytavrinning**

Ytavrinning kan uppstå vid regn när marken inte kan infiltrera vattnet tillräckligt fort. Mängden och hur vattnet leds bestäms av topografin, flödesmotståndet, evaporation och infiltration längs vägen. (Graham, 2005)

I MIKE SHE simuleras det avrinnande vattnet med hjälp av ytavrinningsflöde (eng. overland flow) som simulerar hur vattnet transporteras över landskapet (DHI, 2012). Ytavrinning beskrivs i MIKE SHE med hjälp av finita differensmetoden eller simplified overflow routing. Den metod som kommer användas i modellen för examensarbetet är finita differensmetoden.

### **Finita differensmetoden**

För tvådimensionella avrinningar använder MIKE SHE finita differensmetoden för att lösa de beräkningar som krävs (Graham, 2005). Finita differensmetoden går ut på att ersätta derivatorna i differentialekvationer med finita differenser. Det översvämmande vattnet övergår till andra hydrologiska komponenter, som grundvatten och ånga, i början av varje tidssteg. Tidssteget är vanligtvis samma som i den omättade zonen när detta inkluderas i modellen. Man kan sätta ett valfritt tidssteg oberoende av tidssteget i den mättade och omättade zonen. I MIKE SHE ignoreras momentförluster som skapas av lokala och konvektiva accelerationer samt inflödet som är vinkelräta mot den övriga flödesriktningen. Att göra på detta sätt kallas

för diffusive wave approximation. I modellen introduceras nettonederbörden som en källa medan evaporation och infiltration räknas som sänkor.

### **Simplified overflow routing**

Denna metod baseras på ett empiriskt förhållande mellan flödesdjup, ytfördröjning i kombination med Mannings ekvation för att beskriva utsläpp under turbulenta förhållanden. I denna konceptuella modell använder man en förenkling av representation av vattenflöde ner för en backe för att beskriva ytavrinning i en topografisk zon. Vattendjupet på marken beräknas kontinuerligt genom att beräkna kontinuitetsekvationen iterativt.

### **Flöde i den omättade zonen**

Vattenflödet i den omättade zonen är en av de viktigaste processerna i MIKE SHE. Flödet i den omättade zonen är först och främst vertikalt eftersom gravitation dominerar infiltrationen. Eftersom man kan göra detta antagande beräknas flödet i den omättade zonen bara vertikalt i SHE. Detta kan skapa vissa begränsningar i modeller där området till exempel består av branta backar. Den metod som använd i modellen för Norra Borstahusen är Richards ekvation.

För att beräkna det vertikala flödet används tre olika metoder:

- Den kompletta Richardsekvationen
- Förenklad gravitationsflödesmetod
- En förenklad, tvålagars vattenbalansmodell

### **Richards ekvation**

För det vertikala flödet i den omättade zonen är drivkraften den vertikala gradienten av den hydrauliska höjden som består av en gravitations och tryckkomponent. I den omättade zonen är tryckhöjden negativ på grund av kapillärkraften. Baserat på kontinuitetsekvationen och Darcys lag kan det vertikala flödet beskrivas av Richardsekvationen. (Graham, 2005).

Richards ekvation kan ses nedan i ekvationen (DHI, 2012)

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{d}{dz} \left[ K(\theta) \left( \frac{d\psi}{dz} + 1 \right) \right]$$

Där  $\theta$  är vatteninnehållet,  $t$  är tiden,  $z$  är höjden över referensnivån,  $K$  är den hydrauliska konduktiviteten och  $\psi$  är tryckhöjden.

MIKE SHE beräknar flödet med finita elementmetoden genom att använda ett övre gränsvillkor som antingen är konstant eller variera i varje tidssteg. Det nedre gränsvillkoret är oftast en tryckgräns som bestäms av grundvattennivån. (Graham, 2005)

Att beräkna flödet med Richards ekvation är krävande för MIKE SHE men det är också den metoden som är bäst att använda då flödet är dynamiskt (DHI, 2012).

### **Gravitationsflödesmetoden**

Gravitationsmetoden är en förenkling av Richards ekvation där man ignorerar tryckhuvudet och säger att det vertikala flödet endast beror på gravitationen. Detta löses endast med kontinuitetsekvationen från marknivån och ner. Som ingående data krävs endast konduktivitets- och mätnadsförhållandet i marken. (Graham, 2005)

Då man jämför gravitationsmetoden med Richardsekvationen är gravitationsmetoden flera gånger snabbare. Gravitationsmetoden används främst till grövre jordarter och då man är intresserad av en exakt evapotranspiration och försenad påfyllning till grundvattnet. (Graham, 2005)

### **Tvålayersvattenbalansmodellen**

Som beskrivet i stycket ovan delas den omättade zonen in i två delar: rotzon och en zon under rotzonen. Med denna modell beräknas det vatten som transporteras till den mättade zonen och genom den omättade zonen och ignorerar förseningar. (Graham, 2005)

### **Flöde i den mättade zonen**

För att simulera grundvatten i MIKE SHE används antingen en implicit finitdifferensmetod eller en linjär, konceptuell metod (Graham, 2005). Metoden som används i modellen är finita differensmetoden.

### **Fininta differensmetoden**

I MIKE SHE kan man simulera en heterogen akvifer med skiftande förutsättningar för en öppen och sluten akvifer i tre dimensioner. För att beskriva hur nivån i grundvatten ändras under året används en tredimensionell form av Darcyekvationen som man löser numeriskt med en implicit finitdifferensmetod (DHI, 2012).

### **Linjär metod**

I fysiskt baserade modeller är problemet ofta att det inte finns tillräckligt med data om avrinningsområdet som man vill modellera. Om detta är fallet kan flödet under marknivån beskrivas med en konceptuell modell. Med den linjära metoden delas grundvattenområdet in i mindre delområden. Varje delområde är sedan uppdelad i en serie grunda reservoarer med en eller flera djupa basflödenreservoarer. Varje basflöde är sedan uppdelad i två parallella reservoarer. Genom att använda två parallella reservoarerna är att kunna skilja på snabba och

långsamma komponenter av basflödets utflöde och förvaring. Vatten leds sedan samman eller förblir ett basflöde genom de linjära reservoarerna. (Graham, 2005)

Genom att använda den linjära modellen kan man genomföra hydrologiska modeller i MIKE SHE även om det inte finns tillräckliga grundvattenundersökningar i området. Det har visat sig att den linjära modellen fungerar bra och är pålitlig tillsammans med en fysiskt distribuerad parameter och vattenflöde (DHI, 2012).

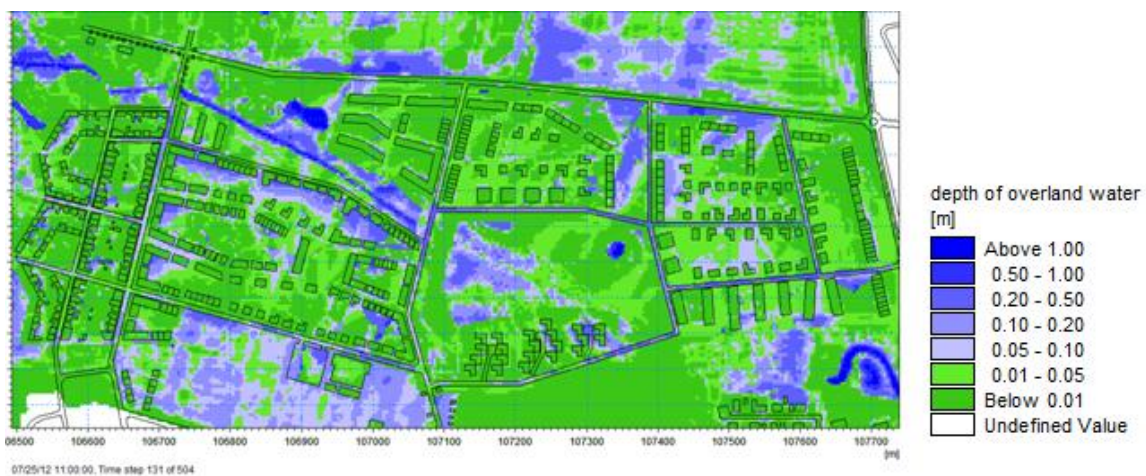
### **Vattenflöde i rör**

I modellen som har skapas för denna uppgift används MIKE URBAN för att beskriva flödet bäcken i området och genom den kulverterade sträckan. MIKE URBAN är ett GIS-baserat program utvecklat av DHI som kan modellera avloppssystem, dagvattenhantering samt dricksvattenssystem (DHI, 2011). Genom att koppla ihop MIKE SHE och MIKE URBAN kan man simulera effekterna av urbana dränerings- och avloppssystem på ytvattnet (Graham, 2005).

## 13. Appendix B

### Översiktsbilder över den föregående och nya höjdsättningen

I figurerna nedan visas undersökningsområdet under ett 100-års regn två timmar efter regnets maxintensitet. Figur 2 visar området med den gamla höjdsättningen där husgrunden ligger 80 cm högre än väg banan och småvägar och cykelbanor inte är inkluderade.



**Figur 2.** Undersökningsområdet med den föregående höjdsättning och småvägar är inte inkluderade. Vattendjup över 5 cm visas i blått.

Den gamla höjdsättningen visar hur vatten samlas i stor grad mot husen i område 2 mot Säbybäcken. Vattnet blir stående mot byggnaderna då det inte finns en väg att avleda vattnet mot Säbybäcken. Vattnet samlas även på tomtmarker.

Figur 3 visar den nya höjdsättningen där det skiljer 30 cm mellan husgrunden och vägbanan och småvägar och cykelbanor är inkluderade.

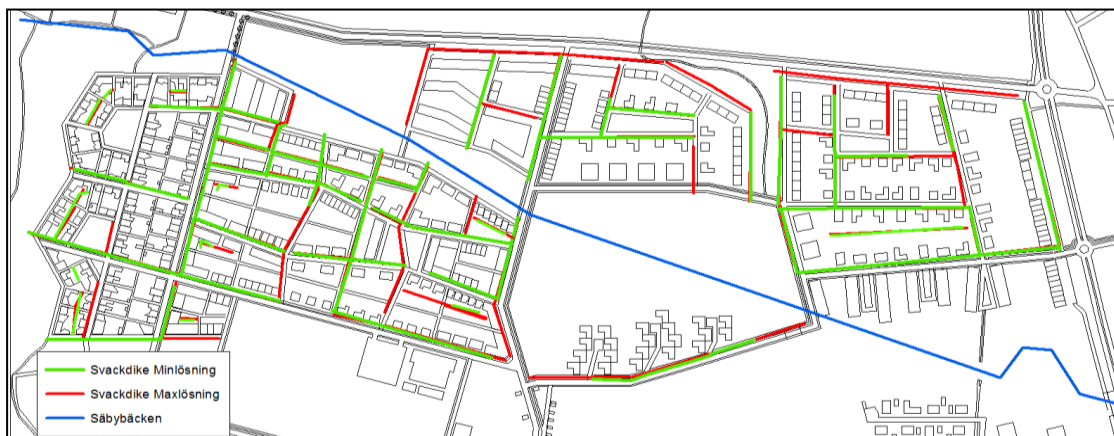


**Figur 39.** Undersökningsområdet med den nya höjdsättningen och småvägar är inkluderade. Blå markerade områden visar vatten där djupet är över 5 cm.

Då småvägar inkluderas kan man se i figur 2 att vatten samlas på vägar istället för på tomtmark då fler vägar finns som utgör lågpunkter där vatten kan samlas. Småvägarna öppnar även upp så att vatten kan nå recipienten lättare vilket syns tydligt i område 2.

### **Skillnader mellan max- och minlösning**

Figur 3 visar var svackdiken för max och minlösningen är placerade. Gröna linjer symboliserar där det ligger ett svackdike i både min- och maxlösningen. De röda linjerna visar ställen där maxlösningen har ett dike men inte minlösningen.



**Figur 40. Placering av svackdiken i max- och minlösningen. Gröna linjer markerar placeringen av svackdiken i både min och maxlösningen. Röda linjer markera svackdiken som endast finns i maxlösningen.**

Som syns i figur 3 så ligger svackdiken vid många vägar i maxlösningen. Vid skapande av minlösningen användes placeringen av maxlösningen svackdiken. Svackdiken som ligger uppströms i systemet togs bort som inte ansågs nödvändiga, svackdiken nedströms är ofta inte möjliga att ta bort då svackdiken uppströms ansluts till dessa.

### **Attributtabell för minlösningen**

I figur 5 visas svackdiken från minlösningen med deras ID nummer. I tabell 1 finns information om svackdiken intill vägar och deras ID-nummer, start-, slutpunkts höjd, längd, kommentarer om avledning och djup, maximala vattendjupet vid 10 och 100-årsregnet. Tabell 1 innehåller information om svackdiken på tomtmark där ID-nummer, vattendjup vid 10 och 100-årsregn samt markarean. Markarean och vattendjupet visar på den kapacitet som behövs för svackdiket.



Figur 41. Svackdikens placering i minlösningen där ID-nummer är placerade för att kunna matcha svackdiket med tabell 6 och 7. Svackdiken i grön färg visar svackdiken intill vägar och röda linjer visar svackdiken på tomtmark.



**Tabell 1. Attributtabel för minlösningens svackdiken intill vägar. Varje dike har ett ID-nummer som kan matchas med diken i figur 4. Tabellen innehåller information om svackdikenas höjd vid start- och slutpunkt, längd, lutning, kommentarer om avvikande djup i och avledningen, vattendjup vid 10 och 100-årsregn.**

| Id | Startpunkt (m.ö.h) | Slutpunkt (m.ö.h) | Längd (m) | Lutning (%) | Kommentar   | Vattendjup 10-årsregn (cm) | Vattendjup 100-årsregn (cm) |
|----|--------------------|-------------------|-----------|-------------|---|----------------------------|-----------------------------|
| 1  | 10.65              | 10.30             | 64        | 0.55        | Är 30 cm djupt. Sitter ej ihop med dike nr 5.   | 15                         | 30                          |
| 2  | 12.40              | 10.80             | 188       | 84          | Är 20 cm djupt i slutpunkten. Avleder vatten till dike nr 3.  | 5                          | 30                          |
| 3  | 10.80              | 9.22              | 316       | 0.5         | Är 20 cm djupt i början för att i slutet vara 50 cm under vägbanan. Detta för att få bra lutning i diket. Avleder vatten till Säbybäcken. | 10                         | 30                          |
| 4  | 11.25              | 10.53             | 144       | 0.5         | Avleder vatten till diket vid Erikstorpsvägen   | 10                         | 30                          |
| 5  | 10.80              | 9.60              | 244       | 0.5         | 20 cm i början, 40 cm djupt där dike går ihop med dike 6, resterande del av dike 40 cm djup. Avleder vatten till Säbybäcken               | 10                         | 30                          |
| 6  | 10.60              | 99.00             | 140       | 0.5         | 40 cm djupt i slutpunkten   | 10                         | 30                          |
| 7  | 10.40              | 9.80              | 68        | 0.88        | Är 10 cm djup i startpunkten och 20 cm djup i slutpunkten. Avleder vatten till dike nr 66   | 5                          | 30                          |
| 8  | 10.80              | 10.30             | 104       | 0.5         | Avleder vatten till dike nr 6.  | 10                         | 30                          |
| 9  | 9.70               | 9.10              | 116       | 0.5         | Slutpunkten ligger 50 cm under vägbanan för att få tillräcklig lutning. Vatten avleds till Säbybäcken.                                    | 5                          | 30                          |
| 13 | 7.10               | 6.40              | 60        | 1.3         | Vatten avleds till dike nr 14.  | 10                         | 15                          |
| 14 | 6.40               | 5.20              | 60        | 2           | Vatten avleds till Säbybäcken.  | 15                         | 20                          |
| 15 | 8.10               | 5.56              | 152       | 1.67        | Vatten avleds till Säbybäcken.  | 15                         | 30                          |

|    |      |      |     |      |   |    |    |
|----|------|------|-----|------|---|----|----|
| 16 | 9.10 | 6.40 | 188 | 1.38 | Vatten avleds till dike nr 15.  | 5  | 30 |
| 17 | 9.20 | 8.30 | 108 | 0.9  | Vatten avleds till dike nr 18.  | 5  | 15 |
| 18 | 8.30 | 8.00 | 52  | 0.96 | Vatten avleds till dike nr 16   | 5  | 10 |
| 19 | 7.20 | 6.70 | 76  | 0.66 | Vatten avleds till dike nr 20.  | 10 | 15 |
| 20 | 6.70 | 3.50 | 140 | 229  | Marken vid vägen ligger 70 cm därför blir diket väldigt brant. Vatten avleds till havet.                  | 5  | 20 |
| 22 | 8.00 | 7.20 | 124 | 0.65 | Vatten avleds till dike nr 27.  | 5  | 15 |
| 23 | 7.20 | 4.20 | 176 | 1.7  | Vatten avleds till havet.   | 10 | 20 |
| 24 | 6.40 | 5.70 | 76  | 0.9  | Vatten avleds till dike nr 25.  | 15 | 20 |
| 28 | 6.70 | 6.20 | 40  | 1.25 | Vatten avleds till dike nr 29.  | 10 | 25 |
| 29 | 6.20 | 4.70 | 116 | 1.29 | Vatten avleds till dike nr 30.  | 10 | 30 |
| 30 | 4.70 | 4.20 | 48  | 1    | Vatten avleds till Säbybäcken   | 15 | 30 |
| 32 | 7.00 | 5.00 | 108 | 1.85 | Vatten avleds till Säbybäcken   | 10 | 30 |
| 34 | 8.24 | 7.26 | 196 | 0.5  | Diket är 10 cm djup i startpunkten och 60 cm djupt i slutpunkten. Detta för att få en bra lutning.        | 5  | 20 |
| 35 | 9.10 | 8.76 | 68  | 0.5  | Är 10 cm djupt i början för att det inte ska bli för djupt i slutpunkten. Avleder vatten till dike nr 36. | 5  | 30 |
| 36 | 8.76 | 7.50 | 80  | 1.58 | Avleder vatten till dike nr 37  | 5  | 15 |
| 37 | 7.50 | 7.00 | 56  | 0.89 | Vatten avleds till Säbybäcken   | 5  | 30 |
| 39 | 5.90 | 5.50 | 32  | 1.25 | Vatten avleds till dike nr 40.  | 5  | 20 |
| 40 | 5.50 | 5.20 | 40  | 0.75 | Vatten avleds till Säbybäcken.  | 5  | 25 |

|    |      |      |     |      |   |    |    |
|----|------|------|-----|------|---|----|----|
| 41 | 5.60 | 5.29 | 68  | 0.5  | Är 20 cm under vägbana i startpunkten för att få en bra lutning. Vatten avleds till dike nr 29. | 10 | 30 |
| 42 | 6.10 | 5.77 | 48  | 69   | Vatten avleds till dike nr 29.  | 5  | 20 |
| 43 | 6.10 | 5.90 | 36  | 56   | Vatten avleds till dike nr 39.  | 10 | 20 |
| 44 | 5.95 | 5.00 | 92  | 1.03 | Vatten avleds till Säbybäcken   | 15 | 30 |
| 45 | 5.44 | 5.26 | 56  | 0.5  | Är 20 cm under vägbana i startpunkten. Vatten avleds till dike nr 44                            | 5  | 30 |
| 46 | 6.10 | 5.62 | 28  | 1.78 | Vatten avleds till dike nr 39   | 5  | 15 |
| 47 | 6.10 | 5.62 | 52  | 1.73 | Vatten avleds till dike 44.   | 5  | 15 |
| 48 | 6.50 | 5.62 | 52  | 1.73 | Vatten avleds till dike 44.   | 5  | 10 |
| 49 | 0.00 | 0.00 | 0   | 0    | Vatten avleds till dike nr 44.  | 5  | 30 |
| 50 | 6.78 | 6.42 | 72  | 0.5  | 40 cm djupt i start och slutpunkt. Vatten avleds till dike nr 51.                               | 5  | 30 |
| 51 | 6.42 | 5.60 | 40  | 1.8  | 40 cm djupt i startpunkt. Vatten avleds till dike nr 52.  | 5  | 30 |
| 52 | 5.70 | 5.20 | 44  | 1.14 | 20 cm djup i startpunkt. Vatten avleds till Säbybäcken.   | 5  | 30 |
| 53 | 7.60 | 6.78 | 76  | 1    | Vatten avleds till dike nr 50.  | 5  | 20 |
| 54 | 7.42 | 6.78 | 64  | 1    | Vatten avleds till dike nr 50.  | 5  | 20 |
| 55 | 7.70 | 7.93 | 88  | 0.87 | Vatten avleds till dike nr 32.  | 5  | 10 |
| 56 | 7.60 | 6.70 | 116 | 78   | Vatten avleds till dike nr 28.  | 15 | 30 |
| 58 | 6.50 | 6.10 | 48  | 0.8  | Avleds till dike 60.  | 5  | 30 |
| 60 | 6.10 | 5.37 | 132 | 0.55 | Vatten avleds till dike nr 32.  | 10 | 30 |
| 63 | 5.52 | 5.32 | 40  | 0.5  | Vatten avleds till dike nr 64   | 10 | 30 |

|    |      |      |     |      |  |    |    |
|----|------|------|-----|------|--|----|----|
| 64 | 5.32 | 5.14 | 36  | 0.5  | Vatten avleds till Säbybäcken  | 15 | 30 |
| 66 | 9.80 | 9.30 | 100 | 0.5  | Är 20 cm djupt i startpunkten och 70 cm under i slutpunkten för att få bra lutning. Avleder vatten till Säbybäcken | 10 | 30 |
| 69 | 9.70 | 9.22 | 80  | 0.6  | Vatten avleds till Säbybäcken.   | 10 | 15 |
| 70 | 5.20 | 4.83 | 72  | 0.51 | Vatten avleds till dike nr 29.   | 10 | 30 |
| 83 | 7.26 | 6.78 | 96  | 0.5  | 60 cm djupt i startpunkt och 40 cm djupt i slutpunkt. Avleder vatten till dike nr 50                               | 5  | 30 |

**Tabell 2. Attributtabell för svackdiken på tomtmark. ID-nummer för varje dike kan matchas med svackdiken i figur 4. I tabellen finns data om vattendjup vid 10 och 100-årsregn och markarea för varje dike. Arean och djupet på diket är till för att visa på den kapacitet som finns i varje dike.**

| Id | Vattendjup<br>10-årsregn<br>(cm) | Vattendjup<br>100-årsregn<br>(cm) | Area<br>(m <sup>2</sup> ) |
|----|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 62 | 5                                | 40                                | 224                       |
| 71 | 20                               | 40                                | 80                        |
| 72 | 20                               | 40                                | 80                        |
| 73 | 5                                | 15                                | 256                       |
| 74 | 5                                | 20                                | 704                       |
| 76 | 5                                | 35                                | 80                        |
| 77 | 5                                | 35                                | 176                       |

|    |    |    |     |
|----|----|----|-----|
| 78 | 10 | 25 | 368 |
| 79 | 5  | 10 | 240 |
| 81 | 20 | 25 | 80  |
| 82 | 10 | 40 | 64  |